



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



**CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS VARIEDADES**  
**DE ORO OROGÉNICO EN LAS ROCAS DEL PALEOZOICO –**  
**CERRO SAN FRANCISCO - ANANEA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MAX DANY BENIQUE CORONEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*A mis padres Rene y Brígida quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos. A mis hermanos Rosa Irma y Rony Renán por su cariño y apoyo. A mi abuelita Lucia por su constante amor.*

*A mis amigos y docentes por sus consejos, quienes con su ayuda fue posible esta tesis.*

**MAX DANY**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradecer primeramente a Dios por sus bendiciones de cada mañana y a mis padres por el constante apoyo.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano – Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica – Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por impartir los buenos conocimientos para mi formación profesional y a los docentes por su apoyo incondicional.*

*A la Corporación Minera Ananea S.A. por el apoyo en la facilidad de acceso a las muestras representativas que fue posible esta investigación de tesis.*

*Al Instituto Geológico Minero y metalúrgico (INGEMMET), por brindarme el apoyo de análisis de muestras en sus instalaciones de laboratorio de microscopia.*

*A mi asesor Dr. Miguel Calcina, por el apoyo profesional brindado para hacer efecto este trabajo de investigación.*

*A mi familia por sus recomendaciones y apoyo moral constante.*

*Finalmente agradezco a mis amistades, compañeros de universidad, personas que aportaron en mi camino como persona y profesional.*

**MAX DANY**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 18**

**1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO ..... 18**

**1.4. OBJETIVO ..... 19**

1.4.1. Objetivo general ..... 19

1.4.2. Objetivo específicos ..... 19

**1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO ..... 19**

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES ..... 21**

**2.2. PROPIEDADES DEL ORO ..... 22**

2.2.1. Aleaciones del oro – coloraciones ..... 23

**2.3. ELEMENTOS DE ALTO POTENCIAL IONICO (HFSE)..... 24**

**2.4. PETROGRAFÍA ..... 25**

2.4.1. Estudio en microscopía de luz transmitida ..... 26

2.4.2. Secciones delgadas..... 27

**2.5. MINERAGRAFÍA ..... 28**

2.5.1. Estudio en microscopía de luz reflejada ..... 28



2.5.2. Secciones pulidas.....	28
<b>2.6. PETRONIMERAGRAFÍA.....</b>	<b>29</b>
2.6.1. Estudio en microscopio electrónico de barrido (MEB).....	29
2.6.2. Usos del microscopio electrónico de barrido .....	30
2.6.3. Microanálisis de rayos x por dispersión de energías (EDS).....	31
2.6.4. Producción de rayos x en MEB .....	32
2.6.5. Análisis morfológico de superficies .....	33
2.6.6. Preparación de muestras para MEB.....	34
<b>2.7. GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>34</b>
2.7.1. Formación Sandia .....	34
2.7.2. Formación Ananea.....	35
2.7.3. Formación Arco Aja .....	36
2.7.4. Cuaternario Morrenico .....	36
2.7.5. Cuaternario Glacio-fluviales.....	36
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1. MATERIALES.....</b>	<b>38</b>
3.1.1. Instrumentos y materiales en campo .....	38
3.1.2. Equipos y materiales en gabinete .....	38
3.1.3. Equipos en laboratorio.....	39
<b>3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>39</b>
3.2.1. Etapa de gabinete I .....	40
3.2.2. Etapa de campo.....	40
3.2.3. Etapa de gabinete II .....	42
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	
<b>4.1. UBICACIÓN.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2. ACCESIBILIDAD.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3. CLIMA .....</b>	<b>48</b>



<b>4.4. GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>48</b>
4.4.1. Litología .....	48
4.4.2. Mineralogía.....	49
4.4.3. Estructural.....	50
4.4.4. Alteraciones .....	51
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>5.1. ESTUDIO PETROGRÁFICO .....</b>	<b>53</b>
5.1.1. Descripción petrográfica de las variedades auríferas .....	54
<b>5.2. MINERAGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>
5.2.1. Descripción mineragráficas de las variedades auríferas.....	67
<b>5.3. ANÁLISIS ELEMENTAL EN MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE     BARRIDO (MEB) .....</b>	<b>84</b>
5.3.1. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo verdoso.....	85
5.3.2. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo.....	92
5.3.3. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo rojizo .....	100
<b>5.4. GEOQUÍMICA MINERAL DE LAS VARIEDADES AURIFERAS .....</b>	<b>106</b>
<b>5.5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>109</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>VIII. REFERENCIAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>119</b>

**Área** : Geología de minas

**Tema** : Petromineragrafía

**FECHA DE SUSTENTACION:** 18 de junio 2021



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Vista panorámica del cerro San Francisco. ....	21
<b>Figura 2.</b>	Relación entre color y composición en el sistema ternario Au-Ag-Cu. ....	24
<b>Figura 3.</b>	Gráfico de radio iónico vs carga iónica de elementos traza de interés geológico. ....	25
<b>Figura 4.</b>	Proceso de preparación de una muestra de roca en sección delgada. ....	27
<b>Figura 5.</b>	Proceso de preparación de una muestra de roca en sección delgada. ....	29
<b>Figura 6.</b>	Imagen de emisión de rayos x de distintas energías. ....	33
<b>Figura 7.</b>	(a) Imagen de roca por SE. (b) Imagen de roca por BSE. ....	33
<b>Figura 8.</b>	Corte Geológico – Yacimiento Aurífero Ana María. Cerro San Francisco .....	35
<b>Figura 9.</b>	Columna estratigráfica de la geología regional. ....	37
<b>Figura 10.</b>	Fotografía del manto de cuarzo mineralizado .....	41
<b>Figura 11.</b>	Fotografía de la muestra del manto mineralizado extraída .....	42
<b>Figura 12.</b>	Secciones delgadas para el análisis petrográfico .....	43
<b>Figura 13.</b>	Secciones Pulidas para el análisis minerográfico. ....	43
<b>Figura 14.</b>	Preparación de muestra en briquetas para el estudio MEB .....	44
<b>Figura 15.</b>	Manto tipo cebra entre en el Cuarzo y Pizarra .....	49
<b>Figura 16.</b>	Partícula de oro en manto de cuarzo ahumado. ....	50
<b>Figura 17.</b>	Fractura de relleno (manto mineralizado) como control mineralógico. ....	51
<b>Figura 18.</b>	Pizarra silicificada de moderada a fuerte con vetillas de cuarzo blanco. ..	52
<b>Figura 19.</b>	Perfil del cerro San Francisco, fraccionado en 3 niveles de elevación según a la variedad aurífera. ....	53
<b>Figura 20.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2), contacto entre la roca caja y el manto. ....	54



<b>Figura 21.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo verdoso. ....	57
<b>Figura 22.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2), comportamiento mineralógico con la roca caja. ....	58
<b>Figura 23.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11), contacto entre la roca caja y el manto. ....	59
<b>Figura 24.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo. ....	61
<b>Figura 25.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11), comportamiento mineralógico con la roca caja. ....	62
<b>Figura 26.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1), contacto entre la roca caja y el manto. ....	63
<b>Figura 27.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo rojizo. ....	65
<b>Figura 28.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1), comportamiento mineralógico con la roca caja. ....	66
<b>Figura 29.</b>	Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo) .....	68
<b>Figura 30.</b>	Fotomicrografía de la muestra FS-G-01, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso. ....	69
<b>Figura 31.</b>	Fotomicrografías de la muestra FS-G-01, comportamiento minerográfico del oro .....	70
<b>Figura 32.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 11, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso. ....	72
<b>Figura 33.</b>	Fotomicrografías de la muestra código 11, comportamiento minerográfico del oro. ....	73
<b>Figura 34.</b>	Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo). .....	74



<b>Figura 35.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-Y-05, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo.....	75
<b>Figura 36.</b>	Fotomicrografías de la muestra código FS-Y-05, comportamiento minerográfico del oro.....	76
<b>Figura 37.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 10, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo.....	78
<b>Figura 38.</b>	Fotomicrografías de la muestra código FS-Y-05, comportamiento minerográfico del oro.....	78
<b>Figura 39.</b>	Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo). .....	79
<b>Figura 40.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo. ....	81
<b>Figura 41.</b>	Fotomicrografías de la muestra código FS-R-03, comportamiento minerográfico del oro.....	82
<b>Figura 42.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 12, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo. ....	83
<b>Figura 43.</b>	Fotomicrografías de la muestra código FS-R-03, comportamiento minerográfico del oro.....	84
<b>Figura 44.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-G-01 por electrones secundarios (SE).....	86
<b>Figura 45.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 11, por electrones secundarios (SE). .....	86
<b>Figura 46.</b>	Fotomicrografía de la muestra código G, por electrones secundarios (SE). .....	87
<b>Figura 47.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-G-01 ubicación puntual del Spectrum 53 (mena del oro). ....	88
<b>Figura 48.</b>	Análisis EDS de elementos de la muestra código FS-G-01 con su tabla de valores del Spectrum 53. ....	88



<b>Figura 49.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-G-01.....	89
<b>Figura 50.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 11.....	90
<b>Figura 51.</b>	Imagen por estereomicroscopio de la muestra código G, de partícula de oro tinte amarillo verdoso.....	91
<b>Figura 52.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código G de partícula de oro tinte amarillo verdoso.....	91
<b>Figura 53.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código G.....	92
<b>Figura 54.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-Y-05 por electrones secundarios (SE).....	93
<b>Figura 55.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 10 por electrones secundarios (SE). .....	93
<b>Figura 56.</b>	Fotomicrografía de la muestra código Y por electrones secundarios (SE). .....	94
<b>Figura 57.</b>	Fotomicrografía de la muestra código Y, ubicación puntual del Spectrum 221 (mena del oro).....	94
<b>Figura 58.</b>	Análisis EDS de elementos de la muestra código Y con su tabla de valores del Spectrum 221.....	95
<b>Figura 59.</b>	Microanálisis químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-Y-05.....	95
<b>Figura 60.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-Y-05.....	97
<b>Figura 61.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 10.....	98
<b>Figura 62.</b>	Imagen por estereomicroscopio de la muestra código Y, de partícula de oro tinte amarillo.....	99



<b>Figura 63.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código Y de partícula de oro tinte amarillo. ....	99
<b>Figura 64.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código Y. ....	100
<b>Figura 65.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03 por electrones secundarios (SE). ....	101
<b>Figura 66.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 12 por electrones secundarios (SE). ....	101
<b>Figura 67.</b>	Fotomicrografía de la muestra código R por electrones secundarios (SE). ....	102
<b>Figura 68.</b>	Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03, ubicación puntual del Spectrum 81 (mena del oro). ....	103
<b>Figura 69.</b>	Análisis EDS de elementos de la muestra código FS-R-03 con su tabla de valores del Spectrum 81. ....	103
<b>Figura 70.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-R-03. ....	104
<b>Figura 71.</b>	Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 12. ....	105
<b>Figura 72.</b>	Imagen por estereomicroscopio de la muestra código R, de partícula de oro tinte amarillo rojizo. ....	105
<b>Figura 73.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código R de partícula de oro tinte amarillo rojizo. ....	106
<b>Figura 74.</b>	Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de morfología de la muestra código R. ....	106
<b>Figura 75.</b>	Fotomicrografía de la muestra código 11 y su análisis EDS de la esfalerita con contenido de cadmio. ....	107
<b>Figura 76.</b>	Diagrama ternario de tonalidades auríferas con los resultados MEB. ....	109



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Propiedades físicas del oro nativo.....	23
<b>Tabla 2.</b>	Ubicación política de la zona de estudio.....	47
<b>Tabla 3.</b>	Ubicación de la zona de estudio.....	47
<b>Tabla 4.</b>	Accesibilidad a la zona del proyecto de investigación .....	48
<b>Tabla 5.</b>	Descripción petromineralógica de la muestra FS-G-01 (2).....	55
<b>Tabla 6.</b>	Descripción petromineralógica de la muestra FS-Y-04 (11). .....	59
<b>Tabla 7.</b>	Descripción petromineralógica de la muestra FS-R-02 (1) .....	63
<b>Tabla 8.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida código FS-G-01..	68
<b>Tabla 9.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida de código 11 .....	71
<b>Tabla 10.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida código FS-Y-05..	74
<b>Tabla 11.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida de código 10. ....	77
<b>Tabla 12.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida de código FS-R-03 .....	80
<b>Tabla 13.</b>	Descripción mineragráfica de la muestra sección pulida de código 12 .....	83
<b>Tabla 14.</b>	Condiciones requeridas para el análisis de barrido.....	85
<b>Tabla 15.</b>	Elementos aleados al oro tinte amarillo verdoso según resultados MEB. .	107
<b>Tabla 16.</b>	Elementos aleados al oro tinte amarillo según resultados MEB. .....	108
<b>Tabla 17.</b>	Elementos aleados al oro tinte amarillo rojizo según resultados MEB. ....	108
<b>Tabla 18.</b>	Resumen de la descripción petrográfica de las variedades auríferas .....	110
<b>Tabla 19.</b>	Resumen de la descripción mineragrafía de las variedades auríferas .....	111
<b>Tabla 20.</b>	Resumen de análisis elemental (MEB) de las variedades auríferas.....	112



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%:	Porcentaje
$\Phi$ :	Potencial iónico
Ag:	Plata
ap:	Arsenopirita
As:	Arsénico
Au:	Oro
Br:	Bromo
BSE:	Detector de electrones retrodispersados (Backscattered electrons)
CBs:	Carbonatos
Cha:	Chamosita
CL:	Catodoluminiscencia
CLOs:	Cloritas
CMASA:	Corporación Minera Ananea SA
cp:	Calcopirita
cz:	Cuarzo
EDS:	Espectrómetro de energía dispersiva de rayos X
ef:	Esfalerita
FPs:	Feldespatos
GGs:	Gangas
gn:	Galena
h:	Hora
HDBSD:	Electrones retrodispersados
HFSE:	High field strength elements
HV:	Alto vacío
INGEMMET:	Instituto Geológico Minera y Metalúrgico del Perú
km:	Kilómetros
mc:	Marcasita
MEB:	Microscopio Electrónico de Barrido



msnm:	Metros sobre nivel del mar
Nb:	Niobio
NPs:	Nicoles paralelos
NXs:	Nicoles cruzados
OPs:	Minerales opacos
OxsFe:	Óxidos de hierro
po:	Pirrotita
py:	Pirita
SE:	Electrones secundarios (Secondary Electron)
VP:	Presión variable



## RESUMEN

La zona de estudio está ubicada al Sur del territorio peruano, al norte de la región de Puno, en la cordillera oriental, al Sureste de la concesión Ana María I, La Rinconada, Ananea. Se identificó variedades auríferas en los mantos de cuarzo, pero a diferentes cotas. Estas variedades difieren de las tonalidades de amarillo metálico del oro, consecuencia de aleaciones naturales de elementos químicos metálicos. Esto llevó como objetivo determinar mediante la caracterización microscópica, qué elementos químicos metálicos están aleados naturalmente en las variedades auríferas orogénicas. La metodología aplicada para esta investigación es descriptiva, lo cual consiste en realizar el estudio desde la escala macro a micro; en la fase de campo se desarrolló el mapeo geológico y extracción de muestras, y en la fase de gabinete II la preparación de muestras para la caracterización microscópica, haciendo uso de la microscopia moderna de polarización luz reflejada y transmitida, y el microscopio electrónico de barrido con espectrómetro de energía dispersiva de rayos x. Las variedades auríferas según sus tonalidades y con respecto a los niveles de cotas relativos, se destaca que en la zona más baja se ubica el oro tinte amarillo verdoso, en la zona intermedia el oro tinte amarillo y en la zona alta el oro tinte amarillo rojizo. En los resultados obtenidos se verifica que el oro orogénico tiene aleación con diferentes elementos químicos metálicos como Ag, Fe, As, Mn, W, Cd y la presencia anómala de Nb, es decir que las tonalidades auríferas es consecuencia de la presencia de elementos químicos metálicos y pese a ello la calidad aurífera es buena.

**Palabras Clave:** Aleaciones, caracterización microscópica, oro orogénico.



## ABSTRACT

The study area is located in the south of the Peruvian territory, north of the Puno region, in the Eastern Cordillera, southeast of the Ana María I concession, La Rinconada, Ananea. There are gold varieties in the quartz mantles, but at different levels. These varieties differ on the metallic yellow tone of gold, consequence of natural alloys of metallic chemical elements, this led to determine through microscopic characterization, which metallic chemical elements are naturally alloyed in orogenic gold varieties. The methodology applied for this research is descriptive, which consists of carrying out the study from the macro to micro scale; in the field phase the geological mapping and sample extraction were developed, and in the cabinet phase II the preparation of samples for microscopic characterization, making use of modern transmitted and reflected light polarization microscopy, and scanning electron microscope with x-ray energy dispersive spectrometer. The auriferous varieties according to their tonalities and with respect to the relative levels of heights, it is highlighted that in the lower zone there is a greenish-yellow tint gold, in the intermediate zone the yellow tint gold and in the upper zone the reddish-yellow tint gold. In the results obtained it is verified that orogenic gold is alloyed with different metallic chemical elements such as Ag, Fe, As, Mn, W, Cd, and the anomalous presence of Nb, that is to say that the gold tones are a consequence of the presence of elements metallic chemicals and despite this the gold quality is good.

**Key Words:** Alloys, microscopic characterization, orogenic gold.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

En la Cordillera Oriental al Sureste del Perú, tiene un gran potencial aurífero, abarcado por los yacimientos del tipo orogénico, cuya mineralización se emplaza en vetas, mantos, venillas hospedados en las rocas metamórficas del Paleozoico Inferior.

Uno de los potenciales auríferos como zona de estudio es la mina La Rinconada conformada por cuarcitas y pizarras negras, con láminas de siltitas de la formación Sandía con presencia de oro visible y diseminado que pertenecen al periodo del Ordovícico; lo característico son las variedades auríferas según su coloración, acompañado de una diversa mineralogía, lo cual despertó el interés de investigar qué elementos metálicos determinaría esta reacción aurífera.

El trabajo se lleva a cabo específicamente en el cerro San Francisco, donde la Corporación Minera Ananea SA tiene sus labores de extracción de mena aurífera. Como objetivo en esta investigación es determinar qué elementos metálicos influyeron en la variación de oro orogénico mediante la caracterización microscópica, basándose en estudios previos de petrografía y minerografía. Mediante esta información entenderemos mejor la distribución aurífera – mineralógica en las diferentes zonas del Cerro San Francisco.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la última década el oro tuvo una gran acogida por la elevación de su precio, lo cual se está convirtiendo en un metal precioso requerido por diferentes temas (reservas) y su exploración es cotizada. El Perú es rico en recursos minerales y es importante conocer su geología. Los lugares más explorados son las cordilleras, entre ellas tenemos al sur del territorio peruano, la cordillera oriental donde abarca un gran potencial aurífero,



y como ejemplo está Ananea y la Rinconada, son minas muy conocidas donde se extrae oro y son muy requeridas por el mercado, lo cual llevo a cabo el interés específico de saber ¿Por qué lo requieren?

Específicamente en el cerro San Francisco, donde labora la Corporación Minera Ananea SA. se identificó variedades auríferas en los mantos de cuarzo, pero a diferentes cotas. Estas variedades están dependiendo de las tonalidades del amarillo metálico del oro a causa de aleaciones naturales de elementos químicos metálicos, pero no sabemos sus identidades.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las características petromineralógicas de las variedades auríferas en el cerro San Francisco?

¿Cuáles son las características mineragráficas de las variedades existentes en la zona de estudio?

Con el estudio MEB ¿Cuáles son los elementos químicos metálicos que están aleados a cada variedad aurífera en base a sus tonalidades naturales?

## **1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Es factible determinar los elementos químicos metálicos que están aleados a cada variedad aurífera en base a sus tonalidades, además de su calidad y pureza, mediante la caracterización microscópica aplicando los estudios petrográficos, mineragráficos y el análisis elemental de microscopia electrónica de barrido (MEB) con espectrómetro de energía dispersiva de rayos x (EDS).



## **1.4. OBJETIVO**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar mediante la caracterización microscópica, qué elementos químicos metálicos están aleados naturalmente en las variedades auríferas orogénicas en las rocas del paleozoico de la Formación Sandia, en el cerro San Francisco, distrito de Ananea.

### **1.4.2. Objetivo específicos**

- Realizar el estudio petrográfico de minerales transparentes en secciones delgadas.
- Estudiar la minerografía de los minerales opacos asociados a las variedades auríferas.
- Realizar el análisis elemental de las variedades auríferas en Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).
- Verificar la geoquímica mineral de las variedades auríferas en el cerro San Francisco.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Durante años la geología económica se ha dedicado al estudio de los minerales de mena como fuente de desarrollo económica de cada país a través de los diferentes yacimientos mineros, entre ellos el metal máspreciado es el oro, además del platino, plata, cobre, etc.

Las rocas del Paleozoico al Sureste del Perú, guardan una gran historia geológica gracias a la presencia de oro hospedado en las rocas del Ordovícico y Silurico-Devónico distribuido en vetas y mantos de cuarzo. Tal caso tenemos, la presencia de oro visible en el yacimiento de tipo orogénico de la mina La Rinconada y Ananea que oscila con leyes



de 0.15gr/tn hasta 100gr/tn. lo característico en este yacimiento es la manifestación de las variedades auríferas orogénicas en diferentes tonalidades de amarillo metálico del oro, emplazados en mantos de cuarzo acompañado de una variable mineralogía. Por la falta de información sobre la ocurrencia y calidad aurífera de la zona de trabajo, se motiva a realizar esta investigación de carácter microscópico, describiendo qué elementos químicos metálicos están aleados naturalmente e intervienen en este fenómeno mineralógico.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

En INGEMMET como parte de la investigación geocientífica, publicó una memoria descriptiva sobre la Geología Económica de la Región de Puno, hace mención al yacimiento de tipo orogénico de la mina La Rinconada como activa y con un gran potencial aurífero, emplazadas en cuarcitas y areniscas cuarzosas interestratificadas con niveles de pizarras silicificadas de la Formación Sandia. (Acosta, 2011).

La actividad de extracción de oro en la mina la Rinconada, se lleva a cabo por más de 45 años aproximadamente por mineros artesanales. De las averiguaciones realizadas a antiguos mineros, reconocen que existieron calidades de oro detallando que, el oro que se encuentra en los niveles más bajos (Lunar de oro) son de baja calidad por su tonalidad amarillo pálido, y el oro que se encuentra en los niveles más altos (Comuni) son de mejor calidad por su color amarillo intenso, lo cual es el problema y objeto de estudio (Figura 1).



**Figura 1.** Vista panorámica del cerro San Francisco. Fuente. (Quispe A.)



Al este de China, en el depósito de oro Linglong, se encuentra el primer hallazgo de niobio (Nb) anómalo en oro nativo y plata, haciendo uso del análisis composicional en microscopía electrónica de barrido. El enriquecimiento de HFSE que incluye cromo (Cr) y niobio (Nb) en los gramos de oro y plata, menciona que los fluidos formadores de minerales son producto de magmas de alta temperatura. En sus estudios de inclusiones fluidas, indican que los fluidos mineralizantes subieron rápidamente desde la profundidad y la precipitación de metales ocurrió a través de la descompresión en zonas menos profundas. Estos dos elementos Cr y Nb son elementos estables y relativamente inactivos durante procesos metamórficos, lo cual quiere decir que son indicadores robustos de composiciones de fuentes primitivas. (Yang et al., 2013).

## **2.2. PROPIEDADES DEL ORO**

El oro pertenece a la clase I de los elementos químicos, generalmente se manifiesta como masas compactas, granos, grumos o diseminados, (Schumann, 2004). Una de las propiedades físicas del oro es su color característico, el cual viene a ser el amarillo tinte rojizo cuando es puro, raya amarilla brillante, lustre metálico, y como propiedades químicas se logró detectar con microsonda de electrones que el oro comúnmente contiene Ag, Cu, Fe y raramente Pb, Ti, Sb, Hg, V, Bi, Mn, As, Sn, Zn, Pd, Pt, Cd, (Jhon W. et al, 2005). En ciertas ocasiones el oro nativo puede tener contenido de plata entre 2 a 20%, y como consecuencia puede aclararlo. Es un metal muy resistente, intacto al oxígeno del aire y ácidos, es soluble solo en agua regia (mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico); el peso específico del oro puro es  $19.32 \text{ g/cm}^3$ , (Medenbach et al, 2005).

La formación del oro es normalmente en filones hidrotermales, asociado al cuarzo y sulfuros, además se puede localizar oro aluvial en granos en los lechos aluviales, (Pellant, 1993).

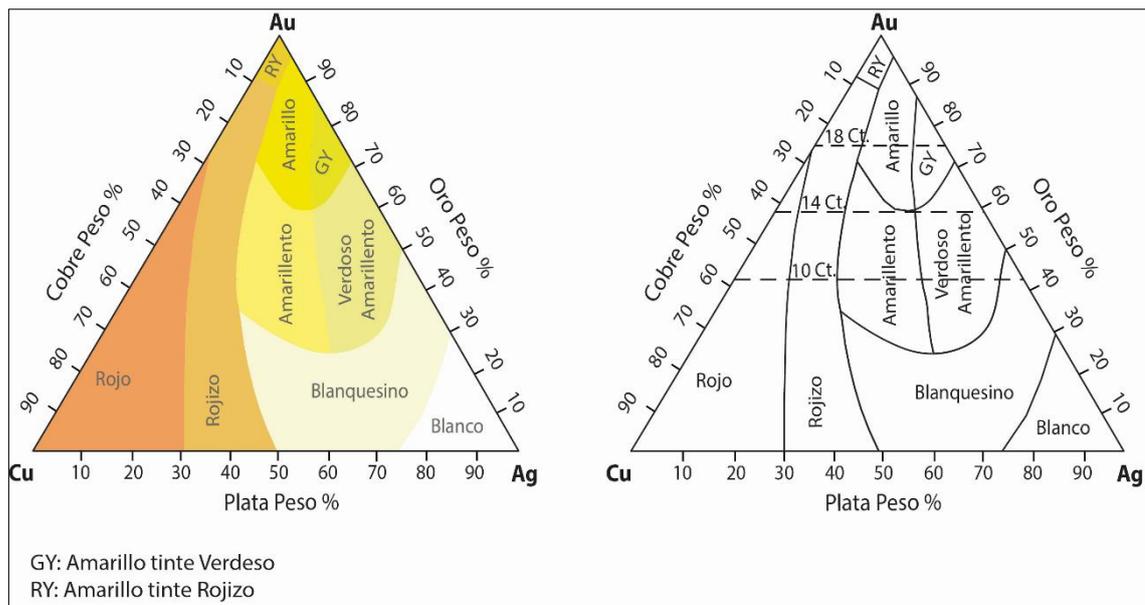
**Tabla 1.** Propiedades físicas del oro nativo.

<b>Propiedades físicas</b>	
Brillo	Metálico
Transparencia	Opaco
Color	Amarillo fuerte.
Raya	Amarilla
Dureza (Mohs)	2½ - 3
Tenacidad	Maleable
Clivaje	No tiene
Fractura	Serrada (metal roto)
Densidad	15 – 19.3 g/cm <sup>3</sup> medida; 19.309 calculada
Hábitos	Arborescente; granular; laminar
Magnetismo	No tiene
Luminiscencia	No tiene

Fuente. (Serna L. et al, 2017).

### 2.2.1. Aleaciones del oro – coloraciones

Se puede obtener tonalidades, matices y colores en el sistema Au – Ag – Cu mediante su variación composicional, tal como se muestra en el diagrama de fase ternario (Figura 2), como regla general se considera que la adición de cobre al oro, da un tinte rojizo a la aleación y la adición de plata hace la aleación verdosa. (Cretu y Van der Lingen, 1999).



**Figura 2.** Relación entre color y composición en el sistema ternario Au-Ag-Cu.

Más variedades de colores pueden ser obtenidos por la adición de níquel (Ni), zinc (Zn), cadmio (Cd) o manganeso (Mn), por ejemplo, el cadmio aleado al oro su resultado se inclina al color verdoso. (Serin et al., 2014).

### 2.3. ELEMENTOS DE ALTO POTENCIAL IÓNICO (HFSE)

Dentro de la clasificación de elementos traza es necesario y de gran ayuda subdividir a los elementos químicos en compatibles e incompatibles esto según la razón carga/radio, conocido como potencial iónico ( $\phi$ ). Lo cual, tomando en consideración que los cationes son pequeños y muy cargados son conocidos como “High field strength elements” (HFSE), conocido también como elementos de alto potencial iónico, y para ser categorizada su potencial iónico debe ser mayor a 2 ( $\phi > 2$ ) y si los cationes son grandes y de carga pequeña son conocidos como “Low field lithophile elements” (LFSE), ( $\phi < 2$ ). Los elementos con un radio iónico pequeño y relativamente bajos en carga tienden a ser categorizados como compatibles, a esto se le atribuye a los elementos mayores y metales de transición. Entonces, a todo esto, es importante mencionar que los elementos de similar carga y tamaño tendrán un comportamiento geoquímico similar. (Figura 3). Los HFSE





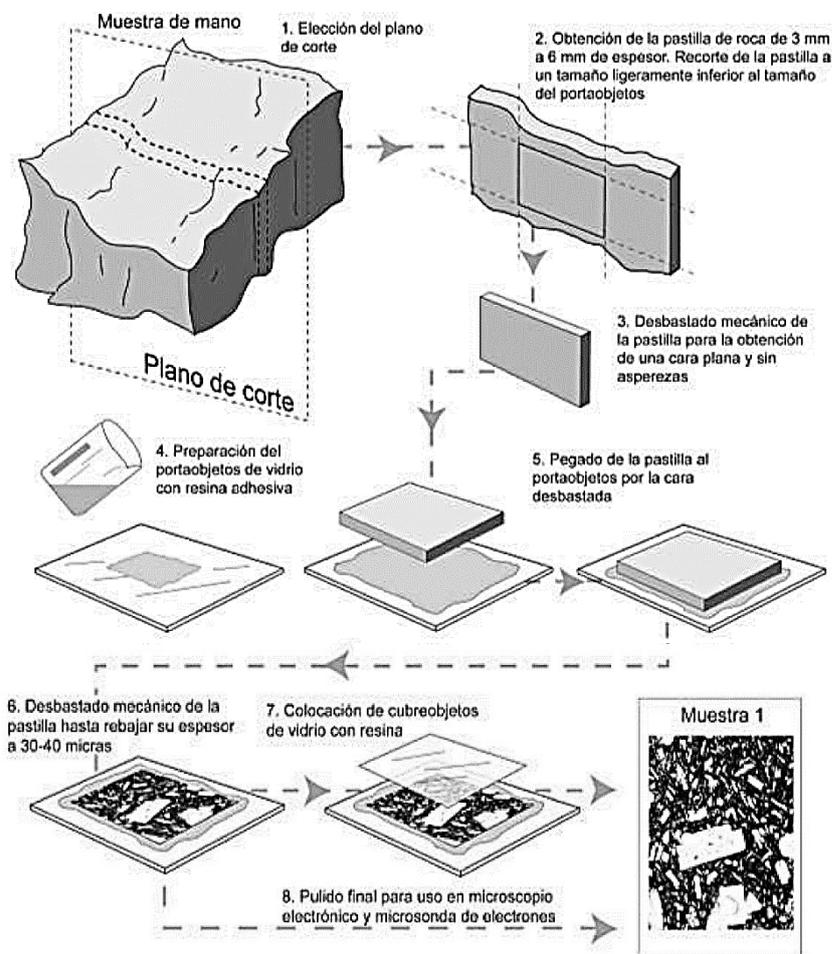
### 2.4.1. Estudio en microscopía de luz transmitida

Para la observación y descripción de rocas se requiere un microscopio polarizado con luz transmitida, lo cual requiere en primer lugar la preparación de láminas o secciones delgadas con un espesor fijo y uniforme de 0.03mm (30 micras). Se distinguen 3 tipos de observaciones según el sistema de iluminación y polarización: Luz natural, Luz polarizada y Luz convergente.

- **Luz natural:** son observaciones con el polarizador inferior (siempre introducido en un microscopio de polarización) pero sin cruzar el polarizador superior (analizador). En esta etapa se analizará la exfoliación, la determinación del relieve.
- **Luz polarizada:** se refiere a las observaciones con los polarizadores cruzados. El color observado en la luz polarizada es característico de la diferencia entre los índices de refracción proyectados en el plano de la lámina, es decir, interferencia de la luz con el mineral, llamado color de birrefringencia (diferencia entre índices de refracción) se puede determinar usando la tabla de colores de Michel-Lévy. Además del ángulo de extinción.
- **Luz polarizada convergente:** se utiliza el objetivo de mayor aumento posible y se introduce el condensador del microscopio situándolo en la parte más alta cerca de la lámina delgada (iluminación conoscópica). Con el polarizador superior introducido (cruzado) se observa la figura de interferencia producida directamente quitando el ocular del microscopio, o bien introduciendo la lente de Bertrand. Dicha figura de interferencia puede estar formada por una cruz extinguida, figura uniáxica (Dorado, 2015).

### 2.4.2. Secciones delgadas

El microscopio de luz transmitida necesita de muestras adecuadamente preparadas bajo secciones delgadas (Figura 4). Las muestras son rigurosamente seleccionadas de la zona de estudio, esto puede ser venillas o la masa fundamental de la roca; luego se realiza el corte de la porción seleccionada, donde se debe realizar dos cortes paralelos con una separación de aproximadamente 1mm, pulir una cara y pegarla sobre una lámina porta objetos, pulirlas hasta desaparecer las irregularidades hasta obtener un espesor de  $30\mu\text{m}$  y finalmente cubrirla con una lámina cubre objetos (Rivera, 2010).



**Figura 4.** Proceso de preparación de una muestra de roca en sección delgada. Fuente. (Dorado).



## **2.5. MINERAGRAFÍA**

Es una rama dedicada al estudio de la identificación de minerales metálicos (opacos) asociados a la mineralización, y ayuda a determinar la relación mutua de la evolución en el tiempo y espacio. Los minerales opacos son estudiados solo bajo la microscopia de luz reflejada, debido a su propiedad absorber la luz (Picot y Johan, 1982).

### **2.5.1. Estudio en microscopía de luz reflejada**

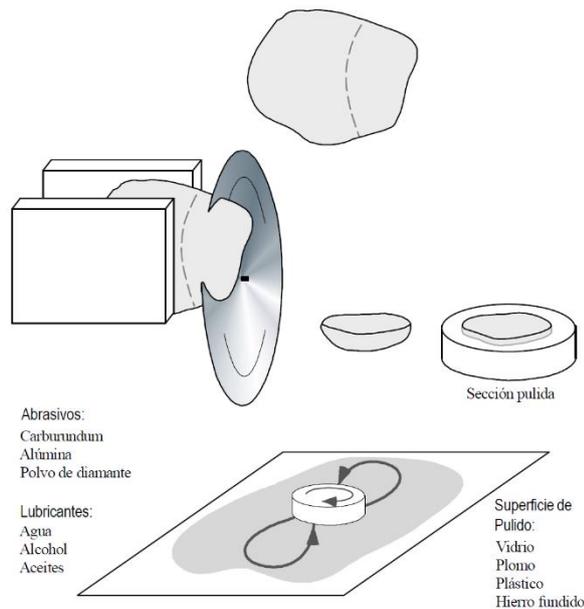
La microscopia de polarización con luz reflejada se emplea para el estudio de minerales opacos, es decir cuerpos que no dejan pasar la luz. En este campo nos referimos al termino Mena a los minerales opacos y el termino ganga a los minerales translucidos que acompañan a los primeros.

El estudio de los minerales opacos con microscopio de polarización de luz reflejada es una técnica muy importante, enfocado a investigaciones de yacimientos metálicos y no solo es para determinar a los minerales de mena, sino también para estudiar sus relaciones geométricas como textura y estructura, la secuencia paragenética o el orden aparición y las alteraciones; de esta forma se obtiene información base para plantear modelos genéticos de yacimientos o para guiar a los procesos metalúrgicos (Rivera, 2010).

### **2.5.2. Secciones pulidas**

El microscopio de luz reflejada necesita de muestras adecuadamente preparadas bajo secciones pulidas (Figura 5), para ello debemos considerar que las muestras sean sólidas y representativas de la zona de estudio, en caso que la muestra es deleznable o muy delicada, será recomendable impregnarla con resina o bálsamo de Canadá al vacío, con lo cual la muestra adquiere mayor cohesión para luego realizar el corte de la porción

seleccionada. El trozo cortado se desgastará en una briqueeta de resina epoxy u otro producto similar, para luego desgastarlas sobre superficies de pulido con abrasivos cada vez más finos empezando con el carborundum y culminado con alúminas o con polvo fino de diamante. Con cada abrasivo se trabajará hasta que desaparezcan las irregularidades obtenidas con el abrasivo anterior (Rivera, 2010).



**Figura 5.** Proceso de preparación de una muestra de roca en sección delgada.

Fuente. (Dorado).

## 2.6. PETRONIMERAGRAFÍA

### 2.6.1. Estudio en microscopio electrónico de barrido (MEB)

Es una técnica de análisis topográfico, estructural y composicional, en términos generales es capaz de tomar una imagen de una muestra, aunque realmente lo que detecta es la respuesta al material al impacto de un haz de electrones (electrones llamados primarios), en vez de registrar fotones propiamente dichos (como en la microscopia óptica). Al ser impactada la muestra por el haz de electrones de alta energía, la muestra



produce una serie de señales que son registradas por los detectores del equipo, donde cada una de las señales ofrece información independiente acerca de la topografía, composición y hasta la conductividad eléctrica de la muestra.

Para adquirir la imagen se hace mover el haz en un plano XY (con sistemas ópticos, antes de impactar la muestra) de forma que recorra el área deseada. La resolución que puede alcanzar; es decir la capacidad de distinguir la imagen entre dos puntos diferentes pero próximos entre sí, en la superficie del material, puede ser tan alta como 2nm. En resumen, se puede afirmar que los resultados en MEB son información topográfica, morfología, de composición química, cristalografía, (estructura y orientación de grano) y de dinámica de reacciones (experimentos in situ), (Clavijo, 2013).

Las técnicas de microscopia electrónica son útiles al momento de producir imágenes de las superficies de las muestras a una resolución muy alta (Cerquera et al., 2017).

### **2.6.2. Usos del microscopio electrónico de barrido**

Según el autor (Cerquera et al., 2017), se tiene varios usos del microscopio electrónico de barrido, de los cuales enlista las principales:

- Análisis morfológico de superficies sólidas (rocas, polímeros, materiales metálicos, cerámicos, biológicos, etc.) mediante imagen de electrones secundarios (SE) y análisis de composición y topografía mediante imagen de electrones retrodispersados (BSE).
- Identificación de minerales.



- Análisis químico elemental por EDS, cualitativo (espectro con los elementos detectados) y semicuantitativo (se reporta en % peso y % átomos de cada elemento detectado).
- Determinación de tamaño de partícula.
- Análisis de porosidad (% área porosa) (De gran importancia en nuestro análisis).
- Identificación de micro-fracturas y micro-deformaciones.

### **2.6.3. Microanálisis de rayos x por dispersión de energías (EDS)**

El MEB puede incorporar un detector de rayos X del tipo “dispersivo” en energía (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) que permite identificar cuáles son las energías de los rayos X emitidos por la muestra, y por lo tanto saber que elementos químicos existen en la muestra. Esta técnica sirve para hacer análisis elemental y mapeo químico.

De este modo, al espectro continuo de rayos X, originado por la radiación de frenado, se le superpone una serie de picos que se corresponden con las radiaciones características de cada uno de los elementos presentes en la muestra. Por tanto, este método es práctico en tiempo y costo para realizar análisis cualitativos puntuales (este análisis cualitativo se puede transformar en cuantitativo). Puesto que el haz de electrones que excita la muestra puede ser muy fino (menos de 1  $\mu\text{m}$ ), el uso del EDS en el MEB permite identificar los elementos presentes en volúmenes de muestra inferiores a 1  $\mu\text{m}^3$ . No obstante, debido a que puede trabajar con bajas corrientes de sonda, es un método muy poco destructivo, que lo convierte en imprescindible para el análisis semicuantitativo de cristales de tamaño de grano muy fino (menos de 1  $\mu\text{m}$ ), incluso hidratados, y en muestra rugosa. Por consiguiente, el microanálisis semicuantitativo mediante MEB-EDS es una herramienta potencialmente muy poderosa y posiblemente infrautilizada actualmente en el campo de las Ciencias de la Tierra (Melgarejo et al., 2010).

Es una poderosa herramienta que contribuye a determinar los minerales de difícil diferenciación óptica y determina la composición elemental específica de un mineral. Su observación se basa en detectores, donde la superficie de la muestra es bombardeada por haz de electrones de alta energía como:

- Electrones secundarios (Secondary Electrons): donde se obtiene la información sobre la composición y topografía de la muestra.
- Electrones retrodispersados: (backscattered electrons): donde se obtiene la información de las diferencias de composición.

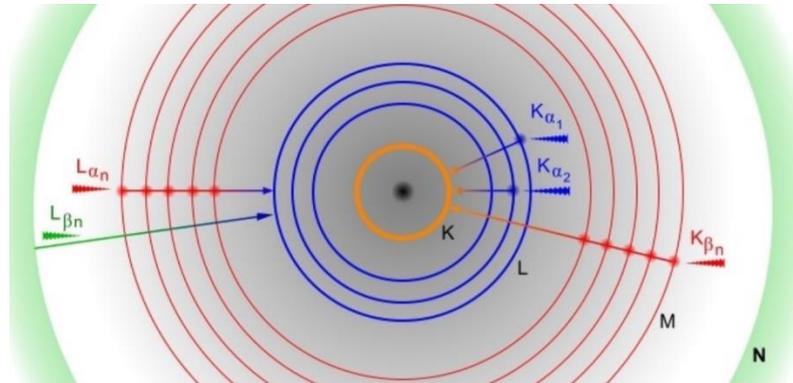
Este proceso es esencial para la caracterización de menas auríferas. (Londoño et al., 2010).

#### **2.6.4. Producción de rayos x en MEB**

Los rayos x se producen cuando el haz de electrones bombardea la muestra. Los electrones del haz primario interacciones con la muestra, como resultado ceden su energía a los átomos de las mismas y éstos pasan a estados excitados. De esta forma, se emiten fotones cuya energía corresponde a la diferencia entre los niveles implicados y se encuentra dentro del rango de rayos x.

La nomenclatura utilizada es la clásica para estos niveles energéticos. La capa K es la más cercana al núcleo y la que se produce inicialmente, lo fotones de las capas siguientes pueden caer a ella emitiendo un fotón K, denominado K con subíndice  $\alpha$ ,  $\beta$ , etc, dependiendo de que el electrón proceda a la capa L, M, etc, (Figura 6). Al tener capas de distinto nivel energético, las señales estarán ordenadas de mayor a menor: K, L, M...y siempre las subseñales  $\beta$  serán de mayor energía que las  $\alpha$ .

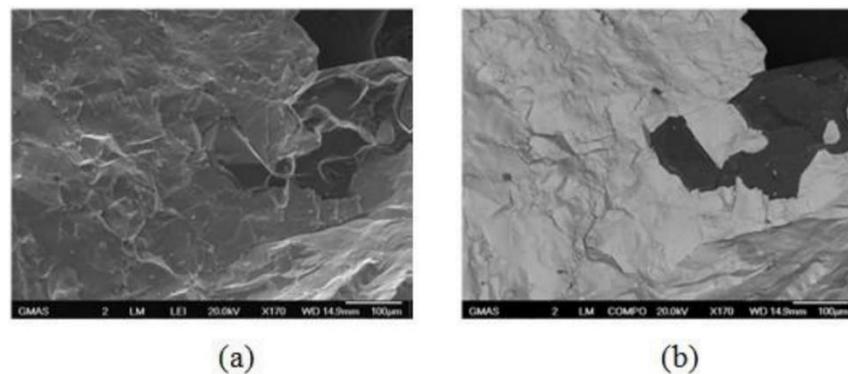
Atendiendo a su mayor intensidad y su mayor probabilidad de producirse, principalmente tendremos en cuenta los rayos del tipo K y L (o L y M para los elementos de mayor número atómico) y los subtipos  $\alpha$  y  $\beta$  (Martinez, 2010).



**Figura 6.** Imagen de emisión de rayos x de distintas energías

### 2.6.5. Análisis morfológico de superficies

Para obtener fotomicrografías en MEB y verificar la morfología superficial sólida de una partícula cualquiera (Figura 7), se analiza mediante los electrones secundarios (SE). La topografía y análisis de composición se realiza mediante imagen de electrones retrodispersados (BSE). (González et al. 2017).



**Figura 7.** (a) Imagen de roca por SE. (b) Imagen de roca por BSE.



### **2.6.6. Preparación de muestras para MEB**

Para el estudio de muestras de rocas en MEB, las muestras deben tener una similar preparación que las secciones pulidas, pero con mayor cuidado con el fin de obtener los mejores resultados de alta resolución espacial (1 nm = 10-10 mm). En esencia la superficie debe ser plana y perfectamente pulida para evitar efectos de relieve no deseados en las señales analizadas. El pulido se hace en pasos sucesivos con tamaños de grano decreciente del abrasivo (diamante o alúmina). Finalmente, la muestra debe ser provista de una delgada capa (unos Angstrom de espesor) de una sustancia conductora (grafito) (Dorado, 2015).

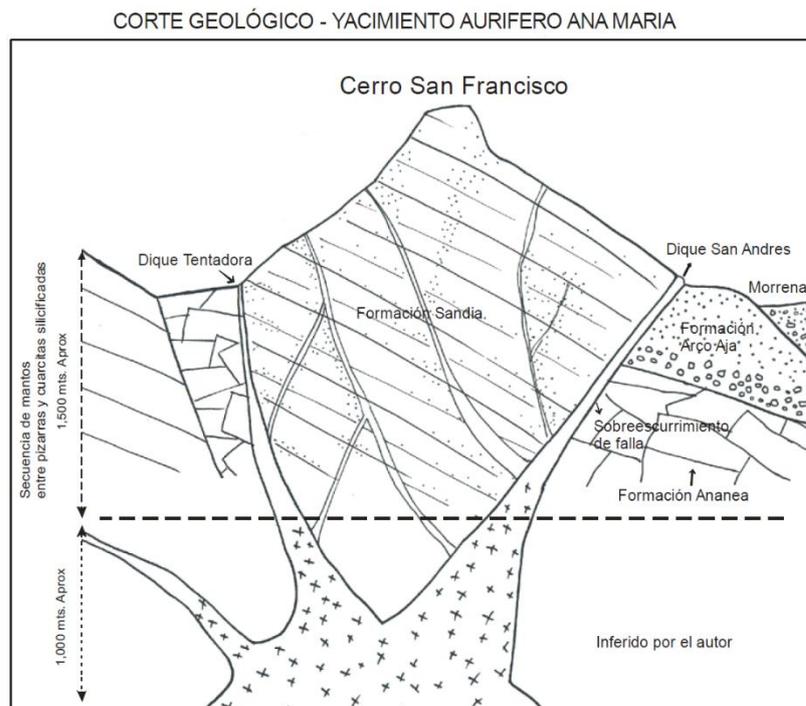
## **2.7. GEOLOGÍA REGIONAL**

El área de estudio se encuentra dentro de la primera franja metalogénica de oro en rocas metasedimentarias del Ordovícico y Silúrico – Devónico. Podemos decir que a principios del Paleozoico inferior se originaron procesos extensionales (rifting) y adelgazamiento cortical, en donde actualmente se encuentra en el flanco Este de la Cordillera Oriental, formando una extensa cuenca sedimentaria marina (cuenca paleozoica: Fm. San Jose, Fm. Sandia, Fm. Ananea), posteriormente eventos tectónicos compresivos y transpresivos en el margen de la placa convergente ocasionaron una orogénesis colisional y acresional, donde estos eventos ocasionaron la mineralización del oro con la removilización de eventos termales (Valencia et al., 2013).

### **2.7.1. Formación Sandia**

Es la unidad litoestratigráfica más antigua del Paleozoico, constituida por una secuencia detríticas de cuarcitas entrelazadas con niveles de pizarras negra. Tiene contacto con la Formación Ananea a través de un sobreescorrimiento, (Chavez et al.,

1996). Esta unidad geológica aflora ampliamente desde la zona sub central hacia el norte de todo el yacimiento, formado por cerros y nevados, con una continuación hacia las zonas posteriores de: Cuyo Cuyo, Risopata, Vilacota, Sorapata, Huancasayane y Untuca, las cuales también presentan mantos auríferos. (Laubacher, 1978) (Figura 8).



**Figura 8.** Corte Geológico – Yacimiento Aurífero Ana María. Cerro San Francisco. Fuente. (Laubacher 1978).

### 2.7.2. Formación Ananea

La Formación Ananea consiste en una gruesa serie de pizarras y esquistos. La litología de esta formación corresponde a una sucesión homogénea de pizarras negras (Laubacher, 1978). Afloran en la localidad de Ananea, en el valle, así como en la Cordillera Oriental descansando en aparente concordancia sobre la Formación Sandia. Esta formación carece de fósiles por lo que la edad de acuerdo a la posición estratigráfica y considerando que la formación Sandia es de edad Caradociano (Ordovícico Tardío Inferior), estas pizarras esquistosas cuarzosas podrían ser Silúrico – Devónico. (Acosta et al., 2011).



### **2.7.3. Formación Arco Aja**

Se destaca esta formación por estar debajo de los depósitos morrénicos recientes, de manera que su distribución se encuentra por el río Carabaya. La formación tiene un grosor de 120 m compuesta por arcillas gris en la parte baja y conglomerados masivos con lentes de areniscas en la parte superior. Su composición es mayormente cuarcitas y pizarras, (Fornari et al., 1981).

### **2.7.4. Cuaternario Morrenico**

Estos depósitos morrénicos recubren los valles glaciares antiguos que va por encima de los 4200msn, por general son morrenas que están constituidas por brechas de composición variada, (Acosta et al., 2011)

### **2.7.5. Cuaternario Glacio-fluviales**

Estos depósitos provienen de la erosión y removilización de los depósitos morrénicos debido a la desglaciación, (Acosta et al., 2011)

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA						
YACIMIENTO AURIFERO "ANA MARIA" - MINAS LA RINCONADA						
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	GROSOR mts.	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS GLACIO FLUVIALES			conglomerados sub-redondeados
			DEPOSITOS MORRENICOS	60		Morrenas y gravas subangulosas litológicamente heterogeneas
	NEOGENO	PLIOCENO	DEPÓSITOS GLACIO-FLUVIALES	30		gravas subredondeadas y subangulosas, lutitas y silitas conglomeradas
			FORMACIÓN ARCO AJA	50		conglomerados poco consolidados intercalados con lodolitas
PALEOZOICO	DEVONIANO	FORMACIÓN ANA NEA	800		pizarras gris oscuras con características laminares, niveles pelíticos micáceos y delgados, abundantes juntas desordenadas. Capas de areniscas cuarzosas	
	SILURIANO					
	ORDOVICICO	SUPERIOR	FORMACIÓN SANDIA	1,500		Pizarras negras con secuencia de cuarcitas silicificadas La secuencia de pizarras y cuarcitas silicificadas son de grano fino a medio, en capas gruesas a delgadas de color gris a blanquecino con presencia de micropliegues, y dunas u ondulaciones de varios kilómetros.
	INFERIOR	LLANVIRNIANO			secuencias de pizarras con características laminares, intercaladas con limoarcillas, probablemente del grupo San Jose	

**Figura 9.** Columna estratigráfica de la geología regional. Fuente. INGEMMET.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

Para efectuar este proyecto de investigación, fue necesario hacer el uso de diferentes materiales, instrumentos y equipos en cada etapa, desde gabinete hasta en campo.

##### 3.1.1. Instrumentos y materiales en campo

- Base topográfica
- Libreta de campo
- Picota o martillo de geólogo
- Brújula de rumbo, Brunton
- Lupa 20X
- Lápiz de dureza
- Lápiz magnético
- Combo 1.5Kg y cincel
- Bolsas polietileno
- Plumón indeleble

##### 3.1.2. Equipos y materiales en gabinete

- Útiles de escritorio
- Laptop corei7, Lenovo
- Impresora Canon



### 3.1.3. Equipos en laboratorio

- Microscopio de polarización de luz transmitida con cámara de video digital de la marca CARL ZEISS, modelo AXIO IMAGER M2
- Microscopio de polarización de luz reflejada con cámara de video digital de la marca CARL ZEISS, modelo AXIO IMAGER M2
- Microscopio Electrónico de Barrido de la marca CARL ZEISS, modelo EVO MA15.
- Petrótomo de la marca Clipper

### 3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada para esta investigación es descriptiva, lo cual consiste en hacer el estudio desde la escala macro a micro en diferentes etapas aplicando tecnologías modernas, y de acuerdo a los objetivos se procede de la siguiente manera:

- Para los estudios petrográficos y minerográficos de las variedades de oro, se tomaron muestras en los niveles < 4860 msnm donde encontramos el oro tinte amarillo verdoso, entre los niveles 4860 a 5040 msnm el oro tinte amarillo y > 5040 msnm hallado el oro tinte amarillo rojizo, siendo estos los 3 niveles referenciales en el cerro San Francisco. Para los estudios petrográficos se tomó 3 muestras de los 3 niveles, para el estudio minerográfico 6 muestras de los 3 niveles extraídas del manto aurífero; cuyos procedimientos de descripción y estudio se encuentran en el acápite 3.2.3 (A, B y C).
- Para el estudio de análisis elemental de las variedades auríferas en Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), desde la preparación de las muestras hasta el análisis elemental que se describen en el acápite 3.2.3.D. que consistió en el



análisis espectral, análisis morfológico, y análisis de detección de Elementos Secundarios (SE) y Espectrómetro de Energía Dispersiva de rayos X (EDS), cuyos resultados sirvió para la identificación de elementos químicos metálicos y analizar la geoquímica mineral de las variedades auríferas.

### **3.2.1. Etapa de gabinete I**

En esta etapa se desarrolla la preparación de los materiales necesarios, se elaboró un plano topográfico base 1:5000 y se delimitó el área de estudio que corresponde al Cerro San Francisco, en el distrito de Ananea, paraje la Rinconada, correlacionando la información con el cuadrángulo 30-Y y según la información en el Boletín N° 66, Serie A: Carta Geológica Nacional de INGEMMET. Dentro de ello, también se recopila información del área de estudio, copilado de monografías, artículos, estudios de investigación a nivel local, regional e internacional, relacionado a la ocurrencia del oro orogénico. Con la información geológica preliminar de la Corporación Minera Ananea SA se trazó los puntos estratégicos para la extracción de muestras para la caracterización microscopía.

### **3.2.2. Etapa de campo**

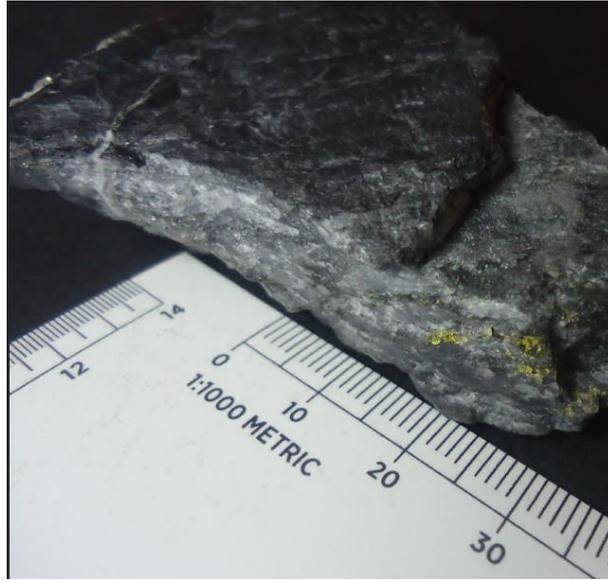
En esta etapa se desarrolla el reconocimiento geológico en base a la información preliminar y ubicación de los puntos estratégicos planteados en la etapa de gabinete I. Lo importante y principal fue la extracción de muestras representativas de cada variedad aurífera, es decir según la tonalidad del oro amarillo metálico a diferentes cotas en los diferentes niveles; para ello se pidió autorización a CMASA, quien proporcionó de manera estricta dichas muestras con ciertas limitaciones. En esta etapa se tomó 3 muestras en 3 niveles, una de cada una para el estudio petrográfico, es decir que se extrajo la pizarra

fracturada por mantos. Se extrajo 6 muestras en los 3 niveles, dos de cada una para el estudio mineragráfico, y para el estudio MEB se consideró 9 muestras.

La representatividad de la toma de muestras fue importante, el método de muestreo fue a partir del material ya extraído (grab sampling), que está dentro de la clasificación de muestreo por puntos, con el criterio de seleccionar y extraer la muestra con contenido de oro visible después del disparo de la fractura fresca mineralizada (potencia aproximado 0.06m) de los 3 diferentes niveles representando a cada variedad aurífera. Se eligió este método de muestreo por tratarse de un estudio de análisis microscópico, donde se enfoca en visualizar y describir la ocurrencia del oro. (Figura 10 y 11).



**Figura 10.** Fotografía del manto de cuarzo mineralizado.



**Figura 11.** Fotografía de la muestra del manto mineralizado extraída.

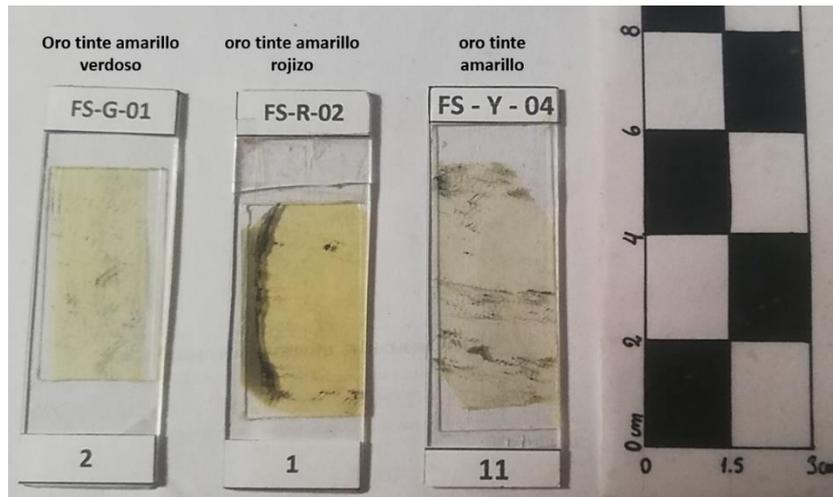
### 3.2.3. Etapa de gabinete II

En esta etapa conlleva a los procesos en laboratorio, desde la preparación de la muestra extraídas hasta su análisis en la caracterización microscópica:

#### A. Preparación de las muestras

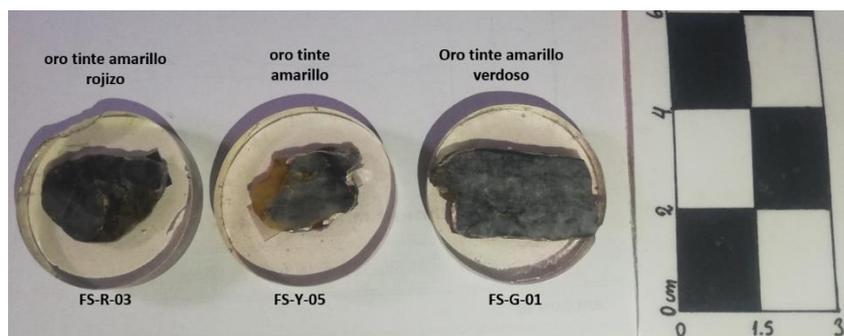
La preparación de muestras para las secciones delgadas, secciones pulidas y briquetas para MEB, fue realizada en laboratorio particular de la razón social Edy Mena, haciendo uso de un petrónimo de la marca Clipper, con discos diamantados. Para el desbastado de las secciones pulidas y briquetas para MEB se utilizó carborundo de silicio y suspensión de diamante. Las muestras de mano fueron demarcadas, codificadas y cortadas, según al estudio requerido, es decir:

- 3 secciones delgadas para el estudio petrográfico, con la representación de cada variedad aurífera, es decir del oro tinte amarillo verdoso, oro tinte amarillo y oro tinte amarillo rojizo (Figura 12).



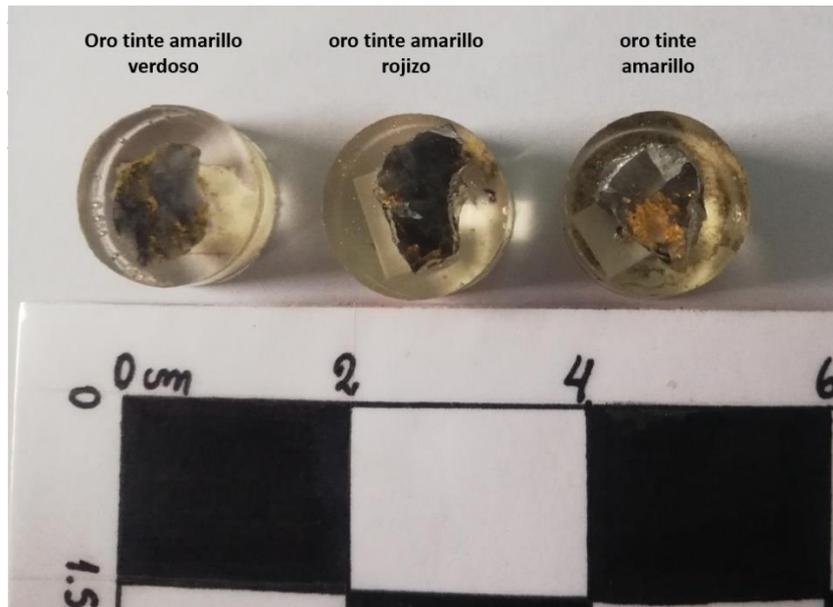
**Figura 12.** Secciones delgadas para el análisis petrográfico.

- 6 secciones pulidas para el estudio minerográfico, con doble representación de cada variedad aurífera, es decir oro tinte amarillo verdoso, oro tinte amarillo y oro tinte amarillo rojizo. (Figura 13).



**Figura 13.** Secciones pulidas para el análisis minerográfico.

- 9 secciones en briquetas preparadas para el estudio en MEB, con triple representación de cada variedad aurífera, es decir oro tinte amarillo verdoso, oro tinte amarillo y oro tinte amarillo rojizo. (Figura 14).



**Figura 14.** Preparación de muestra en briquetas para el estudio MEB.

### **B. Estudio petrográfico**

Se comprometió desde la descripción macroscópica hasta la microscópica de cada muestra. La descripción macroscópica se realizó a través de una inspección visual ayudada por una lupa portátil o de mano, la cual consistió en la identificación de los minerales constituyentes de la roca mediante pruebas físicas como color, forma, dureza, etc. Y pruebas químicas como la reacción de la muestra ante el ácido clorhídrico al 10%. Luego se realizó la descripción microscópica de las secciones delgadas a través del microscopio de polarización con luz transmitida, en este punto se determina y describe los minerales constituyentes de la roca, asociaciones, aspecto textural, porcentajes cualitativos, alteraciones y se procede a dar la clasificación de la roca de acuerdo a la composición mineralógica hallada. El microscopio de polarización de luz transmitida usado, fue de la marca (CARL ZEISS) modelo AXIO IMAGER M2, y la toma de fotomicrografía de la zona representativa fue con una cámara marca Leica modelo DFC450 C y el software LAS V.5.0.



### **C. Estudio mineragráfico.**

Se comprometió desde la descripción macroscópica hasta la microscópica de cada muestra. La descripción macroscópica se realizó a través de una inspección visual ayudada por una lupa portátil o de mano, la cual consistió en la identificación de la roca mediante pruebas físicas de color, forma, estructura, textura, granularidad, magnetismo y pruebas químicas con el uso de ácido de clorhídrico al 10%. Luego se realizó la descripción microscópica de las secciones pulidas con el microscopio de polarización con luz reflejada identificando los minerales metálicos o no transparentes, sus rasgos morfológicos, tamaños, su modo de ocurrencia, asociaciones entre ellos, reemplazamientos, texturas y porcentajes, seguido de la secuencia de formación probable de los mismos. El microscopio de polarización de luz reflejada usado, fue de la marca (CARL ZEISS) modelo AXIO IMAGER M2, y la toma de fotomicrografía de la zona representativa fue con una cámara marca Leica modelo DFC450 C y el software LAS V.5.0.

### **D. Estudio en microscopia electrónica de barrido MEB**

Para el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido es importante que se haya realizado estudios preliminares de la muestra, es decir el estudio de la petrografía y mineragrafía ya realizada, con el fin de definir el objetivo por el cual la muestra es llevada al microscopio electrónico de barrido (MEB) marca CARL ZEISS, modelo EVO MA15.

Para entender mejor el estudio en MEB, normalmente se hace uso de dos modos de trabajo para la observación y análisis de muestras, lo cual está ligado al tipo y preparación de la muestra; una es en modo de trabajo en alto vacío (HV: High Vacuum) se trabajan muestras conductoras y el otro modo de trabajo es en presión variable (VP: Variable Pressure) se trabajan muestras no conductoras. Si la muestra no es conductora



se tendrá que recubrir con una fina capa de grafito (C) o de oro (Au) aproximadamente 10nm, lo que permite un mejor análisis de áreas muy pequeñas; para esta investigación las muestras son de oro visible, es decir muestras conductoras, por lo tanto, se aplicó el modo de trabajo en alto vacío (HV).

Los detectores a usar en el equipo MEB, son los que captan las diferentes señales que emite la muestra en la interacción con los electrones, y estas son:

- Detector de Electrones Secundarios (SE: Secondary Electron), que permitió la visualización a detalle de la superficie en el modo alto vacío (HV), es decir la topografía de la muestra.
- Detector de Electrones Retrodispersados (BSE: Backscattered electrons), permitió mostrar una imagen composicional en niveles de grises lo cual varía de acuerdo al número atómico de la muestra. Se tuvo cuidado en que si la muestra presenta una superficie rugosa podría afectar el contraste de la imagen, para evitar ello las muestras fueron elaboradas en briquetas.
- Espectrómetro de Energía Dispersiva de rayos X (EDS: Energy-dispersive X-ray spectroscopy), permitió captar los rayos X característico de cada elemento y brindó información de composición suyos resultados cualitativos y semicuantitativos. Se obtuvo análisis a través de exploración puntual y mapeo (es decir un área).

## CAPITULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN

El área del proyecto de investigación, políticamente está ubicada al Sur del territorio peruano, en la Cordillera Oriental al norte del departamento de Puno, provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, entre los 4800 a 5200 m.s.n.m. (Tabla 2 y 3).

El yacimiento aurífero orogénico, cerro San Francisco está ubicada al sur de la concesión Ana María I, en el centro poblado de la Rinconada.

**Tabla 2.** Ubicación política de la zona de estudio.

<b>Ubicación del proyecto de investigación</b>	
Lugar de ubicación	Cerro San Francisco
Distrito	Ananea
Provincia	San Antonio de Putina
Departamento	Puno

**Tabla 3.** Ubicación de la zona de estudio.

<b>Coordenadas UTM zona de la estudio</b>	
Norte	8383365
Este	452607
Elevación	4800 – 5200 msnm

#### 4.2. ACCESIBILIDAD

Para llegar a la zona de estudio es por vía terrestre, iniciando el recorrido desde la ciudad de Puno a la ciudad de Juliaca en carretera asfaltada de 45 km, de Juliaca se toma la vía hacia San Antonio de Putina por carretera asfaltada de 92 km, de San Antonio de Putina se toma la vía hacia Ananea por carretera asfaltada de 59 km, de Ananea se toma la vía hacia el centro poblado la Rinconada por carretera trocha carrozable de 18 km, del

centro poblado la Rinconada se toma la vía hacia cerro san francisco por carretera trocha carrozable de 1.5 km. Tabla 4.

**Tabla 4.** Accesibilidad a la zona del proyecto de investigación.

<b>Ubicación (desde – hasta)</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Carretera</b>	<b>Tiempo (h)</b>
Puno – Juliaca	42	Asfaltada	0:45
Juliaca - San Antonio de Putina	92	Asfaltada	1:40
San Antonio de Putina - Ananea	59	Asfaltada	1:00
Ananea - Rinconada	18	Trocha	0:30
Rinconada – C° San Francisco	1.5	Trocha	0:10

### **4.3. CLIMA**

La zona presenta un clima frígido durante todo el año, con cambios bruscos de temperatura que varía desde los  $-11^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ , las precipitaciones son variables, es decir pueden cambiar durante el día entre la lluvia, granizo y nevada con fuertes corrientes de aire, esto ocurre con mayor intensidad en los meses de noviembre y diciembre. En una noche de nevada, la altura de la nieve en el piso puede alcanzar 50cm.

### **4.4. GEOLOGÍA LOCAL**

El área de estudio se encuentra dentro de la formación Sandia; a nivel local, la zona de estudio se encuentra en la concesión Ana María 1, en el cerro San Francisco, donde labora la Corporación Minera Ananea SA.

#### **4.4.1. Litología**

El área de estudio está emplazada en cuarcitas y areniscas cuarzosas de color gris plomo interestratificadas con niveles de pizarra que se encuentran comúnmente silicificadas.

Existen tres tipos de cuarcitas:

- Areniscas cuarzosas de color gris claro de grano fino a medio.
- Cuarcitas gris oscuras de grano fino.
- Cuarcitas blancas de grano fino a medio.

Además, está compuesta de lutitas pizarrosas y esquistosas gris oscuras de grano fino y lutitas pizarrosas negras, bituminosas, foliación moderada, de grano fino en bancos gruesos.

#### 4.4.2. Mineralogía

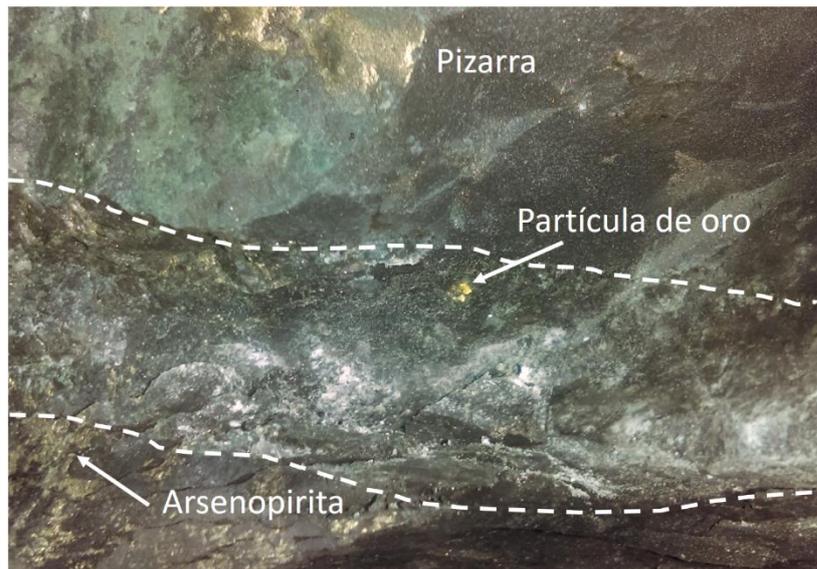
La zona de estudio está controlada por un sistema de mantos, que son de 2 a 20 cm, se encuentran emplazadas concordantes a las estratificaciones entre pizarras y cuarcitas. El mineral de cuarzo, es predominante en los mantos y vetas, es del tipo lechoso y ahumado.

Texturalmente en algunos mantos se presenta una textura del tipo cebrá, entre el cuarzo y la pizarra (Figura 15), con espesores entre 2cm a 10cm, pero sin ley de oro. En las vetas y diques, el cuarzo es lechoso con presencia de limonita y clorita, en espesores irregulares sin ninguna confiabilidad de concentración de oro cortando la secuencia de los mantos, con una distribución no confiable, es decir que posiblemente haya una concentración de oro macizo.



**Figura 15.** Manto tipo cebrá entre en el Cuarzo y Pizarra.

El oro se encuentra visible y diseminado en los mantos de cuarzo. El comportamiento del manto, es una estructura de relleno entre las fracturas de la roca metamórfica (pizarra), donde se encuentran deformados por el metamorfismo. En la Figura 16, se muestra el manto de cuarzo con una potencia de 7 cm aproximadamente, como fractura de relleno en la roca caja que es la pizarra junto a la arsenopirita, dentro de ella se muestra una partícula de oro visible.



**Figura 16.** Partícula de oro en manto de cuarzo ahumado.

La mineralogía que acompaña a los mantos y vetas son la pirita (py), arsenopirita (apy), pirrotita (po), marcasita (mc), galena (gn), esfalerita (ef), óxidos de hierro, calcopirita (cpy) y oro (Au).

#### 4.4.3. Estructural

En la parte estructural los mantos tienen un rumbo promedio de Oeste a Este, con una dirección de buzamiento al Sur, con un ángulo promedio de  $20^{\circ}$  –  $25^{\circ}$  (Figura 17). A nivel local las estructuras se ven involucradas por “el dique” (anteriormente llamado dique tentadora), con una influencia de sub-fallamiento de hasta 200m en su caja techo –

piso. (Quispe A., 2013). El dique es una falla inversa con rumbo N120E aproximadamente. La mineralización del dique es de cuarzo lechoso, gran parte está cubierta por contenido de óxidos, a causa de las fuentes de agua que circulan en las fracturas de la roca caja del dique. Las diversas fallas son producto del dique, generando fracturas falladas inversas en su mayoría, con rumbos de SE.



**Figura 17.** Fractura de relleno (manto mineralizado) como control mineralógico.

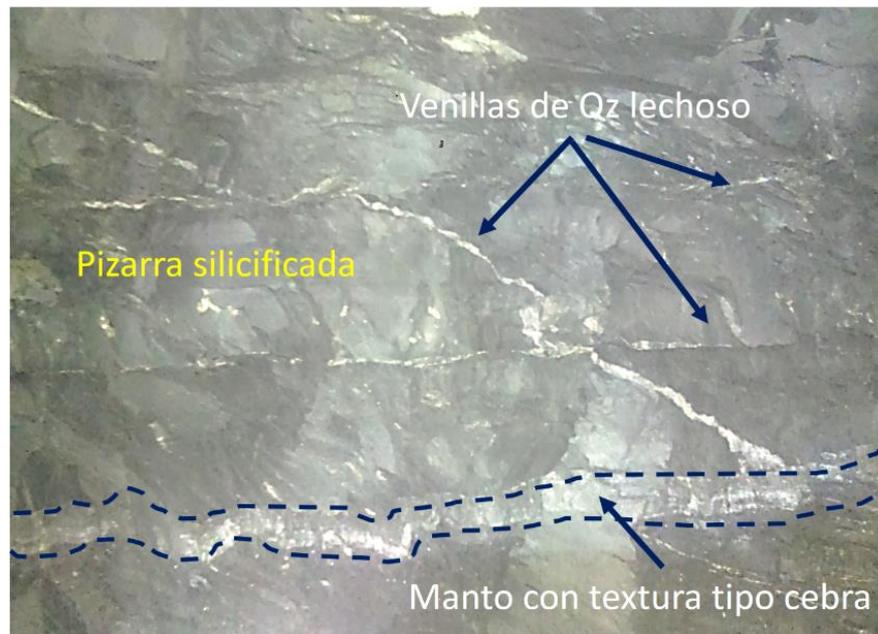
#### 4.4.4. Alteraciones

El área de estudio generalmente se encuentra alterada por la mineralización económica (mantos de cuarzo), debido al relleno hidrotermal de alta temperatura, los cuales tenemos:

- **Silicificación:** la roca caja (pizarra) presenta una alteración de silicificación de moderada a fuerte, donde se puede apreciar vetillas de cuarzo blanco estéril (1 – 2cm) en su entorno. (Figura 18).
- **Alteración clorítica:** la alteración clorítica es débil y están presentes en algunas vetillas y mantos entrecruzadas en algunos tramos. Además, se muestra

diseminaciones finas dentro de los mantos de cuarzo estéril tipo cebra. (Figura 20).

- **Sericitización:** esta alteración se presenta en las cajas o paredes de los mantos de forma laminar, es decir muy delgadas.

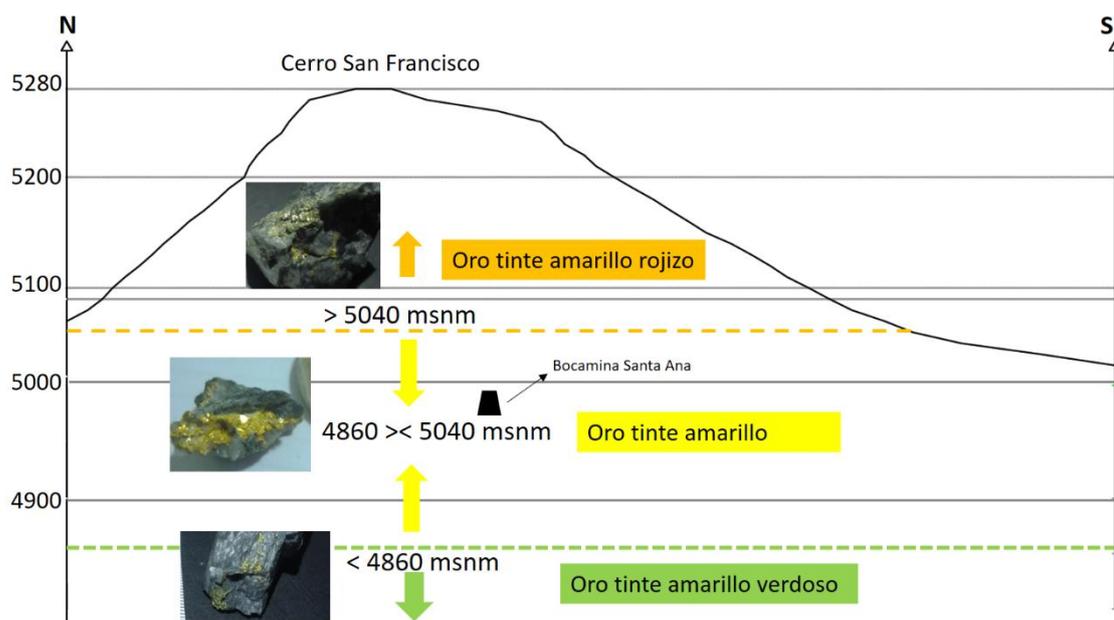


**Figura 18.** Pizarra silicificada de moderada a fuerte con vetillas de cuarzo blanco.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para tener un mejor enfoque del área del proyecto de investigación, se realiza el perfil del cerro San Francisco, fraccionado en 3 niveles de elevación según a la variedad aurífera (Figura 19), en la zona más baja a la cota  $< 4860$  msnm se tiene el oro tinte amarillo verdoso, en la zona intermedia entre la cota 4860 msnm y 5040 msnm se tiene el oro tinte amarillo, y en la zona más alta a la cota  $> 5040$  msnm es el oro tinte amarillo rojizo. Los datos de elevaciones son referenciales y es representado para las diferentes variedades auríferas. ANEXO 8.4.



**Figura 19.** Perfil del cerro San Francisco, fraccionado en 3 niveles de elevación según a la variedad aurífera.

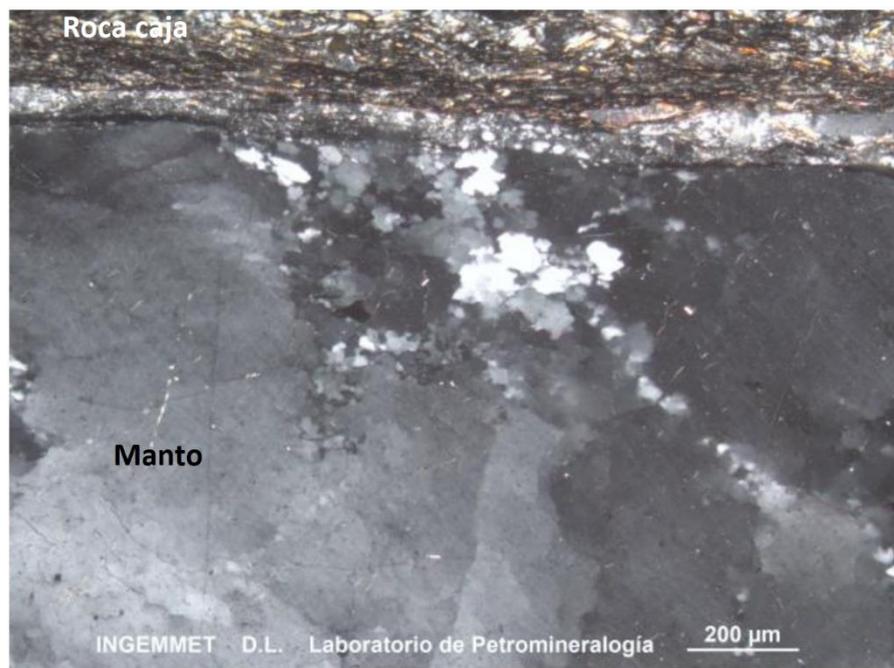
#### 5.1. ESTUDIO PETROGRÁFICO

Para el análisis se llevó a cabo el estudio de 3 muestras petrográficas preparadas en sección delgada para su respectivo estudio, siendo una muestra representativa por cada nivel según la variedad aurífera. Dentro de los resultados cada muestra tiene como roca

principal a la pizarra que está cortada por estructura de relleno (manto de cuarzo, potencia 3-5cm) con una alteración clorítica débil, argilización y oxidación de manera incipiente y en ciertos casos seritización.

### 5.1.1. Descripción petrográfica de las variedades auríferas

- A. La muestra de sección delgada **FS-G-01 (2)** extraída de la zona más baja del cerro San Francisco a la cota 4833msnm relacionado al tipo de oro tinte amarillo verdoso, microscópicamente esta descrita como roca metamórfica de textura lepidoblastica, conformada por blastos de micas y cuarzo I. Se encuentra cortada por una estructura de relleno (manto) conformado por cuarzo II deformado. (Figura 20).



**Figura 20.** fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2), contacto entre la roca caja y el manto.

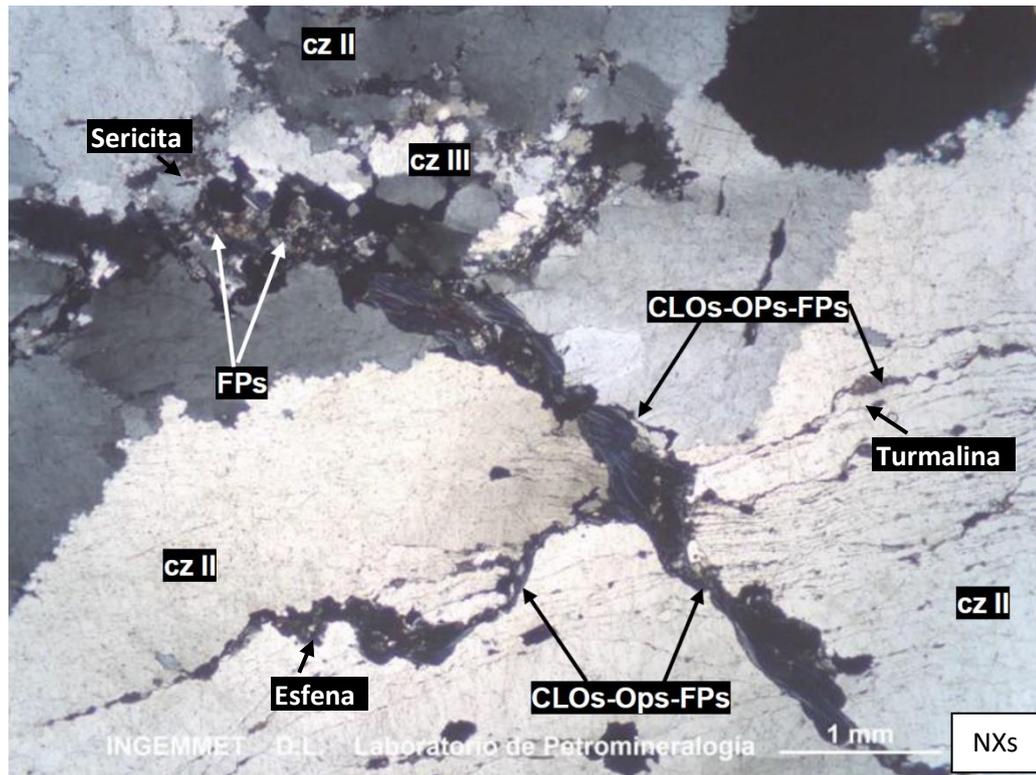
En esta estructura presenta fracturas subparalelas a la dirección de foliación, a través de los cuales han ingresado agregados de cuarzo III, asociados con minerales opacos, cloritas, feldspatos, esfena, turmalinas (Tabla 5).

**Tabla 5.** Descripción petromineralógica de la muestra FS-G-01 (2)

		Mineral	Tamaño (mm)	%
Cristales	Esenciales	<b>Micas</b> , microblastos de formas anhedrales, microescamosos y laminares; ocurren como constituyentes de la roca caja, orientados y elongados según la dirección de la foliación, alternados con cuarzo I y con hileras de materia orgánica.	≤ 0,05	4
		<b>Cuarzo I</b> , microblastos de formas anhedrales, ocurren como constituyentes de la roca caja, alternados con micas, ligeramente elongados y orientados según la dirección de foliación.	≤ 0,03	2
Secundario		<b>Cuarzo II</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ligeramente orientados, elongados y microfracturados subparalelamente debido al metamorfismo. Presentan extinción ondulante, según sus bordes están recristalizados a microcristales de cuarzo. Son el principal constituyente de la estructura de relleno que corta la roca caja. A través de sus fracturas fueron cortados y reemplazados por agregados de cuarzo III, asociados con cloritas y minerales opacos.	≤ 6,23	79
		<b>Cuarzo III</b> , agregado de microcristales de formas anhedrales e irregulares, ligeramente elongados y deformados, además presentan extinción ondulante. Estos a su vez están asociados con agregados de feldespatos. Se encuentran cortados y reemplazados por agregados de cloritas y minerales opacos.	≤ 0,70	10
		<b>Minerales opacos</b> , agregado de cristales con formas anhedrales, ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, pertenecientes a un último evento de relleno de la estructura, asociados con agregados de cloritas, feldespatos y cuarzo III. Por sectores dispuestos a modo de lentes sinuosos junto con cloritas.	≤ 0,20	1
		<b>Cloritas</b> , agregados microfibrosos, ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, los cuales pertenecen a un último evento de relleno junto con minerales opacos y feldespatos, asociados con cuarzo III. Por sectores dispuestos a modo de lentes sinuosos deformados por el metamorfismo.	≤ 0,35	2
		<b>Feldespatos</b> , agregado de cristales con formas anhedrales y tabulares, se encuentran débilmente alterados a arcillas y sericita. Ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, asociados con cloritas y minerales opacos. Por sectores se	≤ 0,25	2

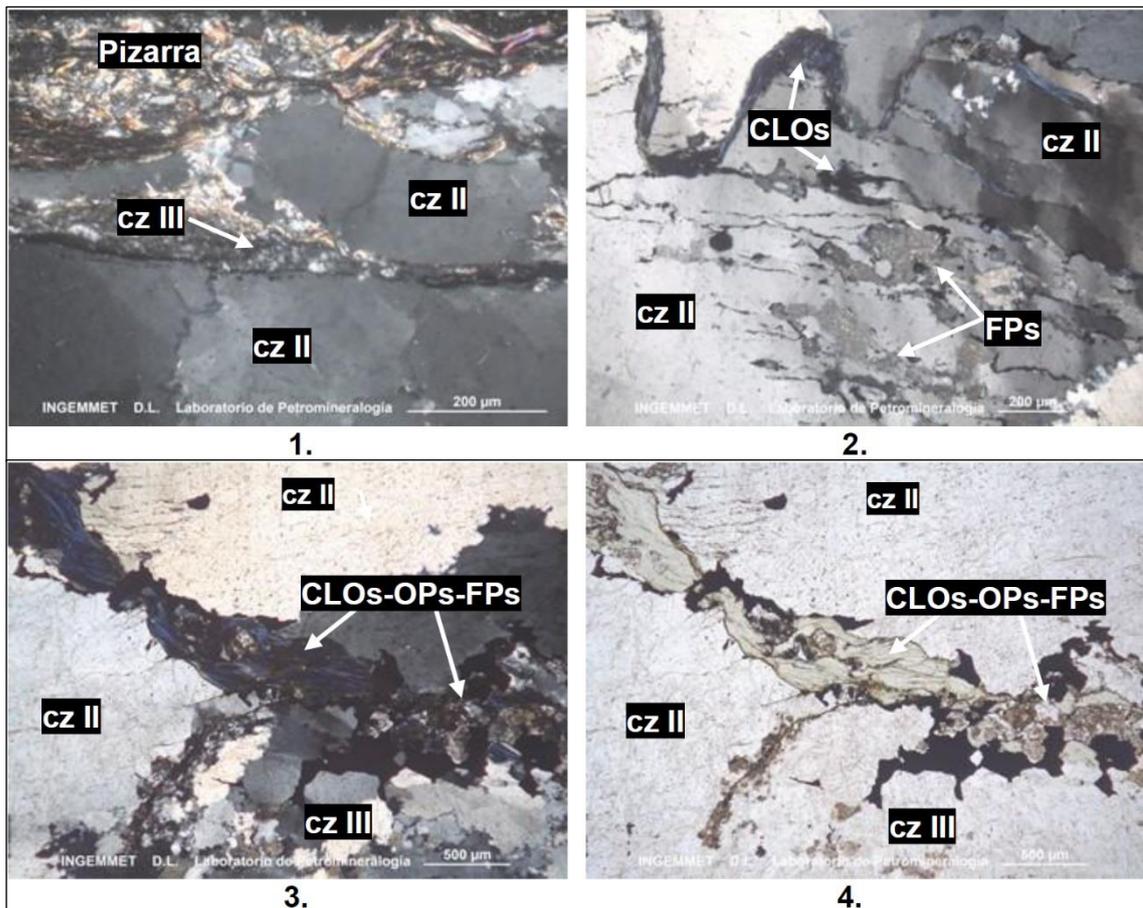


	hallan como lentes alargados; tratándose como probables relictos de roca caja, los cuales fueron recristalizados y segregados, finalmente rellenando fracturas de la estructura.					
	<b>Esfena</b> , agregado de microcristales, con formas anhedrales, microgranulares; ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, junto con minerales opacos.				≤ 0,03	traza
	<b>Turmalinas</b> , cristales de formas anhedrales a subhedrales, de habito prismático corto; ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, asociados con feldespatos y cloritas.				≤ 0,10	traza
	<b>Sericita</b> , agregados microescamosos, se presentan como alteración de feldespatos. Así mismo rellenan fracturas de cuarzo II, junto con minerales opacos.				≤ 0,03	traza
	<b>Arcillas</b> , agregados criptocristalinos, ocurren junto con sericita como alteración de feldespatos.				≤ 0,004	traza
<b>Grupo Composicional</b>	Micas - Cuarzo					
→ El tipo de metamorfismo es regional, con texturas principales de lepidoblasticas y de relleno.						
<b>Alteración</b>	Incipiente (traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)		
Cloritización		X				
Sericitización y Argilización	X					



**Figura 21.** Fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo verdoso.

Estructura de relleno (manto de cuarzo), conformada por cuarzo II deformado por el metamorfismo, con fracturas rellenadas principalmente por cuarzo III, además está agregado por de cloritas, minerales opacos y feldespatos: CLOs-OPs-FPs. (Figura 22).



**Figura 22.** Fotomicrografía de la muestra FS-G-01 (2), comportamiento mineralógico con la roca caja. **1.** Roca caja correspondiente a una pizarra, reemplazada y cortada por manto de cuarzo II (cz II), este último presenta fracturas rellenas por cuarzo III (cz III). **2.** Manto de cuarzo II deformado (cz II), con fracturas subparalelas y sinuosas rellenas por feldespatos (FPs) y cloritas: CLOs. **3. y 4.** Fracturas en cuarzo II (cz II), rellenas por cuarzo III (cz III), estos a su vez son reemplazados y cortados por agregados de cloritas, minerales opacos y feldespatos: CLOs-OPs-FPs.

- B.** La muestra de sección delgada **FS-Y-04 (11)** extraída de la zona intermedia del cerro San Francisco a la cota 4995 msnm relacionado al tipo de oro tinte amarillo; microscópicamente descrita como una estructura de relleno (manto) conformada por cristales de cuarzo II, estos se encuentran deformados por el metamorfismo; así mismo cortaron y reemplazaron fragmentos relictos de roca caja (pizarra) (Figura 23).



**Figura 23.** Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11), contacto entre la roca caja y el manto.

Además, presenta fracturas a través de los cuales están cortados y reemplazados por agregados de cuarzo III, asociados con cloritas, minerales opacos y carbonatos, con trazas de esfena y óxido de hierro (Tabla 6).

**Tabla 6.** Descripción petromineralógica de la muestra FS-Y-04 (11).

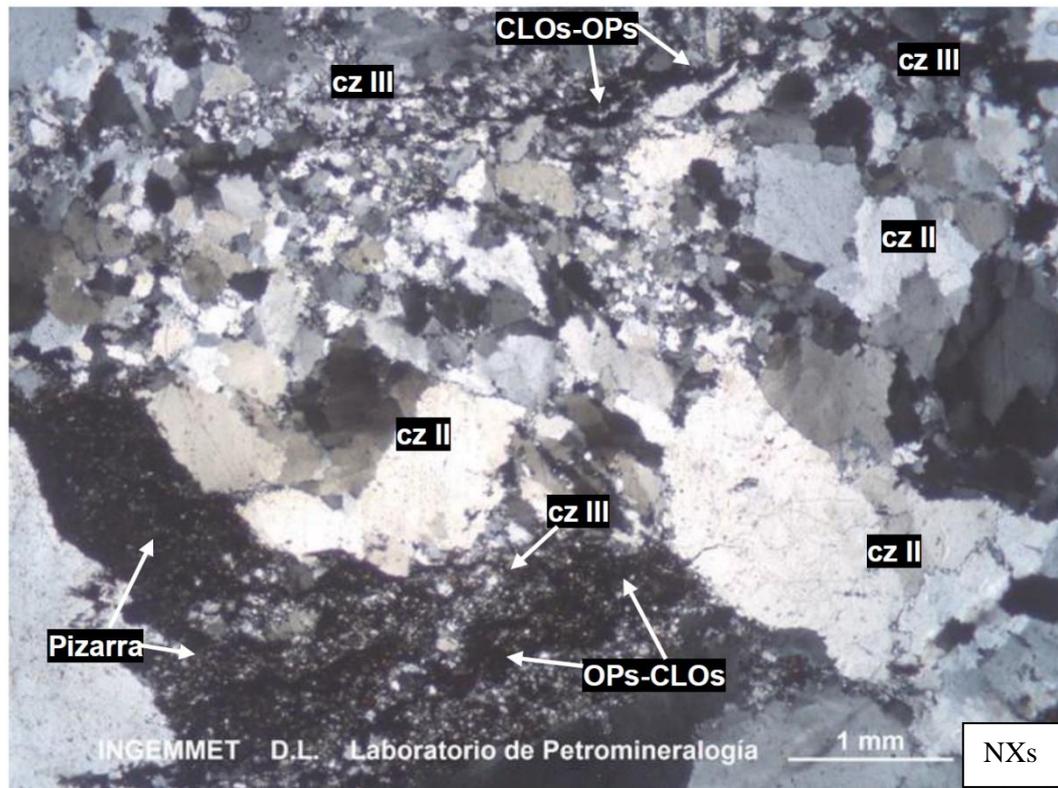
		Mineral	Tamaño (mm)	%
Cristales	Esenciales	<b>Micas</b> , microblastos de formas anhedrales, laminares; ocurren ligeramente orientados y elongados según la foliación. Se encuentran junto con cuarzo, arcillas y materia orgánica como constituyentes de la roca caja, este último dispuesto a modo de fragmentos relícticos, lenticulares y sinuosos, deformados por el metamorfismo. En general se encuentran reemplazados por agregados de cuarzo II y III, además de estar cortados por vetillas tardías de minerales opacos, asociados con cloritas y carbonatos.	$\leq 0,06$	3
		<b>Cuarzo I</b> , microblastos de formas anhedrales, de contactos suturados; ocurren junto con micas y materia orgánica como constituyente de fragmentos relícticos de roca caja.	$\leq 0,05$	1
Secundari	0	<b>Cuarzo III</b> , agregado de cristales con formas anhedrales; se encuentran deformados por el metamorfismo, presentando extinción ondulante, bordes débilmente suturados, con ligera orientación y elongados. Ocurren	$\leq 0.40$	70



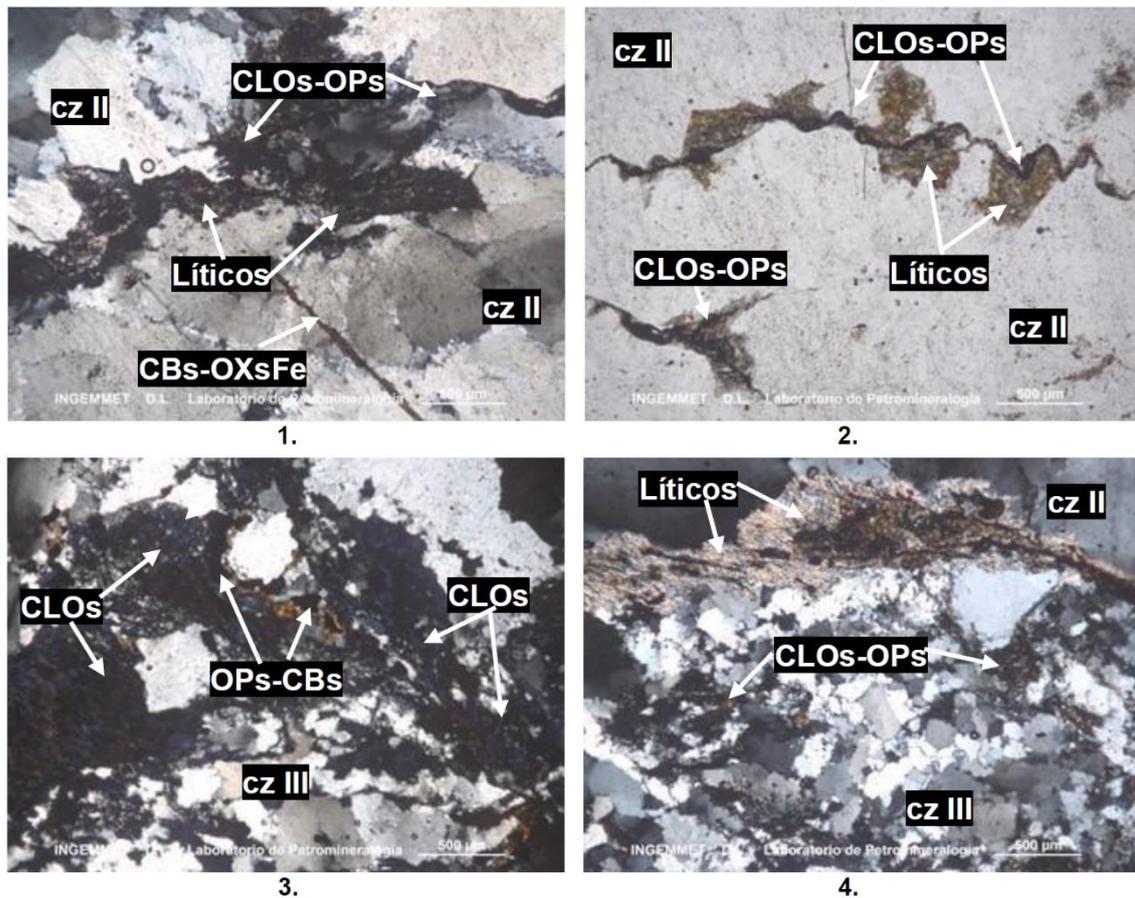
	como relleno de fracturas de cuarzo II; estos a su vez englobaron y reemplazaron a fragmentos relícticos de roca caja (pizarra). Además presentan fracturas a través de los cuales son cortados y reemplazados por cloritas y minerales opacos.		
	<b>Cuarzo II</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como constituyentes de estructura de relleno (manto), se encuentran deformados por el metamorfismo, mostrándose ligeramente elongados, con bordes suturados y extinción ondulante; además se hallan recristalizados según sus bordes y microfracturas a subgranos de cuarzo microcristalino. Así también presentan fracturas rellenas por cuarzo III, cloritas y minerales opacos.	$\leq 7.80$	15
	<b>Cloritas</b> , agregados microfibrosos, se presentan como relleno de fracturas de cuarzo II y III, junto con minerales opacos y agregados de carbonatos. Por sectores dispuestos a modo de agregados lenticulares y sinuosos, deformados por el metamorfismo, que a su vez reemplazaron fragmentos relícticos de roca caja.	$\leq 0,07$	7
	<b>Minerales opacos</b> , agregado de cristales con formas anhedrales, ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, así también rellenan espacios intersticiales de cuarzo III, asociados con cloritas y por sectores con carbonatos. Por sectores se hallan como vetillas tardías y sinuosas, deformados por el metamorfismo, los cuales cortan fragmentos relícticos de roca caja.	$\leq 0,13$	3
	<b>Carbonatos</b> , agregado de microcristales, ocurren junto con cloritas como relleno de fracturas de cuarzo II, algunos como parches asociados con minerales opacos en agregados de cuarzo III; además se encuentran impregnados por óxidos de hierro.	$\leq 0,05$	1
	<b>Esfena</b> , microcristales con formas anhedrales, ocurren dispersos en algunas zonas de la estructura, asociado con minerales opacos.	$\leq 0,02$	traza
	<b>Óxidos de hierro</b> , agregados criptocristalinos, ocurren como impregnación de carbonatos en vetillas tardías.	$\leq 0,04$	traza
<b>Grupo Composicional</b>		<b>Micas - Cuarzo</b>	
→ El tipo de metamorfismo es regional, con texturas principales de lepidoblasticas y de relleno.			
<b>Alteración</b>	Incipiente (traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)
Cloritización		X	
Oxidación	X		

La estructura de relleno (manto de cz), está conformada por cuarzo II deformado, cortada y reemplazada por agregados de cuarzo III, asociados con cloritas y minerales

opacos: CLOs-OPs. Además, presenta relictos de roca caja que corresponde a una pizarra, reemplazados por la estructura de relleno (Figura 24).



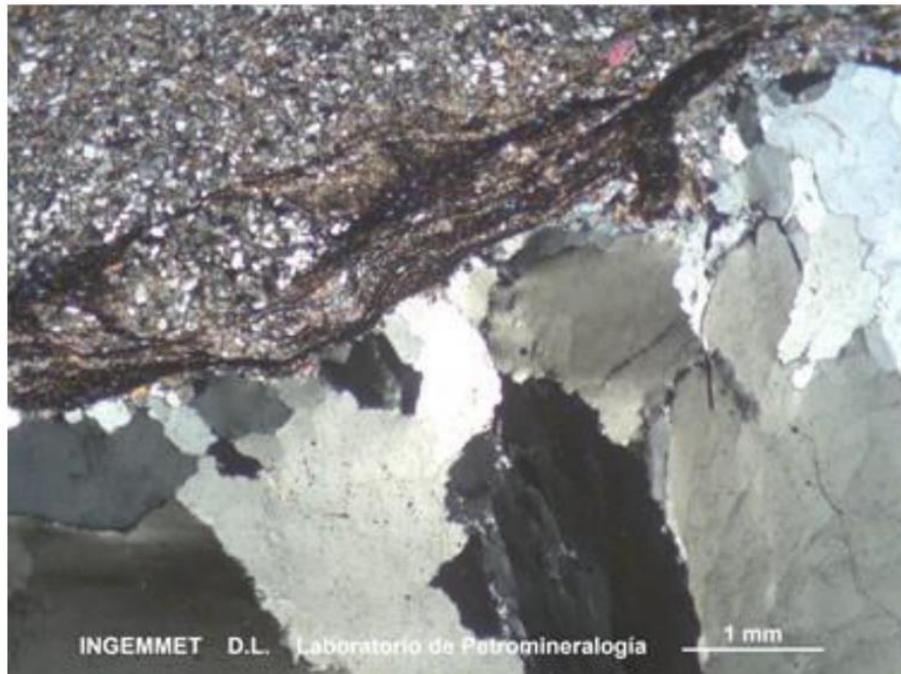
**Figura 24.** Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo.



**Figura 25.** Fotomicrografía de la muestra FS-Y-04 (11), comportamiento mineralógico con la roca caja. **1.** Manto de cuarzo II deformado, con fracturas rellenas por cloritas y minerales opacos: CLOs-OPs; además relictos de roca caja deformada. Se observa vetillas tardías de carbonatos impregnados por óxidos de hierro: CBs- OXsFe. **2.** Relictos de roca caja: Líticos, reemplazados por estructura de relleno de cuarzo II, además se encuentran cortados por agregados sinuosos de cloritas y minerales opacos: CLOs-OPs. **3.** Agregados de cloritas que reemplazan cristales de cuarzo III, por sectores se observa minerales opacos asociados con carbonatos: OPs- CBs. **4.** Agregados de cloritas y minerales opacos: CLOs-OPs, que rellenan intersticios de cuarzo III (cz III), en fracturas de cuarzo II (cz II). Además, fragmentos relícticos de roca caja.

- C. La muestra de sección delgada **FS-R-02 (1)** extraída de la zona más alta del cerro San Francisco a la cota 5045 msnm, relacionado al tipo de oro tinte amarillo rojizo; microscópicamente descrito como roca metamórfica de textura lepidoblástica, conformada por blastos de micas y cuarzo I; presenta niveles de arenisca cuarzosa de textura grano soportada, conformada por cuarzo, moscovita, feldespatos, turmalinas, rutilo y zircón, en matriz de arcillas y micas. Estos a su vez se encuentran cortados y reemplazados por una estructura de relleno (manto)

conformada por cuarzo II deformado por el metamorfismo, con fracturas rellenas por minerales opacos asociados con cloritas y arcillas. (Figura 26).



**Figura 26.** Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1), contacto entre la roca caja y el manto.

Estos a su vez se encuentran cortados y reemplazados por una estructura de relleno (manto) conformada por cuarzo II deformado por el metamorfismo, con fracturas rellenas por minerales opacos asociados con cloritas y arcillas (Tabla 7).

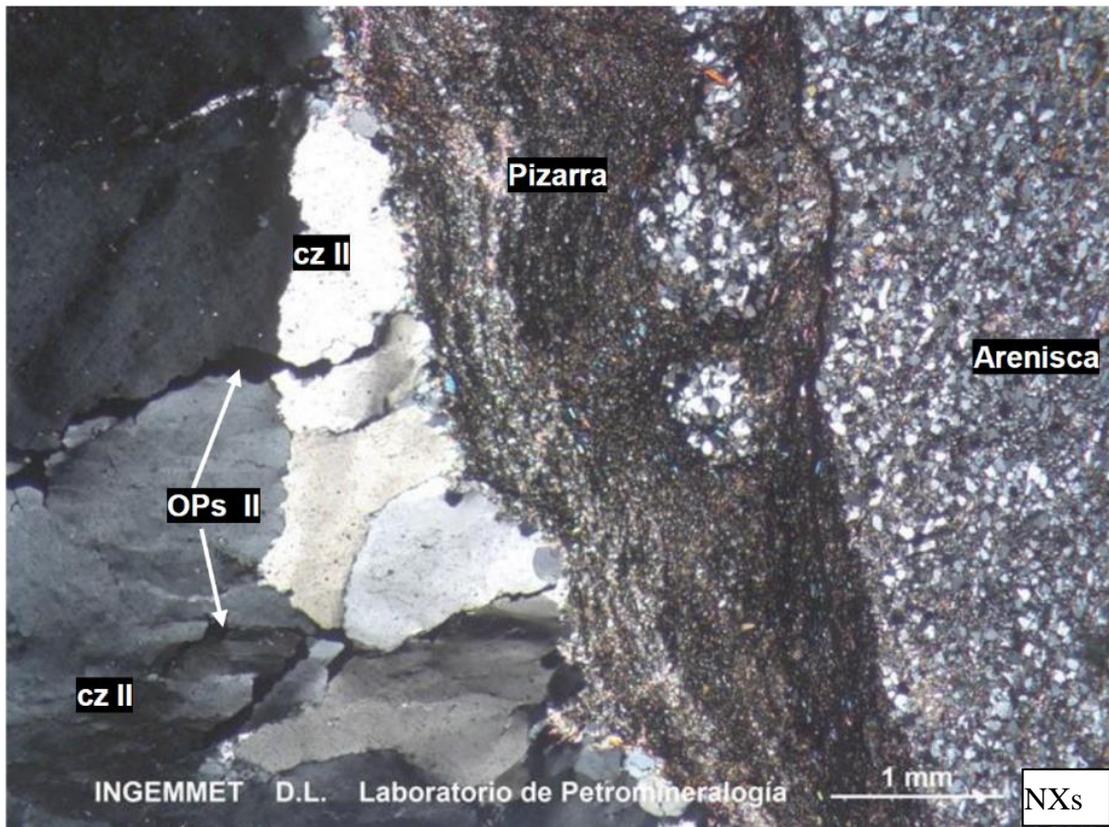
**Tabla 7.** Descripción petromineralógica de la muestra FS-R-02 (1)

		Mineral	Tamaño (mm)	%
Cristales	Esenciales	<b>Micas</b> , microblastos de formas anhedrales, laminares; ocurren elongados y orientados según la dirección de foliación, son el principal constituyente de la roca caja; además están alternados con hileras finas de materia orgánica. Por sectores conforman estructuras de crenulación. En zonas de contacto con estructura de relleno se encuentran recristalizados presentando tamaños de hasta 0,15 mm.	≤ 0,05	5
		<b>Cuarzo I</b> , microblastos de formas anhedrales, con extinción ondulante; ocurren como constituyente de la roca caja junto con micas, se encuentran ligeramente orientados y elongados según la dirección de foliación.	≤ 0,03	5

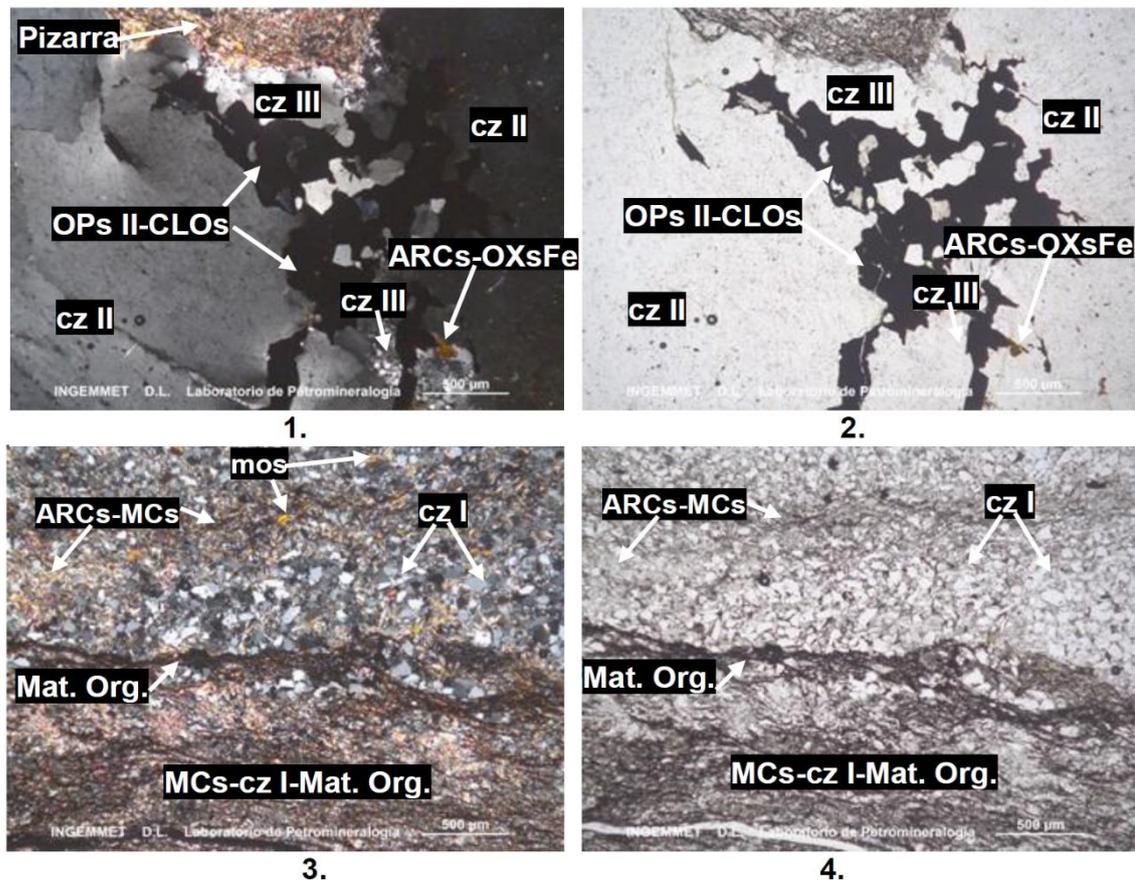


	Accesorio	<b>Cloritas</b> , microblastos de formas anhedrales, ligeramente elongados y orientados según la dirección de foliación. Ocurren englobados por agregados de micas y cuarzo I.	$\leq 0,20$	2	
		<b>Material carbonoso</b> , agregados criptocristalinos, ocurren como hileras finas, dispuestos subparalelamente a la dirección de foliación, alternados con blastos de micas y cuarzo I.	$\leq 0,004$	2	
Secundario		<b>Cuarzo II</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como constituyente de estructura de relleno (manto) que cortaron y reemplazaron la roca caja, los cuales se encuentran deformados por el metamorfismo, mostrándose ligeramente elongados, con extinción ondulante y bordes suturados, además presentan textura en flama. En zonas de contacto con roca caja se encuentra fracturados, a través de los cuales ingresaron minerales opacos y cuarzo III.	$\leq 8.30$	75	
		<b>Cuarzo III</b> , agregado de cristales con formas anhedrales, presentan extinción ondulante, se encuentran recristalizados, por sectores mostrándose como agregados poligonales; ocurren junto con minerales opacos, generalmente en zonas de contacto con roca caja, rellenando fracturas de cuarzo II.	$\leq 0.12$	8	
		<b>Cloritas</b> , agregados microfibrosos, ocurren como relleno de fracturas de cuarzo II, junto con minerales opacos y cuarzo III.	$\leq 0,06$	2	
		<b>Minerales opacos II</b> , agregado de cristales con formas anhedrales e irregulares, ocurren como un último evento de mineralización, rellenando fracturas de cuarzo II, junto con cuarzo III y cloritas. Se encuentran con mayor presencia en zonas de contacto con roca caja.	$\leq 0,25$	1	
		<b>Arcillas</b> , agregados criptocristalinos a microfibrosos, ocurren junto con cloritas como relleno de fracturas de cuarzo II, por sectores presentan impregnación de óxidos de hierro.	$\leq 0,004$	traza	
	<b>Grupo Composicional</b>		Micas - Cuarzo		
→ El tipo de metamorfismo es regional, con texturas principales de lepidoblásticas soportada de granos de relleno.					
<b>Alteración</b>		Incipiente (traza)	Débil (1-11%)	Moderada (12-49%)	Intensa (>50%)
Cloritización			X		
Argilización		X			

La roca caja está conformada por niveles subparalelos de pizarra y arenisca cuarzosa, que se encuentran cortados por una estructura de relleno (manto) de cuarzo II deformado (cz II), esta última presenta fracturas rellenadas por minerales opacos II (OPs II) (Figura 27).



**Figura 27** Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1) ocurrencia del cuarzo en la variedad de oro tinte amarillo rojizo.



**Figura 28.** Fotomicrografía de la muestra FS-R-02 (1), comportamiento mineralógico con la roca caja. **1. y 2.** Manto de cuarzo II deformado, con fracturas rellenas por cuarzo III, asociado con minerales opacos y cloritas: OPs-CLOs. Además, presenta arcillas impregnadas por óxidos de hierro: ARCs-OXsFe. **3. y 4.** Niveles de pizarra reemplazados por niveles de arenisca cuarzosa, la primera está conformada por micas, cuarzo I y materia orgánica: MCs-cz I-Mat. Org.; los niveles de arenisca están conformadas principalmente por granos de cuarzo I y micas, con matriz de arcillas y micas: ARCs-MCs.

La roca caja está conformada por pizarra, la cual presenta niveles de arenisca cuarzosa, esta última ocurre como niveles subparalelos a la dirección de foliación y de contacto concordante con roca caja, de textura grano soportado; en general están afectados por el metamorfismo, mostrando granos de cuarzo ( $\leq 0,11$  mm) irregulares con bordes débilmente suturados, algunos con extinción ondulante, además según sus intersticios han ingresado agregados de moscovita ( $\leq 0,17$  mm); como minerales accesorios presenta granos de plagioclasas ( $\leq 0,10$  mm), turmalinas ( $\leq 0,08$  mm), rutilo ( $\leq 0,05$  mm) y zircón ( $\leq 0,06$  mm); con matriz de arcillas y micas. Así mismo presenta diseminación de minerales opacos I ( $\leq 0,04$  mm). Por sectores se encuentran como



fragmentos subredondeados, englobados por roca caja. Estos niveles de arenisca representan hasta una 10 % de la muestra.

## 5.2. MINERAGRAFÍA

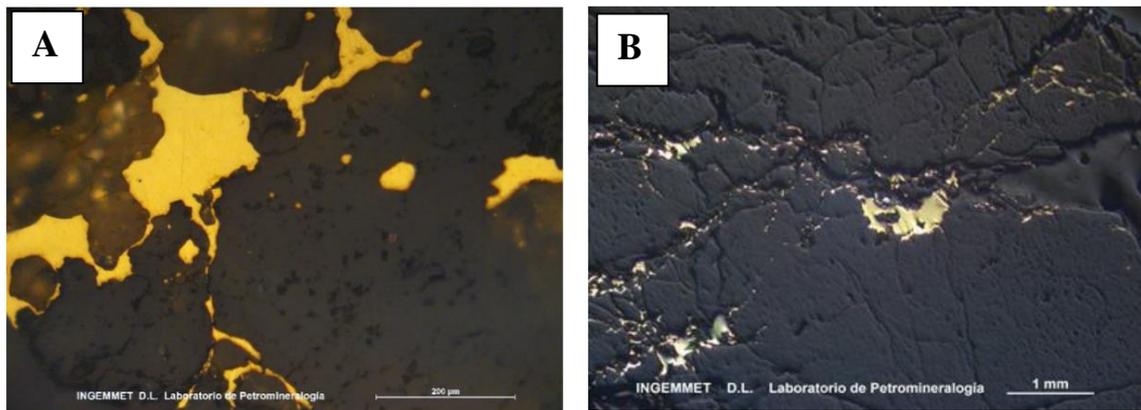
Para este análisis se llevó a cabo el estudio de 6 muestras mineragráficas preparadas en sección pulida para su respectivo estudio, siendo dos muestras representativas por cada nivel según la variedad aurífera.

### 5.2.1. Descripción mineragráficas de las variedades auríferas

- A. Los resultados del estudio mineragráfico son de dos muestras representativas preparadas en sección pulida de código FS-G-01 y código 11, extraída de la zona más baja del cerro San Francisco a la cota 4833 msnm y 4822 respectivamente, relacionado al tipo de oro tinte amarillo verdoso.

La muestra de sección pulida código **FS-G-01** (Figura 29.A.), microscópicamente esta descrita como una roca de naturaleza metamórfica la cual presenta agregados lenticulares de cuarzo, en las cuales se observa fracturas rellenas de cristales anhedrales de oro asociado a pirrotita, pirita, esfalerita y calcopirita.

La muestra de sección pulida **código 11** (Figura 29.B.), microscópicamente esta descrita como una estructura de relleno conformada por material de ganga, presentando fracturas y oquedades rellenas por partículas de oro libre, por sectores está asociado con pirrotita y arsenopirita. Localmente se observa diseminaciones de trazas de esfalerita y galena.



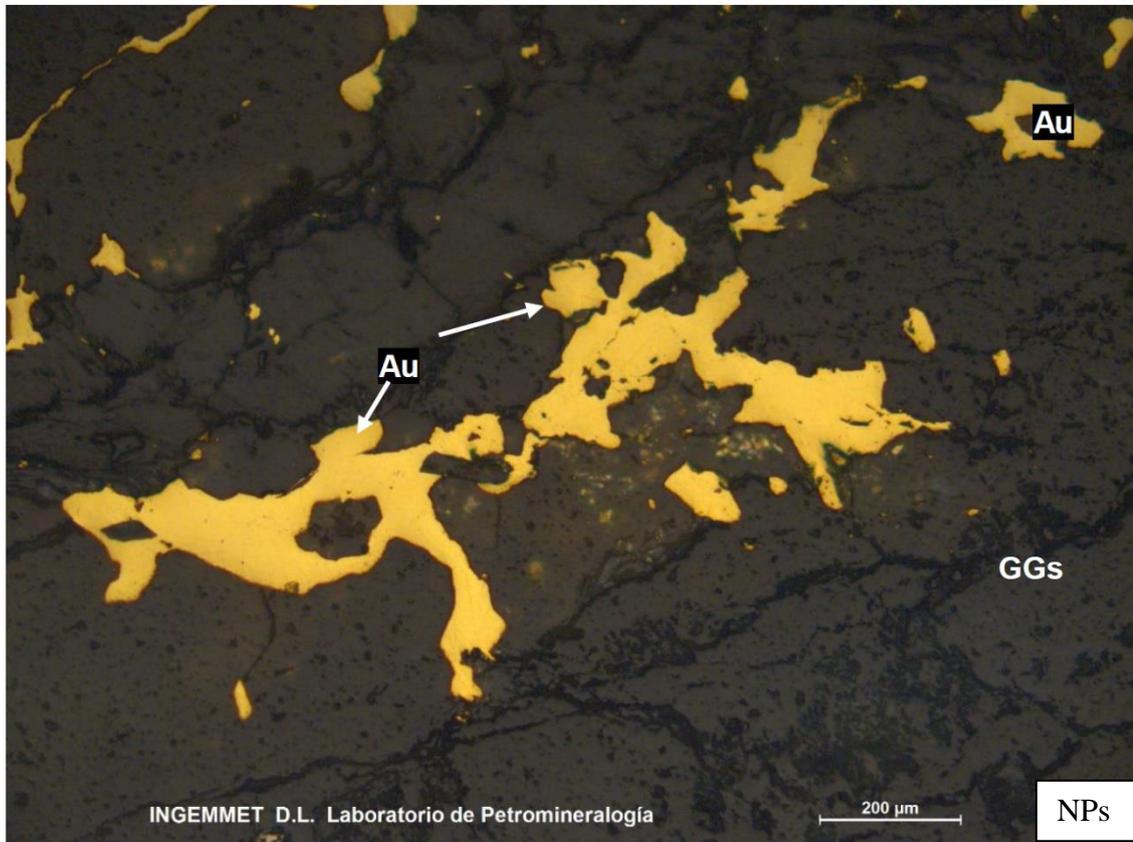
**Figura 29.** Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo). **A.** muestra de código FS-G-01 fracturas rellena de oro. **B.** muestra de código 11 fracturas y oquedades rellenas de oro parcialmente.

La muestra de sección pulida código **FS-G-01**, se observa fracturas rellenas de cristales anhedrales de oro asociado a pirrotita, pirita, esfalerita y calcopirita y su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 8.

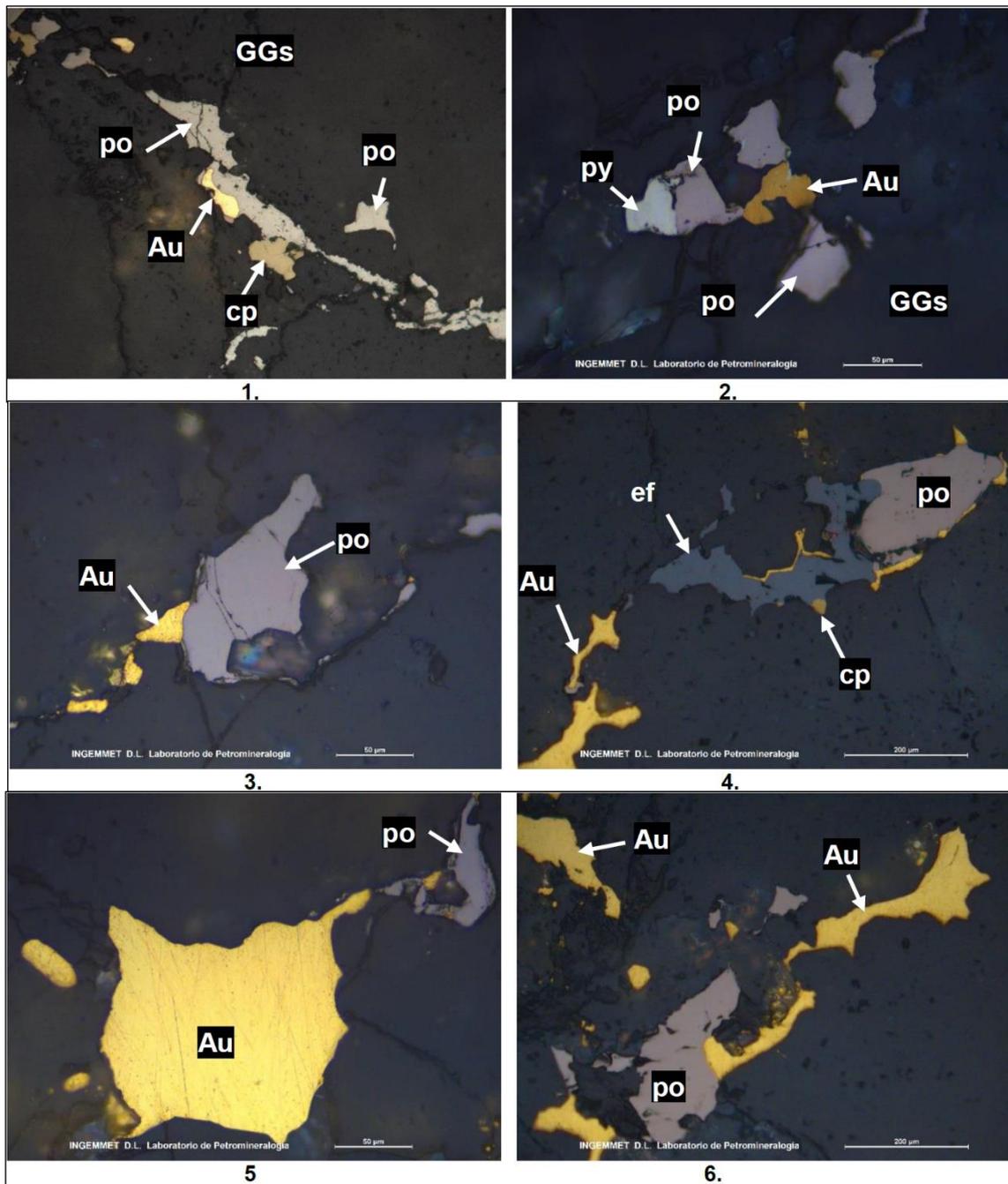
**Tabla 8.** Descripción minerográfica de la muestra sección pulida código FS-G-01.

Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , agregados irregulares constituidos por cristales anhedrales, se presentan como relleno de fracturas de minerales de cuarzo y oquedades por sectores se encuentra reemplazando a la arsenopirita y pirrotita.	$\leq 0,40$	5
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas subhedrales, se encuentra relleno de fracturas y diseminados en roca, por sectores se encuentra reemplazada por oro.	$\leq 0,50$	2
<b>Esfalerita</b> , ocurren como agregados irregulares, como relleno de microfracturas, se encuentran asociados a pirrotita y está siendo reemplazado por calcopirita y oro.	$\leq 0,40$	1
<b>Pirita</b> , agregado de cristales subhedrales de hábito cubico, se encuentra como relleno de fracturas del cuarzo de relleno y diseminados en la roca. Por sectores se encuentra reemplazadas por oro y asociado a pirrotita.	$\leq 0,20$	traza
<b>Calcopirita</b> , cristales de formas anhedrales, se encuentran diseminados y como relleno de fracturas. Por sectores se encuentra reemplazando a esfalerita.	$\leq 0,08$	traza
<b>Gangas</b> , comprende el cuarzo de relleno y parte de roca caja metamórfica.	-	92
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno y diseminado sin ningún tipo de alteración.		

Agregados anhedrales de oro (Au), se presentan como relleno de fracturas en gangas: GGs (cuarzo de relleno) (Figura 30).



**Figura 30.** Fotomicrografía de la muestra FS-G-01, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso.



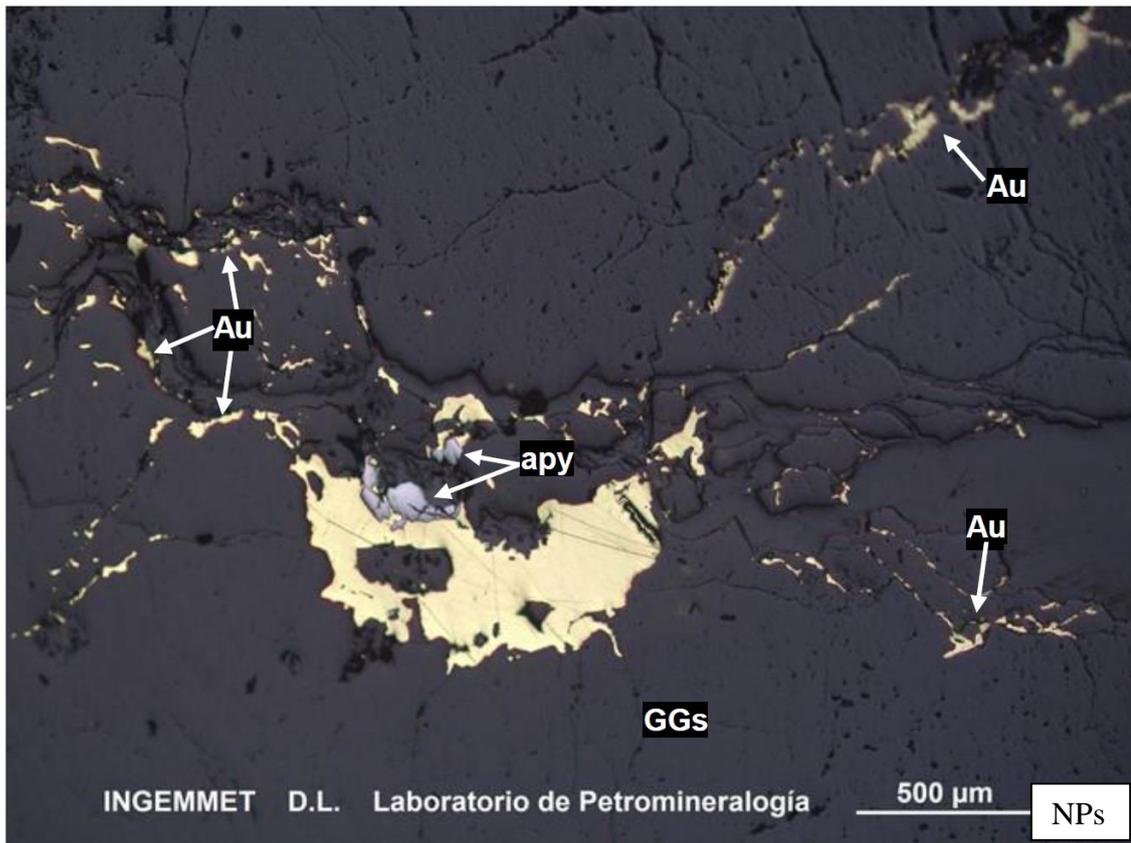
**Figura 31.** Fotomicrografías de la muestra FS-G-01, comportamiento minerográfico del oro: **1.** Cristales de pirrotita (po), asociado a calcopirita (cp), y reemplazada por oro (Au), ocurren como relleno de fracturas. **2.** Cristal de pirrotita (po), reemplazada por pirita (py), asociado a oro (Au). **3.** Pirrotita (po) reemplazada por oro (Au). **4.** Cristales de esfalerita (ef), reemplazando a pirrotita (po), y reemplazada por calcopirita: (cp) y oro. **5. y 6.** Cristales de oro (Au) y pirrotita (po).

La muestra de sección pulida **código 11**, localmente se observa diseminaciones de trazas de esfalerita y galena. También se observa agregados de esfena con fracturas, su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 9.

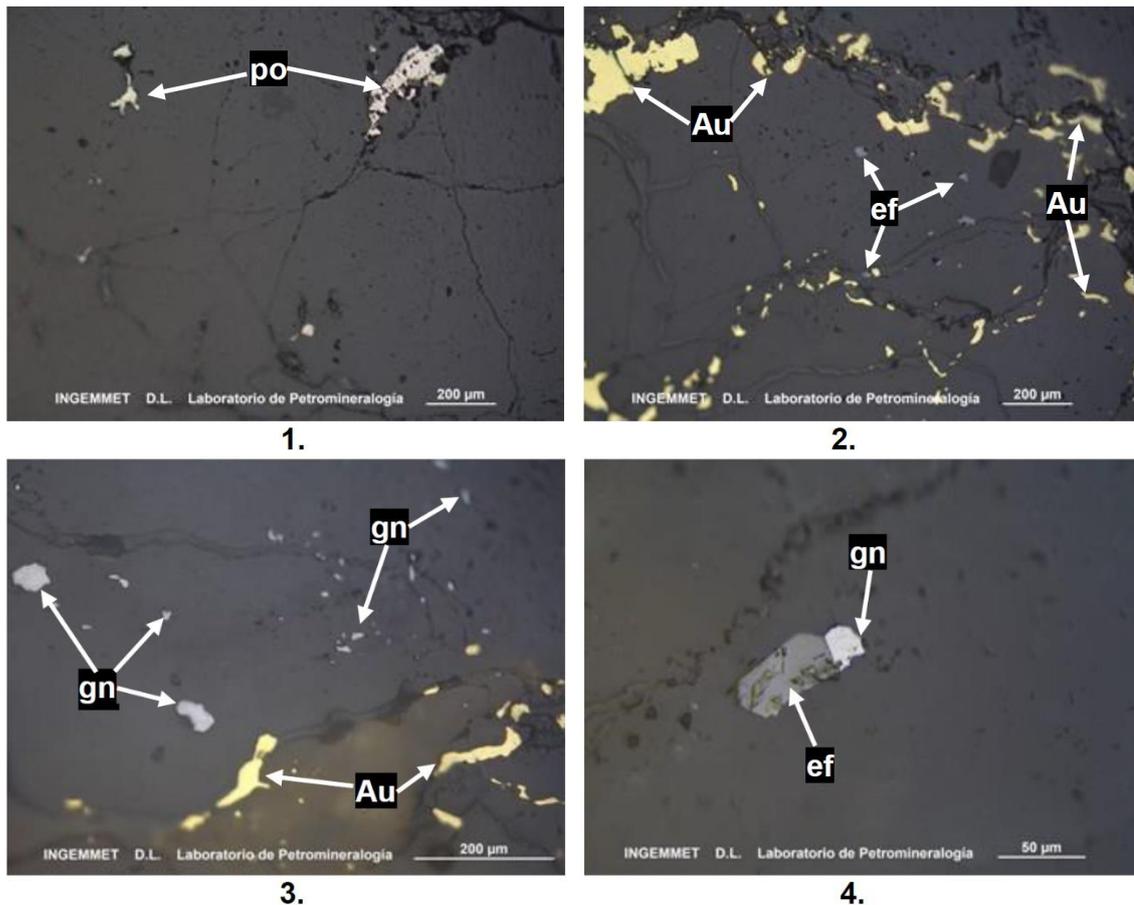
**Tabla 9.** Descripción minerográfica de la muestra sección pulida de código 11

Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como oro libre hasta agregados masivos que rellenan fracturas de ganga, algunos ligeramente alargados. Puntualmente se hallan englobando parcialmente cristales de arsenopirita. Además están asociados con pirrotita y esfalerita en fracturas de ganga.	$\leq 0,75$	6
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de algunas fracturas de la estructura de relleno (manto), puntualmente están asociados con partículas de oro libre y esfalerita.	$\leq 0,18$	1
<b>Arsenopirita</b> , cristales de formas anhedrales a subhedrales, algunos prismáticos; ocurren puntualmente como relleno de fracturas de estructura de relleno (manto), puntualmente encuentran parcialmente englobados por agregados de oro libre.	$\leq 0,15$	1
<b>Esfalerita</b> , microcristales de formas anhedrales a subhedrales, algunos microtabulares, ocurren localmente diseminados y rellenan oquedades de gangas, en zonas cercanas a fracturas rellenas por oro libre; puntualmente están asociados con galena. Además algunos rellenan fracturas junto con cristales de oro libre.	$\leq 0,06$	traza
<b>Galena</b> , microcristales con formas anhedrales, ocurren localmente diseminados y rellenan oquedades de gangas, en zonas cercanas a fracturas rellenas por oro libre. Puntualmente se hallan asociados con esfalerita en oquedades.	$\leq 0,06$	traza
<b>Ganga</b> , corresponde a la parte no metálica, el cual presenta fracturas y oquedades rellenas por minerales metálicos.	-	92
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno, sin ningún tipo de alteración.		

La estructura de relleno conformada por gangas (GGs), presenta fracturas rellenas por agregados de cristales de oro libre que parcialmente engloban cristales de arsenopirita (apy) (Figura 32).



**Figura 32.** Fotomicrografía de la muestra código 11, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso.

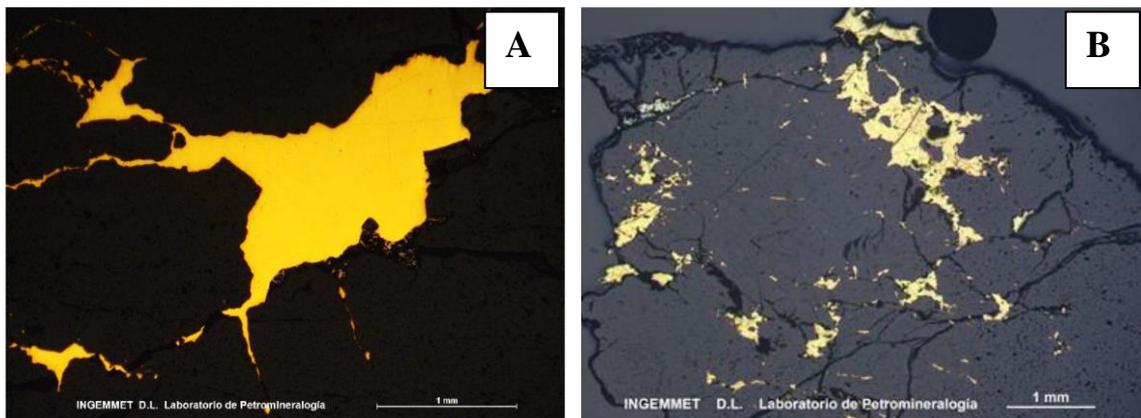


**Figura 33.** Fotomicrografías de la muestra código 11, comportamiento minerográfico del oro. **1.** Cristales de pirrotita (po), que rellenan fracturas. **2.** Cristales de oro libre que rellenan fracturas, además microcristales de esfalerita (ef) como diseminación y relleno de fracturas junto con oro libre. **3.** Microcristales de galena (gn) diseminados en gangas, además cristales de oro libre, que rellenan fracturas. **4.** Microcristales de esfalerita (ef), asociado con galena (gn), diseminados en gangas (GGs).

**B.** Resultados del estudio minerográfico de dos muestras representativas preparadas en sección pulida de código FS-Y-05 y código 10, extraída de la zona Intermedia del cerro San Francisco a la cota 4995 msnm y 4999 msnm, relacionado al tipo de oro tinte amarillo.

La muestra de sección pulida **FS-Y-05** (Figura 34.A), microscópicamente esta descrita como roca de naturaleza metamórfica la cual presenta agregados de formas lenticulares de cuarzo, en las cuales se observa fracturas rellenas por cristales anhedrales de oro asociado a pirrotita, arsenopirita, galena y marcasita.

La muestra de sección pulida **código 10** (figura 34.B), microscópicamente esta descrita como una estructura de relleno conformado por material de ganga, presentando fracturas y oquedades rellenas por partículas de oro libre, por sectores se encuentran asociados con pirrotita, pirita, trazas de calcopirita. Puntualmente algunas partículas de oro libre presentan inclusiones de cobres grises (tetraedrita), reemplazados por calcopirita.



**Figura 34** Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo). **A.** muestra de código FS-Y-05 fracturas rellena de oro. **B.** muestra de código 10 fracturas y oquedades rellenas de oro parcialmente.

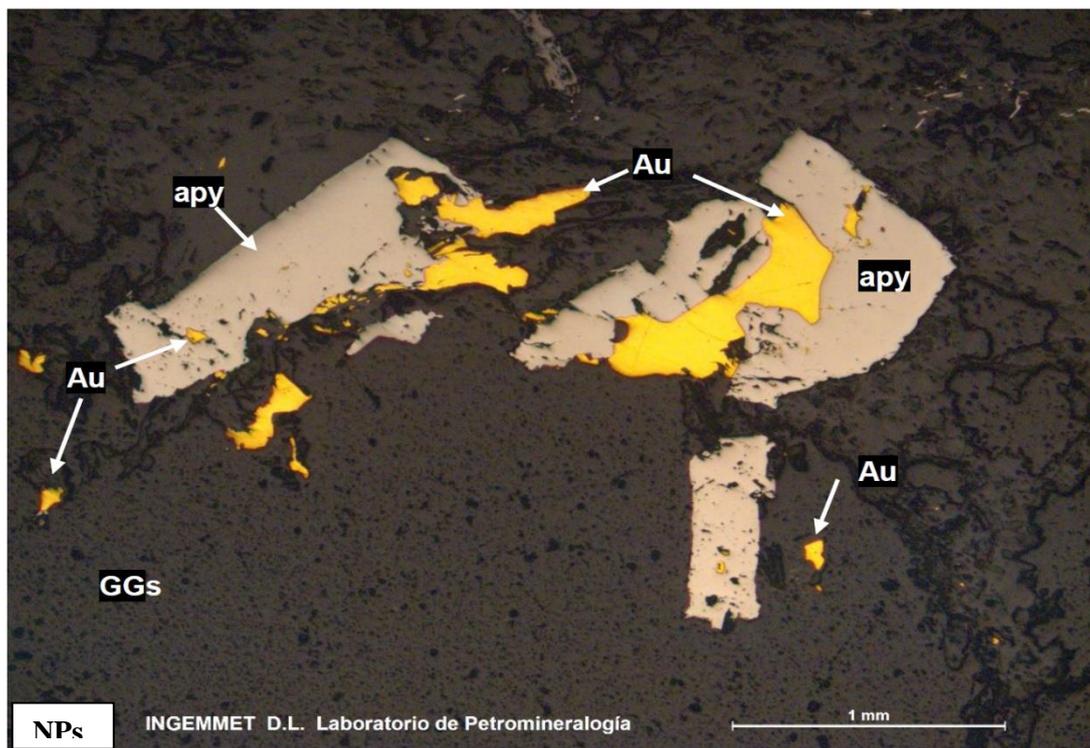
La muestra de sección pulida código FS-Y-05, fracturas rellenas por cristales anhedrales de oro asociado a pirrotita, arsenopirita, galena y marcasita, su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Descripción mineralográfica de la muestra sección pulida código FS-Y-05.

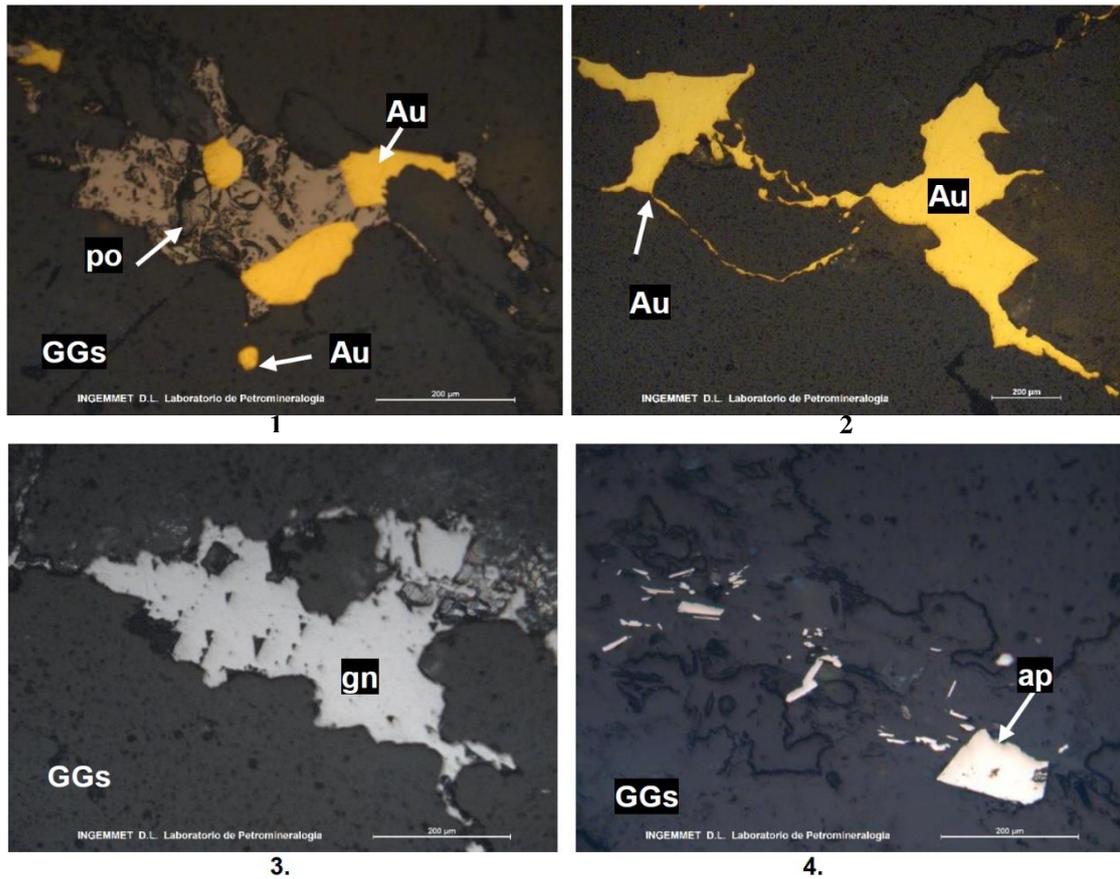
Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , agregados irregulares constituidos por cristales anhedrales, se presentan como relleno de fracturas en gangas (cuarzo de relleno) y oquedades por sectores de encuentra reemplazando a la marcasita. Asimismo, se presentan como microcristales de 0,02 mm. Diseminados en gangas (cuarzo).	≤ 1.90	7
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas subhedrales, y habito prismático, se encuentra como relleno de fracturas y diseminados en roca. Algunos cristales se muestran reemplazada por oro, a través de sus bordes y relleno oquedades.	≤ 0,20	0.5

<b>Galena</b> , agregados de cristales anhedrales, se encuentra diseminados, como relleno de oquedades y fracturas, en la roca (pizarra).	$\leq 0,30$	0.5
<b>Marcasita</b> , cristales de formas subhedrales con habito prismático, se presentan diseminados y como relleno de fracturas en gangas (Roca caja y cuarzo de relleno). En algunos casos los que rellenan fracturas se muestran reemplazadas por oro.	$\leq 0,50$	Traza
<b>Arsenopirita</b> , agregado de cristales subhedrales de hábito rómbico, se encuentra como relleno de fracturas y oquedades de gangas (cuarzo de relleno y diseminados en la roca). Los que encuentran como relleno de fracturas se encuentra reemplazadas por oro.	$\leq 1.00$	2
<b>Gangas</b> , comprende la roca caja (pizarra) y el relleno de cuarzo, emplazado entre las capas de la roca caja.	-	90
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno y diseminado sin ningún tipo de alteración.		

Los cristales subhedrales de arsenopirita se encuentran reemplazados por oro, a través de sus fracturas y oquedades dispuestos sobre gangas: GGs (cuarzo de relleno). (Figura 35).



**Figura 35.** Fotomicrografía de la muestra código FS-Y-05, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo.



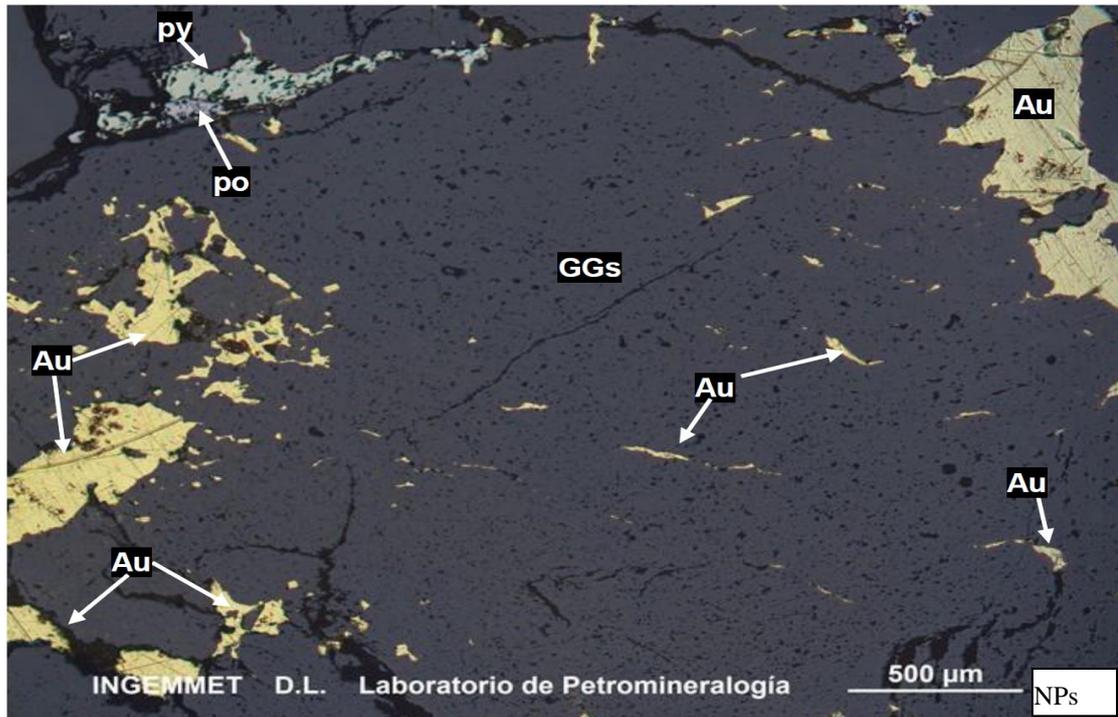
**Figura 36.** Fotomicrografías de la muestra código FS-Y-05, comportamiento minerográfico del oro. **1.** Cristales de pirrotita: po, anhedrales, se encuentra reemplazados por oro: Au. **2.** Agregados de oro, se muestran como relleno de fracturas ubicadas en Gangas (cuarzo de relleno). **3.** Cristales anhedrales de galena (gn) diseminados en gangas: GGs (pizarra). **4.** Cristales de subhedrales de arsenopirita (ap), se encuentran como relleno de fracturas de gangas: GGs (cuarzo de relleno).

La muestra de sección pulida **código 10**, se muestra que las fracturas y oquedades están rellenas por partículas de oro libre, y por sectores se encuentran asociados con pirrotita, pirita, trazas de calcopirita, su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 11.

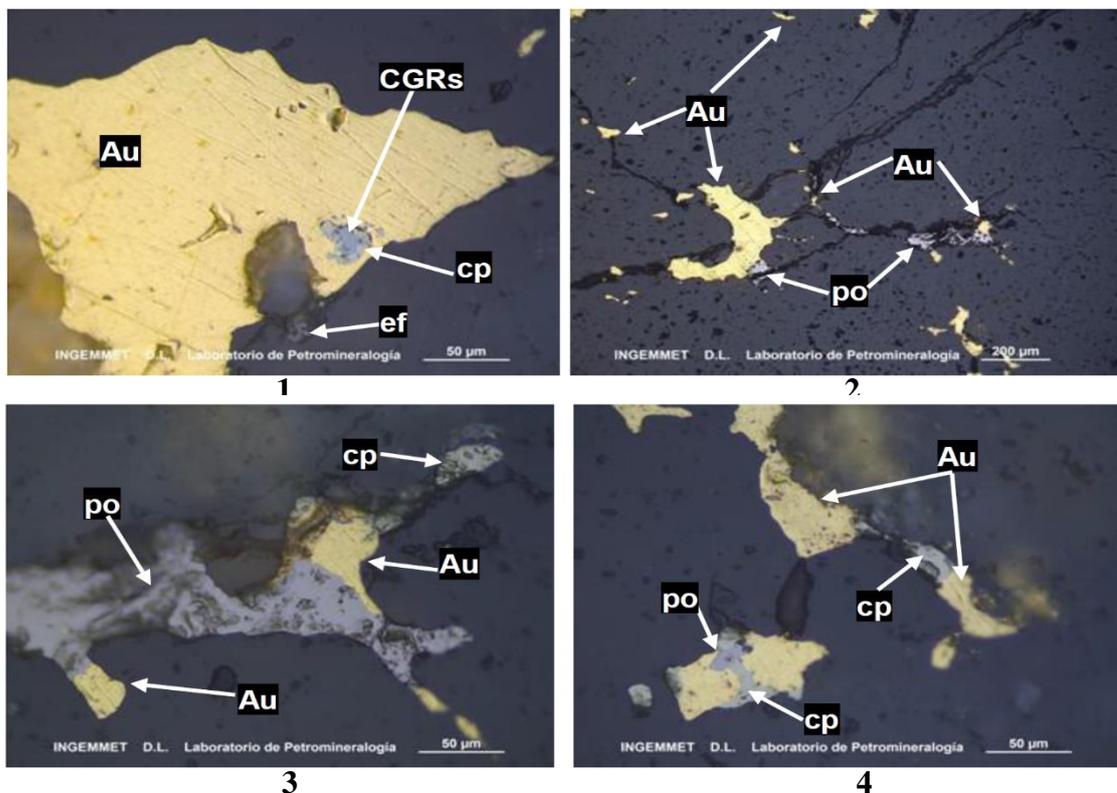
**Tabla 11.** Descripción minerográfica de la muestra sección pulida de código 10.

Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de fracturas de estructura de relleno (manto), por sectores como microcristales hasta agregados masivos, algunos ligeramente alargados; en general se encuentran asociados con pirita y pirrotita y calcopirita. Puntualmente se observa que engloban parcialmente microcristales de cobres grises y pirrotita.	≤ 0,80	10
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de fracturas de estructura de relleno (manto), por sectores asociados con pirita, así también con cristales de oro libre. En general ocurren como un primer evento que rellenaron fracturas.	≤ 0,17	1
<b>Pirita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de fracturas de estructura de relleno (manto), asociados con pirrotita, puntualmente con cristales de oro libre.	≤ 0,38	1
<b>Calcopirita</b> , microcristales de formas anhedrales, ocurren puntualmente en fracturas de ganga, asociado con pirrotita y oro libre. Por sectores ocurren reemplazados por cobres grises(tetraedrita) y reemplazando a pirrotita en cristales de oro libre. Además rellenan oquedades en gangas.	≤ 0,03	traza
<b>Cobres grises</b> , agregado de microcristales con formas anhedrales, ocurren como inclusiones de oro libre, se encuentran reemplazando a agregados de calcopirita desde los bordes hacia el centro del cristal. Según su composición se trataría de probable tetraedrita.	≤ 0,02	traza
<b>Ganga</b> , corresponde a la parte no metálica, el cual presenta fracturas y oquedades rellenas por minerales metálicos.	-	88
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno sin ningún tipo de alteración.		

Los agregados de cristales de oro libre que rellenan fracturas de estructura de relleno (manto) conformado por gangas, por sectores se encuentran asociados con cristales de pirita y pirrotita (Figura 37).



**Figura 37.** Fotomicrografía de la muestra código 10, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo.



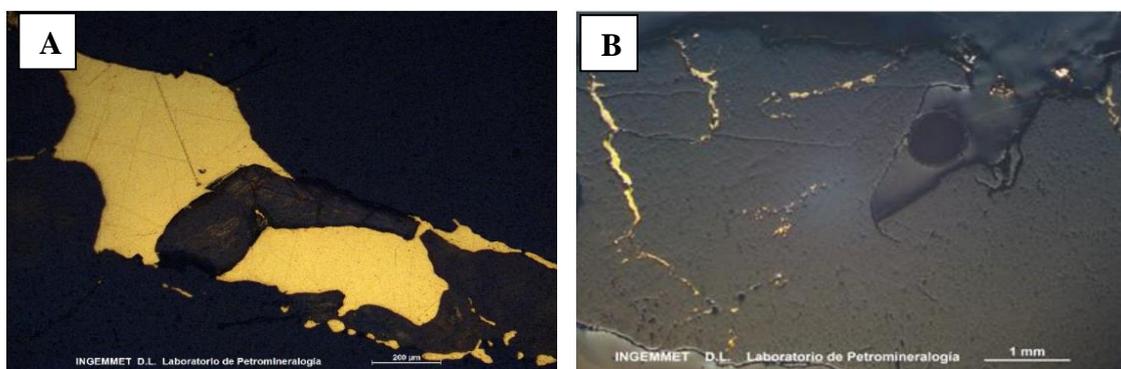
**Figura 38.** Fotomicrografías de la muestra código FS-Y-05, comportamiento mineralográfico del oro. **1.** Cristales de oro libre (Au), con inclusiones de cobres grises: CGRs, reemplazados por calcopirita (cp), además están asociados con esfalerita (ef). **2.** Cristales de oro libre, asociados con pirrotita (po), relleno de fracturas. **3.** Cristales de pirrotita (po) que rellenan fracturas, se encuentran reemplazados por cristales de oro

libre, además están asociados con microcristales de calcopirita (cp). **4.** Cristales de pirrotita (po), en un primer momento reemplazados por calcopirita (cp), y seguidamente por cristales de oro libre.

- C. Los resultados del estudio minerográfico son de dos muestras representativas preparadas en sección pulida de código FS-R-03 y código 12, extraída de la zona Intermedia del cerro San Francisco a la cota 5055 msnm y 5053 msnm, relacionado al tipo de oro tinte amarillo rojizo.

La muestra de sección pulida **código FS-R-03** (Figura 39.A), microscópicamente esta descrita como roca metamórfica foliada que presenta agregados lenticulares de cuarzo, la mineralización económica se encuentra principalmente asociado al cuarzo de relleno. El oro se presenta como relleno de fracturas junto a la arsenopirita y pirrotita. Asimismo, por sectores se observa marcasita diseminada en la roca (pizarra), y en algunos casos se encuentra reemplazando a la arsenopirita y pirrotita.

La muestra de sección pulida **código 12** (Figura 39.B), microscópicamente esta descrita como estructura de relleno conformada por material de ganga, presenta fracturas rellenas por cristales de oro libre, asociado con cristales de piritita y pirrotita. Puntualmente y como trazas se observa cristales de calcopirita relleno de fracturas.



**Figura 39.** Fotomicrografía de la interacción entre el mineral de oro y la mena (cuarzo). **A.** muestra de código FS-R-03 fracturas rellena de oro. **B.** muestra de código 12 fracturas y oquedades rellenas de oro parcialmente.

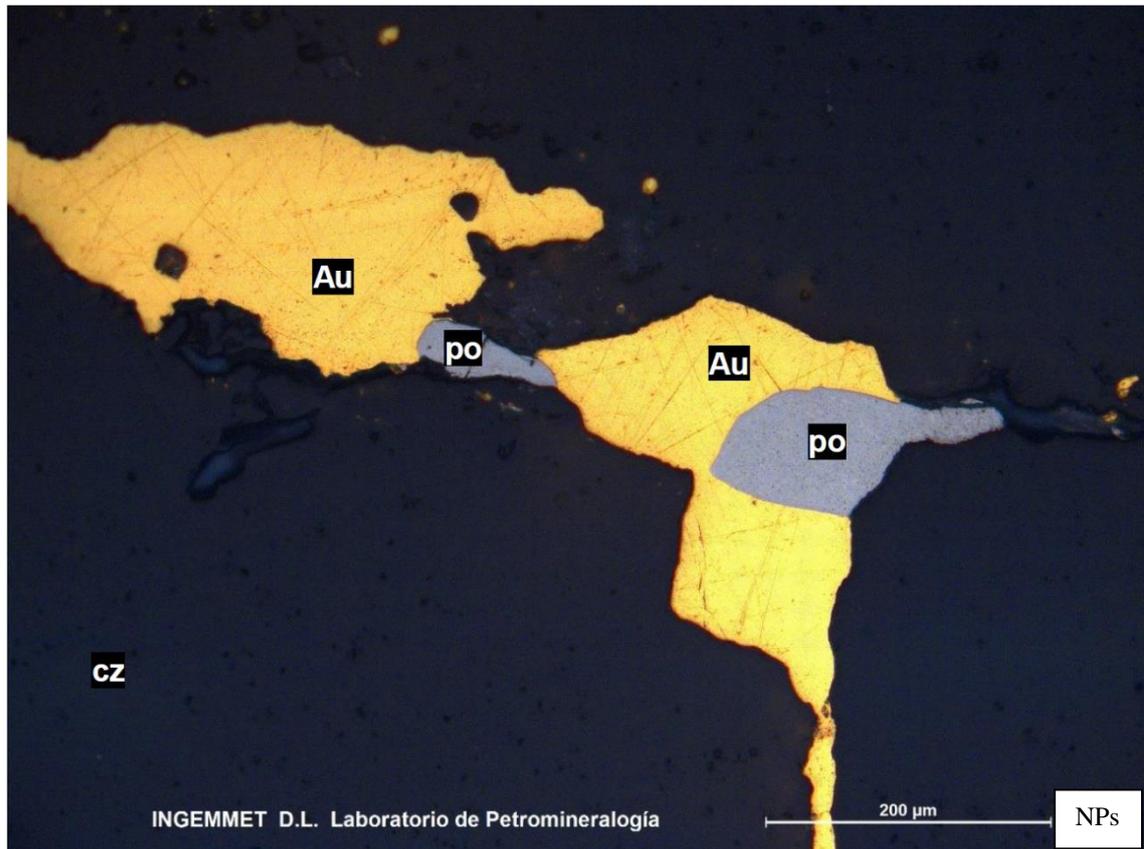


La muestra de sección pulida código **FS-R-03**, el oro se presenta como relleno de fracturas junto a la arsenopirita y pirrotita, marcasita diseminada en la roca (pizarra), y en algunos casos se encuentra reemplazando a la arsenopirita y pirrotita, su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 12.

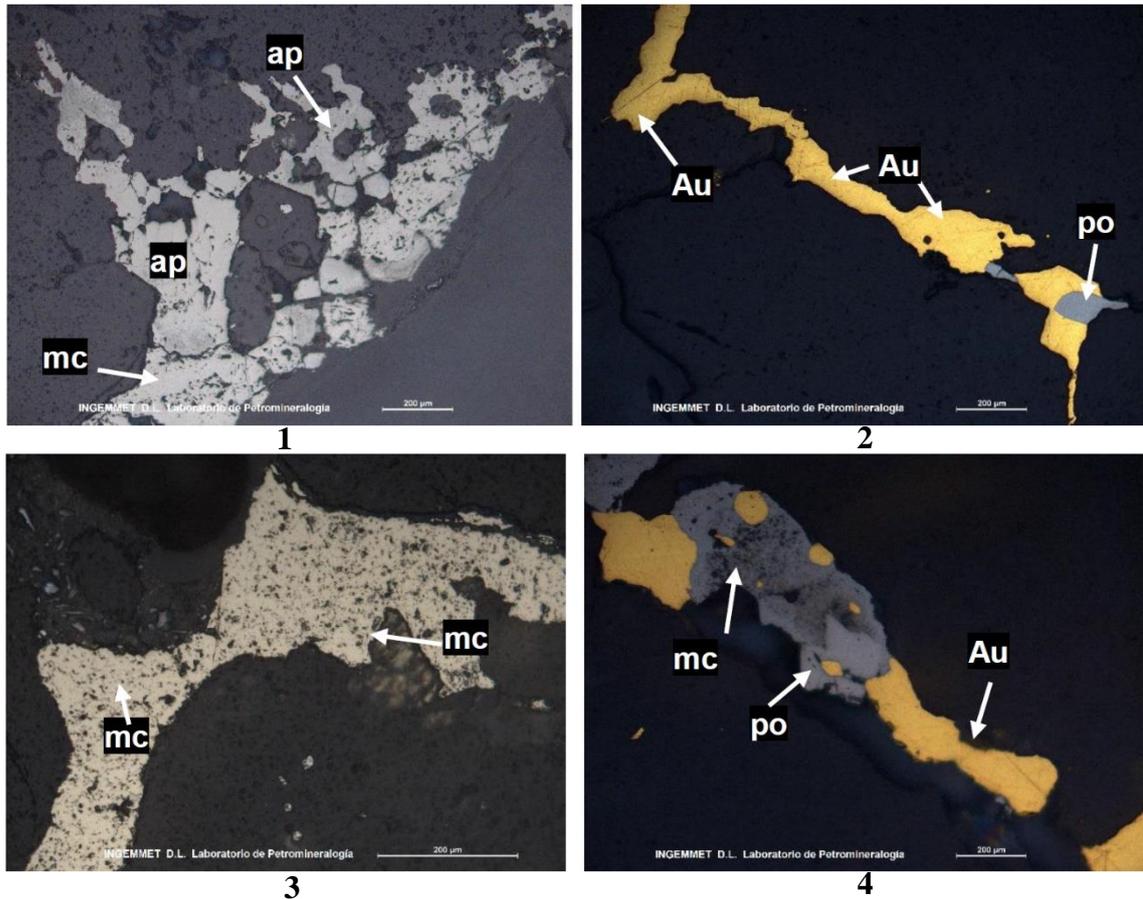
**Tabla 12.** Descripción minerográfica de la muestra sección pulida de código FS-R-03.

Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , agregados irregulares constituidos por cristales anhedrales, se presentan como relleno de fracturas de gangas (cuarzo de relleno) y oquedades, por sectores de encuentra reemplazando a pirrotita y marcasita.	$\leq 1.40$	5
<b>Marcasita</b> , cristales de formas subhedrales a anhedrales, se presentan diseminados en las gangas (pizarra y en cuarzo de relleno), se muestra reemplazando a pirrotita, arsenopirita y pirita, y esta se encuentra reemplazada por oro.	$\leq 1.30$	3
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas subhedrales, se encuentra rellenando fracturas y diseminados, en gangas (pizarra y cuarzo de relleno), se muestra reemplazada por marcasita y oro.	$\leq 0,50$	1
<b>Arsenopirita</b> , agregado de cristales subhedrales a euhedrales de habito rómbico y prismático, se encuentra como relleno de fracturas de gangas (pizarra). Asociado a pirita y reemplazado por marcasita.	$\leq 0,40$	traza
<b>Pirita</b> , agregados irregulares constituidos por cristales de formas anhedrales y subhedrales, con habito cubico, se encuentra ocupando intersticios del cuarzo de relleno. Se muestra reemplazado por marcasita.	$\leq 0,50$	traza
<b>Gangas</b> , comprende la roca caja (pizarra) y el relleno de cuarzo, emplazado entre las capas de la roca caja.	-	91
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno y diseminado sin ningún tipo de alteración.		

Se muestra agregados irregulares de oro, la cual ocurre como relleno de fracturas de gangas: GGs (cuarzo de relleno), Asimismo, se muestra cristales de pirrotita, englobados por oro (Figura 40).



**Figura 40.** Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo.



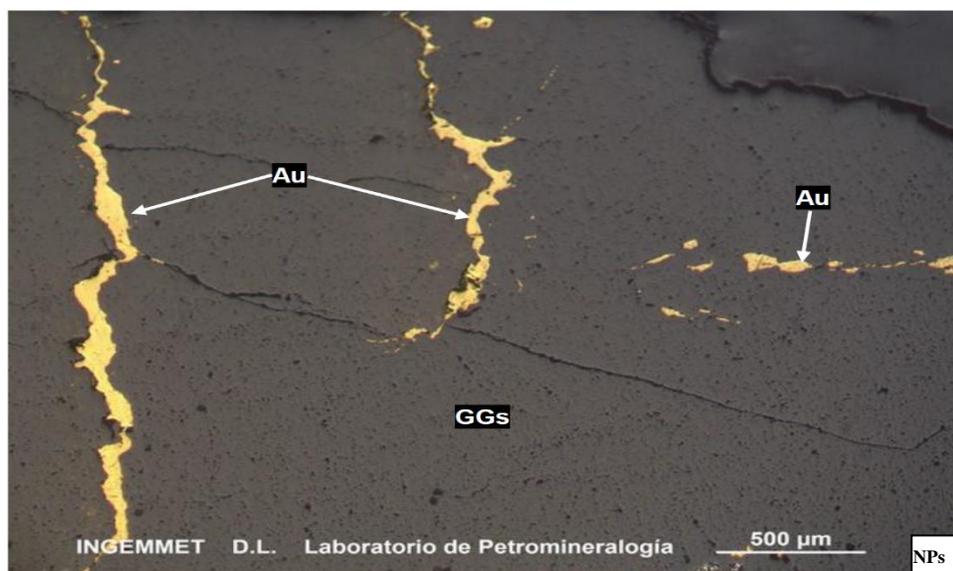
**Figura 41.** Fotomicrografías de la muestra código FS-R-03, comportamiento minerográfico del oro. **1.** Cristales anhedrales de arsenopirita (ap) de hábito rómbico, se encuentran diseminados en gangas (pizarra), la cual está reemplazada por marcasita (mc). **2.** Agregados irregulares de oro, se encuentran relleno de fracturas, se observa cristales de pirrotita (po), englobados por oro. **3.** Agregado de irregulares de marcasita (mc), se presentan como relleno de fracturas en las gangas (pizarra). **4.** Cristales anhedrales de oro, como relleno de fracturas, junto a pirrotita (po), la cual se encuentra reemplazada por marcasita (mc) y el oro.

La muestra de sección pulida código **12**, las fracturas se encuentran rellenas por cristales de oro libre, asociado con cristales de pirita y pirrotita. También se observa cristales de calcopirita relleno de fracturas, su descripción de cada mineral lo encontraremos en la Tabla 13.

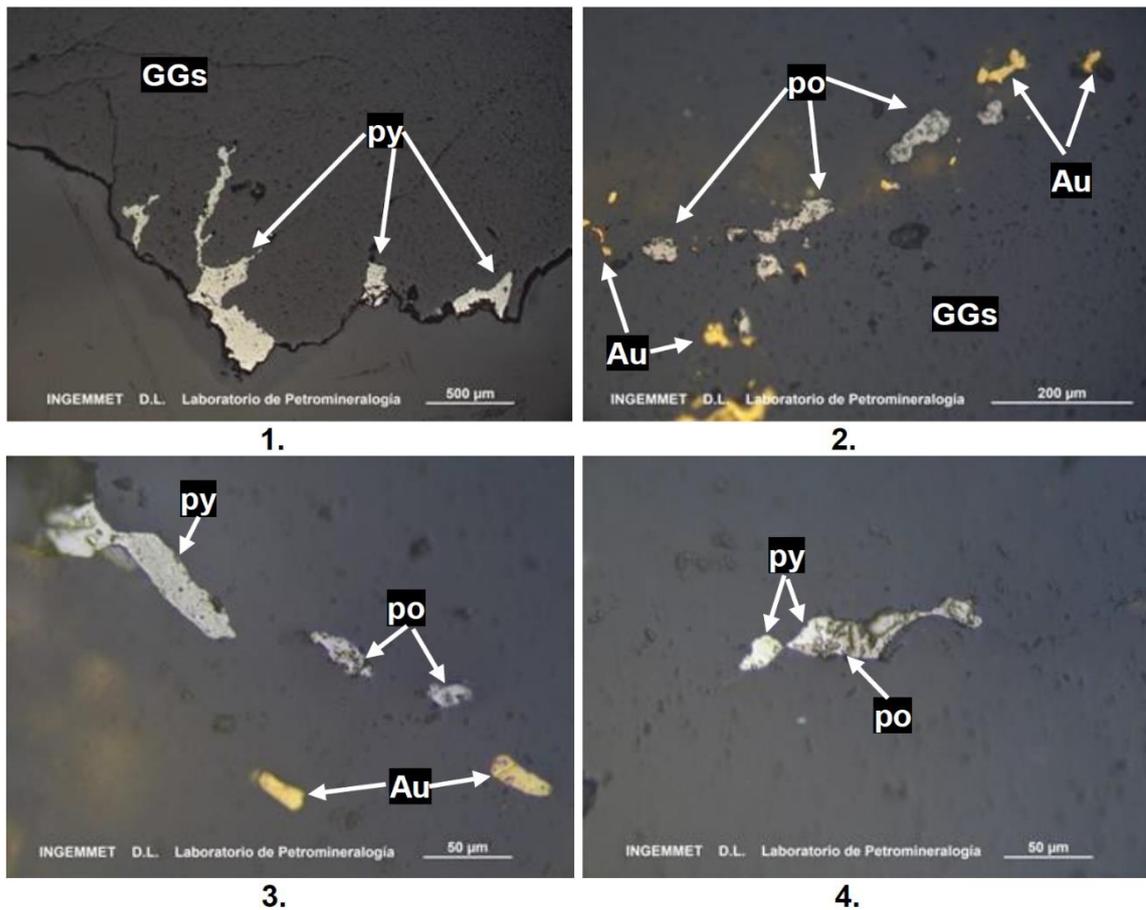
**Tabla 13.** Descripción minerográfica de la muestra sección pulida de código 12.

Mineralogía	Tamaño (mm)	%
<b>Oro</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como microcristales hasta agregados masivos, algunos ligeramente alargados, que rellenan fracturas y oquedades en material de ganga. Por sectores se encuentran asociados con microcristales de pirita y pirrotita.	≤ 0.60	3
<b>Pirita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de fracturas, asociado con cristales de oro libre y pirrotita; puntualmente se hallan a modo de reemplazamiento de cristales de pirrotita.	≤ 0.43	2
<b>Pirrotita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren como relleno de fracturas, asociado con cristales de oro libre. Además, puntualmente están reemplazados por agregados de cristales de pirita.	≤ 0,12	1
<b>Calcopirita</b> , cristales de formas anhedrales e irregulares, ocurren localmente como relleno de fracturas; por sectores asociados con agregados de oro libre.	≤ 0,11	traza
<b>Ganga</b> , corresponde a la parte no metálica, el cual presenta fracturas rellenas por minerales metálicos.	-	94
<b>Observación:</b> Las texturas principales son de relleno sin ningún tipo de alteración.		

La estructura de relleno (manto), está conformada por gangas (GGs), presenta fracturas rellenas por agregado de cristales de oro libre (Figura 42).



**Figura 42.** Fotomicrografía de la muestra código 12, ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo.



**Figura 43.** Fotomicrografías de la muestra código FS-R-03, comportamiento minerográfico del oro. **1.** Cristales de pirita (py), relleno de fracturas en gangas (GGs). **2.** Cristales de oro libre y pirrotita (po), que rellenan fracturas en gangas (GGs). **3.** Cristales de pirita (py), pirrotita (po) y oro libre, en fracturas de gangas (GGs). **4.** Cristales de pirrotita (po), reemplazados por pirita (py).

### 5.3. ANÁLISIS ELEMENTAL EN MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

El análisis elemental fue proporcionado por detectores (EDS) que captaron las señales que emite la muestra en la interacción con los electrones, a través de una exploración puntual y espacial. Para el procesamiento de análisis de barrido se consideró dos campos de análisis:

- **Análisis espectral puntual (Spectrum):** es una exploración puntual, es decir que se analizó un punto cuyo resultado brinda información composicional.

- **Análisis mapeo espectral total (Map Sum Spectrum):** es una exploración espacial, es decir que se analizó un área mostrando una imagen composicional.

La preparación de las muestras se realizó en briquetas para el análisis de barrido, por lo tanto, se optó de ciertas condiciones requeridas para el análisis, tal como se muestra en la Tabla 14.

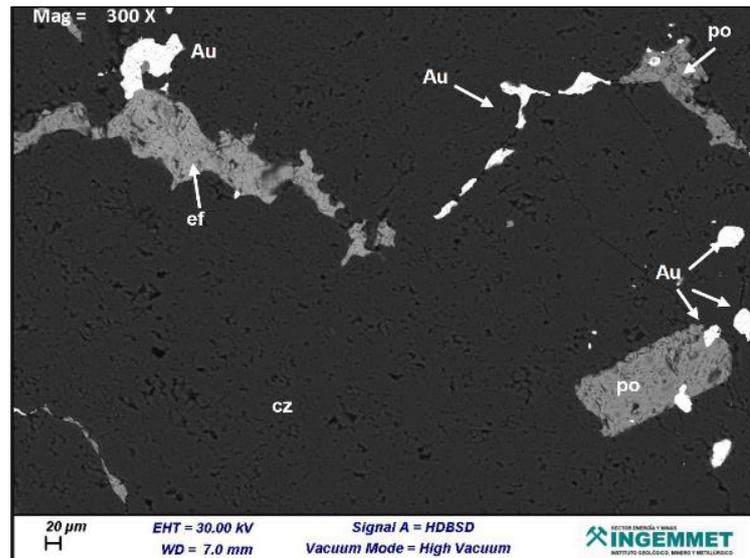
**Tabla 14.** Condiciones requeridas para el análisis de barrido.

<b>Requerimiento de preparación de la muestra</b>	
Recubrimiento por carbón	
Recubrimiento por oro	
No requiere recubrir	X
<b>Modo de trabajo</b>	
Alto vacío (HV)	X
Presión variable (VP)	
<b>Detectores utilizados</b>	
Electrones secundarios (SE)	X
Electrones retrodispersados (HDBSD)	X
Energía dispersiva de rayos x (EDS)	X
Catodoluminiscencia (CL)	

### 5.3.1. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo verdoso

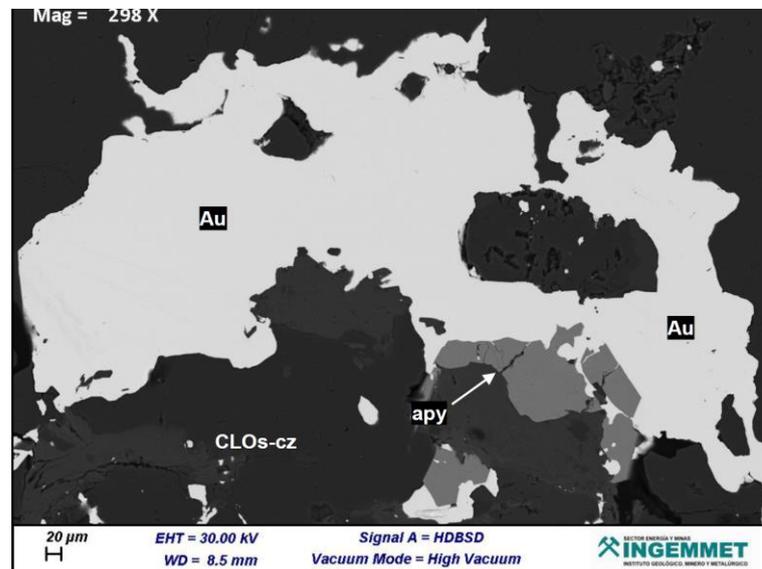
Los resultados de análisis elemental en microscopía electrónica de barrido con detectores (EDS), son de tres muestras y preparadas en briquetas de código FS-G-01, código 11 y código G, extraídas de la zona baja del cerro San Francisco a la cota 4833, 4822, 4815 msnm respectivamente.

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso en la muestra FS-G-01, el detalle de las fases mineralógicas: pirrotita (po), como relleno de fracturas al igual que la esfalerita (ef), el oro (Au), por su parte rellena fracturas y reemplaza a la pirrotita (po) y esfalerita (ef). Dicho ensamble mineralógico se encuentra dispuesto sobre cuarzo (cz) (Figura 44).



**Figura 44.** Fotomicrografía de la muestra código FS-G-01 por electrones secundarios (SE).

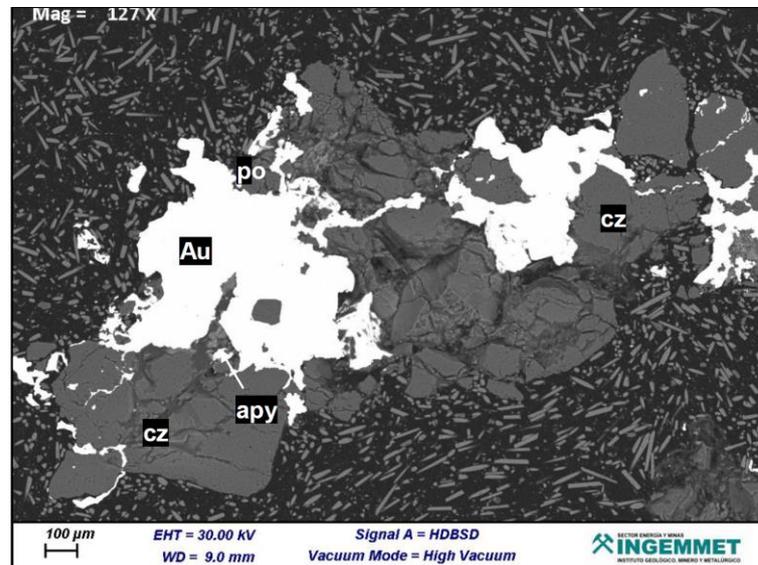
La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso en la muestra código 11, manifiesta a un agregado de cristales de oro, que se encuentran como relleno de fracturas del cuarzo y cloritas. Asimismo, se observa cristales de arsenopirita (apy), que fueron reemplazados por el oro (Figura 45).



**Figura 45.** Fotomicrografía de la muestra código 11, por electrones secundarios (SE).

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo verdoso en la muestra código G, manifiesta el detalle de las fases mineralógicas constituidos por cristales anhedrales de

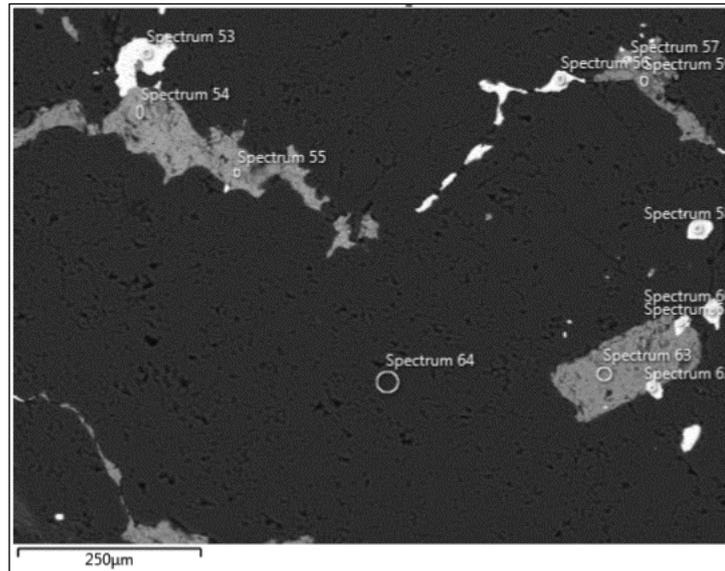
oro (Au), con inclusiones de arsenopirita (apy) y pirrotita (po). Dispuestas junto a cuarzo (cz) (Figura 46).



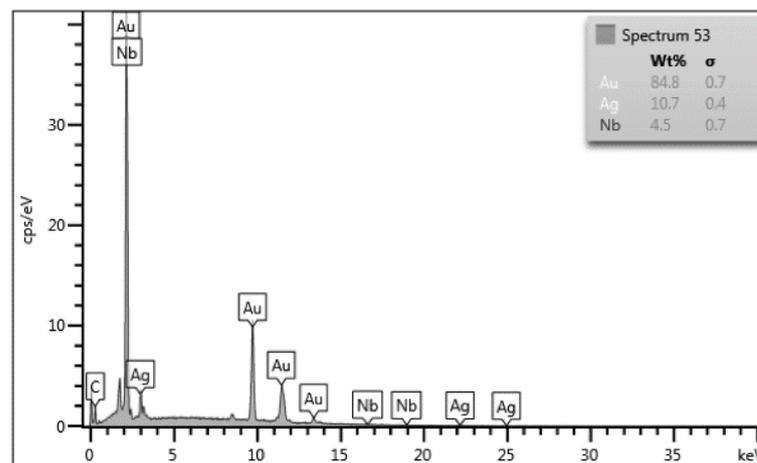
**Figura 46.** Fotomicrografía de la muestra código G, por electrones secundarios (SE).

#### A. Análisis espectral puntual (Spectrum)

Según el análisis puntual en el spectrum 53 se observa que el mineral de oro (Au=84.8 % Wt) tiene contenido de plata (Ag=10.7) y niobio (Nb=4.5). (Figura 47 y 48).



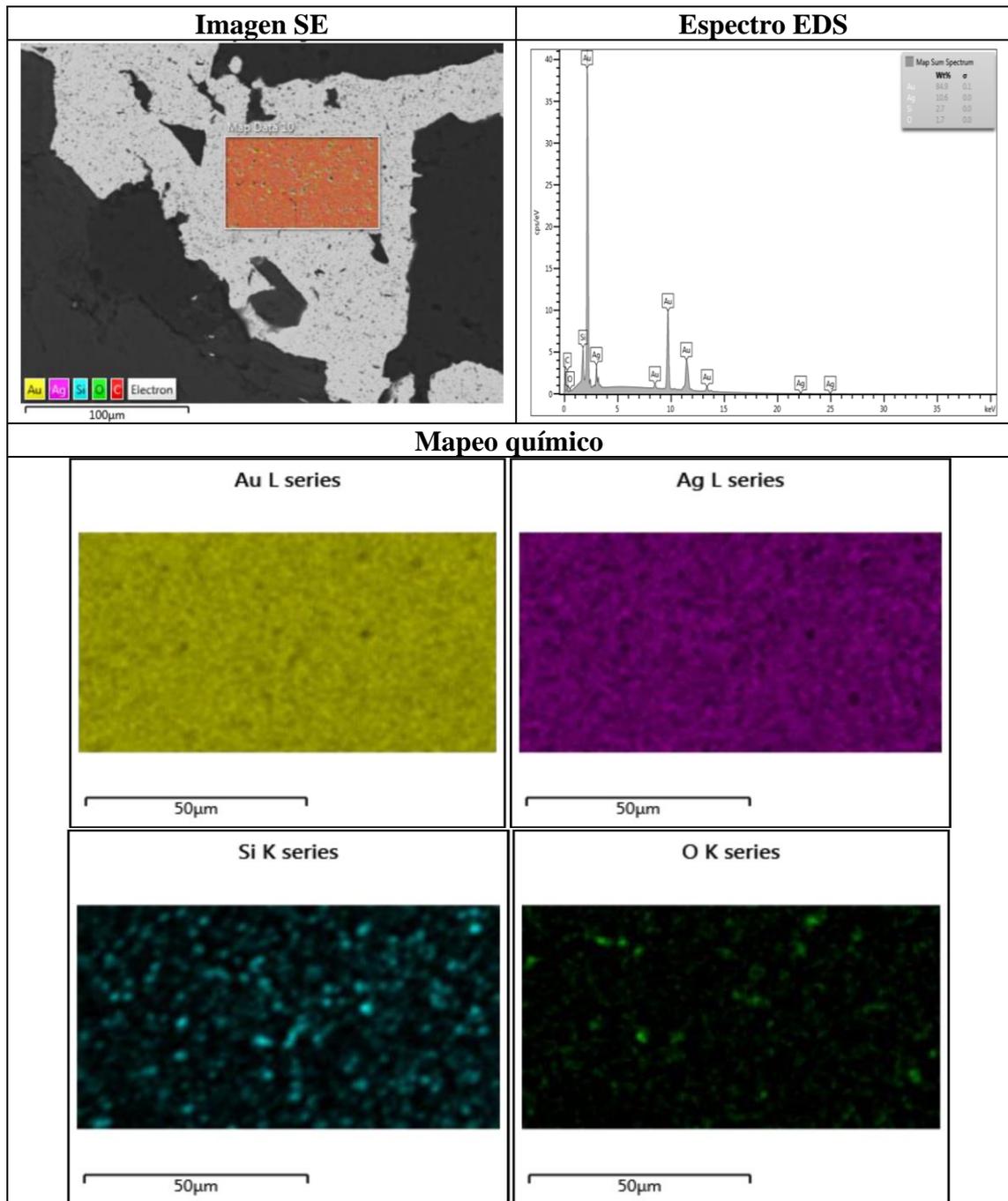
**Figura 47.** Fotomicrografía de la muestra código FS-G-01 ubicación puntual del Spectrum 53 (mena del oro).



**Figura 48.** Análisis EDS de elementos de la muestra código FS-G-01 con su tabla de valores del Spectrum 53.

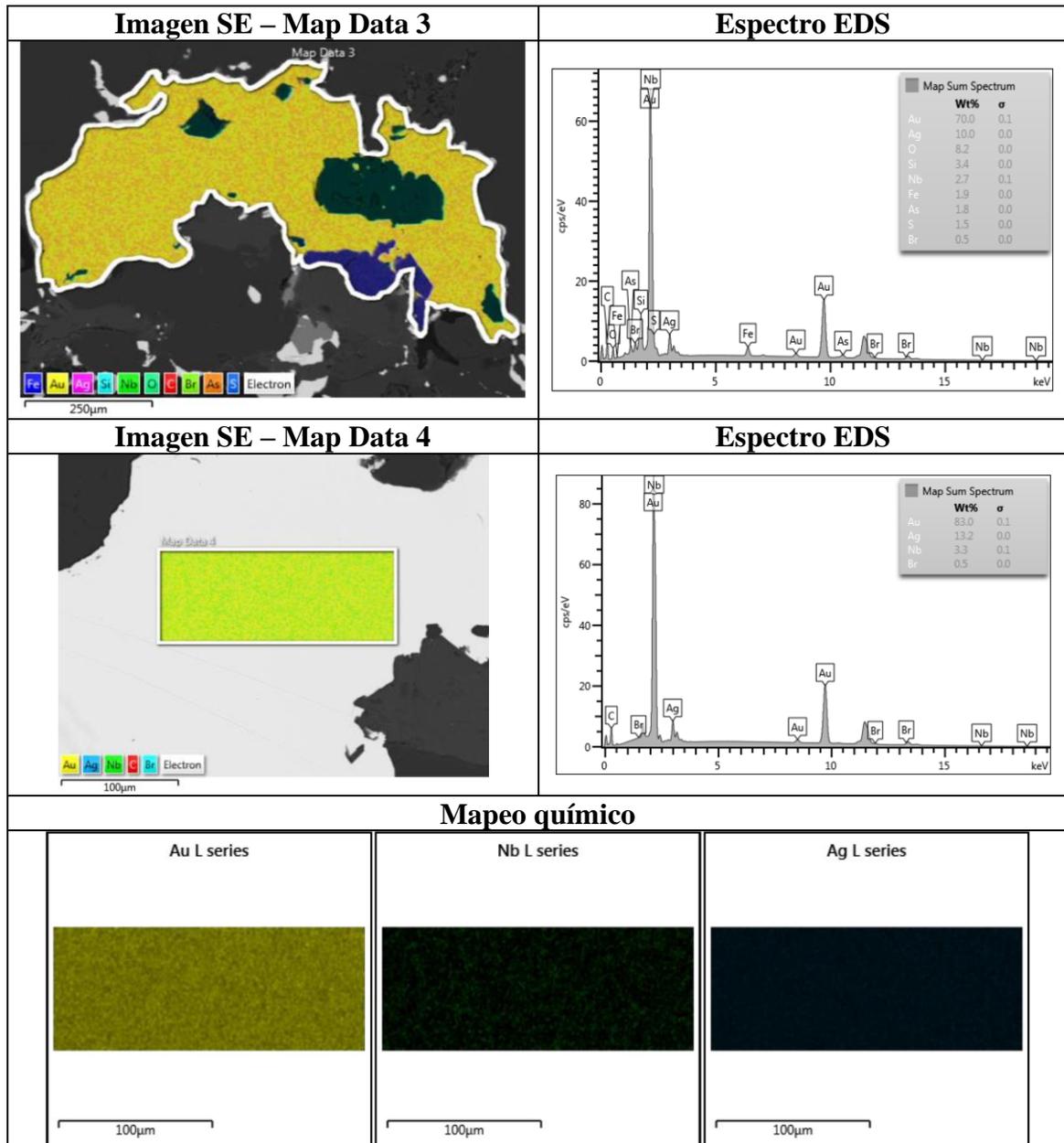
### B. Análisis mapeo espectral total (Map Sum Spectrum)

Según el análisis composicional se observa que el mineral de oro tiene contenido de plata y presenta poros microscópicos rellenos de cuarzo (Figura 49).



**Figura 49.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-G-01.

Según el análisis composicional en el espectro Map Data 3 se observa que el mineral de oro (Au) está acompañado por metales de plata (Ag), niobio (Nb), hierro (Fe), arsénico (As). El análisis composicional en el espectro Map Data 4 se observa que el mineral de oro tiene contenido de plata (Ag), niobio (Nb) (Figura 50).



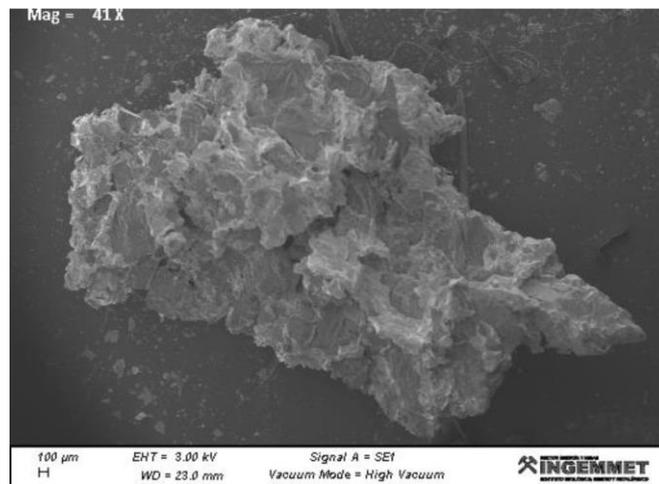
**Figura 50.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 11.

### C. Análisis de la morfología del oro

La partícula de oro tinte amarillo verdoso, a simple vista tiene una morfología irregular y punteaguda (Figura 51).

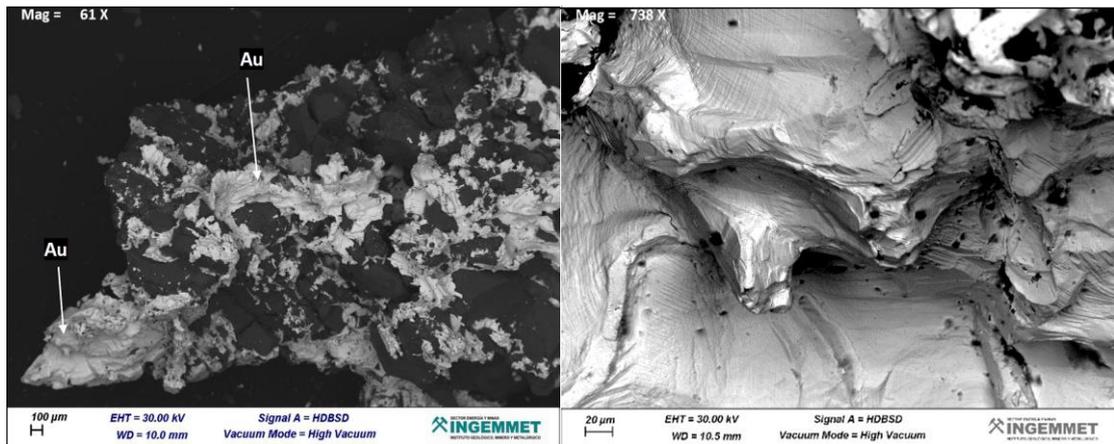


**Figura 51.** Imagen por estereomicroscopio de la muestra código G, de partícula de oro tinte amarillo verdoso.



**Figura 52.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código G de partícula de oro tinte amarillo verdoso.

Se muestra el detalle morfológico de los granos de oro con intercrecimiento con cuarzo y cloritas. La partícula de oro presenta textura hojosa con bordes curvados (Figura 53).

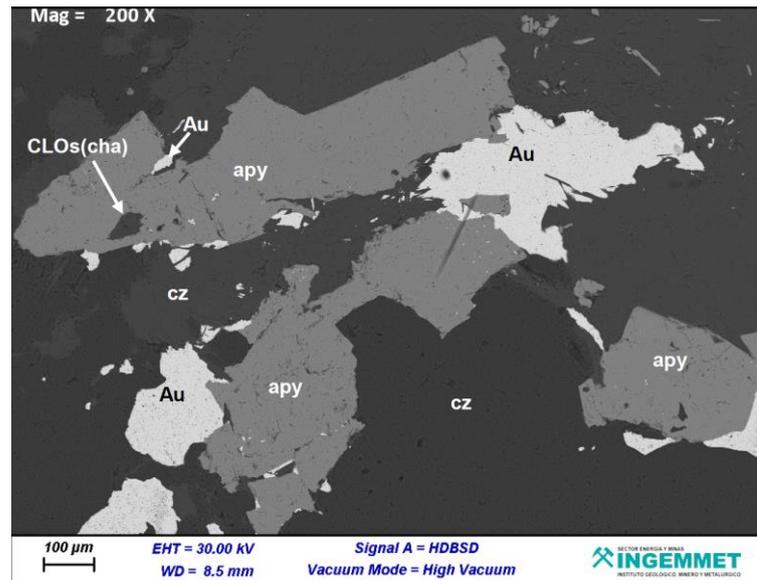


**Figura 53.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código G.

### 5.3.2. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo

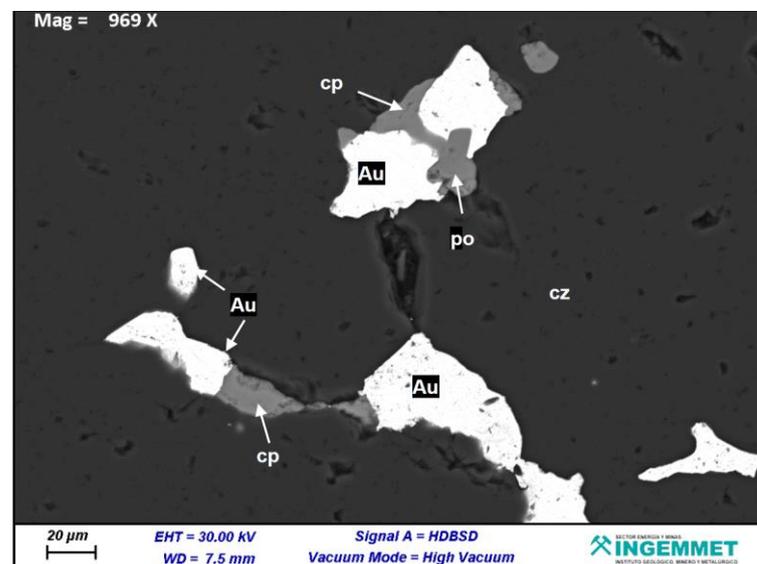
Los resultados de análisis elemental en microscopía electrónica de barrido con detectores (EDS), son de tres muestras y preparadas en briquetas de código FS-Y-05, código 10 y código Y, extraídas de la zona intermedia del cerro San Francisco a la cota 4995, 4999 y 5010 msnm.

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo de la muestra FS-Y-05, manifiesta agregado de cristales de arsenopirita (apy), que se encuentran intercrecidos con cloritas (chamosita): CLOs (cha). La arsenopirita se encuentra reemplazada por cristales anhedrales de oro (Au), a través de sus fracturas, bordes y poros, dicho ensamble se encuentra dispuesto sobre cuarzo (cz) (Figura 54).



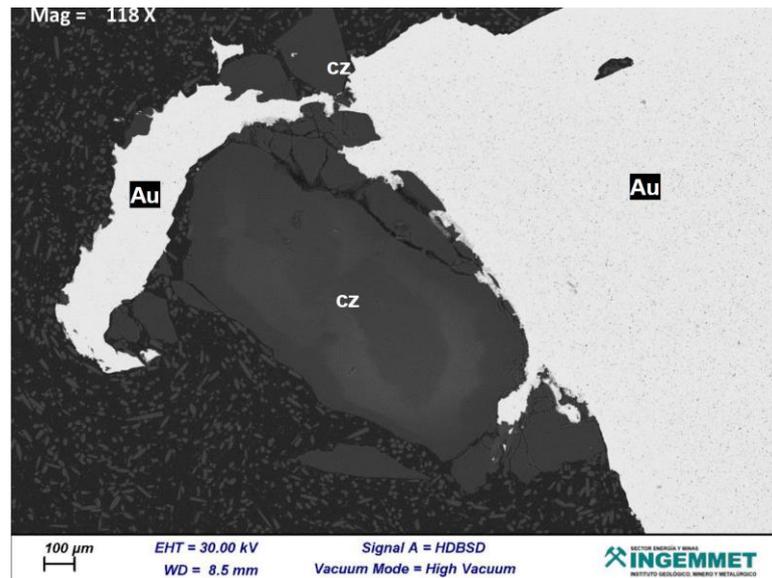
**Figura 54.** Fotomicrografía de la muestra código FS-Y-05 por electrones secundarios (SE).

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo de la muestra código 10, se observa cristales de pirrotita (po) y calcopirita (cp), como relleno de fracturas y se encuentran, reemplazados por oro dispuestos sobre cuarzo (cz) (Figura 55).



**Figura 55.** Fotomicrografía de la muestra código 10 por electrones secundarios (SE).

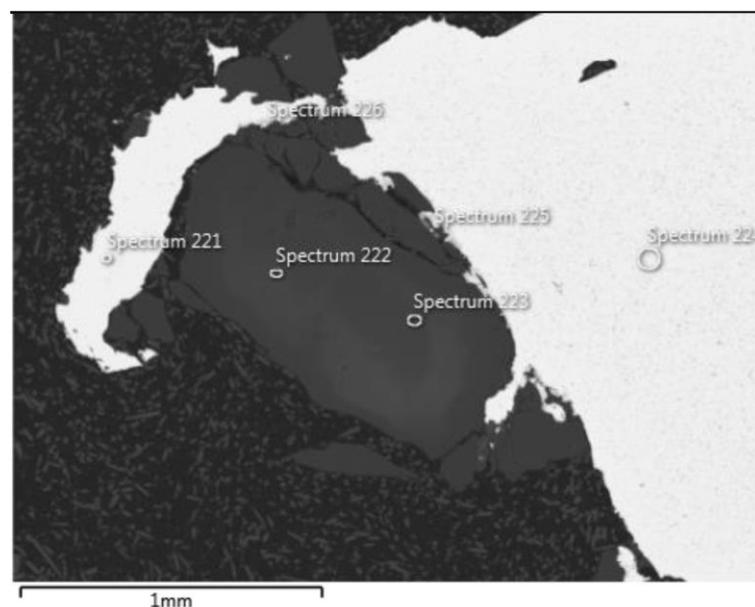
La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo de la muestra código Y, manifiesta un agregado de oro, que engloba parcialmente un cristal de cuarzo (cz). El oro presenta plata como solución sólida (Figura 56).



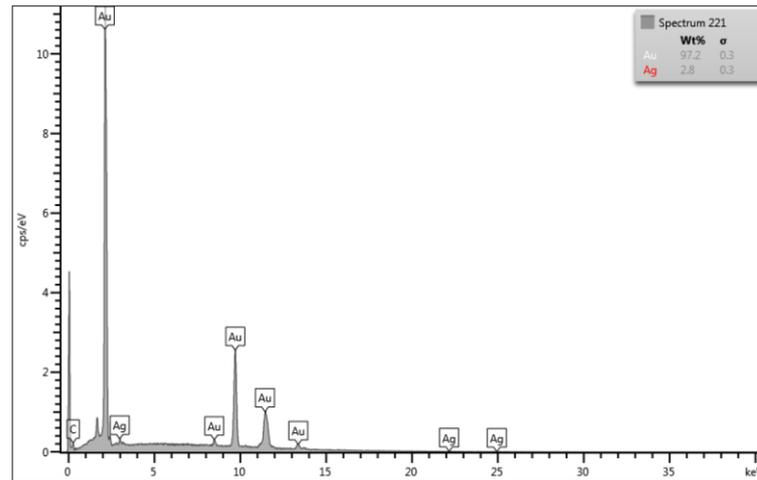
**Figura 56.** Fotomicrografía de la muestra código Y por electrones secundarios (SE).

#### A. Análisis espectral puntual (Spectrum)

Según el análisis puntual en el spectrum 221 se observa que el mineral de oro (Au) tiene un contenido mínimo de plata (Ag) (Figura 57 y 58).



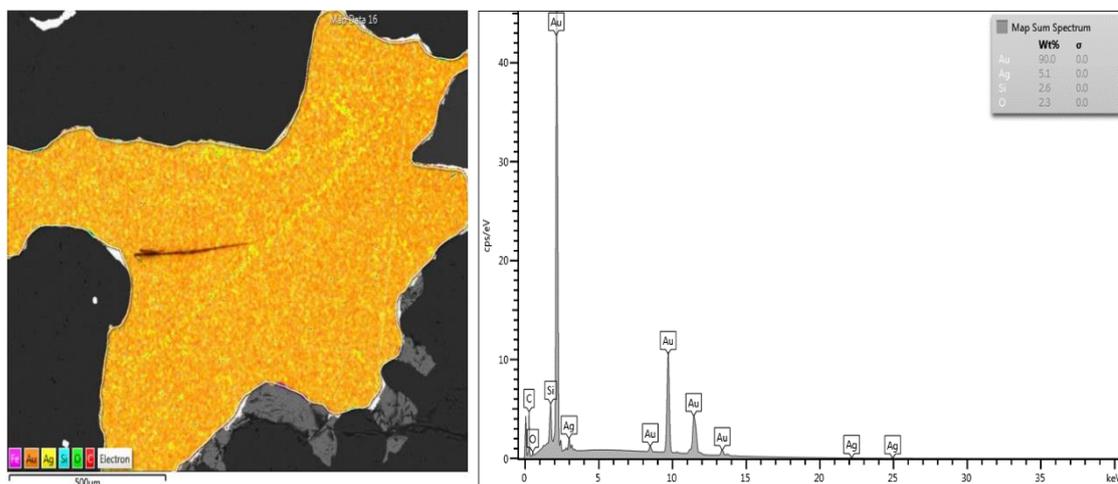
**Figura 57.** Fotomicrografía de la muestra código Y, ubicación puntual del Spectrum 221 (mena del oro).



**Figura 58.** Análisis EDS de elementos de la muestra código Y con su tabla de valores del Spectrum 221.

### B. Análisis mapeo espectral total (Map Sum Spectrum)

Según el análisis EDS de elementos, en el espectro se observa que el mineral de oro (Au) contiene un 90 Wt% y está acompañado por la plata en un 5.1 Wt% y el resto viene a ser el cuarzo. (Figura 59).

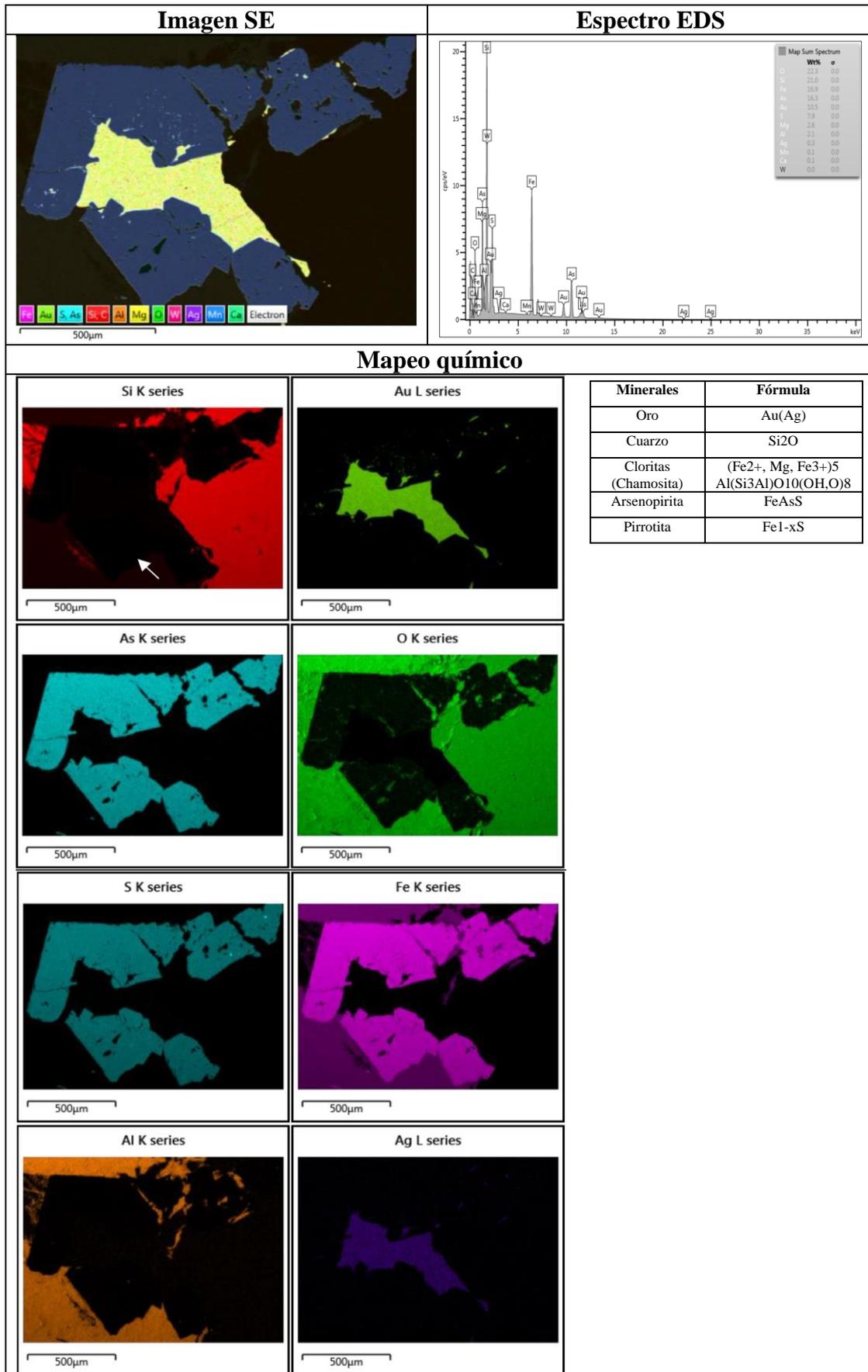


**Figura 59.** Microanálisis químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-Y-05.

En el análisis composicional en el espectro se observa que el mineral de oro (Au) está acompañado por elementos de hierro (Fe), arsénico (As), magnesio (Mg), aluminio

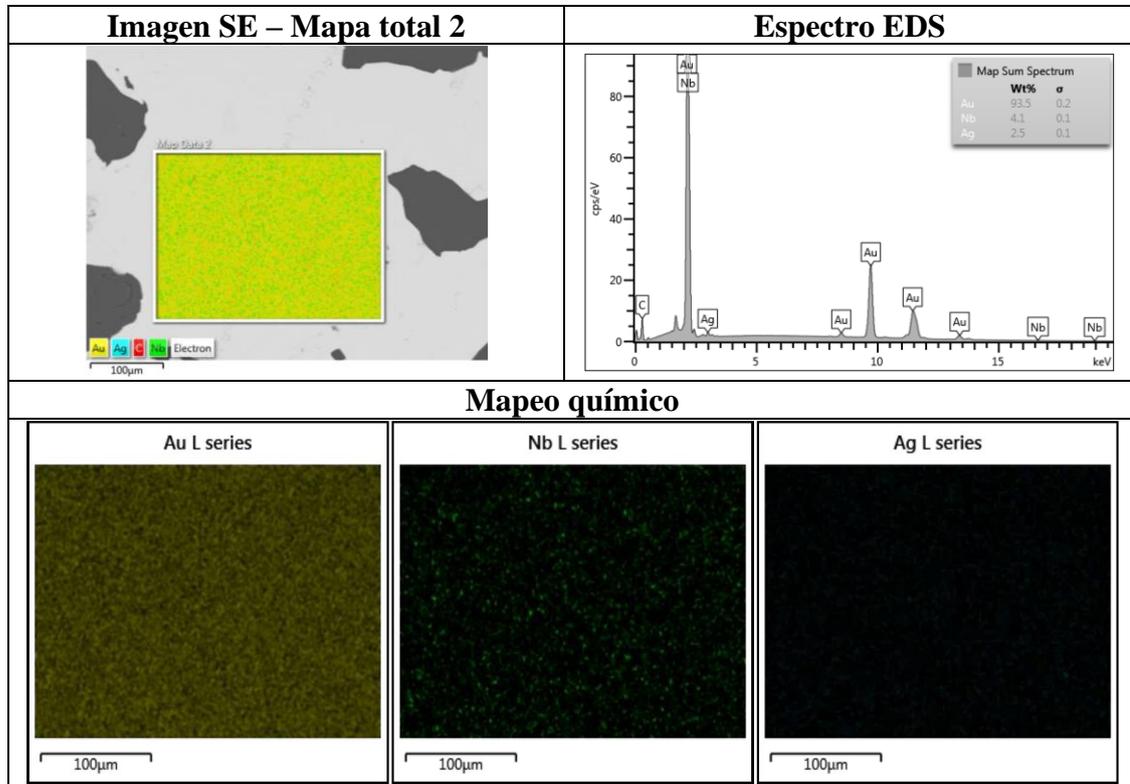


(Al), plata (Ag), manganeso (Mn), wolframio (W), lo cual son elementos que normalmente acompañan al oro orogénico (Figura 60).



**Figura 60.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-Y-05.

Según el análisis composicional en el espectro de mapa total 2 se observa que el mineral de oro tiene contenido de niobio (Nb) en 4.1 Wt% y plata (Ag) con 2.5 Wt%. (Figura 61).



**Figura 61.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 10.

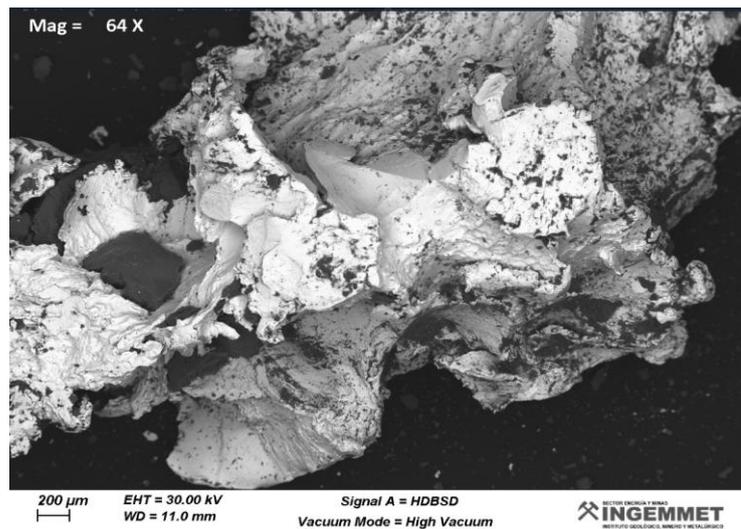
### C. Análisis de la morfología del oro

La partícula de oro tinte amarillo, a simple vista tiene una morfología irregular y con bordes subredondeados. (Figura 62).

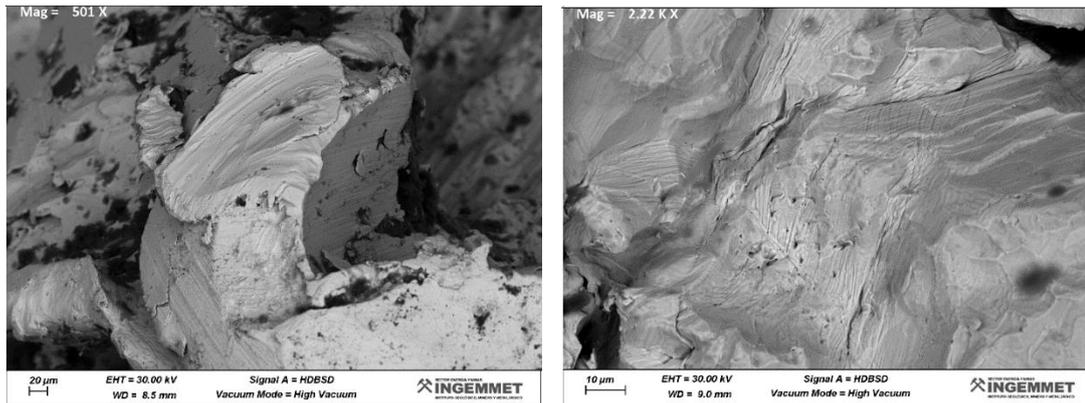


**Figura 62.** Imagen por estereomicroscopio de la muestra código Y, de partícula de oro tinte amarillo.

En la Figura 63 y 64 se muestra el detalle morfológico de la masa de oro fibrosa y flexionada. Oro con textura hojosa con bordes redondeados.



**Figura 63.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código Y de partícula de oro tinte amarillo.

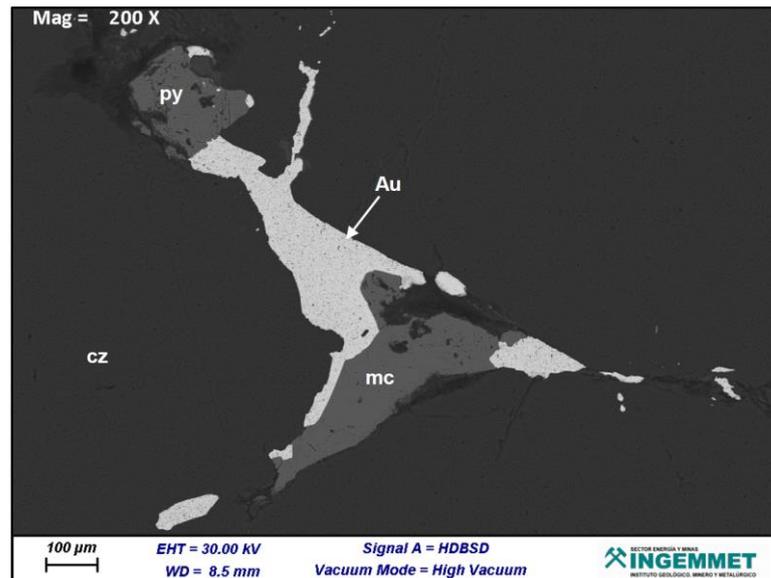


**Figura 64.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código Y.

### 5.3.3. Análisis elemental de la variedad de oro tinte amarillo rojizo

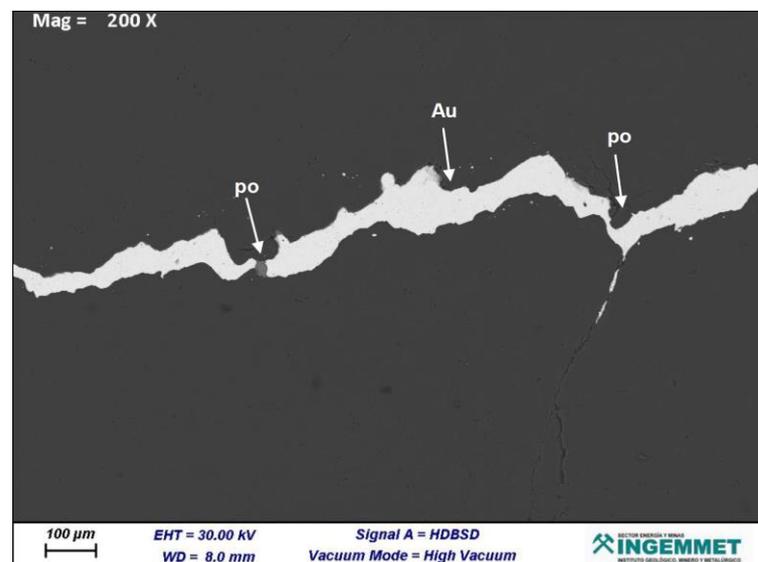
Los resultados de análisis elemental en microscopia electrónica de barrido con detectores (EDS), son de tres muestras y preparadas en briquetas de código FS-R-03, código 12 y código R, extraídas de la zona intermedia del cerro San Francisco a la cota 5055, 5053 y 5049 msnm respectivamente.

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo de la muestra FS-R-03, manifiesta cristales de pirita (py), alterados a marcasita (mc), como relleno de fracturas. Asimismo, se muestra que el oro, se encuentra tapizando las fracturas y reemplazando a la marcasita y pirita (Figura 65).



**Figura 65.** Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03 por electrones secundarios (SE).

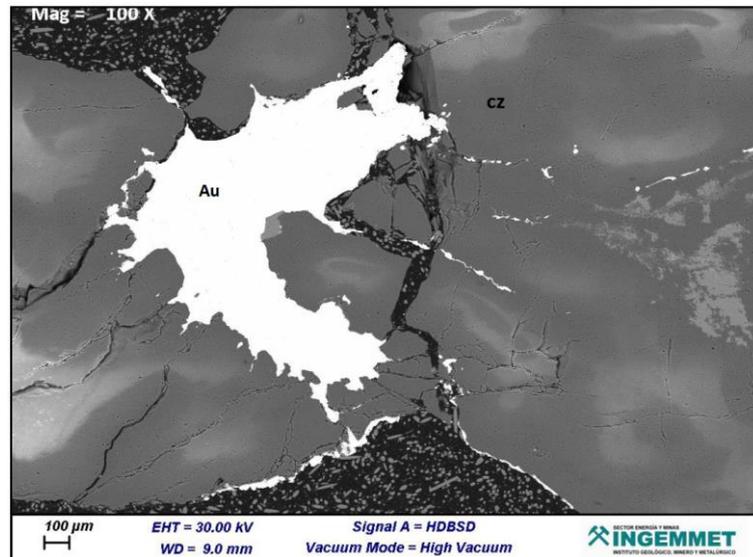
La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo en la muestra código 12, manifiesta agregado de cristales de oro, como relleno de fracturas de cuarzo (cz). Asimismo, se muestra escasos cristales de pirrotita (po), que se encuentran a modo de relictos, reemplazados por el oro (Figura 66).



**Figura 66.** Fotomicrografía de la muestra código 12 por electrones secundarios (SE).

La ocurrencia de la variedad de oro tinte amarillo rojizo en la muestra código R, manifiesta agregados irregulares de oro, que ocurre a modo de relleno de fracturas de

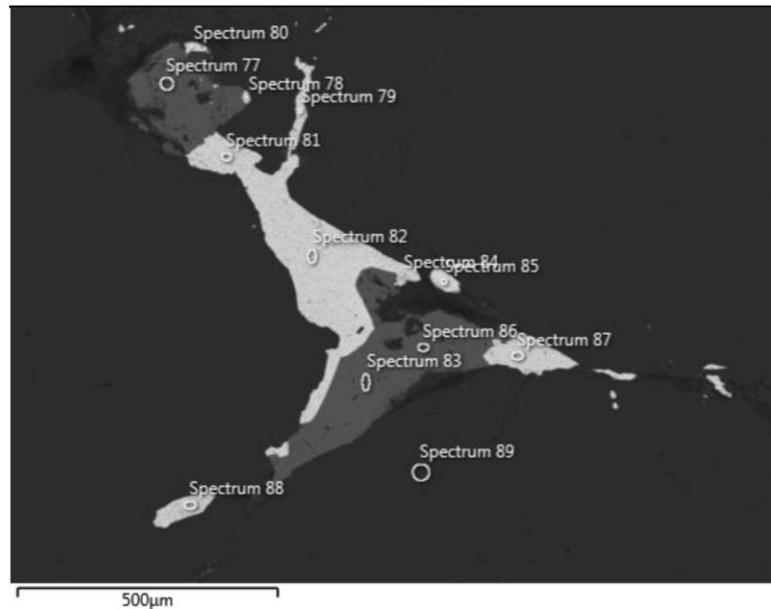
cristales de cuarzo (cz). Asimismo, se muestra parte de la roca, posible pizarra, constituida por cuarzo y clorita (Figura 67).



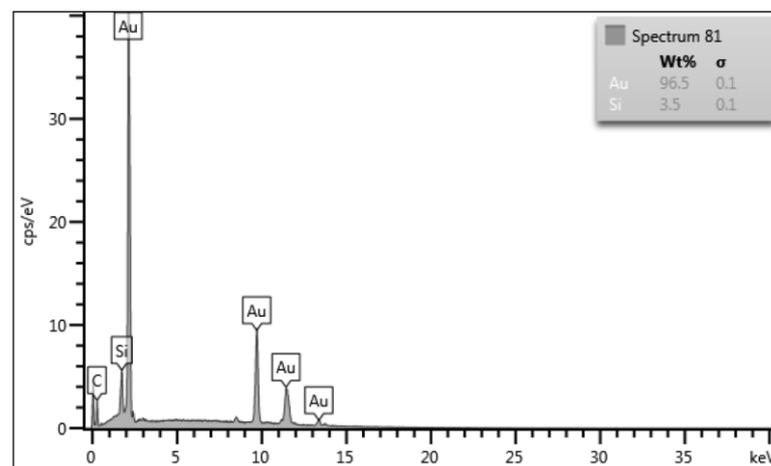
**Figura 67.** Fotomicrografía de la muestra código R por electrones secundarios (SE).

#### **A. Análisis espectral puntual (Spectrum)**

Según el análisis puntual en el spectrum 81 se observa que el mineral de oro (Au) no está acompañado por ningún otro elemento metálico (Figura 68 y 69), considerando que tiene un alto peso porcentual total.



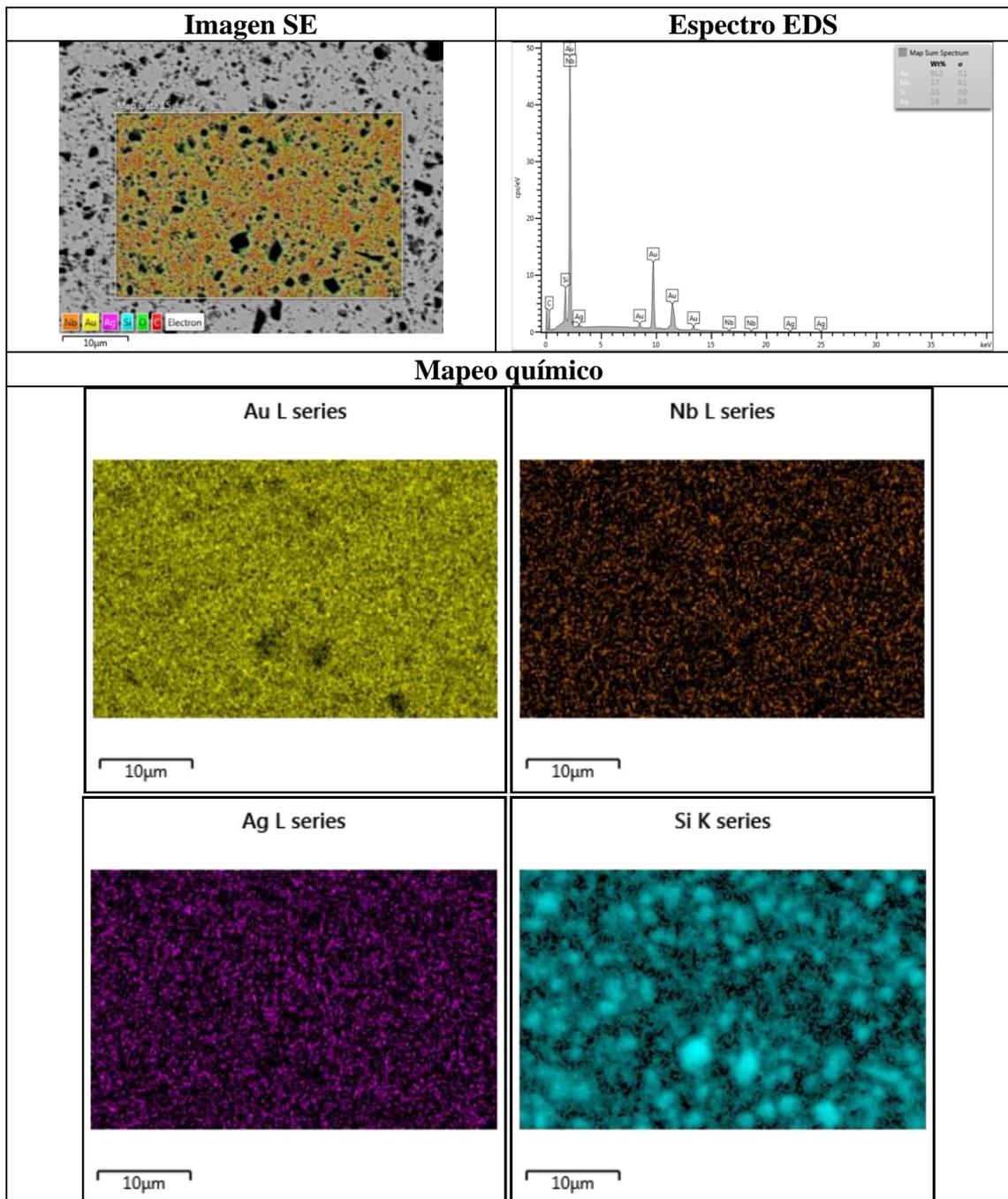
**Figura 68.** Fotomicrografía de la muestra código FS-R-03, ubicación puntual del Spectrum 81 (mena del oro).



**Figura 69.** Análisis EDS de elementos de la muestra código FS-R-03 con su tabla de valores del Spectrum 81.

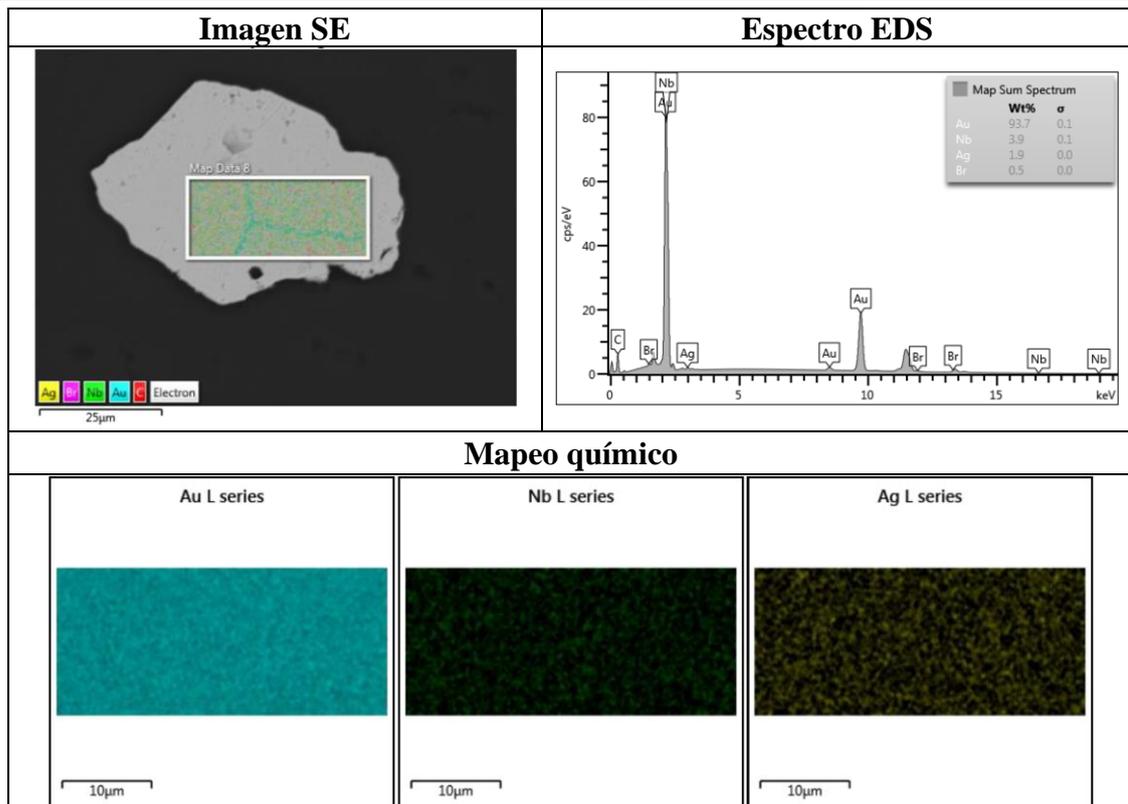
### **B. Análisis mapeo espectral total (Map Sum Spectrum)**

Según el análisis composicional se observa que el mineral de oro tiene contenido de niobio (Nb) y plata (Ag) en mínima cantidad porcentual (Figura 70).



**Figura 70.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código FS-R-03.

Según el análisis composicional se observa que el mineral de oro tiene contenido de niobio (Nb), plata (Ag) en mínima cantidad porcentual (Figura 71).



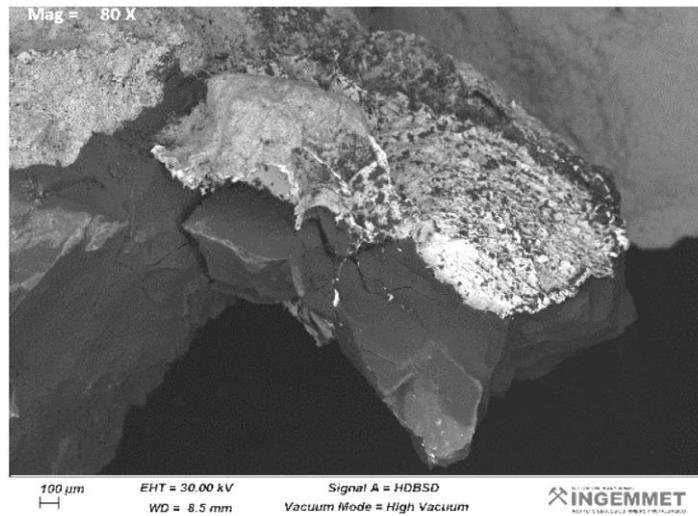
**Figura 71.** Microanálisis composicional y químico elemental por mapeo espectro total de la muestra código 12.

### C. Análisis de la morfología del oro

La partícula de oro tinte amarillo rojizo, a simple vista tiene una morfología plana y con bordes subredondeados (Figura 72 y 73).

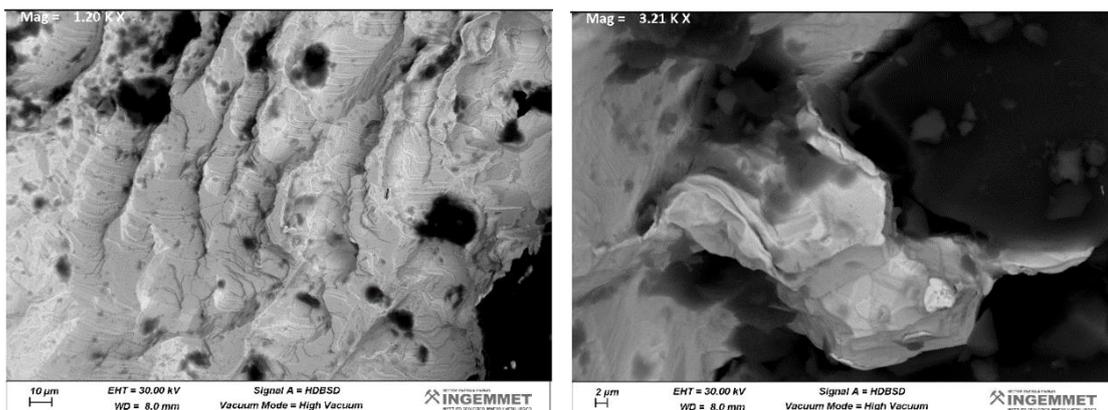


**Figura 72.** Imagen por estereomicroscopio de la muestra código R, de partícula de oro tinte amarillo rojizo.



**Figura 73.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de la muestra código R de partícula de oro tinte amarillo rojizo.

En la Figura 74 se muestra el detalle morfológico de la masa de oro es fibrosa y flexionada, la textura es hojosa con bordes redondeados.



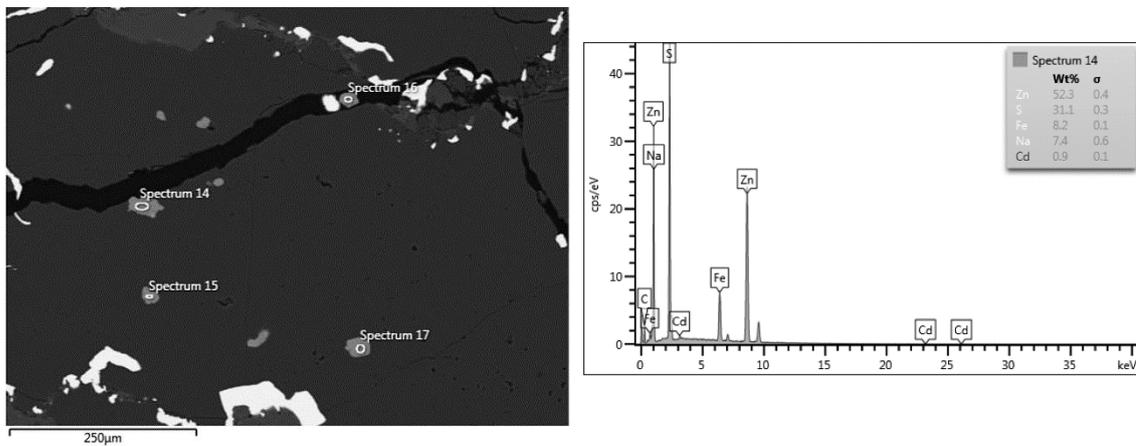
**Figura 74.** Fotomicrografía en microscopio electrónico de barrido de morfología de la muestra código R.

#### 5.4. GEOQUÍMICA MINERAL DE LAS VARIEDADES AURIFERAS

La composición del oro orogénico en el cerro San Francisco, Ananea, se tiene oscilando entre 80% a 96% de Au, entre 11% a 2% de Ag y valores anómalos de enriquecimiento HFSE de Nb entre 3% a 4%, cuya mineralización está acompañada por pirrotita, arsenopirita, pirita y en cantidades mínimas la calcopirita, esfalerita. La

presencia de Nb nos lleva a deducir que el ambiente de formación fue a grandes temperaturas y que vienen de procedencias muy antigua según (Yang et al., 2013).

Además, cabe mencionar que en los cristales de esfalerita se tiene valores de cadmio (Cd) en un 0.9% en peso y el Fe es relativamente bajo, eso quiere decir que su constitución conlleva a un nuevo mineral en formación que vendría a ser la marmatita (Figura 73).



**Figura 75.** Fotomicrografía de la muestra código 11 y su análisis EDS de la esfalerita con contenido de cadmio.

En cuanto al oro tinte amarillo verdoso, se tiene una concentración de Au oscilando entre 82%  $\pm 2$  y lo acompañan la Ag con un 11%  $\pm 2$ , que es una considerable cantidad pero que no llega para formar el oro electrum. Además de Nb, Fe, As, y Cd que se encuentran sumando 5% aproximadamente también influye en la tonalidad aurífera dándole inclinación a la coloración verdosa, en especial el Cd, Tabla 15.

**Tabla 15.** Elementos aleados al oro tinte amarillo verdoso según resultados MEB.

Elemento	Wt%
<b>Au</b>	82 $\pm 2$
<b>Ag</b>	11 $\pm 2$
<b>Nb</b>	3 $\pm 1$
<b>Fe</b>	1.5 $\pm 1$
<b>As</b>	1 $\pm 0.5$
<b>Cd</b>	0.8 $\pm 0.1$

En el oro tinte amarillo la concentración de oro oscila en 91%  $\pm 2$  y lo acompaña en menor cantidad la Ag con 4.5%  $\pm 1$ , además de Nb, Mn, W, que son elementos característicos en el oro orogénico e influyen a la tonalidad mencionada.

**Tabla 16.** Elementos aleados al oro tinte amarillo según resultados MEB.

Elemento	Wt%
<b>Au</b>	91 $\pm 2$
<b>Ag</b>	4.5 $\pm 1$
<b>Nb</b>	4 $\pm 0.5$
<b>Mn</b>	0.1 $\pm 0.1$
<b>W</b>	0.1 $\pm 0.1$

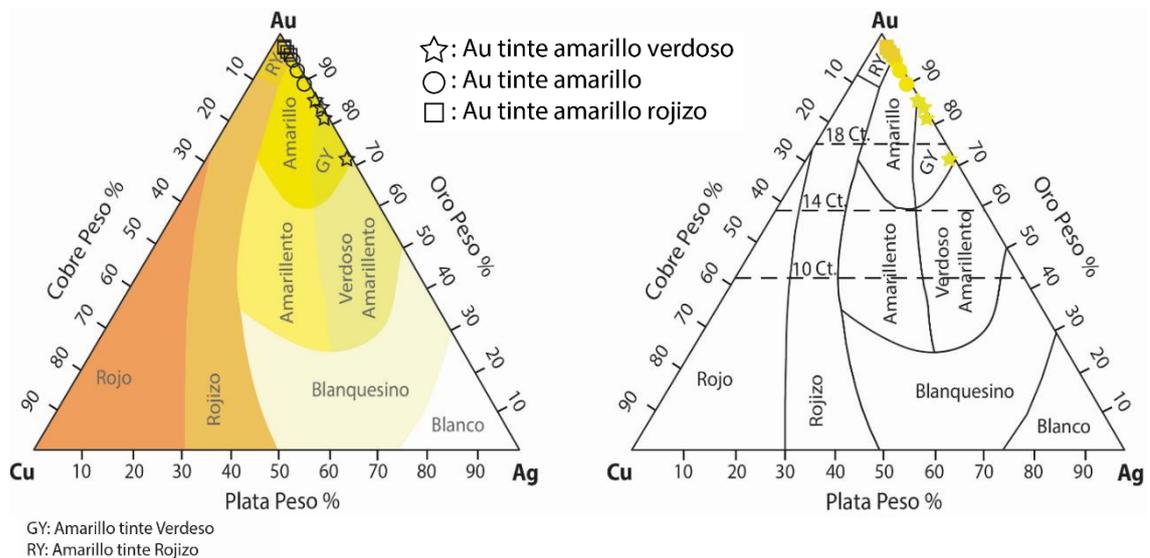
El oro tinte amarillo rojizo, el cual viene a ser el color característico del oro tiene una concentración que oscila en 94%  $\pm 2$  y está acompañado por la Ag con 1.5%  $\pm 0.5$  que es menor a diferencia de las otras variedades. El Nb sigue estando presente sin alterar su concentración promedio de 3% a 4% al igual que las demás variedades.

**Tabla 17.** Elementos aleados al oro tinte amarillo rojizo según resultados MEB.

Elemento	Wt%
<b>Au</b>	94 $\pm 2$
<b>Ag</b>	1.5 $\pm 0.5$
<b>Nb</b>	3.5 $\pm 0.5$

Representado mediante el diagrama de tonalidades ternario de Au-Ag-Cu (obviando la presencia de Cu aleado al oro para este caso), ayudaron para un mejor entendimiento para la clasificación de tonalidades, y a ésta también involucra la presencia de los demás elementos que influyen a la inclinación de dichas tonalidades. Según (Jhon W. et al, 2005), el color característico del oro vendría a ser el amarillo tinte rojizo cuando es puro; para este estudio se encontró tres variedades de tonalidades de Au, en función a la aleación de elementos químicos metálicos que intervinieron en el tono y pureza, lo cual

el Au principal vendría a ser el de tinte amarillo rojizo, donde hay mayor concentración de oro, y secuencialmente estaría el Au tinte amarillo y el Au tinte amarillo verdoso, donde en estos dos últimos hay mayor cantidad de elementos aleados al oro orogénico (Figura 76).



**Figura 76.** Diagrama ternario de tonalidades auríferas con los resultados MEB.

## 5.5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

Dentro de la **descripción petrográfica** se puede notar que las tres variedades auríferas tienen una mineralogía en común: como predominancia las micas, cloritas que son constituyentes de la roca caja (pizarras) junto con el Cz I.

La fractura de relleno (manto mineralizado) es del cuarzo II con mayor cantidad porcentual, siendo esta el cuarzo lechoso (traslucido) y cuarzo ahumado (tonalidad grisácea) que conforma el principal constituyente en la estructura de relleno que corta la roca y el cuarzo III es el constituyente recrystalizado.

Los minerales opacos (ap, po, py, cp, ef) son selectos y dispersos según la zona de ocurrencia, en la zona baja el oro tinte amarillo verdoso son casi perceptible los opacos,

es decir su presencia es escasa dentro del manto mineralizado. En la zona intermedia de oro tinte amarillo la presencia de opacos aumenta dentro de la estructura mineralizada y en la zona alta de oro amarillo rojizo los opacos se encuentran con mayor frecuencia en contacto con la roca caja (Tabla 18).

**Tabla 18.** Resumen de la descripción petrográfica de las variedades auríferas.

<b>Variedad de oro</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Muestra</b>	<b>Descripción Petrográfica</b>
<b>Oro tinte amarillo verdoso</b>	Zona baja	FS-G-01 (2)	Micas, Cz I, Cuarzo II, Cuarzo III, Minerales opacos, Cloritas, Feldespatos, Esfena, Turmalinas, Sericita, Arcillas
<b>Oro tinte amarillo</b>	Zona intermedia	FS-Y-04 (11)	Micas, Cz I, Cuarzo III, Cuarzo II, Cloritas, Minerales opacos, Carbonatos, Esfena, Óxidos de hierro
<b>Oro tinte amarillo rojizo</b>	Zona alta	FS-R-02 (1)	Micas, Cz I, Cloritas, Material carbonoso, Cuarzo II, Cuarzo III, Minerales opacos, arcillas

En las **descripciones mineragráficas**, en la zona baja el oro tinte amarillo verdoso está acompañado de pirrotita que se encuentra rellenando fracturas y diseminado en roca y la arsenopirita que se encuentra como relleno de fracturas y parcialmente se encuentra englobados por oro libre. En cantidades escasas está la esfalerita que rellena microfracturas y va siendo reemplazada por calcopirita y oro. En cantidades mínimas esta la pirita, calcopirita, galena.

En la zona intermedia el oro tinte amarillo está acompañado con el aumento de arsenopirita que se encuentra como relleno y esta a su vez va siendo reemplazada por el oro en las fracturas. Hay escasas cantidades de pirrotita, que fue como primer evento que rellenaron las fracturas y van siendo reemplazadas por oro; en cambio la pirita se

encuentra como relleno de fracturas y puntualmente acompaña al oro. En cantidades mínimas esta la calcopirita y cobres grises (tetraedrita).

En la zona alta el oro tinte amarillo rojizo va acompañado por la pirrotita, arsenopirita y pirita. La pirita puntualmente va reemplazando a la pirrotita. La presencia de marcasita se encuentra como escasas diseminaciones dentro de la ganga (pizarra y cuarzo). Como trazas se encuentra la calcopirita (Tabla 19).

**Tabla 19.** Resumen de la descripción mineragrafía de las variedades auríferas

Variedad de oro	Ubicación	Muestra	Descripción Mineragráfica
Oro tinte amarillo verdoso	Zona baja	FS-G-01	Oro, Pirrotita, Esfalerita, Pirita, Calcopirita, Gangas
		11	Oro, Pirrotita, Arsenopirita, Esfalerita, Galena, Ganga
Oro tinte amarillo	Zona intermedia	FS-Y-05	Oro, Pirrotita, Galena, Marcasita, Arsenopirita, Gangas
		10	Oro, Pirrotita, Pirita, Calcopirita, Cobres grises, Ganga.
Oro tinte amarillo rojizo	Zona alta	FS-R-03	Oro, Marcasita, Pirrotita, Arsenopirita, Pirita, Gangas.
		12	Oro, Pirita, Pirrotita, Calcopirita, Ganga.

Dentro de los resultados del **análisis elemental MEB**, se puede contrastar que en la zona más baja el oro tiene como aleación a una mayor cantidad de elementos químicos metálicos que el oro de la zona alta, es decir que las tonalidades auríferas es consecuencia de la presencia de elementos químicos metálicos Tabla 20.

La concentración de peso porcentual del oro con respecto a la plata es inversamente proporcional, es decir que, si es mayor la concentración de oro menor será la concentración de plata. En cuanto al niobio y su aleación al oro es de forma constante en los diferentes niveles; esto es un enriquecimiento anómalo del HFSE, donde agrupa a los elementos incompatibles en REE, Th, U, Ce, Pb<sup>+4</sup>, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta, (White, 2007)

La calidad del oro es buena, por su alto porcentaje de concentrado que es mayor al 80 Wt%, es decir que en la zona más alta es mejor su calidad que en la zona más baja.

**Tabla 20.** Resumen de análisis elemental (MEB) de las variedades auríferas.

Variedad de oro	Ubicación	Muestra	Análisis elemental MEB	
			Elemento	Wt%
Oro tinte amarillo verdoso	Zona baja	FS-G-01	Au	82 ± 2
		11	Ag	11 ± 2
			Nb	3 ± 1
		G	Fe	1.5 ± 1
			As	1 ± 0.5
			Cd	0.8 ± 0.1
Oro tinte amarillo	Zona intermedia	FS-Y-05	Au	91 ± 2
		10	Ag	4.5 ± 1
			Nb	4 ± 0.5
		Y	Mn	0.1 ± 0.1
			W	0.1 ± 0.1
Oro tinte amarillo rojizo	Zona alta	FS-R-03	Au	94 ± 2
		12	Ag	1.5 ± 0.5
			Nb	3.5 ± 0.5
		R		



## VI. CONCLUSIONES

- Con la caracterización microscópica de las variedades auríferas orogénicas, extraídas de los tres diferentes niveles relativos del cerro San Francisco, Ananea, se define que las tonalidades auríferas es consecuencia de la presencia de elementos químicos metálicos (Ag, Fe, As, Mn, W, Cd y como anómalo el Nb).
- En los estudios petrográfico y minerográficas fueron de utilidad para determinar la ocurrencia de las variedades auríferas. El manto mineralizado es del cuarzo lechoso y cuarzo ahumado (Cz II), y acompañado irregularmente por el cuarzo recristalizado (Cz III) además de micas y cloritas que son constituyentes de la roca caja (pizarras) junto con el Cz I. En cuanto a la minerografía, el oro tinte amarillo verdoso (zona baja) está acompañada por la presencia de pirrotita, arsenopirita, y con cantidades escasas de esfalerita. En el oro tinte amarillo (zona media) aumenta la arsenopirita y disminuye la pirrotita, en cantidades escasas empieza a aparecer la pirita. El oro tinte amarillo rojizo (zona alta) está acompañado de pirrotita y pirita y en cantidades trazas se encuentra la arsenopirita y calcopirita.
- Con los resultados del análisis elemental MEB, se puede contrastar que en la zona más baja el oro tiene aleación con una mayor cantidad de elementos químicos metálicos como Ag, Nb, Fe, As, Cd, que el oro de la zona alta cuyos elementos son Ag, Nb.
- Dentro de la geoquímica mineral en el cerro San Francisco, el oro orogénico tiene entre 80 a 96 % de Au, y entre 11% a 2% de Ag y los valores anómalos de enriquecimiento HFSE de Nb están entre 3 a 4%. En cuanto a la calidad aurífera cabe mencionar que es buena por su alta pureza.



## VII. RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios de inclusiones fluidas en las diferentes variedades auríferas orogénicas, para determinar las temperaturas de formación y su salinidad de los mantos mineralizados.
- Es necesario investigar más sobre el elemento incompatible Nb.
- Recopilar más muestras auríferas de diferentes puntos y acopiar para más post-estudios.



## VIII. REFERENCIAS

- Acosta , J., Rodriguez, I., Valencia, M., & Alexander , F. (2011). *Memoria sobre la Geología Económica de la Región Puno*. Lima - Perú.
- Castroviejo, R. (1998). *Curso avanzado de petrología minera: Fundamentos de petrografía*. Madrid.
- Cerquera Araujo, A., Rodriguez Machado , C. A., & Ruano Fonseca, D. F. (2017). *Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de los agregados pétreos de una cantera perteneciente a la formación geológica de la Sabána en el municipio de Soacha - Cundinamarca*. Bogotá.
- Chavez, A., Salas, G., & Gutierrez, J. C. (1996). *Geología de los cuadrangulos de Putina y la Rinconada, Boletín N° 66, Serie A, Carta Geológica*. INGEMMET - Lima.
- Clavijo, J. (2013). *Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM)*. Universidad de América. Colombia .
- Cretu, C., & Van der Lingen , E. (1999). *Coloured gold alloys*. South Africa.
- Dorado, A. C. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas* . Madrid, España: Paraninfo.
- Fornari, M., Grandin, G., Herail, G., Jungblulh, R., & Laubacher. (1981). *Las mineralizaciones auríferas en la cordillera Sur Oriental del Perú. El papel de la evolución geomorfológica en la formaci'pn de placeres.* . ORSTOM - INGEMMET - Lima, Perú.



- González González , D. O., Pachón Gómez, F. A., & Pulido Roncancio, F. A. (2017). *Análisis mineralógico, químico y porosimétrico de agregados pétreos para posterior uso en mezclas asfálticas.* . Bogotá.
- Jhon, W., Richard, A., Kenneth, W., & Monte, C. (2005). *Google Scholar.* (Mineral Data Publishing) Obtenido de Handbook of Mineral - Gold, Version I: <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/gold.pdf>
- Laubacher, G. (1978). *La cuenca cretáciana del Altiplano Peruano.* Peru.
- Leal-Mejía, H., Castañeda, M., Shaw, R., Melgarejo , J., & Sepúlveda, O. (2006). *Mineralogía del yacimiento de oro Independencia, distrito minero de Titiribí, Colombia.* Colombia: MACLA.
- Londoño Escobar , J. I., Mojica Buitrago, J., Molano Mendoza, J. C., Cañón Romero, Y., Stella Mosquera, G., Ruiz Solano, V., . . . Buriticá, J. J. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas.* Bogota, Colombia.
- Lopez García , J. A. (2019). *Microscopía práctica de minerales opacos.* Madrid, España.
- Martínez Orellana, A. (2010). *Microanálisis por dispersión de energías de rayos - x (XEDS).* Universidad de Málaga, España.
- Medenbach, O., & Sussieck - Fornefeld, C. (2005). *Minerales.* Barcelona: Guía de Naturaleza Blume.
- Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., & Salvador Galí, X. L. (2010). *Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera.* México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 62, Núm. 1.



- Moreno Perez, E., Salinas Rodríguez, E., Hernández Ávila, J., Mendoza Anaya, D., Rodríguez Lugo, V., Cerecedo Saenz, E., . . . Rivera Landero, I. (2016). *Método rápido de caracterización química de concreto reciclado mediante MEB-EDS*. Mexico.
- Pellant, C. (1993). *Rocas y Minerales*. Barcelona: Omega.
- Picot, P., & Johan, Z. (1982). *Atlas of Ore Minerals*. Orleans (BRGM) and Amsterdam (Elsevier Sci. Publ. Co.).
- Quispe A., A. (2013). *Plan de minado subterráneo aplicado en la Corporación Minera Ananea SA*. Lima - Perú.
- Rivera, L. H. (2010). *Microscopía Óptica de Minerales, Boletín N° 1 Serie J*. INGEMMET, Lima - Perú.
- Rodríguez Araínga, W. (2011). *Guía de investigación científica*. UCH.
- Rollinson, H. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. The United States.
- Schumann, W. (2004). *Guía de rocas y minerales*. España: Omega.
- Serin, A., Bourlion, M., Diologent, F., Ziegenhagen, R., & Germain, V. (2014). New deeply coloured 18-K gold materials built by nanotechnologies. *Researchgate*.
- Serna Durango, L., Perez Rios, L., Vellojin, R., & Grisales, M. (2017). *El mineral oro*. Medellín, Colombia.



- Valencia, M., Acosta, J., & Rivera, R. (2013). *Nuevos alcances sobre la mineralización de Au-Sn-U en la cordillera oriental del sureste peruano*. INGEMMET DRME. Lima.
- White, W. M. (2007). *Geochemistry, On-line Textbook*. Obtenido de <http://www.imwa.info/geochemistry>. accesado Septiembre, 2020
- Yang, Q., Shen, J., Li, S., Santosh, M., Luo, Z., & Liu, Y. (2013). Oxygen, boron, chromium and niobium enrichment in native Au and Ag grains: A case study from the Linglong gold deposit, Jiaodong, eastern China. *Revista Ciencias de la Tierra de Asia*.



## ANEXOS

- 8.1. MAPA DE UBICACIÓN**
- 8.2. MAPA GEOLOGÍA REGIONAL**
- 8.3. MAPA GEOLOGÍA LOCAL**
- 8.4. MAPA PUNTOS DE MUESTREO**