Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Prospección geológica del proyecto minero Cielo en el Valle de Supe, Barranca - Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Geóloga

AUTOR

Geraldine Paola LLAMOCA SÁNCHEZ

ASESOR

Juan Manuel ELESCANO YUPANQUI

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Llamoca, G. (2022). *Prospección geológica del proyecto minero Cielo en el Valle de Supe, Barranca - Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Geraldine Paola Llamoca Sánchez.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46085581
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Juan Manuel Elescano Yupanqui
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08633003
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3009-8542
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro Antonio Olivares Ballena
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06085689
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jaime César Mayorga Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10369482
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Guillermo Nicanor Diaz Huaina
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07426765
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.14. Geología Aplicada a la Ingeniería
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Concesión: Livia II País: Perú Departamento: Lima Provincia: Barranca Distrito: Supe Centro poblado: Allpacoto Urbanización: Manzana y lote: Calle: Latitud: -10.858514 Longitud: -77.511944
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2015 - 2021
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Minería https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05 Geociencias https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

De acuerdo a la Resolución Rectoral N° 01242-R-20, usando el aplicativo de videoconferencias Google Meet, el día Martes 5 de abril del año 2022 siendo las 15:00 horas y luego de instalar el acto académico protocolar el Dr. Jaime César Mayorga Rojas, Vicedecano Académico con la presencia de los miembros del Jurado Calificador:

ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA	Presidente del Jurado
DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS	Miembro del Jurado
ING. GUILLERMO NICANOR DIAZ HUAINA	Miembro del Jurado

Reunidos para el acto académico virtual público de colación de la Tesis de la Bach. GERALDINE PAOLA LLAMOCA SÁNCHEZ, quien sustentó la tesis titulada: **"PROSPECCIÓN** GEOLÓGICA DEL PROYECTO MINERO CIELO EN EL VALLE DE SUPE, BARRANCA- **LIMA"**, para optar el Título Profesional de Ingeniera Geóloga, siendo el asesor el Ing. Juan Manuel Elescano Yupanqui.

Los miembros del jurado, escuchada la sustentación virtual respectiva y luego de plantear las preguntas y observaciones pertinentes, las que fueron absueltas a satisfacción del jurado se procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (18) Dieciocho

Habiendo sido aprobada la sustentación virtual de la Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, le otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA GEÓLOGA a la BACH. GERALDINE PAOLA LLAMOCA SÁNCHEZ.

Siendo las 5:39 pm. se dio por concluido el acto académico virtual.

Lima, 5 de abril de 2022

ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA
PRESIDENTE DEL JURADO

DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS
MIEMBRO DEL JURADO

ING. GUILLERMO NICANOR DIAZ HUAINA
MIEMBRO DEL JURADO

ING. JUAN MANUEL ELESCANO YUPANQUI
MIEMBRO ASESOR

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Final

Anexo 1

1. **Facultad:**

   Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

2. **Escuela:**

   Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

3. **Autoridad Académica que emite el informe de originalidad**

   Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

4. **Apellidos y nombres de la autoridad académica**

   Dr. Ciro Sergio Bedia Guillen

5. **Operador del programa informático de similitudes**

   Ciro Sergio Bedia Guillen / Marivel Alarcon Ponce

6. **Documento evaluado**

   Tesis para obtención de título profesional.

7. **Autor del documento**

   Geraldine Paola Llamoca Sánchez

8. **Fecha de recepción del documento**

   03/12/2020

9. **Fecha de aplicación del programa informático de similitudes**

   4/02/2021

10. **Software utilizado**

    Turnitin

11. **Configuración del programa detector de similitudes**

    a. Excluye textos entrecomillados

    b. Excluye bibliografía

    c. Excluye cadenas menores a 40 palabras

12. **Porcentaje de similitudes según programa de detector de similitudes**

    Tres por ciento (3 %) de similitud.

13. Fuentes originales de las similitudes encontradas

Prospección Geológica del Proyecto Minero Cielo en el valle de Supe, Barranca – Lima

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	4%	0%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
4	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
5	tesis.uson.mx Fuente de Internet	<1%
6	myslide.es Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	fr.scribd.com Fuente de Internet	<1%

9	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
10	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
11	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
12	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Kevin J. A. Thomas. "Highly Skilled Migration from Africa to the US: Exit Mechanisms, Demographic Determinants, and the Role of Socioeconomic Trends", Population Research and Policy Review, 2016 Publicación	<1 %
14	www.civil21.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

14. Observaciones

Ninguna

15. Calificación de originalidad

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

16. Fecha del informe

10/02/2021

Firma del evaluador:



DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
DIRECTOR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

El cerebro humano es un órgano complejo, con el maravilloso poder de lograr que el hombre pueda encontrar razones para seguir creyendo lo que él quiere creer.

Voltaire

Dedicado a la memoria de Bertha Sánchez
(1961-2021) y Michael Varillas (1991-2017)

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Compañía Minera Barranca Gold SAC. por darme la oportunidad de desarrollar mis capacidades como Geóloga en exploraciones, al Dr. Jaime Sztrancman por haber autorizado y permitido el uso de la información geológica para la realización de la presente tesis. A mi asesor académico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ing. Manuel Elescano, quien a su vez lideró el Proyecto de Prospección del presente estudio, a él mi mayor respeto y estimación por volcar sus experiencias en los trabajos de campo y brindarme su importante asesoría en el desarrollo de la tesis. A mi siempre recordado amigo y colega Michael Varillas, de quién guardo gratos recuerdos y anécdotas compartidas en el Proyecto Cielo, de igual manera, a Giovanni Pedemonte, por convocarme a formar parte de este proyecto, así también, al Sr. Dino Vidaurre por su apoyo y facilidades en la logística y al grupo humano que formaron parte del proyecto y colaboraron de cierta forma con la realización de la tesis.

Al Dr. Cesar Cánepa y Dr. Miguel Cardozo por su asesoramiento y sugerencias en su visita al proyecto allá por el 2015. Al Ing. Pedro M. Gagliuffi, Ing. Ana Luz Condorhuamán por su apoyo, ayuda y facilidades en los estudios de caracterización mineralógica.

Un reconocimiento especial a Juan Lazo por compartir su tiempo y conocimientos en geología, por ser mi apoyo incondicional y compañero de vida.

Asimismo, agradecer a mis amigos, colegas y compañeros de trabajo: Israel Sangay, Alan Santos, Tomás Reategui, por sus sugerencias y consejos en cada interrogante realizada y a quienes me apoyaron moralmente para la culminación de este estudio: al Ing. Ethelwaldo Atencio, Nancy Tuanama, Christian Arango, Joseph López, Roy Taipe, Hugo Chumpisuca y todos aquellos que contribuyeron de alguna manera en el presente estudio.

Finalmente, y no menos importante, a mis padres, por ser mi fortaleza e inspiración de superación diaria, a mis hermanos y queridos sobrinos por su apoyo y comprensión; y a mi querida abuela Teodosia por sus atenciones y consejos.

INDICE

RESUMEN 17

CAPITULO I 17

GENERALIDADES 18

1.1. INTRODUCCIÓN 18

1.2. UBICACIÓN 19

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 21

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 21

1.5. OBJETIVOS 22

1.6. HIPÓTESIS Y VARIABLES 22

1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES 23

1.8. ANTECEDENTES 23

1.9. PROPIEDADES MINERAS 25

1.10. FISIOGRAFÍA 27

1.11. AGRICULTURA 32

1.12. PATRIMONIO ARQUEOLOGICO 32

CAPITULO II 34

MARCO TEÓRICO 34

2.1. CONCEPTOS GENERALES 34

CAPITULO III 53

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 53

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 53

3.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN 53

3.3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 54

CAPITULO IV 57

MARCO GEOLÓGICO 57
4.1. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES 57
4.2. GEOLOGÍA REGIONAL 59
4.3. GEOLOGÍA LOCAL 72
CAPITULO V 86
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 86
5.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA 86
5.2. CARACTERIZACIÓN GEOQUIMICA 120
5.3. CARACTERIZACION MINERALÓGICA 162
5.4. TIPO Y MODELO DE YACIMIENTO 176
CAPITULO VI 178
DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 178
6.1. PRUEBA DE HIPOTESIS 178
6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 178
POTENCIAL EXPLORATORIO DEL ÁREA DE ESTUDIO 185
CONCLUSIONES 188
RECOMENDACIONES 191
BIBLIOGRAFÍA 192
ANEXOS 195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Unidades Morfoestructurales ubicando la zona de estudio. Tomado de Romero, 2007. 27

Figura 2. Indicadores cinemáticos de una zona de falla. Gráfico tomado de Allmendinger (1989). 34

Figura 3. El sentido de la falla es a la derecha y corresponde al bloque superior (faltante) en todos los diagramas. Gráfico tomado de Allmendinger (1989). 36

Figura 4. Esquema de deformación de cizalla simple (Ramsay,1967) en una zona de cizalla Dextral. Las primeras fallas se van reactivando (en gris) conforme la deformación va aumentándose desde izquierda a derecha; y según la disposición geométrica final de las estructuras, presentan una aparente concordancia con las fallas más recientes. Tomado de Waldron (2005)..... 37

Figura 5. Algunos elementos determinados por AAS. 41

Figura 6. Procedimientos en el método de Ensayo al fuego. 42

Figura 7. A. Distribución simétrica donde la X =Me=Mo. **B.** Asimetría positiva o de cola derecha donde la X > Me > Mo. **C.** Asimetría negativa o de cola a la izquierda donde la Mo > Me > X . 46

Figura 8. A. Distribución asimétrica negativa. **B.** Distribución asimétrica positiva. **C.** Distribución simétrica. 49

Figura 9. A. Distribución de frecuencias mesocúrtico. **B.** Distribución de frecuencias leptocúrtico. **C.** Distribución de frecuencias platicúrtico. 49

Figura 10. A. Correlación positiva. **B.** Correlación negativa. **C.** No hay correlación. 50

Figura 11. Descripción de un Diagrama de Caja. 51

Figura 12. Se resalta dos regiones importantes en el espectro electromagnético, la luz visible e infrarrojo (IR). El campo de detección para los espectrómetros abarca desde 400 nm- 2500nm. 51

Figura 13. A. Morfologías más comunes observados en los rasgos de absorción de un espectro electromagnético. **B**. Muestra de diversos espectros de algunos minerales. Tomado de Paez, C. (2008)..... 52

Figura 14. Espectro azul (B) referente a la asociación alunita-dickita. Como referencia dos espectros rojos (A) y (C) que corresponde a dickita 100% y alunita 100%, respectivamente. Nótese los rasgos bien definidos y combinados de alunita y dickita en la muestra (B). Tomado de Paez C., 2008. 52

Figura 15. Distribución y límites de los segmentos del batolito costero realizado por Pitcher et. al (1985). Distribución de las súper unidades Santa Rosa y Paccho en el Complejo Fortaleza (según Myers,1975). Dataciones U-Pb de Mukasa (1986). 66
Figura 16. Tectoglifos o indicadores cinemáticos en un plano de falla. 98
Figura 17. Mapa estructural del Perú con los principales sistemas de fallas regionales elaborado por la Dirección de Geología Regional del INGEMMET. 101
Figura 18. Diagrama de rosetas de los sistemas de foliación: NE-SO y NO-SE. 105
Figura 19. Histograma de frecuencia del buzamiento(Dip) de las foliaciones. El buzamiento predominante oscila entre 60° y 70° 105
Figura 20. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las foliaciones. Predominan los datos buzando hacia el SO entre 240°-270°. 105
Figura 21. Diagrama de rosetas de los sistemas de fallas: Sistema NE-SO, NNO-SSE y ONO-ESE. 106
Figura 22. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las fallas. Predominan los datos buzando hacia el SE entre 90°-150°. 107
Figura 23. Histograma de frecuencia del buzamiento (Dip) de las fallas. El buzamiento predominante oscila entre 70° y 80° 107
Figura 24. Diagrama de rosetas del sistemas de vetas: Sistema NE-SO. 108
Figura 25. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las vetas. Predominan los datos buzando hacia el SE entre 90°-120°. 108
Figura 26. Histograma de frecuencia del buzamiento (Dip) de las vetas. El buzamiento predominante oscila entre 70° y 80° 108
Figura 27. Modelo esquemático en la primera fase de deformación efectuado por el esfuerzo compresivo en dirección NO-SE (σ1: 328.8°). Algunas fallas sinestrales (R) presentan componente inverso 110
Figura 28. A. Proyección estereográfica formada por 34 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de compresión regional efectivo es NNO-SSE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris. 110
Figura 29. A. Proyección estereográfica formada por 10 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de extensión regional efectivo es ONO-ESE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris. 112

Figura 30. Modelo esquemático de la fase de extensión en dirección ONO-ESE (σ3: 103°) que generó zonas de apertura en estructuras preexistentes (Fase Pre-mineral) y formando otras nuevas en este proceso, relacionadas a la formación de filones mineralizados en cizallas R de naturaleza Normal. Algunas fallas normales tienen componente sinestral. 112
Figura 31. Modelo esquemático de la fase de compresión en dirección OSO-ENE (σ1: 71°) que generó una reactivación del sistema NE-SO de vetas. Algunas fallas dextrales (R) tienen componente inverso. 114
Figura 32. A. Proyección estereográfica formada por 25 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de compresión regional efectivo es OSO-ENE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris. 114
Figura 33. Esquema 3D del modelo estructural del prospecto Cielo. 115
Figura 34. Firmas espectrales de las muestras tomadas en veta cielo al norte y su asociación mineralógica determinada mediante Terraspec. 163
Figura 35. Rasgos distintivos de los minerales identificados en las zonas de alteración de veta Cielo Sur- Chimenea 10. 164
Figura 37. Rasgos espectrales de la asociación mineralógica en las muestras tomadas en la chimenea 01 de la Galeria Cielo Norte. 165
Figura 36. Rasgos espectrales de veta Cielo Norte (CINch-01152). 165
Figura 38. Esquema representativo de las relaciones existentes entre los depósitos IOCG y Pórfidos mostrando sus respectivos ensambles mineralógicos y alteración. Tomado de Richards and Mumim, 2013. 177
Figura 39. Perfil esquemático de la Distribución de la mineralización y alteración del Proyecto Cielo. 182
Figura 40. Sección esquemática transversal mostrando la ubicación referencial del Proyecto Cielo y la U.M. Vicus. Se representa el potencial a profundidad y hacia el este del Proyecto Cielo con respecto a la minera, considerando la similitud en sus características geológicas. 187

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de la zona de estudio. 19
Tabla 2. Accesibilidad al área de estudio 19

Tabla 3. Propiedades mineras correspondiente al área de estudio. 25
Tabla 4. Movilidad relativa de los elementos en ambientes supergénicos (de Perel'man, 1967, modificado por Rose y otros,1979). 39
Tabla 5. Abundancia normal estimada de los elementos en los materiales rocosos en la naturaleza (de ROSE et al., 1979). 44
Tabla 6. Superunidades del Segmento Lima del Batolito costero del Perú. (Mukasa, 1986, p.244) 65
Tabla 7. Límites de Detección elemental. 121
Tabla 8. Principales Estadísticos descriptivos para las variables sin transformar. 123
Tabla 9. Principales Estadísticos descriptivos para las variables transformadas a Logaritmo natural. 123
Tabla 10. Tabla de intensidad de correlación. 124
Tabla 11. Diagrama de Correlación de Pearson con datos superficiales. 125
Tabla 12. Principales correlaciones en vetas superficiales 125
Tabla 13. Porcentaje de anomalías por elemento. 127
Tabla 14. Parámetros geoquímicos para 13 elementos que representan anomalías en vetas en el Proyecto Cielo. 127
Tabla 15. Paragénesis de las vetas estudiadas en el Prospecto Cielo. 176
Tabla 16. Asociación e interpretación de los coeficientes de correlación. 184

LISTA DE MAPAS

Lámina 1. Mapa de localización y accesibilidad del área de estudio. 20
Lámina 2 .Mapa de propiedades mineras trabajadas por Cía. Minera Barranca Gold SAC. 26
Lámina 3. Mapa de unidades geomorfológicas. 30
Lámina 4. Mapa local de áreas intangibles. 33
Lámina 5. Mapa Geomorfológico regional elaborado por el NGEMMET. 58
Lámina 6. Mapa geológico regional tomado del cuadrángulo Barranca 22h, INGEMMET, 1973. 71
Lámina 7. Geología Local del área de estudio ubicada en la concesión Livia II. 84
Lámina 8. Columna estratigráfica local del área de estudio. 85
Lámina 9. Mapa geológico de las estructuras mineralizadas a escala 1: 1,500. 96
Lámina 10. Sección Geológica NO-SE del área de estudio. 97

Lámina 11. Fotointerpretación de lineamientos estructurales regionales. 103
Lámina 12. Mapa de distribución geoquímica del oro. 129
Lámina 13. Mapa de distribución geoquímica de la plata. 131
Lámina 14. Mapa de distribución geoquímica del arsénico. 133
Lámina 15. Mapa de distribución geoquímica del Bismuto 135
Lámina 16. Mapa de distribución geoquímica del cobre. 137
Lámina 17. Mapa de distribución geoquímica del hierro. 139
Lámina 18. Mapa de distribución geoquímica del manganeso. 141
Lámina 19. Mapa de distribución geoquímica del molibdeno. 143
Lámina 20. Mapa de distribución geoquímica del plomo. 145
Lámina 21. Mapa de distribución geoquímica del azufre. 147
Lámina 22. Mapa de distribución geoquímica del zinc. 149
Lámina 23. Mapa de distribución geoquímica del Bario. 151
Lámina 24. Mapa de distribución geoquímica del Cobalto. 153
Lámina 25.Mapa de distribución geoquímica del Fósforo 155
Lámina 26. Mapa de distribución geoquímica del Titanio. 157
Lámina 27. Mapa de distribución geoquímica del Cadmio. 159
Lámina 28. Mapa de distribución de asociaciones geoquímicas. 161

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Vista al NO, aguas abajo del río Supe en épocas de verano, febrero. 28
Foto 2. Vista al SO desde el cerro Allpacoto hacia el valle de Supe. 28
Foto 3. Quebrada Allpacoto formando barras aluviales. Vista al NE. 29
Foto 4. Vista panorámica al SO de los cerros de pendiente media a alta. De fondo, el Valle de Supe. 29
Foto 5. Típica vegetación que aflora en la mayor parte del año, como cobertura de las estribaciones andinas a lo largo del valle de Supe. Vista al NE. 31
Foto 6. Presencia de abundante neblina en el mes de mayo cubriendo al Valle de Supe. Foto mirando al SO. 31
Foto 7. Muralla de Allpacoto ubicado en la entrada al proyecto Cielo. Vista al NE. 32
Foto 8. Proceso de la puruña para estimar la ley de Oro. **A.** Muestra de mano con mineralización favorable. **B.** Chancado de la muestra. **C.** Pulverizado y molido de la muestra. **D.** Se coloca un puñado de la muestra pulverizada en el platillo y se vierte un chorro de agua y se procede a mover giratoriamente el platillo hasta ver que el oro empiece a asentarse en el fondo del platillo. **E.** Después de eliminar el agua se puede observar el oro en el fondo del platillo. 55
Foto 9. A. Afloramiento tabular de capas de 30 cm de chert grises, duras. Presenta una dirección de S20°E/50° SO (224040 E, 8800079 N) Vista al NO. **B.** Muestra soldada de chert conformado por bandas grises claras intercaladas con bandas oscuras con superficies oxidadas. 62
Foto 10. A. Capas tabulares ligeramente deformadas conformada por niveles delgados de 10 cm de lavas andesíticas porfirítcas grises oscuras que se intercalan con capas delgadas y deleznables de calizas grises. **B.** Capas de andesitas flexuradas (223985 E, 8800550N). 62
Foto 11. Perfil del afloramiento en Sector Koreanos Norte, Formación Chilca infrayaciendo a la Formación Quilmaná (224225 E, 8799503 N). Vista al sur. 64
Foto 12. Vista al norte del Valle del río Supe. 69
Foto 13. Abanico Aluvial formado en las partes bajas del cerro Colorado, de fondo el valle de Supe. Vista al suroeste. 69
Foto 14. Depósitos eólicos cubriendo las quebradas de los cerros. Foto mirando al SSO, de fondo, la Zona Arqueológica de Caral. 70
Foto 15. BRN-08: Andesita porfirítica, vista en luz transmitida en nicoles cruzados. 223985 E, 8800550 N. 72

Foto 16. A. Secuencia tabular de chert de color gris a gris claro con pátinas pardo naranjas de limonitas intercalado con lavas andesíticas (224339 E, 8799198 N), vista al norte. **B.** Intercalación de lavas andesíticas gris oscuras gradando a lavas silicificadas con superficies oxidadas marrón-naranja (224017 E, 8800030 N). Vista al Norte. 73
Foto 17. A. Derrames de lavas poco estratificado y masivo, vista al SE. **B.** Andesita porfirítica en contacto con la tonalita del Complejo Purmacana formando un borde de reacción y silicificando a la roca volcánica. 73
Foto 18. Vista al sur de afloramiento masivo de la Formación Quilmaná con estratos de dirección de S15°E buzando 42° al SO. 74
Foto 19. Vista al sureste, el sector Koreanos: Tonalita cortando a las capas de lavas de la Formación Chilca, estas se encuentran silicificadas y con pirita diseminada, coloración superficial pardo naranja por intemperismo. Hacia al fondo en la parte alta del Cerro Colorado, las secuencias masivas de la Formación Quilmaná. 75
Foto 20. Vista al este. A lo lejos y parte alta, la diorita en la zona Isla. Afloramiento panorámico de la tonalita a lo largo de la quebrada Allpacoto. 75
Foto 21. Tonalita con textura granular hipidiomórfica conformado por cristales de plagioclasas alterados incipientemente a sericita, cuarzo rellenando intersticios, anfíboles en sección rómbica alterados a cloritas. Vista en NCs. Ver Anexo 1 **Cód. BRN-02, Coord. 224869 E, 8798740 N.** 76
Foto 22. A. Afloramiento de diorita muy fracturada, se observa más de dos sistemas de fracturas, vista al sur. **B.** Afloramiento esquistoso de diorita en la zona de Koreanos. 77
Foto 23. Pórfido diorítico, se observa fenocristales de plagioclasas (PLGs) y piroxenos I (Pox I) reemplazados por un agregado fibroso de actinolita (Act). La matriz está fuertemente alterada conformada por microcristales de plagioclasas (PLGs II) reemplazados por piroxenos (Pox II), cloritas y cuarzo. Ver Anexo 1 **Cód. BRN- 12 Anexo 1**. 77
Foto 24. Vista al sur del afloramiento en la zona de Koreanos. Se observa al Stock pórfido diorítico cortando a las secuencias de lavas de la formación Chilca. 78
Foto 25. Pórfido diorítico: A. Rico en plagioclasas, macroscópicamente resalta sus fenocristales de plagioclasas de < 5mm. **B.** Al microscopio, los fenocristales de plagioclasas presentan maclas polisintéticas, inmersos en la matriz microcristalina reemplazada por piroxenos, cloritas y cuarzo. **Cód. BRN-04 Anexo 1.** 78

Foto 26. Enjambre de diques cuarzodioríticos cortando a la diorita del Complejo Purmacana y al Grupo Casma. Vista al norte. 79
Foto 27.A. Dique granodiorítico cortando a la diorita en dirección NE-SO. Vista panorámica hacia el sur de la parte baja del Cerro Allpacoto, Zona La isla. **B.** Muestra de mano de la granodiorita gris blanquecina, textura cristalina. Se observa cristales de plagioclasas, cuarzo y anfíboles. 79
Foto 28. Dique aplítico color blanquecino, aflora en la zona de la Isla emplazado en la diorita. Vista al este. 80
Foto 29. Dique gabroide emplazado en la tonalita con dirección NNE-SSO, son cuerpos tabulares con bordes definidos. Vista al norte. 80
Foto 30. A. Afloramiento en superficie (224431 E, 8798790 N) se observa la dirección de las capas. **B.** Hornfels con deformación en las capas cortado por venillas de epídota. 81
Foto 31. A. Relictos de las laminaciones del protolito cortado por venillas de epídota. **B.** Reemplazo de agregados microcristalinos a criptocristalinos de cuarzo (cz) y albita (alb) con escasos parches de carbonatos (CBTs). 81
Foto 32. A. Secuencia volcanosedimentaria So: S15°E/75° SO cortado por un dique félsico y la diorita. **B.** Hornfels bandeado y silicificado manteniendo la estratificación del protolito. 82
Foto 33. A. Relictos de plagioclasas con esfena (esf) con orientación de flujo, en la matriz reemplazada por un agregado microgranular de cuarzo (cz), escapolita (Scp) y parches de carbonatos. **Cód. BRN-07.** 82
Foto 34.Vista panorámica hacia el sur, de fondo el Valle de Supe. Al ingreso al área de estudio aflora depósitos aluviales en la quebrada Allpacoto y en la Zona Esperanza. 83
Foto 35. Material coluvial acumulados a lo largo de la quebrada, en las faldas del cerro Allpacoto, zona la Isla. Vista al sur. 83
Foto 36. Vista hacia el sur de la distribución y continuidad de las vetas Cielo-Cumbre. 89
Foto 37. Vista al norte de las vetas Cielo-Cumbre. Ambas estructuras se emplazan paralelamente hasta confluir cerca a la quebrada ubicado a 130 metros al Norte. 89
Foto 38. A. Afloramiento de veta Cumbre formando una estructura sigmoidal que contiene oro visible en charpas. **B.** Hallazgo de la estructura en los cateos. **C.** Contenido de oro arrojado en la puruña, esta estructura arrojó un valor de 11 g/t Au. 90
Foto 39. A. Inflexiones de la veta cumbre en su trayectoria hacia el sur. **B.** Forma geometrías sigmoidales rellenas de cuarzo y limonitas. **C.** Luego del cierre de la estructura, vuelve a

ensancharse formando una estructura mineralizada de 15 cm que contiene oro asociado con cuarzo y hematita. 90
Foto 40. A. Comportamiento tipo rosario de veta Cielo al norte en la chimenea 01-CIN, se observa la distribución de la alteración hidrotermal y supérgena. **B. Galería Cielo Norte Nv 640:** Distribución mineralógica de la veta Cielo, hacia el centro de la estructura se encuentra la zona favorable para albergar mineralización de oro. jar: jarosita, hm: hematita, cz: cuarzo, mlq: Malaquita, cv: covelita, cpy: calcopirita. 91
Foto 41. A. Boxwork de pirita reemplazados totalmente por hematita y goetita, presenta impregnaciones de caolinita. **B.** Alteración argílica distribuido alrededor de la veta con mineralización supérgena. 92
Foto 42. Afloramientos de la veta Rosa-Toro a lo largo de su emplazamiento en dirección NE-SO. Vista al SE 93
Foto 43. Jog extensional del tipo cola de caballo, favorable para mineralización en la veta Ariana. Contiene oro en las ramificaciones de la estructura. Vista al NO. 94
Foto 44. A. Muestra del clavo mineralizado Ariana. **B.** Presencia de oro luego de la puruña de la muestra. 95
Foto 45. A. La zona de alteración argílica favorece el rastreo de la veta Ariana, vista al NO. **B.** Etapa E1, brecha hidrotermal clasto soportada. **C.** Etapa E2, brecha hidrotermal matriz soportada con fragmentos de sílice blanquecina del E1 sellado por un evento de calcita sobreimpuesta. 95
Foto 46. Fibras de crecimiento en el plano de falla mostrando el sentido del movimiento del bloque faltante. Falla Sinestral (Sx) S 05°E/70°SO 98
Foto 47. Jog dilatacional de tipo sigmoide con relleno de cuarzo lechoso. Aflora en interior mina, en la corona de la labor Cielo Sur. Cinemática Dextral (Dx). 99
Foto 48. Veta-falla Toro aflora en superficie, su cinemática es Sinestral (Sx). 99
Foto 49. Sigmoide formando parte del sistema Veta Cielo. Nótese que la cinemática extensional (falla normal) se corrobora a partir de la discontinuidad de las venillas horizontales de cuarzo que yace debajo del sigmoide. 100
Foto 50. Estructura rellena de cuarzo blanquecino. 100
Foto 51. A. Veta-falla de S15°E/55°SO de cinemática Normal, tomado en veta Cumbre, al costado de la bocamina (225370E, 8798535 N). **B.** Estrías de falla Sinestral representado por la flecha, tomado en veta Toro (225314E,8798706N). 109

Foto 52. Veta falla Cumbre con cinemática Normal desplazando a las vetillas de cuarzo del evento I. (225370E, 8798535 N). Mirando al Sur. 111
Foto 53. A. Estrías verticales en falla S04°E/87°SO inversa (225310E, 8798626N). **B.** Fibras de calcita en Falla N15°E/70SE de cinemática Dextral con componente inversa (225377E,8798559N). 113
Foto 54. Zona de falla, se observa deformación frágil en la estratificación de la secuencia de chert del Grupo Casma. 116
Foto 55. Vista al norte a lo largo de la quebrada Allpacoto. Vista al norte a lo largo de la quebrada Allpacoto. 116
Foto 56. Esquistosidad en las dioritas (Coord. 224745 E, 8799099 N). Vista al NO. 117
Foto 57. Deformación frágil con formación de panizo y brecha de falla. Vista al NE. 117
Foto 58. Emplazamiento de la Falla A, limitando y restringiendo a la veta Rosa al norte. Vista al NE. 118
Foto 59. Falla B a lo largo de la quebrada, tomada antes del desarrollo de las labores mineras de exploración. Vista al norte. 119
Foto 60. La falla C empieza en la bifurcación de la quebrada principal. Vista al SE. 119
Foto 61. A. Mineralización de la zona de lixiviación: Boxworks de pirita que genera un aspecto oqueroso del cuarzo, las oquedades son espacios dejados por la pirita lixiviada que han sido reemplazados y rellenos por hematita y goetita. **B. Mineralización de la zona de óxidos:** hematita, cuarzo ahumado, oro, trazas de pirita, a los bordes malaquita y crisocola con pátinas de jarosita. 166
Foto 62. A. Oro con hábito capilar encontrado en un clavo mineralizado en veta Cumbre. **B.** Traza de oro en estado libre incluido en cuarzo II, entre los sulfuros secundarios se observa calcosita y covelita reemplazando totalmente a la calcopirita. 167
Foto 63. Mineralización de la zona de enriquecimiento secundario: Reemplazamiento de calcosita y covelita en los bordes de calcopirita. 167
Foto 64. Agregado microcristalino de albita-piroxenos con cuarzo I hidrotermal reemplazando al protolito. Aún se logra observar los pliegues por deformación de la roca. 168
Foto 65. BRN-07: Agregado microgranular de escapolita como reemplazamiento de las Plagioclasas. Se encuentra junto con esfena asociado al cuarzo secundario. Fotomicrografía en NXs. 169

Foto 66. BRN-13: Agregado fibroso de actinolita en el pórfidodiorítico. Fotomicrografía en NXs. Anexo 1..... 169
Foto 67. Asociación cuarzo-sericita-pirita. Pirita lixiviada por alteración supérgena dejando cavidades reemplazadas por hematita y goetita. 170
Foto 68. A. Vista al sur: Zona de argilización en los alrededores de veta Rosa. **B.** Cod. BRN-17: Venilla de cuarzo II cortando al agregado fibroso de illita-caolonita. Asimismo, las venillas de jarosita cortan al cuarzo II. 170
Foto 70. Cód. Muestra BRN-19: A. Venilla de cuarzo II cortando al cuarzo I. **B.** cuarzo III reemplazando al cuarzo II. Ver Anexo I..... 172
Foto 71. Asociación cloritas, epidota con venillas de calcita distribuido como halo envolvente de la veta..... 172
Foto 69. Vista al sur del afloramiento con fuerte oxidación en Zona Koreanos, presenta relictos de pirita diseminada por lo que se considera como fuente principal de oxidación; y, en menor proporción, las trazas de magnetita del intrusivo..... 172
Foto 72. A. Fragmentos de sílice blanquecina en brecha hidrotermal. **B.** Fragmentos argilizados con caolinita principalmente. Ambos tipos de fragmentos reflejan los procesos durante la etapa I. 173
Foto 73. Fragmentos de roca caja propilitizada constituida por cloritas y epidotas. Esto refleja el primer proceso de alteración que sufrió la roca encajonante..... 173
Foto 74. Diferentes estadíos de mineralización. **E1:** Mineralización de cuarzo/sílice blanquecina con escasa hematita. **E2:** Asociación Cuarzo hialino oqueroso - hematita terrosa englobando a fragmentos silicificados del E1 con pirita diseminada. **B.** Muestra BRN-16: Mushketovita con impregnaciones de jarosita y malaquita, epídota y cloritas. La mineralización se encuentra rellenando una vetilla..... 174
Foto 75. Secuencia Paragenética visto en ejemplar de veta Cielo sur. Etapa Temprana: Etapa I asociación a silicificación, argilización; Etapa II relacionado a una Silicificación. Etapa Supérgena: Oxidación. cz I = cuarzo blanquecino, cz II = cuarzo hialino; cao = caolinita; jar = jarosita, hem = hematita, ill – smec = illita – esmectita. 175

RESUMEN

La exploración minera es un eslabón fundamental dentro del engranaje que representa el sector minero en el país, así pues, los recientes resultados en exploración en la costa norte (Latitud 9°-12°) del Perú ha evidenciado zonas potenciales para mineralización de Au, Cu asociados a óxidos de Fe (Reyes, 2019), lo cual se refleja por las numerosas y pequeñas operaciones mineras en esta franja. Dichas características se han identificado en el Valle de Supe, Latitud 11°, denominándose Proyecto Cielo a un depósito vetiforme con indicios de mineralización aurífera-cuprífera, cuya información geológica ha sido escasa, generando como propósito del presente proyecto de tesis, determinar las características geológicas, estructurales, mineralógicas y geoquímicas.

Las estructuras mineralizadas consisten de un sistema de vetas-brechas NE-SO/ SE, de potencia angosta, presentan geometría sigmoidal con ramificaciones que se interconectan e inflexionan en su recorrido. Está conformada, principalmente, por las vetas Cielo-Cumbre y Rosa-Toro, alojadas en dioritas (91 M.a Mukasa,1986) de la Súper Unidad Santa Rosa del Batolito de la Costa

El proyecto de investigación se localiza en el distrito de Supe, provincia de Barranca del departamento de Lima. Se encuentra en etapa de prospección geológica de índole interpretativo del depósito mineral con trabajos de recopilación bibliográfica relacionados al área de estudio y de datos geológicos tomados durante los trabajos de campo en el 2015. El proyecto de investigación se desarrolló en tres etapas: 1) Pre campo: Recopilación de información geológica a escala local, elaboración de mapas base para los trabajos de campo. 2) Campo: Mapeo geológico al 1:1,500, muestreo geoquímico de roca sobre las estructuras mineralizadas. Toma de datos microtectónicos sobre fallas, muestreo representativo para estudio petromineralógico y espectrometría de reflectancia. En la geoquímica, las muestras fueron enviadas al Laboratorario de Inspectorate para ser analizados por ICP – AES multielemental y AAS para Au. 3) Postcampo: Digitalización de mapas geológicos y geoquímicos, interpretación de secciones geológicas, descripción petromineralógica con el microscopio óptico, procesamiento e interpretación de datos estructurales en *Faultking* y tratamiento estadístico de la data geoquímica con Minitab y SPSS *statistic*.

Finalmente, de acuerdo a las características litológicas estructurales, mineralógicas y geoquímicas del área de estudio, se propone que la mineralización correspondería a un yacimiento Au-Cu-Fe de Fe tipo IOCG de alta temperatura relacionado al Grupo Casma y Batolito de la Costa. Asimismo, pertenece a la Franja Metalogenética VIII de Depósitos de Fe-Cu-Au del cretáceo Inferior.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación tiene como tema "Prospección Geológica del Proyecto Minero Cielo en el valle de Supe, Barranca – Lima" desarrollado durante los trabajos en el 2015. Presenta una extensión de 720 hectáreas y se localiza en el distrito de Supe de la provincia de Barranca del departamento de Lima. Consta de un sistema de vetas angostas de oro (Au), cobre (Cu) con óxidos e hidróxidos de fierro (Fe) emplazados principalmente en dioritas y tonalitas del Complejo Purmacana de la Súper Unidad Santa Rosa del Batolito de la Costa, y de manera restringida en las secuencias volcánica-sedimentarias del Grupo Casma. El emplazamiento de estos intrusivos en el Grupo Casma, generó una zona de reacción de alta temperatura formando hornfels.

El propósito de la presente investigación es describir las características litológicas, estructurales, mineralógicas y geoquímicas del proyecto Cielo mediante la prospección geológica utilizando técnicas analíticas petromineralógicas y químicas, observaciones y datos de campo e información bibliográfica recopilada. Con ello se podrá comprender, como principio básico, el comportamiento de la mineralización a escala local y aportará información a nivel regional sobre el potencial económico de exploración de este tipo de depósitos poco estudiados en la costa norte del Perú.

La mineralización se debe principalmente por un enriquecimiento supérgeno en Au y Cu con anomalías de Ag, Pb, Zn, Mo distribuido en estructuras con geometría de veta-brecha de potencia angosta y comportamiento tipo "rosario" o sigmoidal formados bajo un régimen de extensión. Presenta alteraciones hidrotermales tipo cálcica-sódica, fílica, mushketovitización, argílica, propilítica, silicificación y oxidación.

Las características geológicas son muy particulares y se asemeja a pocas ocurrencias de mineralización reportadas en el sector norte de la costa peruana. Asimismo, presenta un potencial económico para la prospección aurífera con valores que llegan hasta los 26.8 g/t Au alojado principalmente en relictos de pirita alterados por hematita, goetita y jarosita, asociado a cuarzo hialino. Finalmente, el Prospecto Cielo correspondería a un depósito tipo IOCG perteneciente a la Franja VIII Depósitos Fe-Cu-Au del Cretácico Inferior.

1.2. UBICACIÓN

El Proyecto Cielo trabajada por de la Cía. Minera Barranca Gold S.A.C., se ubica dentro del departamento de Lima, provincia de Barranca y distrito de Supe. Limita al norte con el pueblo joven de Santa Rosita de Caral y al sur con el centro poblado de Allpacoto. Asimismo, comprende el sector SE del cuadrángulo de Barranca (22h). Morfoestructuralmente, el denuncio se encuentra dentro de la cadena de estribaciones costeras en la zona costera, la altitud varía desde 320 msnm hasta los 870 msnm y abarca un área de 750 hectáreas dentro del sistema de coordenadas UTM, zona 18S:

Tabla 1. Localización de la zona de estudio.

VÉRTICE	ESTE (UTM WGS 84)	NORTE (UTM WGS84)
1	227 024.01	8 798 865.97
2	226 461.27	8 796 429.61
3	223 537.71	8 797 104.89
4	224 100.42	8 799 541.23

1.2.1. ACCESIBILIDAD

El área de estudio está ubicado a 140 Km. al NW de Lima Metropolitana. La accesibilidad es por vía terrestre desde Lima a través de la Carretera Panamericana Norte, y a la altura del Km. 184, se encuentra la entrada al Valle de Supe (Pista Caral – Las Minas- Ámbar), luego sigue un tramo afirmado durante 20 km hasta el centro poblado Allpacoto, seguido de un tramo de 3.5km de trocha carrozable hasta llegar al campamento del Proyecto.

El acceso a partir de Lima se realiza siguiendo el siguiente itinerario:

Tabla 2. Accesibilidad al área de estudio

RUTA	DISTANCIA	VIA	TIEMPO
Lima–Supe (km.184 de la Panamericana Norte – Pista Caral)	162 km	Vía asfaltada	3 hrs 30 min
Pista Caral – C.P. Allpacoto	21 km	Vía afirmada	20 min
C.P. Allpacoto - Campamento	3.8 km	Trocha carrozable	10 min



Lámina 1. Mapa de localización y accesibilidad del área de estudio.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El Proyecto Cielo, es un área que muestra ocurrencia de mineralización aflorante en vetas de oro, cobre asociado a óxidos de fierro, que hasta la actualidad no cuenta con ningún estudio geológico-geocientífico a detalle que permita entender el comportamiento de las estructuras mineralizadas con relación al escenario geológico en el que se emplaza, así pues, su relación con las rocas hospedantes favorables para la mineralización, su control estructural, su mineralogía y paragénesis, la composición química y distribución geoquímica de los elementos indicadores y asociados al posible tipo de depósito mineral que pertenece.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.2.1. GENERALES

¿Qué características geológicas, estructurales, petromineralógicas y geoquímicas presentará las estructuras mineralizadas presentes en el Proyecto Cielo?

1.3.2.2. ESPECIFICOS

- ¿Cuáles son las unidades litoestratigráficas que albergan la mineralización?
- ¿Cuál es el comportamiento estructural y modo de emplazamiento de las estructuras mineralizadas?
- ¿Cuál es el contenido mineralógico, tipo de alteración hidrotermal, características texturales y paragénesis?
- ¿Cuáles son los parámetros geoquímicos y anomalías de los principales elementos indicadores del tipo de depósito mineral? ¿Cómo es la correlación y asociación geoquímica de los elementos en las estructuras mineralizadas?
- ¿Qué tipo de depósito mineral corresponde el Proyecto Cielo?
- ¿Cuáles serán los sectores prospectivos y blancos de exploración?

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El resultado de la investigación contribuirá con información geocientífica muy valiosa sobre las características litológicas, estructurales, mineralógicas y geoquímicas, que será de utilidad para posteriores interpretaciones geológicas a escala local y regional. Asimismo, servirá como una guía o base para futuras investigaciones o campañas de exploración más avanzados en el área de estudio o alrededores, las cuales permitirían descubrir nuevos blancos de exploración.

Finalmente, los concesionarios mineros podrán conocer el potencial geológico-minero del lugar de tal forma que pueda generar interés de parte de inversionistas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERALES

- Identificar mediante la prospección y exploración geológica las características geológicas de las estructuras mineralizadas en el Proyecto Cielo utilizando técnicas analíticas, interpretaciones geológicas y datos tomados en campo.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las unidades litoestratigráficas que albergan las estructuras mineralizadas.
- Determinar el comportamiento estructural y modo de emplazamiento de la mineralización.
- Determinar el contenido petromineralógico, tipo de alteración hidrotermal, características texturales y paragénesis.
- Definir los parámetros y anomalías geoquímicas de los elementos indicadores del tipo de depósito mineral. Determinar la correlación y asociación geoquímica elemental en las estructuras mineralizadas.
- Definir el tipo de depósito mineral correspondiente al Proyecto Cielo.
- Reconocer sectores prospectivos y proponer blancos de exploración.

1.6. HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.6.1. HIPÓTESIS

H1: La prospección geológica en el Proyecto Cielo permitirá conocer el comportamiento de las estructuras mineralizadas y su relación con las características litológicas, mineralógicas, estructural y geoquímica.

1.6.2. IDENTIFICACION DE VARIABLES

Variable Independiente: La prospección geológica en el Proyecto Cielo

Variable Dependiente: Conocimiento del comportamiento de las estructuras mineralizadas y su relación con las características litológicas, mineralógicas, estructural y geoquímica.

Variables Intervinientes: Geología, Geoquímica, Geología estructural, Petrología, Mineralogía, Metalogenia.

1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES

El proyecto de investigación se centra en la caracterización de todas las manifestaciones superficiales de mineralización a partir de la recopilación de la información bibliográfica disponible y los datos de campo tomados durante la campaña de prospección comprendido por un periodo de 12 meses.

De modo que, las limitaciones de la investigación fueron principalmente la falta de estudios geológicos técnicos y científicos del área de estudio y alrededores, sumado a ello la falta de presupuesto a lo largo del desarrollo de la investigación.

1.8. ANTECEDENTES

El área de investigación presenta pocos estudios relacionados al contexto geológico-minero, se encuentra ubicada en el Valle de Supe, donde lo que más caracteriza a la zona es por su riqueza arqueológica como la Ciudad Sagrada de Caral, sin embargo, existen algunos trabajos de investigación locales y regionales y manifestaciones de los comuneros que se relacionan con el área de estudio. A continuación, resaltan los siguientes:

Información a escala Regional:

- Los primeros estudios regionales son de 1973, durante la elaboración de la carta geológica nacional, se publica el boletín N° 26: "Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta elaborado por John Cobbing.
- John Cobbing y Wallace Pitcher en la publicación de 1976 del Boletín N°7 "Algunos Aspectos estructurales del Batolito Costanero" menciona las características geológicas de los intrusivos entre los ríos Chancay y Pativilca. Donde hace referencia al Complejo Purmacana que aflora en el valle de Supe.
- Pedro H. Tumialán en el 2003 publica el Compendio de Yacimientos minerales del Perú donde clasifica a las estructuras mineralizadas como Yacimientos cordilleranos donde menciona que estas estructuras son de tipo hidrotermal cuya mineralización rellena zonas de falla y de reemplazamiento en rocas cajas intrusivas del batolito de la costa.
- J. Injoque (2005), reconoce una franja hacia el norte, similar a la Franja Palpa Ocoña, a la que denomina Franja Huaral-Casma donde hay pequeñas minas aisladas con una producción de oro más modesta clasificándolas como vetas de oro mesotermales. Señala que, a pesar de la producción y años de trabajo minero en la zona, se conoce muy poco sobre estudios y trabajos globales metalogenéticos en la zona.

- L. Chirif (2005) en su Estudio de los Recursos Minerales del Perú sobre la Franja N°4 de mineralización principalmente polimetálica argentífera, sin embargo, hace referencia sobre una Franja cuprífera con algunos valores de oro de tipo filoneano, relacionado a sistemas magmáticos batolíticos, y que ocurren mayormente como sistemas erosionados de potencial poco expectante. En este boletín, se reporta al área de estudio como CREACIÓN (UTM WGS84 224506E, 8797702N,) en referencia a Creación S.A.C., como una ocurrencia mineral de elementos Au, Ag (Zn, Pb).

- Arcos, F. y Calderón, C. (2019) en su última publicación del Boletín N°14 "Actividad Minera Artesanal en la Región Lima", describe la actividad de la pequeña minería de la región de Lima dividiéndola en 3 bloques: Norte, centro, y sur. En el Bloque norte, agrupa a los proyectos mineros por zonas según su ocurrencia mineral y afinidad geoquímica. El área de estudio descrita como BARRANCA GOLD se encuentra en la denominada Zona Colorado, los autores describen brevemente la **mineralización tipo vetas o vetillas** (presente en la Zona Esperanza y Crucero Santiago) y **diseminados en el contacto intrusivo-volcánico** (presente en la Zona de Koreanos). También describe el comportamiento estructural de las vetas en echelón, habiéndose formado como relleno de fallas tensionales con geometría sigmoidal de carácter tipo "rosario" formadas en una zona de falla de rumbo. Asimismo, realiza un muestreo geoquímico referencial de la zona obteniendo un valor promedio de 6.07 g/TM Au, Cu>10 000 ppm.

Información a escala local:

- Cateadores encontraron evidencias de mineralización donde trabajaron artesanalmente sobre algunas vetas de oro en el sector La esperanza dentro las concesiones Sandra Fresia y Livia II, las cuales dan indicio del potencial de la zona. Estos trabajos fueron abandonados por orden del Ministerio de Cultura, que a través de la emisión del CIRA (Certificado de Inexistencia de restos Arqueológicos) determina posteriormente que la zona pertenece al Patrimonio Arqueológico de Allpacoto.
- En el 2010, la Cía. Minera Barranca Gold SAC. inicia sus actividades en la zona de estudio. En el 2014, según la información a la que se accedió, se realizaron cateos y muestreos de *rockchip* en algunas estructuras mineralizadas encontradas. Además del desarrollo de una labor a la que denominaron "Crucero Santiago" con fines exploratorios registrando anomalías en Cu, Zn y Mo en rocas volcánicas del Grupo Casma.

- En el 2015 se continuaron los trabajos exploratorios con una nueva brigada de geólogos, quienes hicieron un reconocimiento de campo por el área accesible de las concesiones mineras enfocándose luego en la Concesión Livia II conforme a los nuevos hallazgos de vetas auríferas en las rocas intrusivas del batolito de la Costa, donde participó quien redacta este estudio.
- Huillca (2017) determina en su tesis "Geología, análisis y modelo estructural del sistema de vetas de la empresa Minera Vicus SAC" las características geológicas, petromineralógica y estructural del yacimiento Capacho de oro I ubicado a 6.5 Km al SE del área de estudio.

1.9. PROPIEDADES MINERAS

La Cía. Minera Barranca Gold S.A.C ha realizado actividades de prospección en las concesiones mineras cuyo titular corresponde al Sr. Edilberto Ordoñez Tirado y Sociedad Minera Buena Esperanza Livia II S.R.LTDA. El área total de estas propiedades es de 1250.28 hectáreas, las cuales se encuentran registradas y vigentes según el Catastro Minero del Geocatmin.

En medida de los avances en la prospección, se fue enfatizando en la concesión Livia II que es donde se registró mayor continuidad de la mineralización en estructuras filonianas que forman parte del Proyecto Cielo. A continuación, se muestra el detalle de los denuncios.

Tabla 3. Propiedades mineras correspondiente al área de estudio.

CONCESION MINERA	TITULAR	DISTRITO	HECTAREAS	ZONA
Leonel I	E. Ordoñez	Supe	300	18S
Juan Carlos	E. Ordoñez	Supe	100	18S
Livia II (Prospecto Cielo)	Sociedad Minera Buena Esperanza Livia II S.R.LTDA	Supe	750.28	18S
Sandra-Fresia	Sociedad Minera Buena Esperanza Livia II S.R.LTDA.	Supe	100	18S

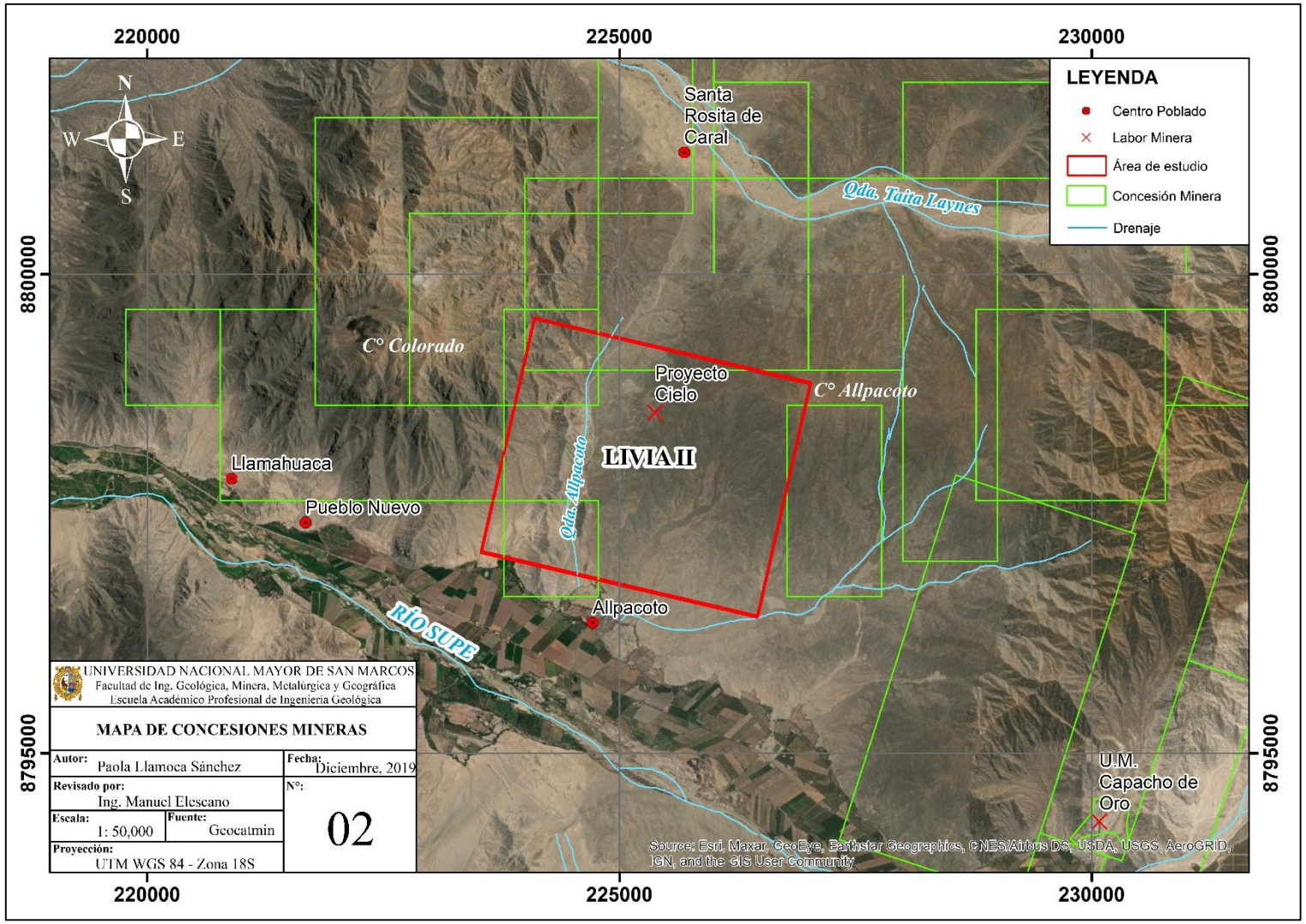


Lámina 2 .Mapa de propiedades mineras trabajadas por Cía. Minera Barranca Gold SAC.

1.10. FISIOGRAFÍA

La zona de estudio abarca la Unidad morfoestructural de Lomadas Costeras (Figura 1.) con altitudes que varían entre 0 – 800 msnm. Presenta un relieve irregular, desde lomadas en rocas intrusivas hasta estribaciones con laderas empinadas y accidentadas desarrolladas sobre rocas volcánicas e intrusivos del Batolito de la Costa. Los afloramientos rocosos por lo general están descubiertos, presentan superficies suaves labradas por quebradas y pedregosas influenciado por la tectónica.

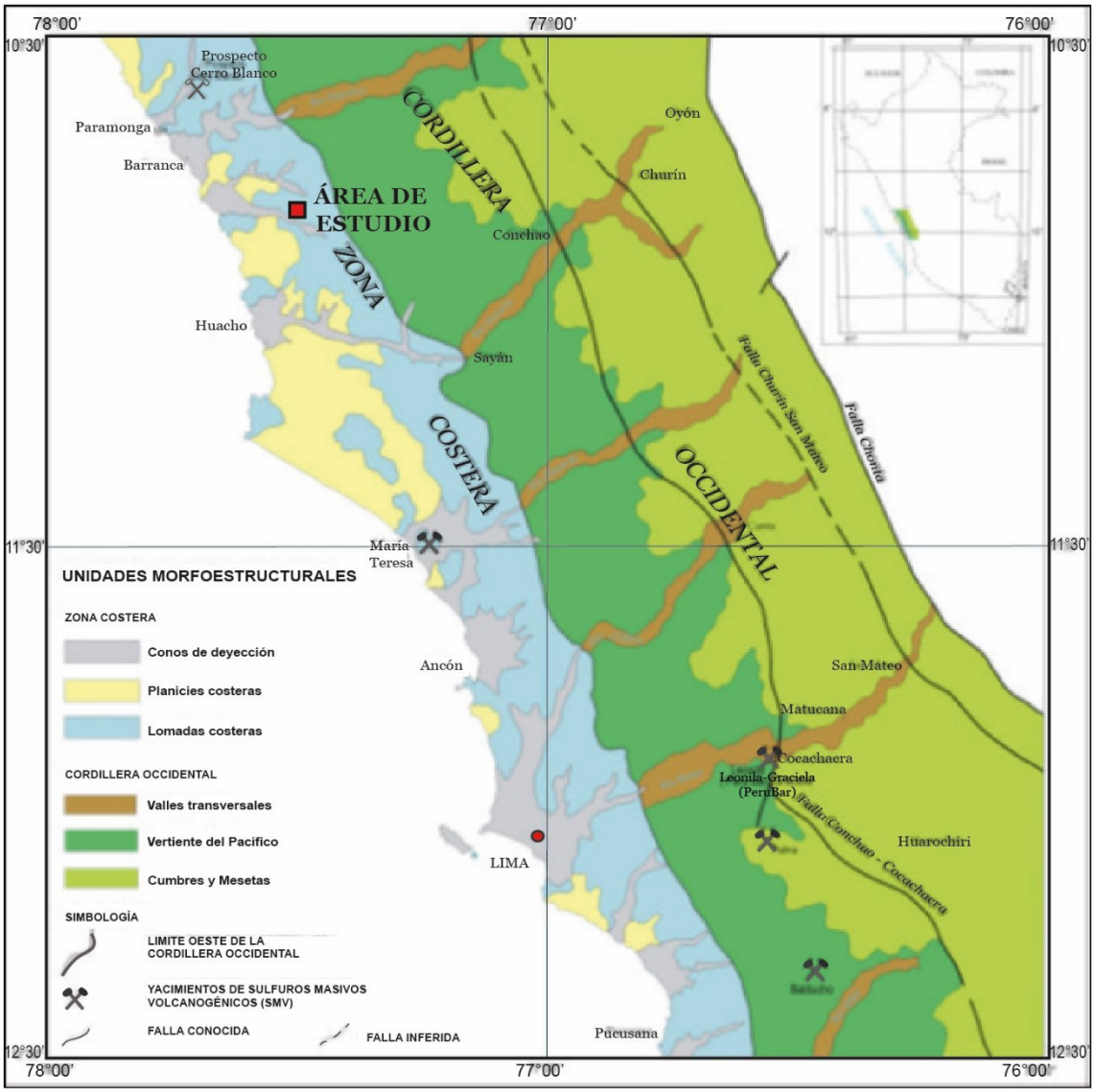


Figura 1. Mapa de Unidades Morfoestructurales ubicando la zona de estudio. Tomado de Romero, 2007.

1.11.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

1.11.1.1. VALLE FLUVIAL

Este tipo de valle es en forma de V, el río Supe lo atraviesa en dirección NW aguas abajo en su cuenca media y baja. Su régimen es irregular, estando la mayor parte del año con poco caudal.

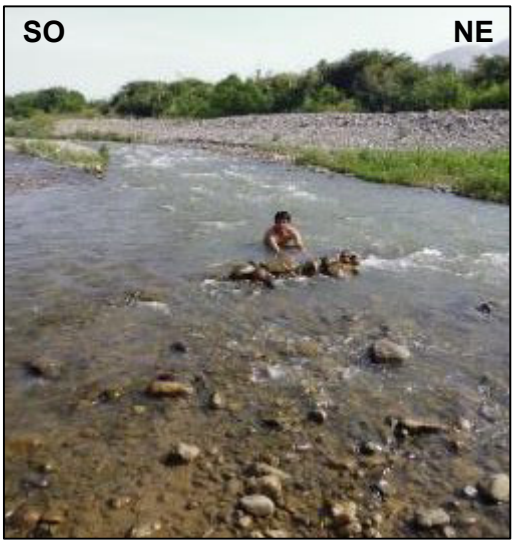


Foto 1. Vista al NO, aguas abajo del río Supe en épocas de verano, febrero.

1.11.1.2. LLANURA ALUVIAL

Presenta amplias llanuras aluviales donde se desarrolla la actividad de la agricultura rodeado de laderas moderadamente empinadas.



Foto 2. Vista al SO desde el cerro Allpacoto hacia el valle de Supe.

1.11.1.3. QUEBRADA

Canales tributarios de los ríos que colectan agua en épocas de lluvias estacionales cubierta por material aluvial formando abanicos, barras y terrazas aluviales, son de pendientes suaves a empinadas y suelen permanecer secas cuando hay escasa precipitación pluvial favoreciendo a la acumulación de material coluvial.



Foto 3. Quebrada Allpacoto formando barras aluviales. Vista al NE.

1.11.1.4. ESTRIBACIONES ANDINAS

Entre los 350 a 1200 msnm, las estribaciones andinas se encuentran con un moderado grado de fracturamiento. Se tienen laderas con pendientes moderadas que varían entre 15 a 30% correspondientes a rocas granodioríticas del Batolito, por otro lado, se encuentran pendientes fuertes o empinadas que varían entre 30 a 50% se presentan mayormente en rocas volcánicas del Grupo Casma y en intrusivos dioríticos del Batolito de la Costa.

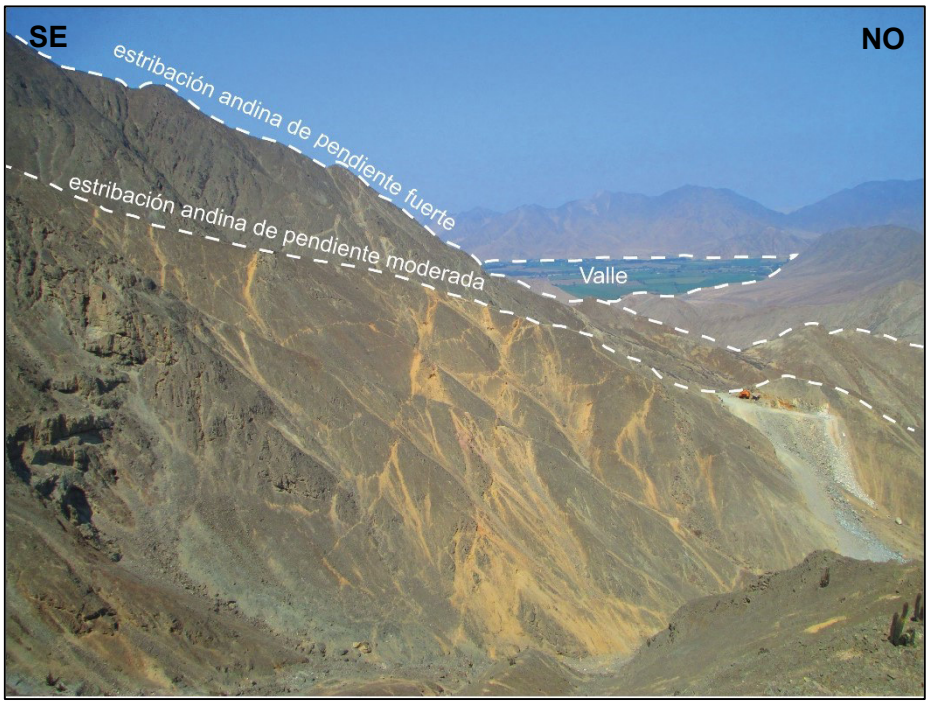


Foto 4. Vista panorámica al SO de los cerros de pendiente media a alta. De fondo, el Valle de Supe.

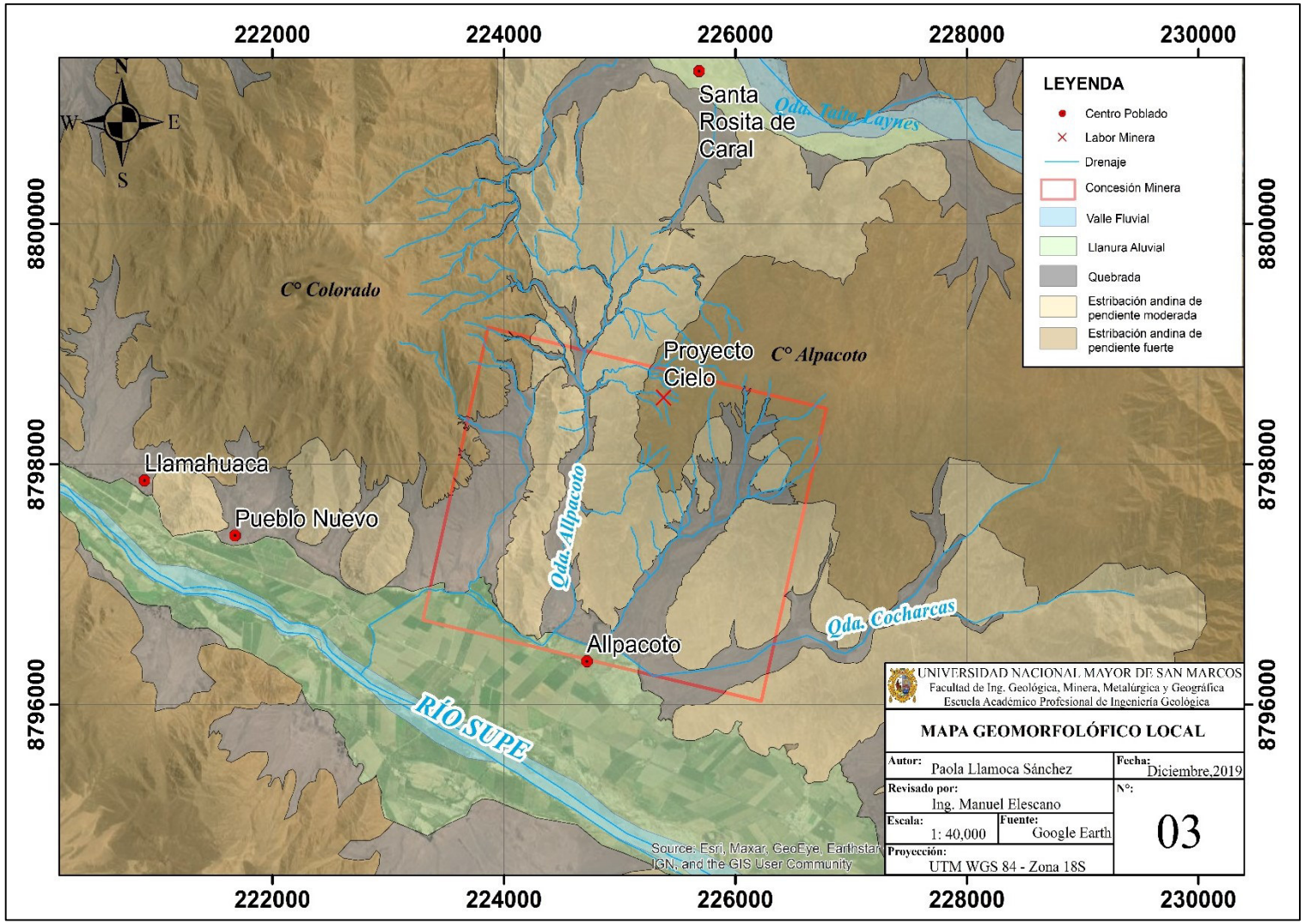


Lámina 3. Mapa de unidades geomorfológicas.

1.10.2. CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima se caracteriza por ser árido y cálido con ausencia de lluvias, pero con ligeras lloviznas que ocurren durante los meses de invierno (abril a agosto). Es característico el elevado porcentaje de humedad relativa, llegando hasta 100% en temporada de invierno y a 72% en los meses de verano. Asimismo, en época de verano, principalmente en febrero, la temperatura llega hasta a 29,5° C; y en invierno alcanza hasta 13° C en julio.

En cuanto a su vegetación, es poca, mayormente plantas de raíces cortas y cactus que crecen en todas las épocas del año. Durante las épocas de lluvia la cobertura vegetal incrementa.



Foto 5. Típica vegetación que aflora en la mayor parte del año, como cobertura de las estribaciones andinas a lo largo del valle de Supe. Vista al NE.



Foto 6. Presencia de abundante neblina en el mes de mayo cubriendo al Valle de Supe. Foto mirando al SO.

1.11. AGRICULTURA

La principal actividad económica en el valle es la agricultura, esta se desarrolla a lo largo del río Supe. Entre los principales productos que cosechan para la agroexportación se encuentran el ají paprika y espárragos; por otro lado, el maíz amarillo se destina a la producción avícola para alimento de aves, la caña de azúcar relacionada a la industria del azúcar, alcohol y papelería. Entre las frutas, produce: Maracuyá, palta, sandía.

En el A.A.H.H. Santa Rosa de Caral, se cultiva productos como maracuyá mediante el sistema de riego por goteo.

1.12. PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

En el área de estudio se encuentran áreas intangibles considerados como Patrimonio Cultural de la Nación en el distrito de Supe, correspondientes a los asentamientos poblacionales de Allpacoto y Cerro Colorado que fueron parte de la Civilización de Caral, establecidos durante el Arcaico Tardío, entre los que tenemos son la Muralla Allpacoto y las Apachetas de Cerro Colorado (900 – 1450 d.C.).



Foto 7. Muralla de Allpacoto ubicado en la entrada al proyecto Cielo.
Vista al NE

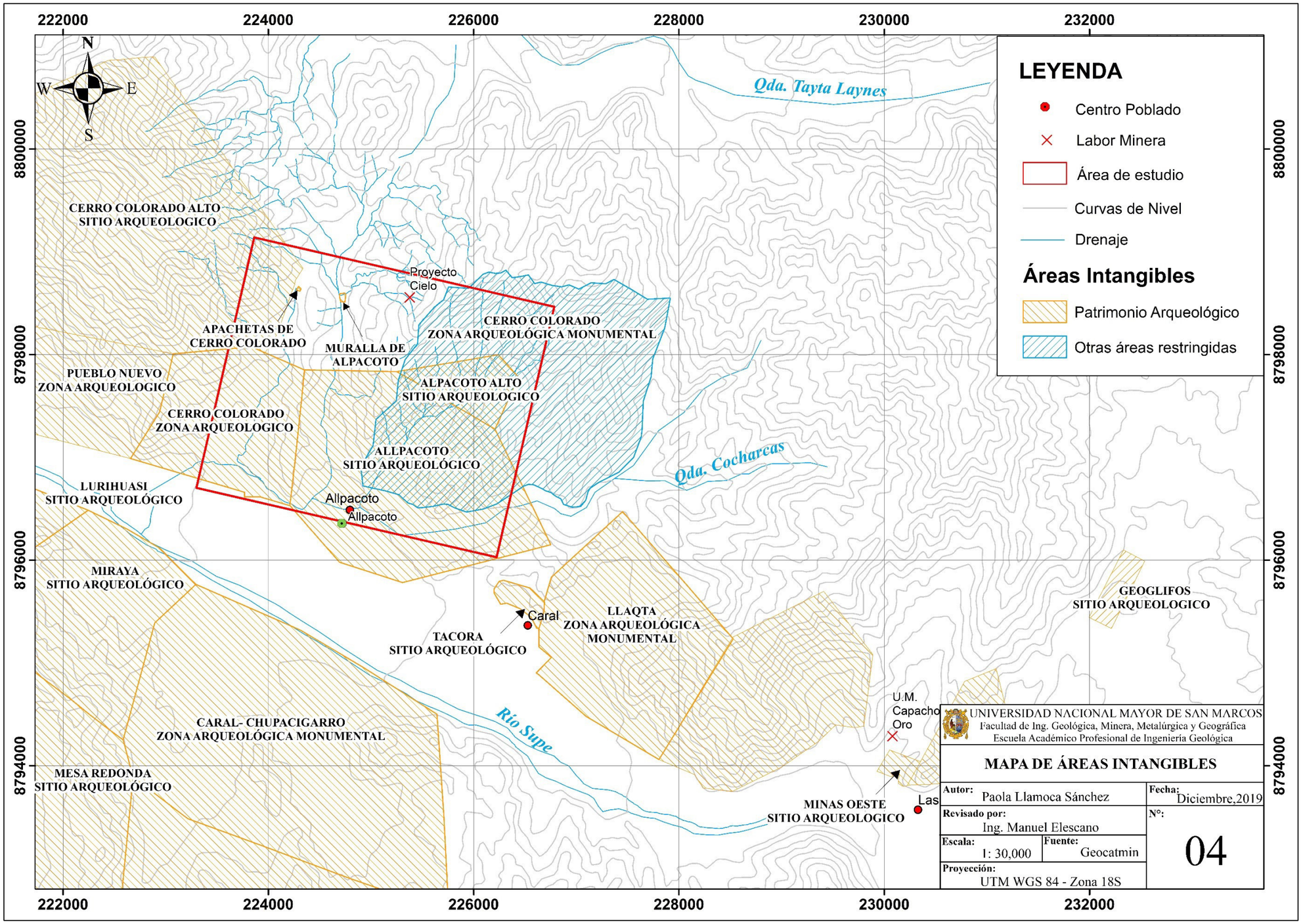


Lámina 4. Mapa local de áreas intangibles.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.1.3.1. FUNDAMENTOS DEL ANÀLISIS CINEMÀTICO

El análisis cinemático es el arte de identificar el relativo sentido del movimiento a través de fallas y zonas de cizalla. Dicho esto, los geólogos estructuralistas usan el "criterio cinemático" por ejemplo, estructuras y microestructuras que se desarrollan durante el fallamiento y cuyas características geométricas depende del sentido de la cizalla.

Los principales criterios cinemáticos para fallas frágiles son:

- Las fracturas Riedel R se originan por esfuerzos de cizalla próximos al plano de falla y forman un ángulo de 15° a 20° (ϕ/2) con respecto al plano de falla principal. Son de naturaleza sintéticas y presentan un movimiento en sentido horario concordante al sentido de la falla principal.
- Las fracturas Riedel R' se originan por esfuerzos de cizalla próximos al plano de falla forman un ángulo de 70° a 80° (90°- ϕ/2) con respecto al plano de falla principal. Son de naturaleza antitéticas y presentan un movimiento en sentido antihorario contrario al sentido de la falla principal

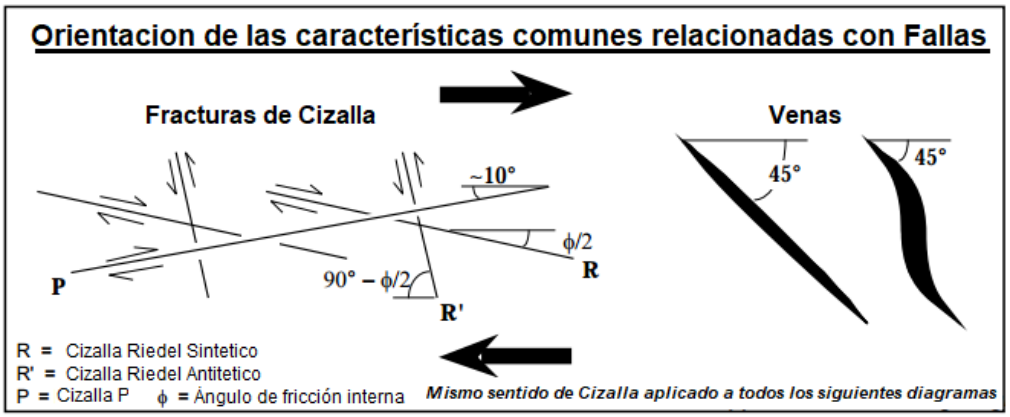


Figura 2. Indicadores cinemáticos de una zona de falla. Gráfico tomado de Allmendinger (1989).

I. CIZALLAS RIEDEL "RIEDEL SHEARS"

A. La superficie de falla está totalmente compuesta de superficies R y R'. No hay superficies P o un promedio del plano de falla. La superficie de falla tiene un perfil de forma aserruchada. No es muy común.

B. La principal superficie de falla está completamente estriada. La falla de riedel R forma un ángulo bajo de 5 a 15° con la pared de la falla principal. Las fallas de riedel R' son mucho menos comunes. La punta en la intersección de R y el plano de falla principal comúnmente se rompe, dejando un paso sin estriar

C. Fracturas Lunadas: Las cizallas comúnmente tienen una curvatura cóncava hacia el plano de falla, resultando en cavidades en forma de "medialuna" o depresiones en la superficie de falla. La dirección del buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semicírculos señalan el sentido del movimiento.

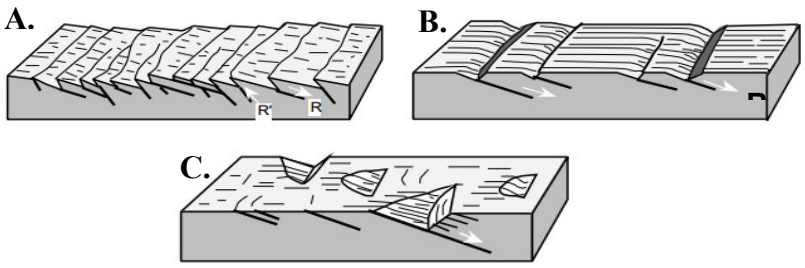


Figura 3. Cizalla Riedel**.** El sentido de la falla es a la derecha y corresponde al bloque superior (faltante) en todos los diagramas. Gráfico tomado de Allmendinger (1989).

II. SUPERFICIES ESTRIADAS "P"

Estas características fueron descritas primero por Petit (1987). El plano de falla está solo parcialmente estriado y las estrías solo aparecen en los lados ascendentes de las asperezas.

A. Petit (1987) llama a estas superficies "T" superficies no estriadas, pero generalmente se forman en ángulos más apropiados para las cizallas R. Las superficies estriadas P miran hacia la dirección en la que se movió ese bloque. Los pasos escarpados desarrollados localmente en la intersección entre P y T. Las superficies P pueden ser espacios relativamente cerrados (**A.1**) o mucho más espaciados (**A.2**).

B. Las superficies T están ausentes por completo. Las superficies estriadas P mira en dirección del movimiento del bloque en el que ocurren. El lado de las asperezas no está estriado.

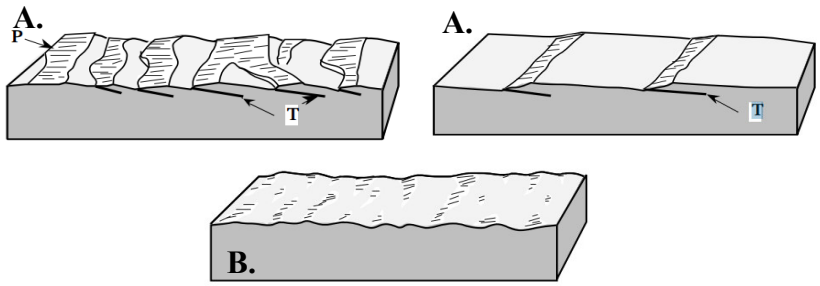


Figura 4. Superficies P. El sentido de la falla es a la derecha y corresponde al bloque superior (faltante) en todos los diagramas. Gráfico tomado de Allmendinger (1989).

III. FRACTURAS NO ESTRIADAS (FRACTURAS "T")

Aunque "T" se refiere a "tensión" esto es un error considerarlas como fracturas por tensión. Ellos comúnmente se sumergen en la dirección del movimiento del bloque superior (faltante) y pueden ser rellenados como venas o sin relleno.

A. **Fracturas Tensionales**: Si se produce una verdadera tensión en el origen y formado durante el evento de falla, estos deben iniciarse a 45 ° con respecto al plano de falla y luego rotar a ángulos más altos con la deformación de la pared de roca. Muchos ejemplos naturales se encuentran con ángulos entre 30 ° y 90 °.

B. **Crescent Marks:** Comúnmente cóncavo en la dirección del movimiento del bloque superior (faltante). Casi siempre ocurren en conjuntos y generalmente están orientados en un ángulo alto con respecto a la superficie de falla.

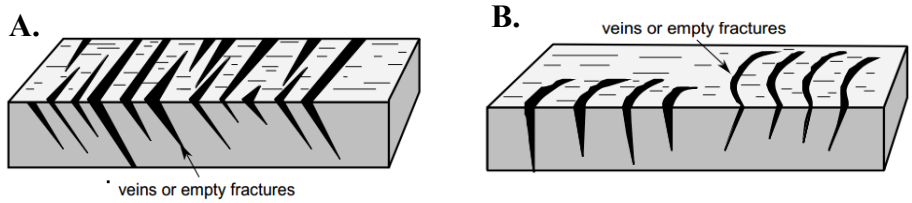


Figura 5. Fracturas T. El sentido de la falla es a la derecha y corresponde al bloque superior (faltante) en todos los diagramas. Gráfico tomado de Allmendinger (1989).

IV. FIBRAS MINERALES

Cuando se producen fallas en los fluidos presentes a lo largo de una superficie de falla ondulatoria o con escalones discretos, los minerales fibrosos crecen a partir de las asperezas donde el esfuerzo es menor y/o se abren brechas.

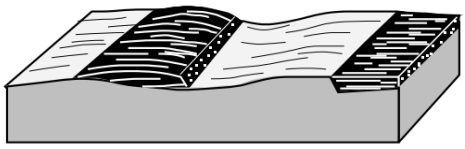


Figura 3. El sentido de la falla es a la derecha y corresponde al bloque superior (faltante) en todos los diagramas. Gráfico tomado de Allmendinger (1989).

2.1.3.2. ANALISIS TECTÓNICO

La formación de estructuras independientemente de la escala de observación regional o local (Análisis Fractal) son la respuesta a determinados esfuerzos tectónicos a los que ha estado sometido la roca o afloramientos rocosos.

Las fallas de rumbo comprenden una clase fundamental de fallas cuyas propiedades geométricas y cinemáticas son bastante distintivas.

Waldron (2005) hizo un excelente trabajo en resumir los detalles del fallamiento y plegamiento en el interior de una zona de cizalla. A medida que se inicia la zona de falla, se forma un sistema discreto de estructuras que consta de (1) fallas conjugadas de rumbo (R, R'), (2) pliegues (3) fallas inversas, (4) fallas normales. De los dos conjuntos de fallas conjugadas, aquel cuyo sentido de deslizamiento es el mismo que el de la zona principal de falla se llama Sintético (R) El conjunto cuyo sentido de deslizamiento es opuesto al de la zona principal se denomina antitético (R'). Los pliegues y fallas inversas formados inicialmente, son paralelos y se orientan perpendicularmente a la dirección de mayor acortamiento (s) y, por lo tanto, paralelos a la dirección de mayor estiramiento (e). En contraste, las fallas normales se orientan perpendicularmente a la dirección de mayor estiramiento y, por lo tanto, chocan en dirección paralela a la dirección de mayor acortamiento.

Waldron (2005) enfatiza que el cizallamiento continuo en una falla de rumbo da como resultado la rotación de los elementos en el sistema, tal como se esperaría durante el cizallamiento no coaxial. A medida que estos elementos antiguos rotan hacia nuevas orientaciones (**Fig. 4. B. C.**), algunos llegan a orientaciones que invitan a la reactivación de fallas. Por ejemplo, en una etapa intermedia de rotación (B), las fallas normales formadas anteriormente se adaptan a un movimiento de falla sinestral. En una etapa de rotación más extrema (C), las fallas normales se pueden acomodar un deslizamiento oblicuo, expresado como fallas sinestrales-inversas. Los pliegues formados en los interiores de la zona de falla de rumbo, se ordenarán en patrones escalonados, con ejes de pliegues individuales alineados paralelos a la dirección de máximo estiramiento (C).

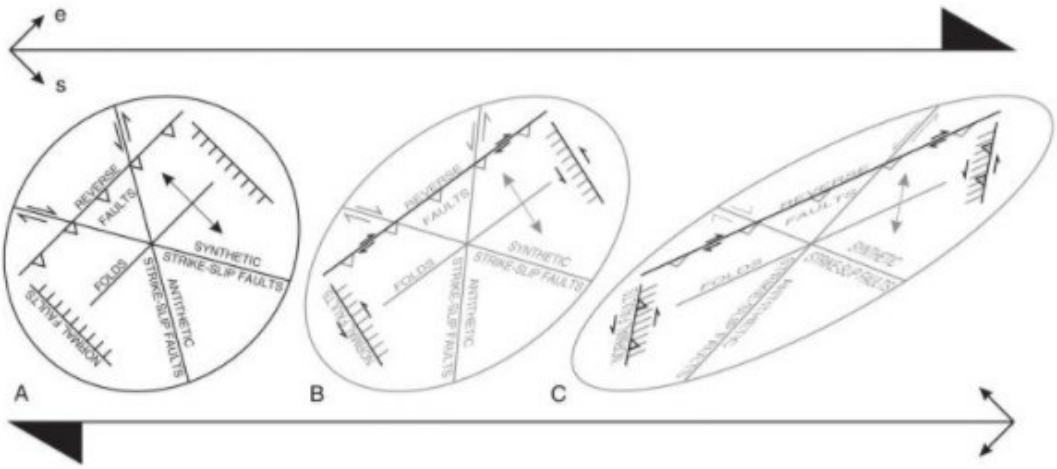


Figura 4. Esquema de deformación de cizalla simple (Ramsay,1967) en una zona de cizalla Dextral. Las primeras fallas se van reactivando (en gris) conforme la deformación va aumentándose desde izquierda a derecha; y según la disposición geométrica final de las estructuras, presentan una aparente concordancia con las fallas más recientes. Tomado de Waldron (2005).

2.1.5. CARACTERIZACION GEOQUÌMICA

Goldschmidt y Mason (1958) definen a la geoquímica como la determinación de la abundancia relativa y absoluta de los elementos químicos que conforman la tierra, asimismo, es el estudio de la distribución y migración de los elementos individuales en las diferentes zonas de la tierra con la finalidad de determinar los principios que influyen en la distribución y migración.

En la actualidad, la exploración geoquímica y la geoquímica ambiental son los campos principales en los que se aplica la geoquímica. Si bien los métodos y los resultados de la exploración geoquímica son en gran medida descriptivos, y los productos suelen adoptar la forma de mapas geoquímicos, la planificación e interpretación óptimas de los estudios geoquímicos debe basarse en el conocimiento de la distribución y abundancia de los elementos químicos, y de los principios que rigen la migración de elementos.

2.1.5.1. AMBIENTE GEOQUÍMICO

Define al grupo de factores físico-químicos que influyen en la distribución, abundancia y migración de los elementos químicos en los diferentes eventos geológicos internos y externos que se dan en la Tierra. Los parámetros del ambiente geoquímico centrados en la corteza terrestre, que resuelven las fases minerales estables en un momento específico son la presión, temperatura, y disponibilidad de los elementos químicos más abundantes. Basado en lo último, se clasifica los ambientes geoquímicos en los siguientes grupos: AMBIENTE GEOQUÍMICO PRIMARIO, refleja condiciones de confinamiento (profundidad). Involucrando ciertas zonas que llegan a los niveles donde circulan las aguas meteóricas, incluyendo a ciertos procesos que se dan a profundidad como el magmatismo y el metamorfismo. AMBIENTE GEOQUÍMICO SECUNDARIO, conformado por aquellos eventos que tienen lugar en la superficie tales como el intemperismo, erosión, formación de suelos, transporte y depositación.

Aquellos componentes mineralógicos originados en condiciones fisicoquímicas primarias son inestables en el ambiente secundario, por ellos sufren un proceso de erosión generando la liberación de los elementos químicos que lo constituyen, para ser transportados y redistribuidos a zonas donde encuentren el equilibrio bajo las nuevas condiciones.

La **dispersión** es la capacidad de los elementos químicos de migrar desde su fuente de origen hasta otro medio o entorno mediante diversos procesos fisicoquímicos y mecánicos.

La **distribución**, se refiere a la dispersión de elementos en el ambiente primario, esta terminología suele ser aplicado preferentemente con referencia a la dispersión primaria.

Concentración o acumulación, es la desviación del valor promedio en la corteza terrestre (*background*) hacia valores mayores, resultando ser, por lo general, un yacimiento mineral.
Migración, es la movilidad de los elementos químicos debido a la dispersión y acumulación determinadas por las diferentes condiciones termodinámicas del medioambiente.

2.1.5.2. MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS

Es la facultad que presenta un elemento químico para trasladarlo de un ambiente geológico a otro. Algunos de ellos evidencian un elevado grado de movilidad a lo largo de la dispersión en ambientes específicos (Rivera, 2007, p.337).

I. MOVILIDAD EN LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE

Cuando una roca es sometida al proceso de meteorización, se da la liberación de los elementos químicos mediante su migración supergénica, así pues, su transporte y distribución, está en función predominantemente de la solubilidad, la adsorción, reacciones competidoras, el Ph, y el Eh de un determinado ambiente (Siegel,1992, p. 8). La movilidad en el ambiente superficial está dominada por el transporte en soluciones acuosas, además se enfoca en la relación de los minerales estables y la movilidad de sus elementos constituyentes que ocurren en condiciones de bajas temperatura y presiones. Con el decrecimiento de la temperatura los fluidos residuales ricos en agua comienzan a asumir las propiedades de las soluciones acuosas, generando los depósitos de vetas hidrotermales que pueden ser precipitados en esta etapa del ciclo geoquímico primario.

Tabla 4. Movilidad relativa de los elementos en ambientes supergénicos (de Perel'man, 1967, modificado por Rose y otros,1979).

Movilidad Relativa	Oxidante (pH 5-8)	Oxidante (pH<4)	Reductor
Muy móvil (K > 10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, (Se, Te, Re?)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderadamente móvil (K=1-10)	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As (Sr, Hg, Sb?)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
Ligeramente móvil (K= 0,1-1)	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, (Cd, Be, Rn, In, W?)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Si, P, Fe
Inmóvil (K<0,1)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR, grupo Pt, Au, (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR, grupo Pt, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR, grupo Pt, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, (Nb, Ta, Cs)

2.1.5.3. PRINCIPIOS DE LA PROSPECCION GEOQUÍMICA

La prospección geoquímica es útil en la búsqueda de depósitos minerales, la idea se basa en que la composición química de los materiales de la corteza terrestre es diferente en las zonas aledañas al depósito.

Para determinar los parámetros geoquímicos, se utiliza diversas técnicas geoquímicas que se aplican durante la evaluación del depósito mineral a través de las campañas de muestreo geoquímico sistemático, seguido del análisis de las muestras en el laboratorio químico.

I. MUESTREO EN LA PROSPECCION GEOQUIMICA

Durante la campaña de muestreo es importante tener en cuenta que cada muestra representa la información geoquímica que proporcionará del lugar donde fue extraído. Es clave conocer los objetivos del proyecto, ya que esto influenciará en la cantidad de muestras a seleccionar; tales como, muestras de reconocimiento con alcance regional, o de detalle con un enfoque local, y el tipo de mineralización de interés, morfología, posible dimensión, y orientación espacial.

MUESTREO EN CANALES

También llamado muestreo de surco, son los más utilizados en la exploración y prospección geológica. El método consiste en el arranque del material para la muestra a partir de un corte o ranura de sección rectangular y una longitud determinada. El arranque se realiza usando cincel y comba o en el mejor de los casos se marca el canal con un disco diamantino y luego se extrae la muestra con cincel y comba. Además, el corte se debe realizar perpendicularmente a la estructura (veta, vetilla, manto) por lo que se recomienda indicar la orientación y largo de la estructura mineralizada y luego realizar el corte del canal. La cantidad de muestra es de 3 kg. Este método fue utilizado para muestrear las vetas en el prospecto.

MUESTREO POR PUNTOS O ROCK CHIP

Este método es similar al muestreo por canales, consiste en obtener trozos o esquirlas en pequeñas porciones de una estructura mineralizada a lo largo de una línea imaginaria que correspondería al eje de un supuesto canal, picando en diferentes lugares a lo largo de ella, de igual forma, se debe orientar perpendicularmente a la estructura tabular. Suelen ser muy usados en yacimientos vetiformes o mantos, pero también son aplicados en depósitos diseminados. Estas muestras tienen que ser tomadas con cincel y comba hasta acumular una cantidad de 3 kg por muestra.

II. METODO DE ANALISIS INSTRUMENTAL

ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA (AAS)

La absorción atómica hoy en día sigue siendo el método más útil y utilizado por la mayoría de laboratorios geoquímicos por la sencillez de su operación, su sensibilidad (partes por millón a partes por billón), la exactitud de los datos, además es utilizada frecuentemente para análisis de Au y metales básicos, sin embargo, solo puede medir un elemento a la vez. Asimismo, se adapta particularmente bien en la determinación de metales de transición, alcalinos y alcalinos térreos. Los elementos más adecuados para la determinación por AAS se muestran en punteado; las letras en negrita indican que la concentración del elemento normalmente puede ser estimado sin dificultad después de una fuerte digestión acida. Las letras pequeñas indican que se recomienda o requiere procedimientos especiales en las operaciones.

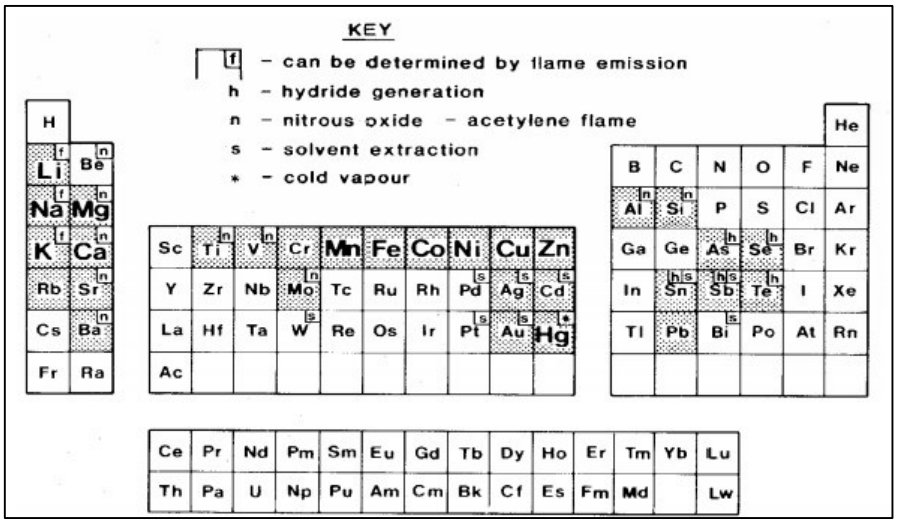


Figura 5. Algunos elementos determinados por AAS.

ESPECTROSCOPIA DE EMISION ATOMICA (ICP- AES)

Es una técnica analítica utilizada para la detección de metales traza y el análisis de elementos múltiples. Cada elemento tiene una longitud de onda específica que se emite al excitar los átomos, y la intensidad de la emisión indica la concentración del elemento en la muestra.

Con las limitaciones de la Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), se empezó a aplicar nuevas técnicas que no necesitan lámparas que se dediquen a cada elemento, sino que determine las concentraciones totales de los elementos en una muestra. Este método está basado en que apenas un átomo de un elemento especifico se excite, como en la absorción atómica, este arroja una luz con un patrón particular de longitudes de onda (un espectro de emisión) conforme vuelve al estado base. Según Thompson (1986), las ventajas del ICP-AES son:

- Es un método de análisis simultáneo; donde se pueden analizar todos los elementos menos el argón, que es el gas del plasma. Implica menos tiempo en el análisis.
- Es posible registrar simultáneamente los espectros para docenas de elementos.
- Exhibe límites de detección bajos.

ENSAYO AL FUEGO (F.A.)

Es el método frecuentemente utilizado para la detección de metales preciosos en minerales. Tiene la ventaja de que puede usar muestras grandes, lo cual es particularmente importante con Au y Elementos del Grupo del Platino. El método consiste en:

- La mezcla pulverizada se pesa (10 a 30 g) y se combina con fundente que contiene una gran proporción de óxido de pomo (litargirio) y cantidades variables de otros reactivos como Carbonato de Sodio, bórax, sílice, entre otras sustancias que formaran la escoria. Luego la muestra homogenizada se coloca en un crisol y se calienta a 1000°C al horno con el fin de tener las fases liquidas y metálicas generándose un botón de plomo a partir de la separación de la escoria de silicato. Este botón de plomo colecta a los metales preciosos y se extraen por un proceso conocido como copelación.
- Durante la copelación, el plomo del botón se oxida y absorbe en la copela y deja un lecho de metal precioso conocido como gránulo. Luego se disuelve el gránulo por agua regia y se mide el contenido del metal según análisis químico (AAS, ICP-AES, ICP-MS) o determinación gravimétrica, según las condiciones finales de la muestra.

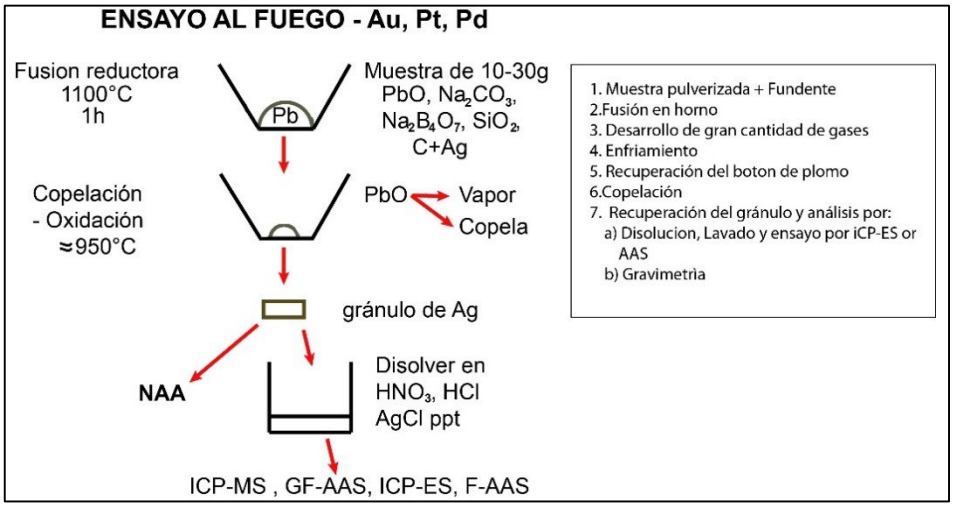


Figura 6. Procedimientos en el método de Ensayo al fuego.

III. ELEMENTO INDICADOR, ELEMENTO PATHFINDER

Se llama Elemento indicador, o elemento blanco (‘*target element*’) a aquellos elementos químicos de interés y que se espera encontrar en un depósito mineral. Asimismo, el Elemento explorador (‘*pathfinder element*’) hace referencia a aquellos elementos asociados indirectamente con el yacimiento mineral y que logran detectarse con mayor facilidad en contraste al elemento blanco, además, puede estar distribuido en un área más extensa, sin presentar tanto ruido de fondo comparado con el elemento indicador. La identificación de un *pathfinder* sugiere un modelo del depósito mineral, que se espera descubrir.

Los elementos metálicos de mayor asociación en depósitos IOCG son Fe, Cu, Au y en menor asociación se tiene U, REE (Elementos de Tierras raras), Co, Bi, Ag, As, P, Mo.

IV. PATRONES DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA

La distribución geográfica de un elemento químico en diferentes materiales (rocas, suelos, agua) es una respuesta a la sumatoria de todos los procesos que involucran al movimiento en los materiales de la tierra. Otros procesos del ambiente endógeno como la alteración hidrotermal pueden modificar la relación básica a los tipos de rocas. Los procesos exógenos tales como la meteorización, erosión, entre otros procesos que ocurren en la superficie pueden borrar y modificar los patrones del ambiente endógeno.

VALOR DE FONDO O BACKGROUND

El contenido normal de un elemento químico en materiales terrestres sin mineralizacion es usualmente denominado "valor de fondo" o *background*. La abundancia normal de cada elemento en particular difiere, considerablemente, según el tipo de material en el que esté presente. Así pues, la distribución de un elemento en cualquier material particular es raramente uniforme. Es recomendable determinar el *background* como un rango de valores y no considerarlo como un valor absoluto, más aún cuando se trata de un ambiente relativamente uniforme. La distribución de los elementos puede ser influenciado por la naturaleza del medio por sí mismo, ya que, bajo diversas condiciones, ciertos elementos pueden enriquecerse y otros empobrecerse. Por lo tanto, en una campaña de muestreo geoquímico de una zona desconocida se tiene que considerar el rango de los valores del fondo. Por lo expuesto, es coherente estimar al valor de fondo como un valor medio, que posiblemente esté dentro de la media, media geométrica, media ponderada, etc.; mas no como un valor exacto.

Tabla 5. Abundancia normal estimada de los elementos en los materiales rocosos en la naturaleza (de ROSE et al., 1979).

Elemento	Símbolo	Abundancia en ppm	Elemento	Símbolo	Abundancia en ppm
Bromo	Br	1,8	Mercurio	Hg	0,02
Cadmio	Cd	0.1	Molibdeno	Mo	1,5
Calcio	Ca	33000	Niobio	Nb	20
Carbono	Cb	230	Níquel	Ni	75
Cerio	Ce	81	**Oro**	**Au**	**0,003**
Cesio	Cs	3	Oxígeno	O	473000
Cinc	**Zn**	**70**	Paladio	Pd	0,01
Circonio	Zr	150	**Plata**	**Ag**	**0,05**
Cloro	Cl	130	Platino	Pt	0,0005
Cobalto	Co	25	**Plomo**	**Pb**	**10**
Cobre	**Cu**	**50**	Potasio	K	25000
Cromo	Cr	100	Renio	Re	0,0006
Escandio	Sc	13	Rubidio	Rb	150
Estaño	Sn	2	Selenio	Se	0,1
Estroncio	Sr	300	Silicio	Si	291000
Flúor	F	600	Sodio	Na	25000
Fósforo	P	900	Talio	Tl	0,45
Galio	Ga	26	Tantalio	Ta	2
Germanio	Ge	2	Telurio	Te	0,002
Hafnio	Hf	3	Titanio	Ti	4400
Hierro	Fe	46500	Torio	Th	10
Indio	In	0,1	Uranio	u	2,5
Lantano	La	25	Vanadio	V	150
Litio	Li	30	Wolframio	W	1
Magnesio	Mg	17000	Yodo	I	0,15
Manganeso	Mn	1000			

ANOMALÍA GEOQUÍMICA

Generalmente, la anomalía geoquímica es definida como aquel valor por encima del *threshold.* Una anomalía se representa mediante un valor numérico, el cual puede apartarse de un grupo más amplio de valores constituyendo el fondo geoquímico. Una anomalía se suele detectar cuando se desvía notoriamente de dicho fondo. Así pues, un depósito mineral como ocurrencia anómala como tal, es una anomalía geoquímica. La distribución geoquímica que se relaciona con el origen o la erosión de un depósito mineral también se considera una anomalía y son denominados ***anomalías significativas***, las cuales se utilizan como referentes para el hallazgo de un cuerpo mineralizado debido a su relación con la mineralización**,** por otro lado, los elementos que no estén relacionados a la mineralización son considerados como ***anomalías no significativas*** (Rivera, 2007, p. 364).

UMBRAL

También conocido como "*Threshold*". Define al valor del límite superior de fluctuaciones de fondo normales. Es así que todo valor superior al umbral, son considerados anomalías, y aquellos por debajo, son denominados valores de fondo. Usar métodos estadísticos sofisticados evita que el cálculo del umbral sea visualmente. En prospección geoquímica el umbral se puede calcular a través de la siguiente expresión matemática:

$$\text{Thershold} = \bar{X} + \sigma_X$$

Donde $\bar{X}$ es el promedio y σ_X es la desviación estándar de la variable X respectivamente.

V. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

MEDIDAS DE POSICIÓN

Se caracteriza porque la distribución de los datos tiende a concentrarse hacia el centro de la misma, a lo que es llamado "tendencia central" entre los más conocidos están la media aritmética, mediana, moda y media geométrica.

MEDIA ($\bar{X}$, μ)

Denominada promedio aritmético, o simplemente media, se simboliza como $\bar{X}$ y μ para la media muestral y poblacional respectivamente. Se define como la suma de todos los valores de la variable entre el número de datos de la muestra o población. Es susceptible a la presencia de datos con valores extremos logrando cambiar su valor.

Muestral:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$: Media muestral
X_i: valores de la variable
n : número de elementos de la muestra

Poblacional:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N} Xi}{N}$$

Donde:

μ: Media poblacional
X_i: valores de la variable
N : número de elementos de la población

MEDIANA (Me)

Es aquel valor que se encuentra (de manera ordenada) en el centro de la distribución de la variable. Así pues, el conjunto de valores ordenados se divide de tal forma que el 50% de los datos son menores a la Me y los otros 50% son mayores a la Me. La siguiente expresión define el cálculo de la posición de la mediana:

$$\text{Pos}\,(Me) = \frac{n+1}{2}$$

Dónde: Pos(Me): Posición de la mediana; n: Número de datos de la muestra

En caso de presentar un número impar de datos, el valor de la Me tomaría la posición central correspondiente, si es un número par, se promedian los dos valores centrales.

MODA (Mo)

Es el valor presente con mayor frecuencia en la distribución de un grupo de datos. En una misma agrupación de datos puede no haber moda o tener más de una, en caso presente dos modas se

denominan bimodal y en caso tenga más de dos, polimodal. Para datos sin agrupar, la moda se identifica notoriamente al ordenar los datos de forma ascendente. En datos agrupados, la moda está presente en la clase de mayor frecuencia, denominada clase modal.

MEDIA GEOMÉTRICA (G)

Se define como la raíz n-ésima del producto de todos los valores $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$, que toma la variable. Es considerado mejor estimador de tendencia central que la media aritmética siempre que la distribución de frecuencias sea asimétrica a la derecha (ej. distribución log-normal).

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n}$$

Donde: "n" es el tamaño de la muestra. La media geométrica de un conjunto de números positivos es siempre menor a la media aritmética. Pese a que su cálculo es más dificultoso que la media, no se ve tan afectado por la presencia de valores extremos.

RELACIONES ENTRE LA MEDIA, MEDIANA Y MODA

La media muestral es afectado por la presencia de datos atípicos, que son valores distantes de los demás datos, ya que toma en cuenta todas las observaciones, mientras que la mediana sólo es afectada ligeramente porque tiene en cuenta el orden de los datos mas no su magnitud.

Por otro lado, la moda es un estadístico estable que no varía adicionando o quitando un valor.

En distribuciones simétricas, la media, mediana y moda coinciden (Figura 7A.). Sin embargo, cuando la distribución es asimétrica, la media y la mediana son muy distintas, lo que implica la heterogeneidad de los datos. En aquellas distribuciones con mucha cantidad de datos con valores pequeños y pocos datos con valores grandes, la asimetría es positiva o de cola derecha. En este caso, la posición de los estadísticos de tendencia central es de derecha a izquierda: Moda < Mediana < Media. (Figura 7B.). Por otra parte, en distribuciones con muchos datos con valores grandes y pocos datos con valores pequeños, la asimetría es negativa o de cola izquierda y la posición de los estadísticos de tendencia central es de izquierda a derecha: Media < Mediana < Moda. (Figura 7C.).

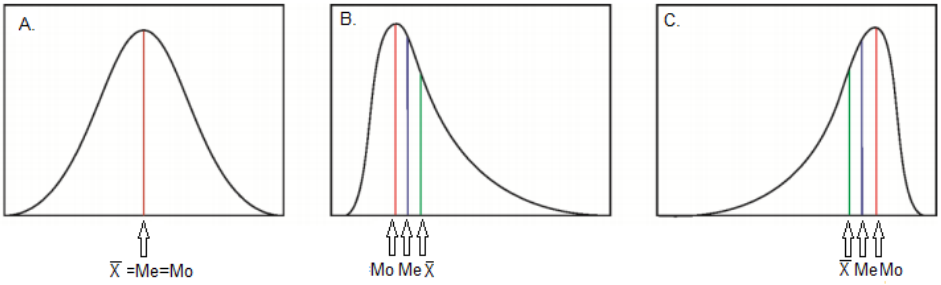


Figura 7. A. Distribución simétrica donde la $\bar{X}$ =Me=Mo. **B.** Asimetría positiva o de cola derecha donde la $\bar{X}$ > Me > Mo. **C.** Asimetría negativa o de cola a la izquierda donde la Mo > Me > $\bar{X}$.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Representa la distancia de los valores de la variable a un determinado valor central, o determina la concentración de los datos en un algún sector del recorrido de la variable.

RANGO

También conocido como amplitud o recorrido. Sea una serie de *n* observaciones $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, el rango se define como la diferencia entre su valor máximo y mínimo. Se puede apreciar tanto en los histogramas como en los diagramas de frecuencia acumulada.

$$R_x = x_{max} - x_{min}$$

Dónde: R_x: Rango o recorrido; x_{max}: Variable de mayor valor; x_{min}: Variable de menor valor.

RANGO INTERCUARTÍLICO

Es la distancia en la que se encuentran el 50% de los valores de la variable. Es similar al Rango, pero elimina las observaciones más extremas inferiores y superiores, haciéndose menos sensible a valores extremos.

$$R_{ICx} = Q_3 - Q_1$$

Dónde: R_{ICx}: Rango intercuartílico; Q_1: Cuartil 1; Q_3: Cuartil 3; $R_{ICx} = Q_3 - Q_1$

VARIANZA (S^2, σ)

Es la sumatoria de los cuadrados de las distancias de cada valor de la variable con respecto a la $\bar{X}$, dividido el número de elementos de la muestra o población. En otras palabras, es el promedio de los cuadrados de las distancias de los datos con respecto a su media.

Muestral:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Donde:

S^2 : Varianza muestral

$\bar{x}$: Media muestral

x_i : Valores de la variable

n : Número de elementos de la muestra

Poblacional:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

σ^2 : Varianza poblacional

$\bar{x}$: Media poblacional

x_i : Valores de la variable

N: Número de elementos de la población

La varianza mide cuán disperso se encuentran los valores de la variable respecto a la $\bar{X}$. Es decir, cuanto más valor tenga la varianza, presentará más dispersión y, por ende, la $\bar{X}$ tendrá menos representatividad. Es un estadístico sensible a valores extremos alejados de la media.

DESVIACIÓN ESTANDAR

La desviación estándar de n observaciones (x_1 x_2,. x_n), es la raíz cuadrada positiva de la varianza:

Muestral: $S = \sqrt{S^2}$ Poblacional: $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

Es la cifra más crítica en el establecimiento de valores de fondo de fluctuaciones regionales y locales (umbral) y de anomalías probables (Siegel, 1992). Tiene la misma dimensionalidad (unidades) que la variable. La distribución (normal o gaussiana) viene determinada por la media y la desviación estándar. De la estadística clásica, se tiene en una distribución normal:

- El 68,3 % de la población tendrá valores entre ($\bar{x}$-s) y ($\bar{x}$+s)
- El 95.4% de la población tendrá valores entre ($\bar{x}$-2s) y ($\bar{x}$+2s)
- El 99.7% de la población tendrá valores entre ($\bar{x}$-3s) y ($\bar{x}$+3s)

COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)

Para un conjunto de datos (x_1, x_2, … , x_n); se define como la razón entre su desviación estándar y el promedio aritmético de dichos datos.

Muestral:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

Donde:

C.V.: Coeficiente de variación

S: Desviación muestral

$\bar{X}$: Media muestral

Poblacional:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{\mu}}$$

Donde:

C.V.: Coeficiente de variación

σ: Desviación poblacional

μ̄: media poblacional

El C.V. no presenta unidades, sin embargo, se suele representar en porcentaje %. Además, refleja cuán grande es la desviación estándar con respecto a la $\bar{X}$, siendo de mucha utilidad ver la variabilidad entre las muestras, incluyendo en mediciones realizadas en diferentes unidades. No obstante, cuando la $\bar{X}$ es próxima a cero o negativo no resulta conveniente calcular el C.V. Asimismo, mientras mayor es el valor del C.V., mayor será la dispersión y menor la representatividad de la $\bar{X}$.

MEDIDAS DE FORMA

COEFICIENTE DE ASIMETRÍA

Este estadístico mide el comportamiento de la distribución de los datos con respecto a su media aritmética, siendo fundamental para conocer si los valores de la variable se concentran en una zona determinada del recorrido de la variable. La asimetría es positiva o asimétrica hacia la

derecha, cuando el valor de la diferencia de la media menos la moda, es positivo. La asimetría es negativa o asimétrica hacia la izquierda cuando la diferencia es negativa.

Si el coeficiente es negativo (AS < 0) la asimetría es negativa (**Fig. 8A.**), cuando es positivo (AS > 0) la asimetría es positiva (**Fig. 8 B.**) y cuando es igual a cero (AS = 0) la distribución es simétrica (**Fig. 8 C**).

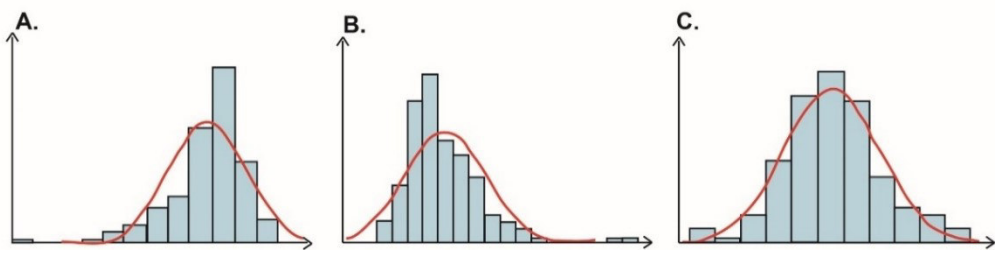


Figura 8. A. Distribución asimétrica negativa. **B.** Distribución asimétrica positiva. **C.** Distribución simétrica.

COEFICIENTE DE KURTOSIS (K)

Conocido como Coeficiente de Exceso o de Kurtosis, evalúa el grado de achatamiento de la distribución de los datos en referencia al modelo teórico de distribución Normal (**Fig. 9**).

El valor de la kurtosis es positivo (K>0) cuando la distribución de los datos es más puntiaguda que el modelo de distribución normal y se le denomina Leptocúrtica. Asimismo, cuando el valor de la kurtosis es negativo (K<0), la distribución es más aplanada que la del modelo normal denominándose Platicúrtica; y, cuando el valor de la kurtosis es igual a cero (K=0) se le denomina Mesocúrtica (**Fig. 9 A.**).

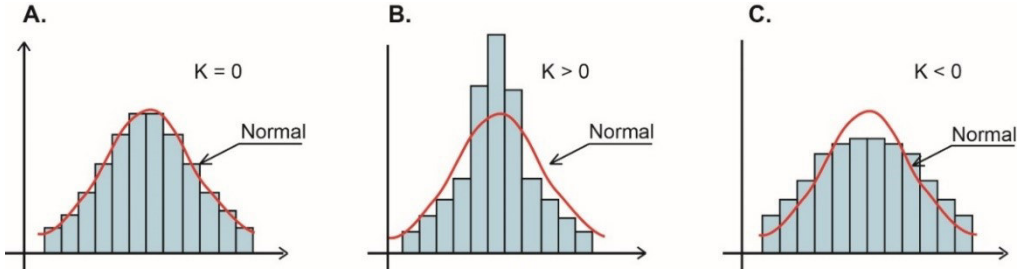


Figura 9. A. Distribución de frecuencias mesocúrtico. **B.** Distribución de frecuencias leptocúrtico. **C.** Distribución de frecuencias platicúrtico.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables cuantitativas relacionadas linealmente. Se define con la letra "r" y su valor está comprendido entre -1 y +1. Donde -1 indica una correlación negativa perfecta y +1 indica una correlación positiva perfecta entre las variables. Por lo tanto:

- Si, r= 0, no existe ninguna correlación entre las variables

- Si, -1< r < 0, existe una correlación negativa entre las variables. Cuanto más cerca de 0 sea el valor de r, menor será la correlación entre las variables, de igual manera, cuanto más cercano sea el valor de r a -1, mayor correlación habrá entre ambas.
- Si, 0<r <1, existe una correlación positiva entre las variables. Cuanto más cerca de 0 sea el valor de r, menor será la correlación entre ambas variables, de igual manera, cuanto más cerca sea el valor de r a 1, mayor correlación habrá entre ellas.

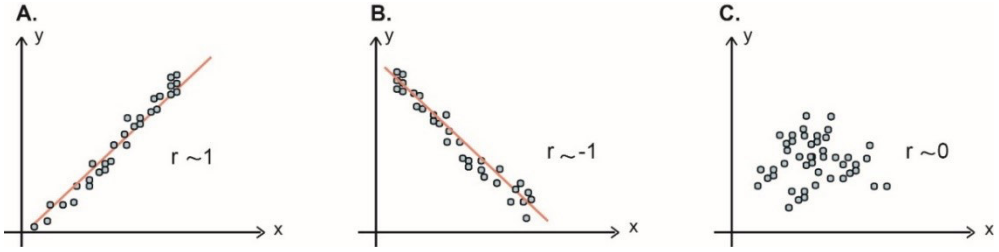


Figura 10. A. Correlación positiva. **B.** Correlación negativa. **C.** No hay correlación.

DATOS ANÓMALOS

También llamados datos atípicos u *outliers*. Frecuentemente se originan por un error de medición, o al transcribir los datos al papel físico, o también se puede dar por algún suceso sumamente inesperado. Los valores anómalos son menores al Límite Inferior y mayores al Limite Superior:

$$\text{Lim. Inferior: } Q_{25\%} - 1{,}5\ (Q_{75\%} - Q_{25\%})$$

$$\text{Lim. Superior: } Q_{75\%} + 1{,}5\ (Q_{75\%} - Q_{25\%})$$

Donde: $Q_{25\%}$: Primer cuartil (Q_1); $Q_{75\%}$: Tercer cuartil (Q_3); ($Q_{75\%} - Q_{25\%}$)

Fácilmente se puede identificar a los datos extremos de manera gráfica utilizando los diagramas de cajas o box-plot, Q-Q plots e histogramas. Es considerable determinar los valores atípicos que influyen fuertemente en los resultados de un análisis estadístico típico, así pues, pueden influenciar sobre la media. Por otro lado, si el dato corresponde a una muestra que presenta algo característico, este debe mantenerse en el análisis estadístico. Además, en caso presenten bastantes datos anómalos, estos podrían reflejar una escala de trabajo inadecuada.

BOX PLOT

Conocido como diagrama de caja y bigote o *box plot*. Representa gráficamente las características más resaltantes de una distribución de frecuencias: posición, dispersión, asimetría, longitud de las colas, valores anómalos. Los extremos de la caja corresponden los cuartiles Q1, que abarca el 25% de los datos; y Q3, que corresponde al 75% de los datos; dentro de la caja se encuentra una línea horizontal representando a la mediana (50% de los datos).

Desde los bordes superior e inferior de la caja salen unas líneas hasta abarcar los datos más lejanos (valor mínimo y máximo), estos segmentos referenciales se llaman bigotes (**Fig. 11 A.**).

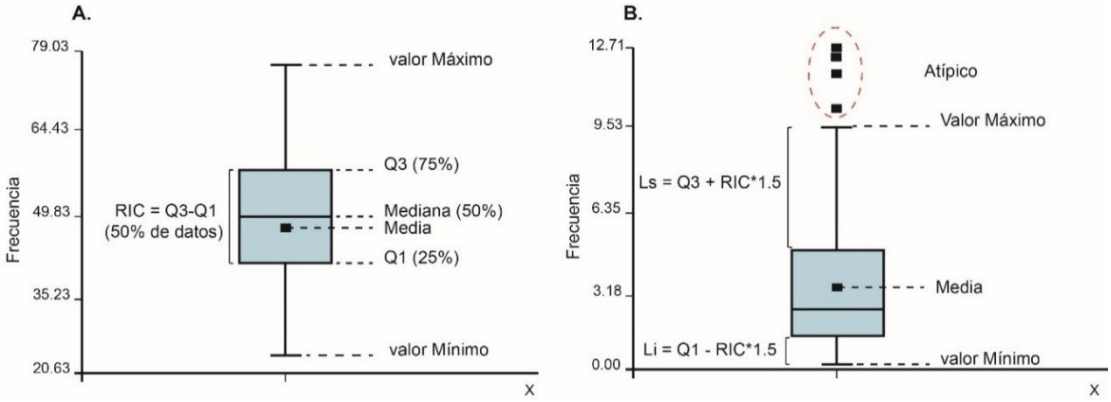


Figura 11. Descripción de un Diagrama de Caja.

2.1.6. ESPECTROMETRIA DE REFLECTANCIA

Esta técnica usa la energía en los campos del espectro electromagnético de la luz visible (0.4 – 0.7 µm), la cercana a infrarroja o NIR (0.7 – 1.3 µm) y la infrarroja de ondas cortas o SWIR (1.3 – 2.5 µm) para analizar los materiales. La técnica está basada en las propiedades espectrales de los materiales teniendo en cuenta las diferentes propiedades físicoquímicas de los minerales, ya que ciertos átomos y moléculas absorben energía en función de su estructura atómica.

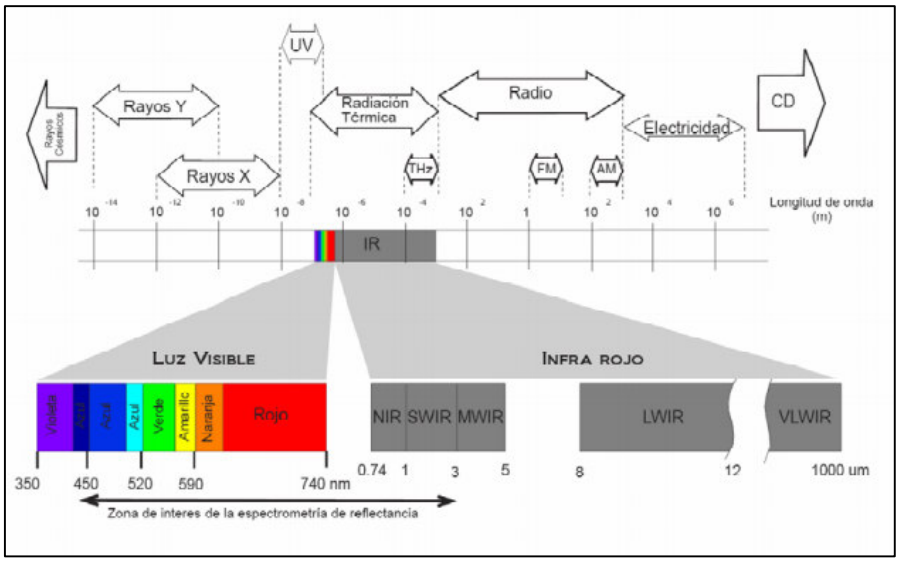


Figura 12. Se resalta dos regiones importantes en el espectro electromagnético, la luz visible e infrarrojo (IR). El campo de detección para los espectrómetros abarca desde 400 nm- 2500nm.

El espectro, es un gráfico continuo conformado por un eje horizontal con valores que representan a la longitud de onda que se puede expresar en micrómetros (µm) o nanómetros (nm); y un eje vertical con valores referentes al porcentaje de reflectancia respecto a la referencia de reflectancia del Halón (CBrClF2) (Paez,2008). La forma general de un espectro es conocido como perímetro exterior o envolvente de Hull, y facilita la identificación de las

variaciones químicas de un mismo compuesto. El rasgo de absorción es esencial de todo espectro, este identifica a los compuestos según los cambios en su forma, profundidad y posición correspondiente al eje vertical, y con respecto al eje horizontal, representado por la longitud de onda, que representa regiones de energía debido a la vibración de ciertas moléculas y radicales tales como: OH, H_2O, NH_4, CO_3 y enlaces del catión OH como Al-OH, Mg-OH, Fe-OH. Como ejemplo de la diversidad en la morfología de los rasgos de absorción se tiene los espectros de los minerales encontrados en la base de datos de SpecMin, SII. Paez, C. (2008). Ver Fig. 13.

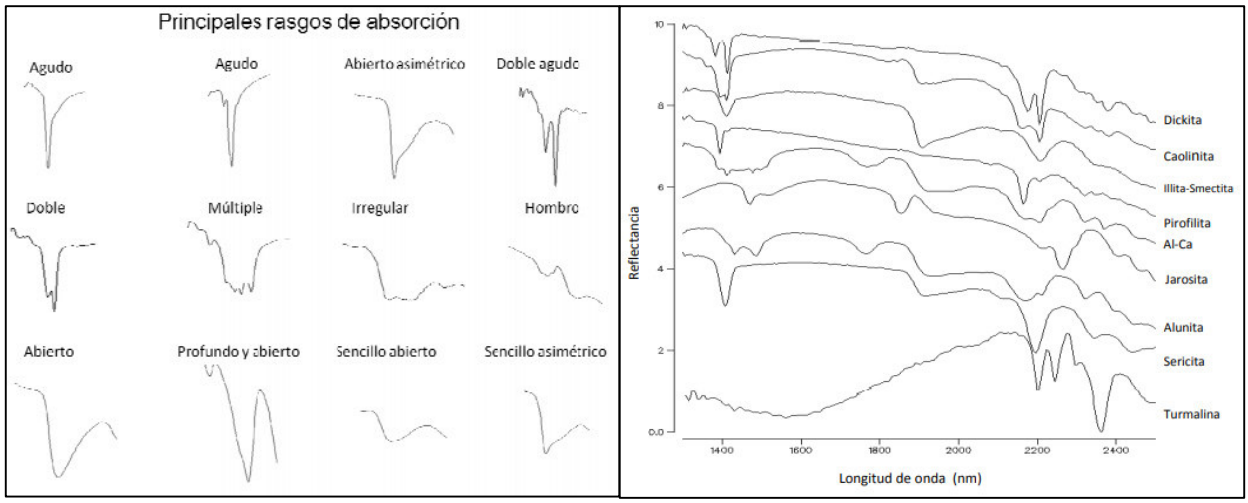


Figura 13. A. Morfologías más comunes observados en los rasgos de absorción de un espectro electromagnético. **B**. Muestra de diversos espectros de algunos minerales. Tomado de Paez, C. (2008).

Las asociaciones mineralógicas definen las zonas de alteración hidrotermal en un depósito mineral, es así que, frecuentemente se puede tener en un mismo espectro la combinación de los rasgos de absorción de dos o más especies minerales.

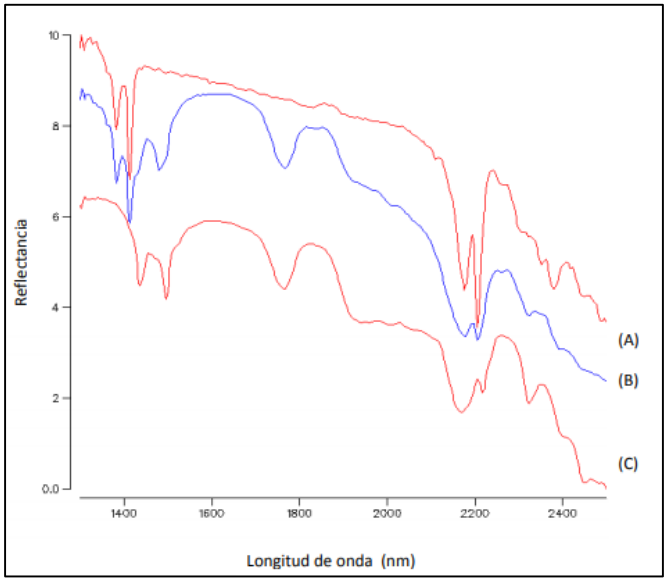


Figura 14. Espectro azul (B) referente a la asociación alunita-dickita. Como referencia dos espectros rojos (A) y (C) que corresponde a dickita 100% y alunita 100%, respectivamente. Nótese los rasgos bien definidos y combinados de alunita y dickita en la muestra (B). Tomado de Paez C., 2008.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro del campo de la investigación, el método para lograr justificar el planteamiento del problema y la necesidad del presente estudio, tiene un enfoque de una investigación de tipo Cuantitativa. Según los objetivos de la investigación, es de alcance exploratorio, descriptivo y explicativo.

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formuló la hipótesis, se ha determinado que el diseño más adecuado a la investigación es de tipo No experimental. En la investigación no experimental se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos (The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences, 2009b).

3.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de lograr los objetivos planteados, se requirieron los siguientes materiales de trabajo durante el desarrollo de la investigación:

Materiales y Herramientas de campo:

Picota, lupa 10x y 20x, GPS, brújula modelo brunton, cámara fotográfica, comba 3 lbs, bolsa de muestreo, saco de rafia, platillo o puruña, mapas topográficos a escala 1: 1,500, chaleco de campo, tablero, lápiz, lapiceros de colores, protáctor multiescala, lápices de colores, lápiz de dureza con imán, frasco pequeño de HCl, bizcocho de porcelana, plumón indeleble, escalímetro, libreta de campo y una adecuada ropa de campo.

Equipos:

Microscopio óptico de polarización, Terraspec, Espectrómetro de Emisión Atómica (ICP – AES) y Absorción Atómica (AAS), Ensayo al Fuego.

Softwares:

AutoCAD, ArcGIS, Target for ArcGIS, Faultking, SPSS, Minitab, Microsof Office, Adobe Ilustrator.

3.3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. ETAPA DE PRE CAMPO

I. SELECCIÓN DEL LUGAR Y RECOPILACIÓN DE DATOS PREEXISTENTES; Reconocimiento de campo recorriendo las concesiones y visita a labores mineras abandonadas. Seguido por una recopilación de datos, tales como, estudios geológicos previos, accesibilidad, condiciones del terreno, relaciones comunitarias con relación al sector agricultura y al patrimonio cultural arqueológico.

II. REORDENAMIENTO DE LA BASE DE DATOS EXISTENTE; se realizó la sistematización de la data geológica de los trabajos realizados en años anteriores.

III. FOTOINTERPRETACIÓN; mediante el uso imágenes satelitales del software libre Google Earth y SASPLANET.

IV. DISEÑO DE TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES; se utilizó la técnica de la regla de la mano derecha. Además, se estableció la codificación de las muestras para estudio geoquímico, petromineralógico y terraspec.

V. ELABORACIÓN DE PLANOS; se elaboró los mapas base para el cartografiado geológico.

3.3.2. ETAPA DE CAMPO

En esta etapa se contó con la colaboración de 7 personas del centro poblado Pueblo Nuevo y Llamahuaca a quienes se les capacitó sobre temas geológicos, cuidados ambientales y seguridad.

I. RECONOCIMIENTO DEL LUGAR DE TRABAJO; se corrobora accesos al lugar de trabajo y las condiciones reales del terreno.

II. CATEO Y PROSPECCIÓN; Cía. Minera Barranca Gold realizó actividades prospección en las concesiones Juan Carlos, Leonel I, Livia II y Sandra Fresia respetando las áreas intangibles, tales como ruinas arqueológicas. Luego, conforme se fueron encontrando las estructuras mineralizadas en Livia II, las exploraciones se fueron enfocando en esta área, denominándolo proyecto Cielo. La estimación del contenido de oro se realizó in situ de forma mecánica, empírica e inmediata con la puruña, la cual permitió distinguir macroscópicamente las vetas con características de mineralización favorables con contenido de oro libre y las que no.

Durante esta etapa se realizaron las siguientes actividades en campo:

- **Cartografiado Geológico y estructural** a escala 1: 1,500. Toma de datos estructurales en estaciones microtectónicas.

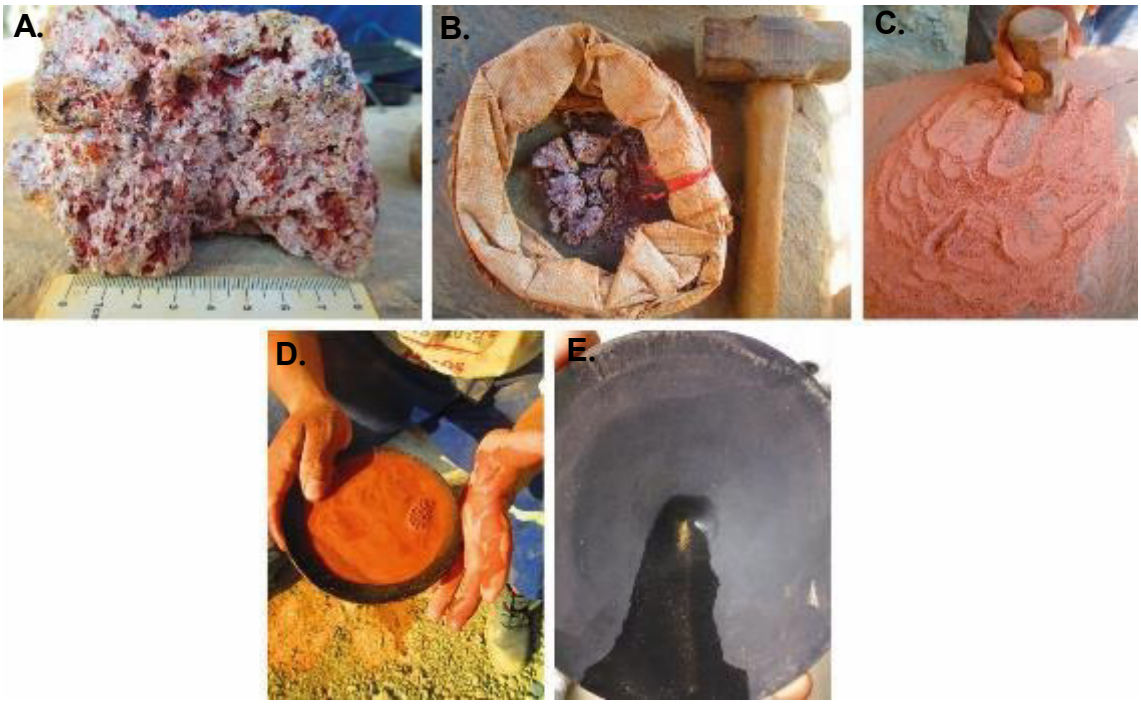


Foto 8. Proceso de la puruña para estimar la ley de Oro. **A.** Muestra de mano con mineralización favorable. **B.** Chancado de la muestra. **C.** Pulverizado y molido de la muestra. **D.** Se coloca un puñado de la muestra pulverizada en el platillo y se vierte un chorro de agua y se procede a mover giratoriamente el platillo hasta ver que el oro empiece a asentarse en el fondo del platillo. **E.** Después de eliminar el agua se puede observar el oro en el fondo del platillo.

- **Muestreo para estudio petromineralógico**; se colectan muestras representativas de las unidades litológicas para petrografía y muestras mineralizadas de las vetas para estudio mineragráfico, cabe señalar que la mineralogía en todas las vetas es repetitiva y no presenta mucha variedad en su composición.
- **Muestreo para Análisis químico**; se realiza la limpieza de las vetas para una mejor exposición en superficie, retirando todo material de cobertura y ajeno a la estructura y así evitar contaminación de la muestra. Luego se procede a hacer canales transversales al rumbo de la veta con una dimensión aproximada de 0.15 m de ancho por 0.05 m de profundidad por la potencia de la estructura que en promedio es de 0.3 m. Para el muestreo de las vetas, con la ayuda de una punta de acero, comba y picota, se extrae una cantidad de 10 kg de muestra, se cuartea en una manta hasta obtener una muestra de 3 kg la cual es colocada en una bolsa de muestra con su ticket del código respectivo. El material sobrante de los cuarteos se guarda como contramuestra y se coloca su rotulado según el código de la muestra. El tipo de muestreo fue selectivo, por razones de continuidad de la mineralización y

presupuesto del proyecto. Los canales se realizaron con un espaciado de 50 metros aproximadamente.

- **Muestreo para Espectrometría de Reflectancia**; se colectaron 08 muestras de mano puntuales con una mineralogía representativa con la finalidad de caracterizar los minerales que conforman las alteraciones hidrotermales, y correlacionarlas con la presencia de oro en las estructuras.

En total se hicieron 22 lecturas con el equipo Terraspec 4 y el procesamiento de los espectros se hicieron en gabinete con el uso del software Specmin.

3.3.3. ETAPA POST-CAMPO

I. ENVÍO DE MUESTRAS AL LABORATORIO; las muestras para estudio petromineralógico fueron estudiadas por la autora de este estudio con el uso de un microscopio óptico marca Leica del laboratorio de petrología de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la UNMSM con la asesoría del Ing. Pedro Gagliufi.

En cuanto al estudio geoquímico, las muestras son enviadas al laboratorio químico de Inspectorate Services para el secado, preparación física y análisis químico por la técnica de Espectrometría de Emisión Atómica (ICP – AES) multielemental bajo una digestión de agua regia. En el caso de oro, se aplicó el método de Ensayo al Fuego (Fire Assay) seguido por análisis mediante Espectrometría de Absorción Atómica (AAS).

II. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS; se procesó los datos estructurales en el Sofware Faultking 8 para determinar la dirección de los ejes de esfuerzos tectónicos. Elaboración de secciones geológicas representativas y transversales a las estructuras mineralizadas usando el software Target for ArcGis. Luego se digitalizó los mapas y secciones geológicos en ArcGIS 10.5. Además, el procesamiento de la data geoquímica, análisis estadístico univariable y multivariable; cálculo de parámetros geoquímicos y elaboración de gráficos estadísticos se usó el software Minitab 18 y SPSS statistic 20.

III. CORRELACIÓN DE DATOS (INTERPRETACIÓN); Compilación de la información adquirida en campo y laboratorio complementando con la información bibliográfica que se tiene de la zona y alrededores. Asimismo, se elaboró un modelo geológico y estructural del depósito mineral.

IV. REDACCIÓN; redacción del Informe para luego ser revisado por los asesores de Tesis hasta su aprobación.

CAPITULO IV

MARCO GEOLÓGICO

4.1. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES

Las unidades morfoestructurales son el modelado final del relieve terrestre por acción de fuerzas internas y externas. Las fuerzas internas o agentes endógenos, tal como los movimientos tectónicos, provenientes del interior de la tierra (orogénesis, sismos y volcanes), originan desplazamientos, levantamientos, hundimientos y formación de la corteza terrestre, preparando el terreno básico superficial. La morfología actual del relieve es debido al modelado posterior de los agentes externos o exógenos (agua, viento, diferencia de temperatura, agentes químicos y biológicos), que meteorizan, erosionan y transportan los materiales de la superficie terrestre.

La formación de los Andes surge como consecuencia de la actividad tectónica, relacionado a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental de Sudamérica (Dewey y Bird, 1970; James, 1971). Extendiéndose en una franja angosta a lo largo de toda Suramérica siguiendo en Norteamérica con el nombre de Montañas Rocosas.

El área de estudio se encuentra rodeado de una zona de montañas de roca volcánica-sedimentaria e intrusiva con llanuras y planicies aluviales según como se puede observar en el mapa geomorfológico regional publicado por el INGEMMET (ver Lámina 5).

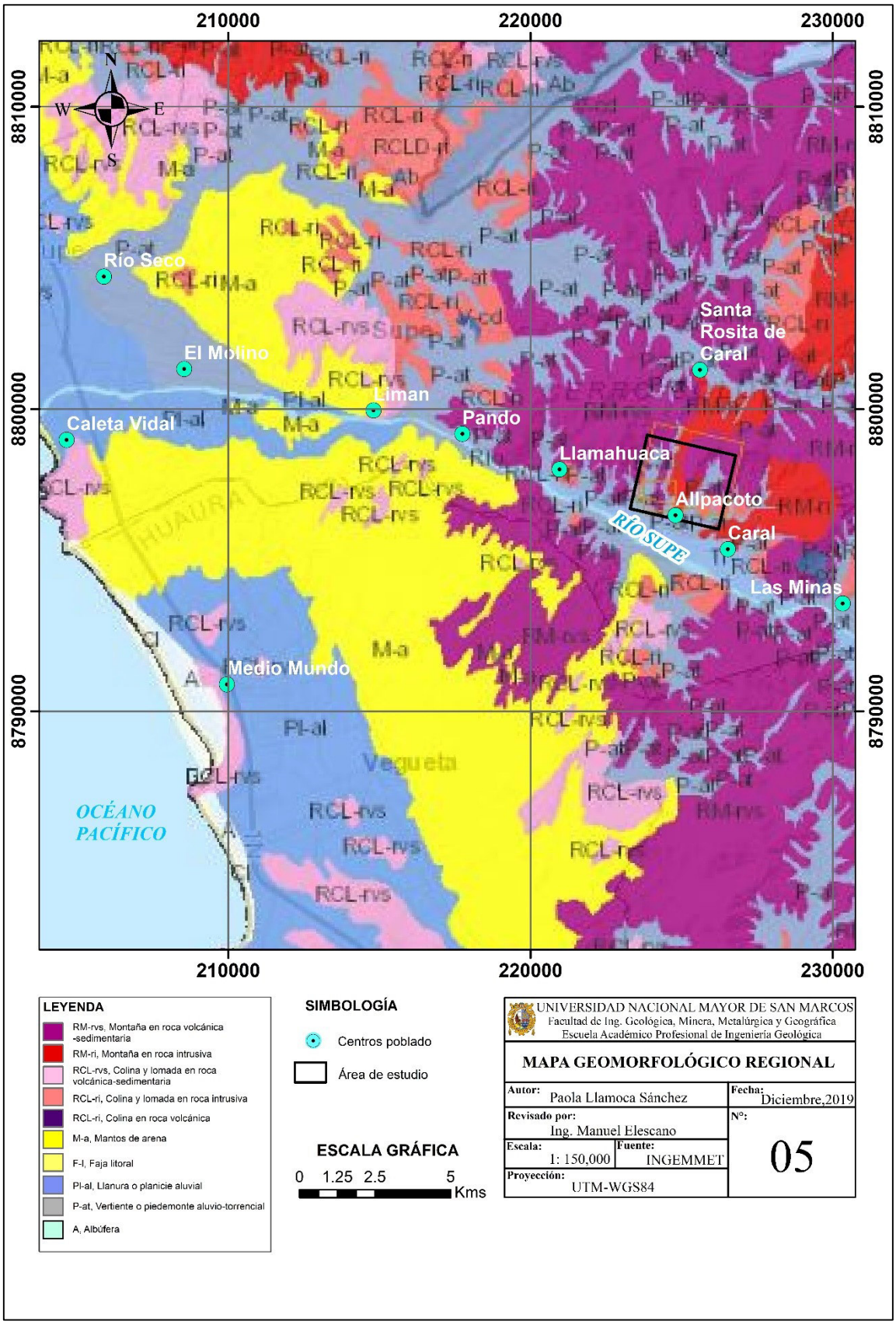


Lámina 5. Mapa Geomorfológico regional elaborado por el NGEMMET.

4.2. GEOLOGÍA REGIONAL

4.2.1. ESTRATIGRAFÍA

A lo largo de la Costa y en las estribaciones andinas bajo la Cordillera Occidental, entre los valles de Moche en el Norte, y Cañete en el Sur, se encuentra una importante secuencia volcanosedimentaria de facie marina llamado como Grupo Casma, que se presenta a manera de fajas plegadas NO-SE las cuales son interrumpidas por un complejo intrusivo del Batolito de la Costa, no observándose continuidad en sus afloramientos.

El batolito Costanero forma una inmensa masa de rocas ígneas intruidas como numerosos plutones y diques asociados en complejos plutónicos que se van haciendo más ácidos en el tiempo (Pitcher W., 1978). Aflora desde Trujillo en el Norte hasta Ocoña en el Sur, a lo largo de 1600 Km. Su composición es variable pasando desde gabro-diorita a tonalita-granodiorita hasta granitos (Jenks W., 1948) y (Jenks y Harris, 1953).

El Grupo Casma es una cuenca marginal de extensión que estuvo relativamente profunda sin influencia continental según las consideraciones de Atherton et al., (1985), Atherton y Webb (1989) y Aguirre et al., (1989). Por otro lado, Soler (1991) considera al Grupo Casma como un arco volcánico de carácter distensivo y de comportamiento acorde con los sistemas de extensión. Más adelante, Polliand (2005) describe un escenario tectónico de formación correspondiente a una cuenca de intra-arco, desarrollada en la margen occidental peruana bajo un régimen extensional en el Cretácico. Atherton et al, 1989, divide al Grupo Casma en dos cuencas: La cuenca Huarmey al norte y la cuenca Cañete al sur, basado en sus respectivos estilos tectónicos y composición geoquímica

La zona de interés se encuentra al norte, en la Cuenca Huarmey, consiste de secuencias delgadas y bien estratificadas conformadas principalmente por derrames volcánicos de andesita de grano fino con algunas intercalaciones de cherts, tobas de ceniza y calizas. Hacia el techo, una secuencia gruesa, estratificada, masiva y competente de lavas andesíticas. Los estratos buzan hacia el suroeste, no se observan pliegues en sus afloramientos. El emplazamiento de los intrusivos de la Súper-Unidad Santa Rosa (Complejo Purmacana) del Batolito Costero en el Grupo Casma generó un metamorfismo de contacto presentando facies de alta temperatura.

4.2.1.1. GRUPO CASMA (Ki-c)

Es una serie volcánica-sedimentaria que tiene sus afloramientos mejores desarrollados en la parte oeste del Batolito de la Costa.

Trottereau y Ortiz (1963) reconocieron a la Formación Casma como una secuencia compuesta de volcánicos andesíticos intercalados con areniscas grauvacas, lutitas y piroclásticos de aproximadamente 1700 m de espesor. En estudios posteriores, la misma denominación fue empleada y publicada por reconocidos geólogos de la Carta Geológica Nacional como A. Cossío (1964), Cossío A. y Jaén H. (1967); Cobbing E.J. y Pitcher W. (1972) y Cobbing E. (1973). Este último describe a la Formación Casma de manera muy generalizada en el Boletín N°26: Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Luego, J. Myers (1974) elevó la categoría de la unidad considerándola como Grupo Casma. Atherton (1985), Guevara y Myers (1980) entre otros, consideran en su totalidad a aquellos afloramientos volcanosedimentarios cretácicos de la Costa y borde oeste de la Cordillera Occidental como Grupo Casma del Albiano-Cenomaniano, los que habrían sido depositados en dos cuencas denominadas Huarmey y Cañete, cada una con características geoquímicas y estilo tectónico particular (Atherton et al 1985).

En cuanto a su distribución espacial y características litológicas generales del Grupo Casma, en el área occidental del batolito, se caracteriza por aflorar una secuencia gruesa de tobas andesíticas alternado con lavas almohadilladas y sedimentos. Algunas de las unidades volcanosedimentarias y brechas se adelgazan hacia el este. Se puede observar estructuras de deslizamiento y estratificación gradacional que sugiere una depositación rápida en un área de subsidencia probablemente por actividad tectónica extensional. Hacia el este del batolito la secuencia consiste en lavas andesíticas y piroclastos intercalados con capas delgadas de limolitas y calizas con intercalaciones de toba y chert (Cobbing, Pitcher, Wilson, Baldock, Taylor, McCourt y Snelling, 1981). En resumen, los volcánicos del Albiano, generalmente se vuelven más delgados hacia el este y presentan afloramientos preferentemente en intercalaciones sedimentarias al este del batolito, donde tanto la subsidencia como el vulcanismo se considera que estuvieron menos pronunciados. Al oeste del Batolito, Myers (1980) divide a los afloramientos del Grupo Casma en cuatro unidades iniciando por la Formación Punta Gramadal constituida de andesitas lávicas en estructura de almohadillas y tobas calcáreas, la Formación La Zorra con tobas, ignimbritas y flujos de lava, la Formación Breas con chert, margas silíceas, areniscas finas, calizas; y la Formación Lupin con lavas en almohadillas, brechas de lavas y tobas. Estas tres Formaciones superiores se disponen preferentemente al este del

Batolito, mientras que la unidad inferior denominada Formación Cochapunta está conformada por tobas silicificadas y chert.

Al sur, en Chancay, Lima, Chilca, Mala y Cañete, el Grupo Casma se presenta como una secuencia volcanosedimentaria denominada Formación Chilca; seguida por volcánicos andesíticos de la Formación Quilmaná, según Palacios O. (1992).

Además, se encontró ammonites *Lyelliceras* del Albiano medio - Cenomaniano en unidades volcanoclásticas de la secuencia inferior del Grupo Casma (Wilson, 1963) y posteriormente en otras áreas se registró ammonites *Oxitropidoceras carbonarium,* Gabb *y Leymeriella*, sp. del Albiano-Cenomaniano (Myers, 1974). De estos hallazgos se asume una edad Albiano medio-Cenomaniano a estas secuencias del Grupo Casma.

Romero (2007) en base a estudios estratigráficos, cartografía y dataciones radiométricas determinó la existencia de una secuencia diferente, ubicada al este del Batolito de la Costa de edad Mastrichtiano-Daniano. Esta secuencia corresponde a rocas volcánicas que se encuentran en discordancia angular sobre las rocas volcanosedimentarias del Albiano-Cenomaniano del Grupo Casma. Posteriormente; basado en las características geoquímicas y magmáticas del vulcanismo del Albiano-Cenomaniano y Mastrichtiano-Daniano; Cueva, E.; Mamani, M. y Rodríguez, R. (2010) describe la relación existente entre las lavas del Grupo Casma con los depósitos de tipo Cu-Fe-Au (IOCG) y la secuencia del Cretácico superior-Paleoceno se relacionaría con depósitos tipo Pb-Zn-Cu (VMS).

En el presente estudio se ha podido reconocer a secuencias volcanosedimentarias del Grupo Casma dividiéndolo bajo el criterio litológico y posición estratigráfica descrito por Palacios O. (1992) en las siguientes Formaciones:

Formación Chilca

Corresponde a la parte inferior del Grupo Casma, aflora al pie de las estribaciones andinas y se encuentra perturbada por el batolito de la costa. Sus afloramientos son reconocidos en la parte baja entre los cerros Colorado y Hospital buzando hacia el suroeste, la secuencia continúa aflorando hasta cruzar la quebrada Tayta Laynes, en el cerro Corbacho presentándose como una secuencia plegada, menos competente, de lavas y tobas que es cortada por intrusos del Batolito costero.

Litología y espesor. – Conformada por una serie bien estratificada y tabular, en algunas ocasiones irregulares, de naturaleza volcanosedimentaria conformado por niveles de lavas andesíticas porfiríticas, grises a grises oscuras ligeramente verdosas en superficie fresca tomando una coloración superficial pardo naranja por meteorización. Se intercala con algunas capas tabulares de chert y tobas grises, niveles delgados, en partes deleznables, de coloración gris clara de calizas bioclásticas.

Por su naturaleza incompetente, se encuentran ligeramente plegadas y algo desordenadas cerca a zonas de falla. El contacto hacia la parte superior con la Formación Quilmaná es gradacional.

Su espesor es variable, sin embargo, se asume un espesor de 750 m aproximadamente.

Metamorfismo. - Los factores del metamorfismo que han afectado a las rocas de la Formación Chilca son la temperatura y la presión. El incremento notable de la temperatura por el emplazamiento de los cuerpos plutónicos del batolito costero generó un halo de reacción por metamorfismo de contacto formando hornfels bandeados y silicificados con protolito de lavas determinados bajo estudio petrográfico. Además, la presión, ha tenido un efecto sobre las rocas volcánicas generando una esquistosidad incipiente.

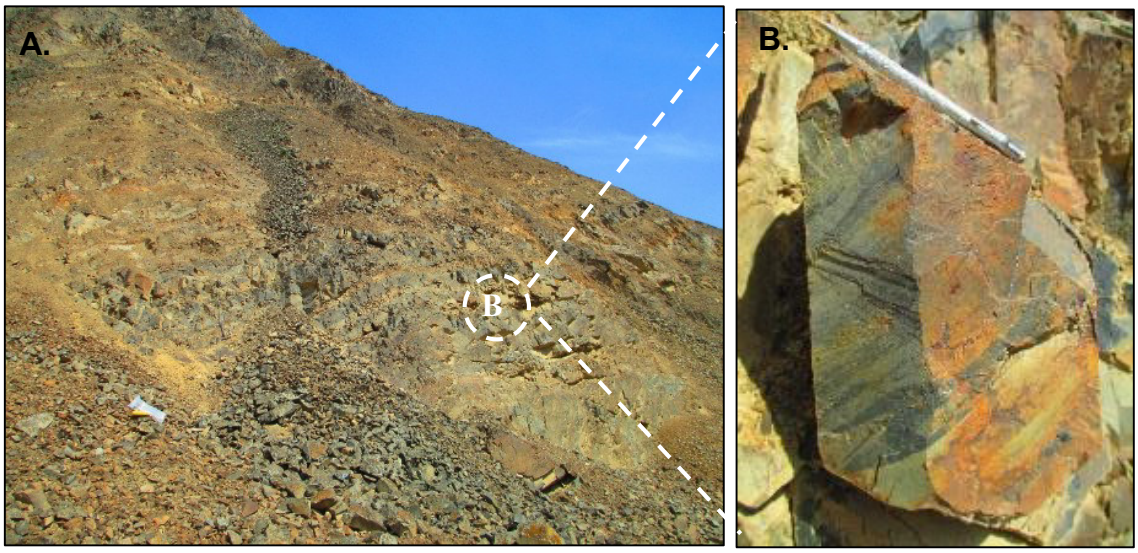


Foto 9. A. Afloramiento tabular de capas de 30 cm de chert grises, duras. Presenta una dirección de S20°E/50° SO (224040 E, 8800079 N) Vista al NO. **B.** Muestra soldada de chert conformado por bandas grises claras intercaladas con bandas oscuras con superficies oxidadas.



Foto 10. A. Capas tabulares ligeramente deformadas conformada por niveles delgados de 10 cm de lavas andesíticas grises oscuras que se intercalan con capas delgadas y deleznables de calizas grises. Vista al NO. **B.** Capas de andesitas flexuradas (223985 E, 8800550N).

Formación Quilmaná

Representa la parte superior del Grupo Casma en el cual se observa un mayor incremento de lavas poco estratificadas que se alternan con horizontes de tobas, brechas y esporádicos niveles de chert. Ha sido correlacionado con los volcánicos Casma y asignado al Albiano medio-Cenomaniano. Esta edad haría que esta secuencia fuese equivalente al Casma Superior en el norte del Perú (Sección Pararín y Culebras, Atherton et. al, 1985) y similar al Casma en el área de Pucusana (Cardozo,1983).

Se compone de unidades gruesas y masivas, moderadamente estratificadas, y columnares de naturaleza predominantemente volcánica conformada por lavas de andesitas-basálticas con textura porfirítica, fenocristales de plagioclasas en una matriz afanítica gris verdosa, ocasionalmente con agregado amigdalar rellenos de cuarzo.

Estos afloran en la parte alta del cerro Colorado y son más competentes que las rocas que componen a la Formación Chilca. Sus capas presentan un rumbo promedio de S30°E buzando hacia el suroeste, además se encuentran metamorfizadas por intrusivos del Complejo Purmacana definiendo halos de metamorfismo de contacto observándose rocas duras y silicificadas, en algunas zonas con diseminación de sulfuros.

En el Sector de Koreanos norte (Foto 11), se observa a la Formación Chilca conformada por una secuencia tabular y deleznable de chert intercalado con lavas de coloración pardusca superficialmente, al tope se intercala con niveles muy fracturados de volcánicos andesíticos gris oscuro ligeramente verdosa, se estima un espesor promedio de 150 m. Hacia el techo, la Formación Quilmaná ocurre sobreyaciendo concordantemente como una secuencia competente y masiva de volcánicos andesítico-basálticos con algunos niveles delgados de brechas. Las capas presentan un rumbo S10°E buzando 48° al SO.

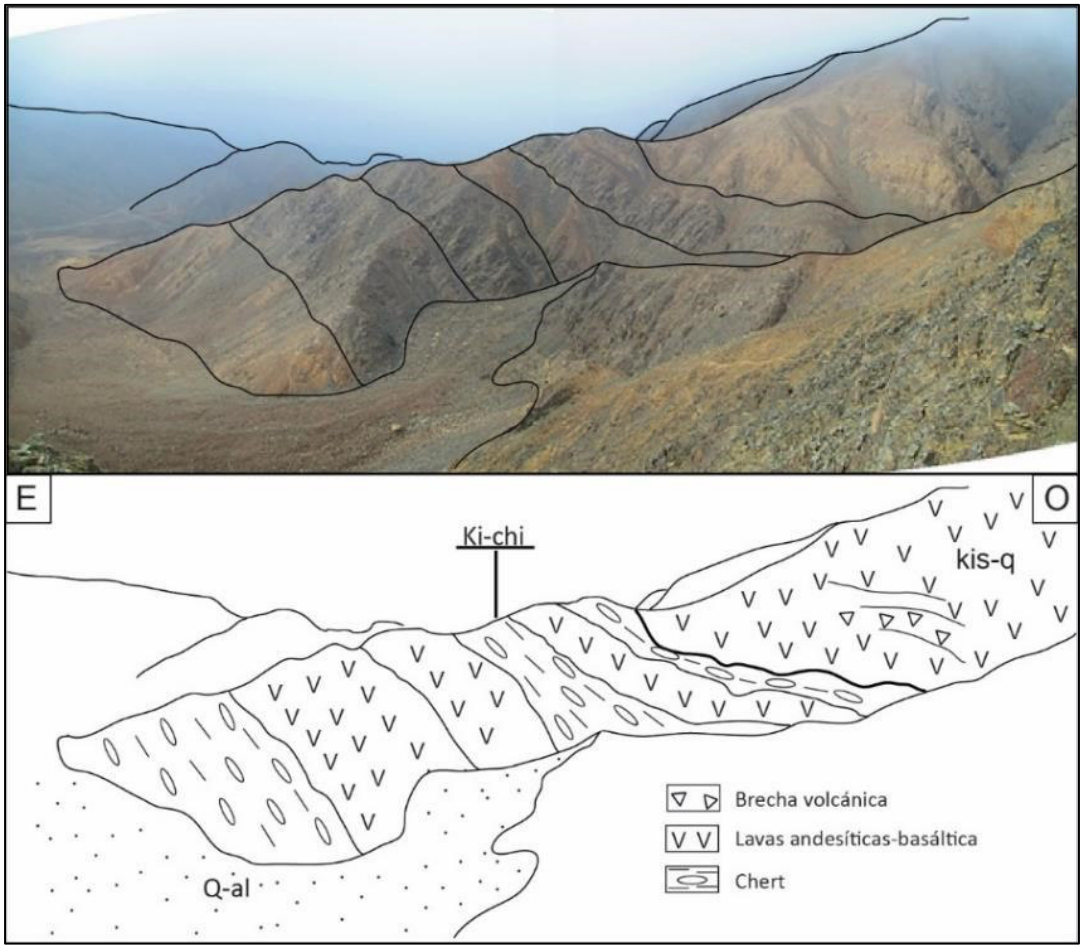


Foto 11. Perfil del afloramiento en Sector Koreanos Norte, Formación Chilca infrayaciendo a la Formación Quilmaná (224225 E, 8799503 N). Vista al sur.

4.2.1.2. BATOLITO DE LA COSTA

Es uno de los ensambles plutónicos más extensos e importantes de los Andes (Soler, 1991). Estos cuerpos son de naturaleza calco-alcalina, se emplazó desde hace 105 Ma. a 35 Ma. (Mukasa, 1986), formando una franja NO-SE de 50 a 80 km de ancho y aproximadamente 1600 km de longitud extendiéndose de forma continua a lo largo de toda la costa peruana.

El Batolito costero ha sido ampliamente investigado por un grupo británico encabezado por Pitcher y Cobbing (Cobbing y Pitcher, 1972a, b; Cobbing et al., 1981; Cobbing y Pitcher, 1983; Pitcher et al., 1985) quienes segmentaron a toda la franja en los siguientes bloques de Norte a Sur: Segmento de Piura, Segmento de Trujillo, Segmento de Lima, Segmento de Arequipa y Segmento de Toquepala. Ver Fig. 15.

De acuerdo a Myers (1975), el término "unidad" es algo similar al término litoestratigráfico "formación" y del mismo modo, una "súper-unidad" o "complejo", es un conjunto de unidades relacionadas y por lo tanto análogas a un "grupo". En el área de estudio afloran plutones pertenecientes al Segmento Lima, el cual se subdivide en Súper-Unidades. A continuación, se muestra en la **Tabla 6** una comparación de las dataciones K-Ar establecidas por Wilson (1975), Stewart et al (1974), McBride (1977) y otros versus las edades establecidas por Mukasa (1986) por U-Pb con respecto al Segmento Lima. Se debe agregar que, la estabilidad del zircón bajo condiciones de altas temperaturas permite al mineral resistir a diferentes perturbaciones térmicas convirtiéndolo en la metodología de datación más confiable que la de K-Ar o Rb-Sr (Mukasa,1986).

Tabla 6. Superunidades del Segmento Lima del Batolito costero del Perú. (Mukasa, 1986, p.244)

SEGMENTO LIMA			
SUPER UNIDAD	**LITOLOGÍA**	**Wilson y otros (1975,1977)**	**Mukasa (1986)**
		K/Ar (M.a.)	**U/Pb (M.a)**
Pativilca	Monzogranito	33	37
Paccho	Diorita-tonalita		39-64
Puscao	Granodiorita- monzogranito	61	65-69
San Jerónimo	Granodiorita- monzogranito	62	68
La Mina	Tonalita-granodiorita	66	71
Humaya	Granodiorita- granito	73	73
Santa Rosa	Diorita-monzogranito	75-90	50-91
Patap	Gabro-diorita	>102	>102

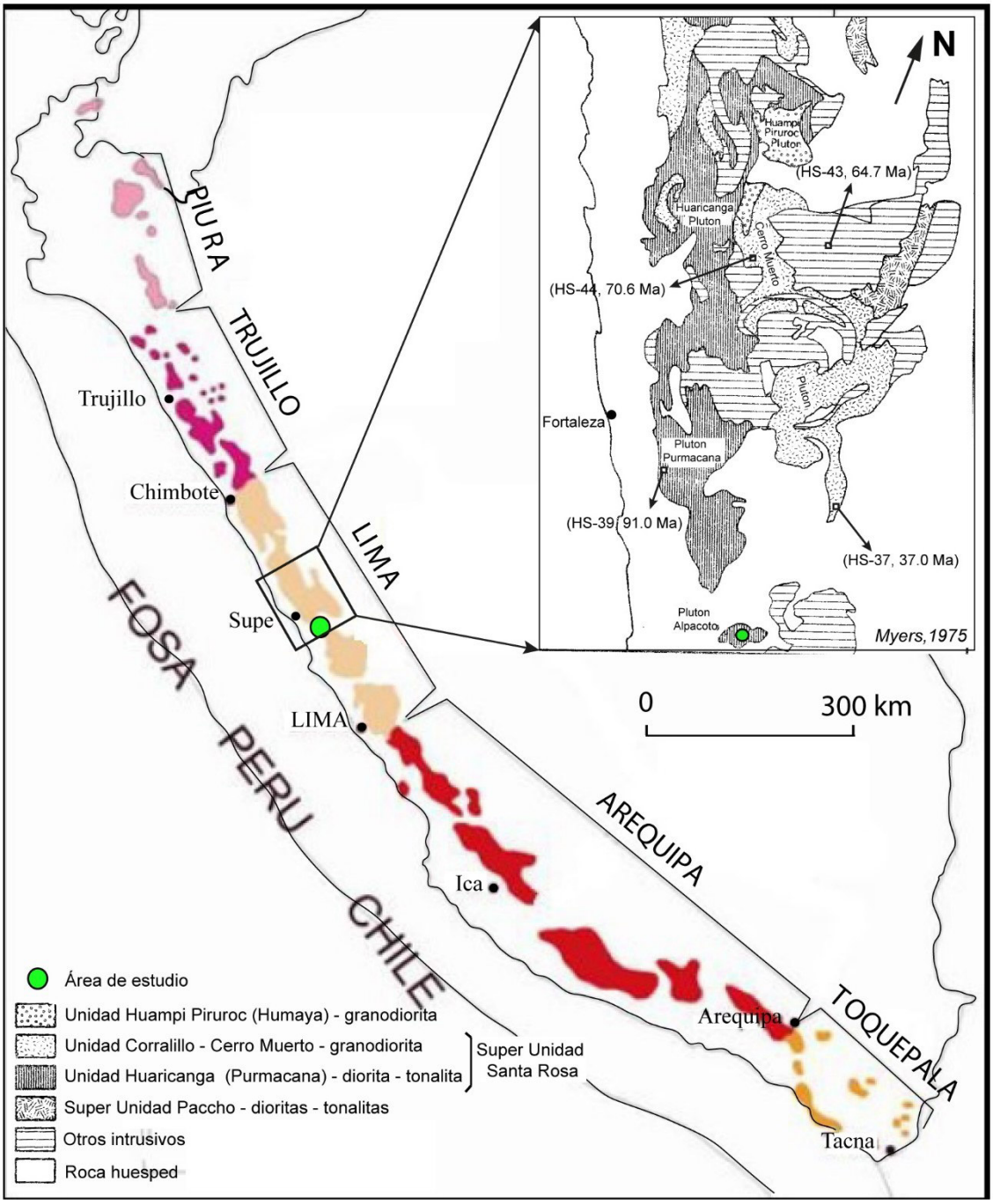


Figura 15. Distribución y límites de los segmentos del batolito costero realizado por Pitcher et. al (1985). Distribución de las súper unidades Santa Rosa y Paccho en el Complejo Fortaleza (según Myers,1975). Dataciones U-Pb de Mukasa (1986).

SEGMENTO LIMA

El segmento Lima es una intrusión múltiple demostrada a lo largo de la costa peruana desde Lima a Chimbote (400 Km). Constituido por un número de plutones asociados y temporalmente diferentes, agrupados en súper-unidades (ver Tabla 6) que comprenden cada una, un rango de tipo rocoso, sin embargo, la razón rocas ácidas/rocas básicas incrementa progresivamente en el tiempo. En la zona de interés afloran rocas intrusivas de la Súper Unidad Santa Rosa.

Súper-Unidad Santa Rosa

Es la súper-unidad dominante y característica del Segmento Lima esto debido a su gran extensión y su amplio rango de composición. Aflora desde el norte del río Huaura hasta el sur del río Chancay. Intruye a las unidades volcánicas del Grupo Casma y a otros miembros del batolito. Cobbing, Pitcher, Wilson, Baldock, Taylor, McCourt y Snelling (1981) la dividen en tres complejos plutónicos diferentes: Huaura, Fortaleza y Casma.

- **La Súper-unidad Santa Rosa en el complejo Huaura**, varía de diorita cuarcífera a monzogranito, pero el carácter total es tonalítico (Cobbing et. al, 1981). En Pampa Ihuanco varía de tonalita a granodiorita, denominándolo como Súper-Unidad Santa Rosa "claro" para efectos de mapeo (Cobbing, et. al 1981).
- **La Súper-unidad Santa Rosa en el complejo Fortaleza**, representado por el Plutón Purmacana-Huaricanga. Varía de tonalita a diorita, denominándolo con fines de mapeo como Súper-Unidad Santa Rosa "oscuro" por Cobbing, et. al (1981).
- **La Súper-unidad Santa Rosa en el complejo Casma,** representado dominantemente por tonalitas y algunas variedades cerca al río Culebras hacia el río Santa +/- 100 km al norte.

Complejo Purmacana

Inicialmente los plutones se dividían en unidades y súper-unidades genéticamente relacionadas basada en variaciones espaciales, temporales, texturales y modales. Cobbing (1973) describía al complejo Purmacana junto con otros plutones de forma separada de las unidades y súper-unidades del batolito. Cobbing y Pitcher (1979) refieren que el cuerpo Purmacana está estrechamente relacionada con el complejo Santa Rosa, además la posicionan aproximada y cronológicamente según el orden de intrusión correspondiente a la Súper Unidad Santa Rosa.

La información reportada y concerniente a los intrusivos cercanos al área de estudio como es el caso del Plutón Purmacana, mapeada como "Huaricanga" por Cobbing, et. al (1981), reporta edades de 91.0 Ma. en dataciones U-Pb en zircones (**Fig. 15**). Este dato fundamenta considerar al Complejo Purmacana como parte de la Súper-Unidad Santa Rosa, en contraste a Cobbing (1973) quien lo describía como un complejo aparte. En los últimos años, el convenio de Cooperación entre el Servicio Geológico de China e INGEMMET ha publicado el resultado de la datación en zircón mediante U-Pb tomada de la granodiorita que aflora en el área de estudio que arrojó una edad de 75 M.A. CGS & INGEMMET (2018) correspondiente al Campaniano.

Soler (1991) propone una subdivisión de episodios de emplazamiento de los cuerpos intrusivos del Batolito de la Costa siguiendo criterios geocronológicos basado en dataciones por el método U-Pb y relaciones estratigráficas con rocas volcánicas; así pues, los intrusivos del Batolito de la Costa fueron divididos en tres etapas:

Primera intrusión (entre 105-90 Ma.) forman parte de los intrusivos ubicados al lado occidental del Batolito de la Costa. Su composición varía de gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos y se relaciona con los depósitos volcanosedimentarios del Grupo Casma.

Segunda intrusión (entre 90-70 Ma.) forman parte de los intrusivos ubicados en el sector centro-occidental del Batolito de la Costa. Su composición varía de gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos. No se ha determinado los productos volcánicos equivalentes a estos intrusivos.

Tercera intrusión (entre 70-60 Ma.) forman parte de los mayores volúmenes del Batolito de la Costa. Comprenden todo el sector oriental del Batolito y se limita por el este con la falla Conchao-Cocachacra. Su composición varía de gabros, tonalitas, granodioritas hasta monzogranitos. Estos intrusivos se relacionan con los depósitos volcanosedimentarios del Cretácico superior-Paleoceno.

4.2.1.3. DEPOSITO CUATERNARIO

Depósitos Fluviales (Q-fl)

Estos depósitos se encuentran en los márgenes y a lo largo del río Supe. Está constituido por materiales de grava de tamaño grueso y fino, bien sorteadas, con formas redondeadas y asociada con arena, limo y arena arcillosa en proporciones variables.



Foto 12. Vista al norte del Valle del río Supe.

Depósitos Aluviales (Q-al)

Estos depósitos se han acumulado en las quebradas secas y tributarios de los principales ríos. Se distribuyen en amplias llanuras aluviales con acumulaciones que pueden llegar entre 200 a 400 m. de espesor. En las quebradas secas se presenta material angular, menos clasificado que los depósitos de río y con una mayor proporción de material intemperizado. En las zonas de lluvias eventuales, los huaycos contribuyen en formar estos tipos de depósitos.



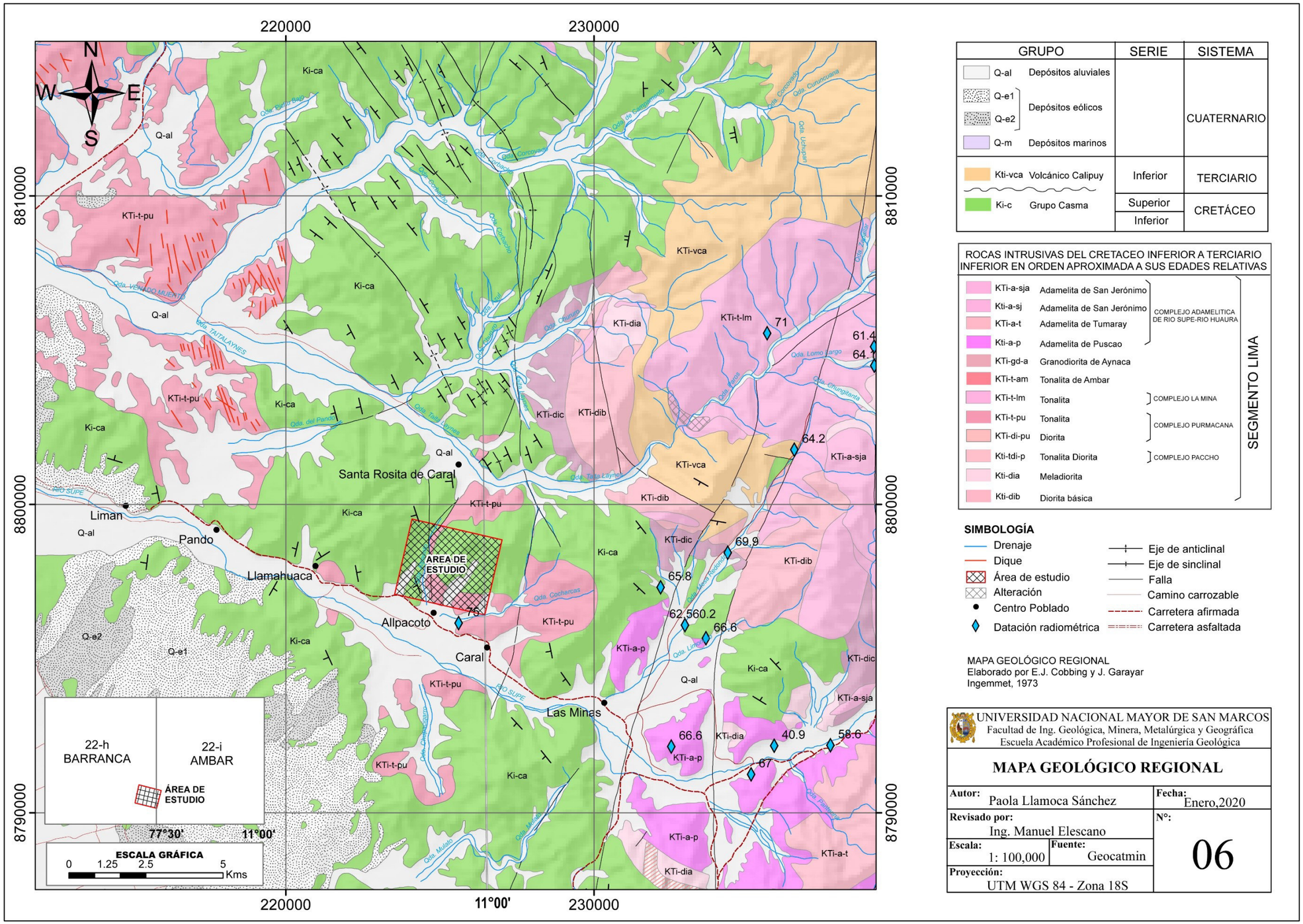
Foto 13. Abanico Aluvial formado en las partes bajas del cerro Colorado, de fondo el valle de Supe. Vista al suroeste.

Depósitos Eólicos (Q-e)

Estos depósitos están acumulados sobre roca in situ y en las llanuras aluviales, cuando se depositan en los taludes y en zonas de ligero desnivel pueden llegar a espesores de hasta centenas de metros. Está constituido por arena, la cual es transportada continuamente tierra adentro por los vientos predominantes de playa.



Foto 14. Depósitos eólicos cubriendo las quebradas de los cerros. Foto mirando al SSO, de fondo, la Zona Arqueológica de Caral.



GRUPO		SERIE	SISTEMA
Q-al	Depósitos aluviales		CUATERNARIO
Q-e1, Q-e2	Depósitos eólicos		
Q-m	Depósitos marinos		
Kti-vca	Volcánico Calipuy	Inferior	TERCIARIO
Ki-c	Grupo Casma	Superior / Inferior	CRETÁCEO

ROCAS INTRUSIVAS DEL CRETACEO INFERIOR A TERCIARIO INFERIOR EN ORDEN APROXIMADA A SUS EDADES RELATIVAS

KTi-a-sja	Adamelita de San Jerónimo	COMPLEJO ADAMELITICA DE RIO SUPE-RIO HUAURA	SEGMENTO LIMA
Kti-a-sj	Adamelita de San Jerónimo		
KTi-a-t	Adamelita de Tumaray		
Kti-a-p	Adamelita de Puscao		
KTi-gd-a	Granodiorita de Aynaca		
KTi-t-am	Tonalita de Ambar		
KTi-t-lm	Tonalita	COMPLEJO LA MINA	
KTi-t-pu	Tonalita	COMPLEJO PURMACANA	
KTi-di-pu	Diorita		
Kti-tdi-p	Tonalita Diorita	COMPLEJO PACCHO	
Kti-dia	Meladiorita		
Kti-dib	Diorita básica		

SIMBOLOGÍA

- Drenaje
- Dique
- Área de estudio
- Alteración
- Centro Poblado
- Datación radiométrica
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Falla
- Camino carrozable
- Carretera afirmada
- Carretera asfaltada

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL
Elaborado por E.J. Cobbing y J. Garayar
Ingemmet, 1973

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ing. Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

Autor: Paola Llamoca Sánchez	**Fecha:** Enero,2020
Revisado por: Ing. Manuel Elescano	**N°:** 06
Escala: 1: 100,000	**Fuente:** Geocatmin
Proyección: UTM WGS 84 - Zona 18S	

Lámina 6. Mapa geológico regional tomado del cuadrángulo Barranca 22h, INGEMMET, 1973.

4.3. GEOLOGÍA LOCAL

Las unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio son secuencias de rocas volcanosedimentarias del Albiano - Cenomaniano pertenecientes al Grupo Casma, las cuales están intruidos por tonalitas que varían localmente de granodiorita-cuarzodiorita y cuerpos dioríticos de la Súper Unidad Santa Rosa (Complejo Purmacana), hasta la acumulación de depósitos cuaternarios. En la zona de investigación, el Grupo Casma dispone principalmente de dos unidades litoestratigráficas definidas por una secuencia volcanosedimentaria en la parte inferior caracterizada por la Formación Chilca; y hacia la parte superior se encuentra una secuencia predominantemente volcánica correspondiente a la Formación Quilmaná.

4.3.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

4.3.1.1. GRUPO CASMA

SECUENCIA VOLCANOSEDIMENTARIA

Esta secuencia aflora en las partes bajas del Cerro Colorado dentro de la concesión Livia II. Litológicamente, está constituido principalmente por flujos de lavas con niveles delgados de chert grises. Los niveles volcánicos son de composición andesítica, presentando una textura porfirítica con microlitos de plagioclasas en una matriz afanítica (Ver Anexo 1, BRN-08). Presenta una estratificación tabular y bien definida en capas delgadas. Su coloración superficial es ligera a moderadamente pardo naranja por intemperismo. Los estratos presentan un rumbo andino NO-SE con un buzamiento promedio de 45° al SO.

En el aspecto tectónico, presenta poca deformación por metamorfismo regional. Sin embargo, el metamorfismo más evidente en algunos afloramientos de la zona, es el metamorfismo térmico formado por el emplazamiento de los intrusivos adyacentes generando una aureola de contacto que por lo general se restringe a pocas decenas de metros. En esta se puede observar cómo afecta a las lavas andesíticas formando hornfels (Anexo 1 BRN-07).



Foto 15. BRN-08: Andesita porfirítica, vista en luz transmitida en nicoles cruzados.223985 E, 8800550 N.

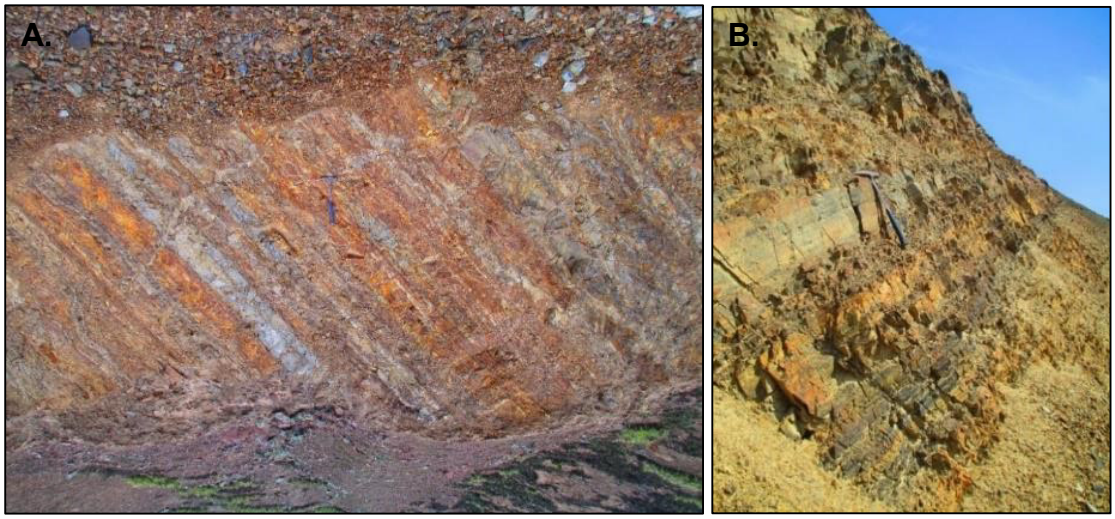


Foto 16. A. Secuencia tabular de chert de color gris a gris claro con pátinas pardo naranjas de limonitas intercalado con lavas andesíticas (224339 E, 8799198 N), vista al norte. **B.** Intercalación de lavas andesíticas gris oscuras gradando a lavas silicificadas con superficies oxidadas marrón-naranja (224017 E, 8800030 N). Vista al Norte.

SECUENCIA VOLCÁNICA

Se encuentra expuesto en las partes altas del Cerro Colorado y Cerro Hospital. Sobreyace concordantemente a la Formación Chilca, como una serie masiva de seudoestratos gruesos y competente de naturaleza exclusivamente volcánica. En campo ha sido difícil acceder a sus afloramientos debido a su ubicación, por lo que sólo se ha podido reconocer hasta los primeros 30 metros de la secuencia en una quebrada (Coord. 224061 E, 8799498 N). Se estima un espesor de 1000 m. Litológicamente está constituido por derrames andesíticos-basálticos de textura porfirítica destacando los fenocristales de plagioclasas en una matriz fina de color gris oscuro a ligeramente verdoso, además de amígdalas rellenas de cuarzo. se encuentra afectada por un metamorfismo de contacto local generando un borde de reacción conformado por minerales ferromagnesianos.

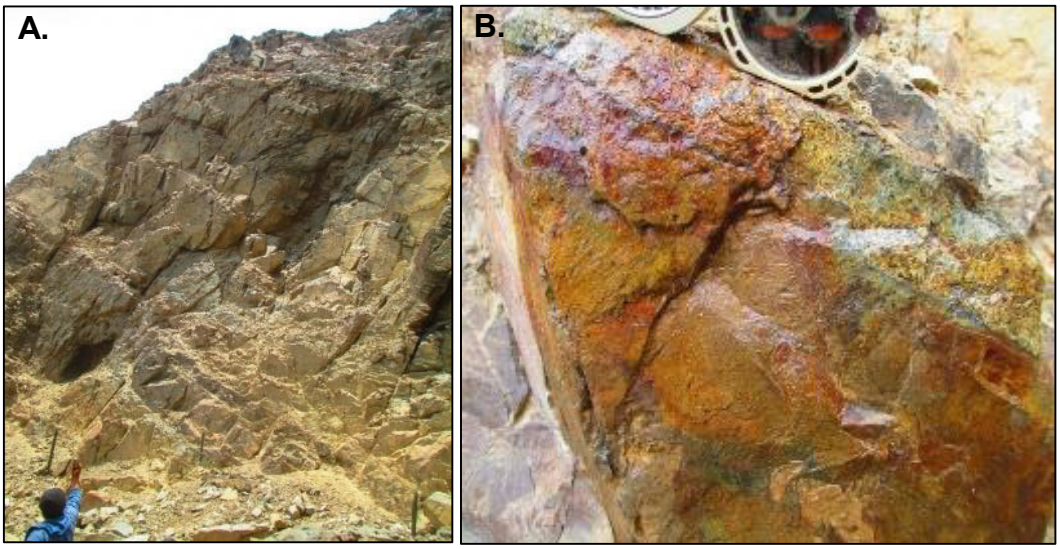


Foto 17. A. Derrames de lavas poco estratificado y masivo, vista al SE. **B.** Andesita porfirítica en contacto con la tonalita del Complejo Purmacana formando un borde de reacción y silicificando a la roca volcánica.

En la quebrada 224061 E, 8799498 N se reconoció a la base un paquete de brecha volcánica, sobre esta continúa una secuencia de 3 m de lavas andesíticas-basálticas porfiríticas de color gris oscuro a verdoso bien soldadas, seguido al techo por un nivel, ligeramente deleznable, de lavas andesíticas delgadas, se sobrepone una intercalación de estratos de 0.5 m de lavas silicificadas de coloración pardo superficialmente, con niveles tabulares delgados de tobas grises claras y soldada, continúa una secuencia predominantemente de las lavas andesíticas grises, duras y poco estratificadas.

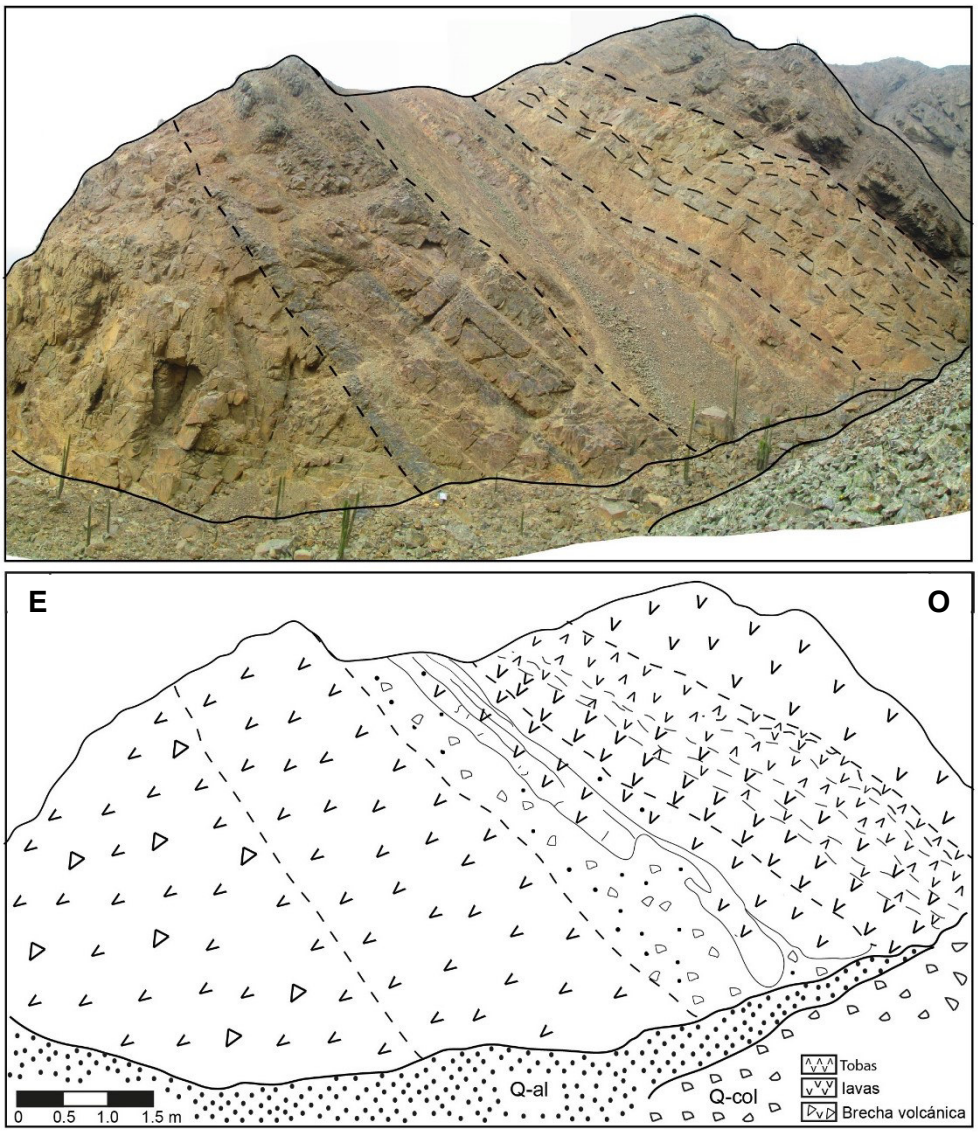


Foto 18. Vista al sur de afloramiento masivo de la Formación Quilmaná con estratos de dirección de S15°E buzando 42° al SO.

4.3.1.2. BATOLITO DE LA COSTA

Tonalita

Son cuerpos masivos, blanquecinos que afloran mayormente en toda el área de estudio. Está constituido por cristales de plagioclasas (60%), cuarzo (19%), anfíboles (12%), ortosa (3%) y biotitas (2%). El contenido de xenolitos es mínima siendo un 3%. Se encuentra cortado por diques cuarzodiorítico, andesíticos y gabroicos con orientación NE-SO, en muchos casos estos diques se emplazan en el contacto con las dioritas. Presenta disyunción esferoidal y una coloración pardo-rojiza superficial producto de la meteorización de la roca. Localmente varía en su grado de acidez donde llega a formar cuarzodiorita y en el contenido de feldespato potásico formando granodiorita. Estas variaciones, por lo general, no presentan un contacto marcado, siendo el cambio difuso y poco notable.

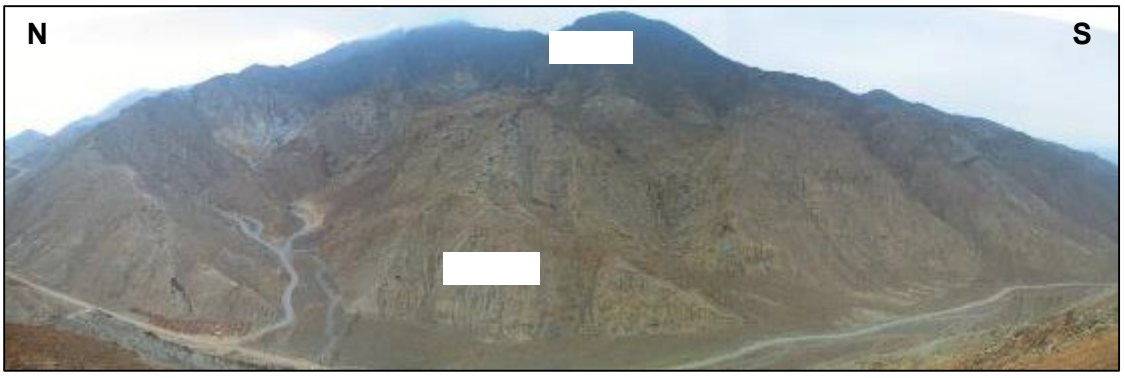


Foto 20. Vista al este. A lo lejos y parte alta, la diorita en la zona Isla. Afloramiento panorámico de la tonalita a lo largo de la quebrada Allpacoto.

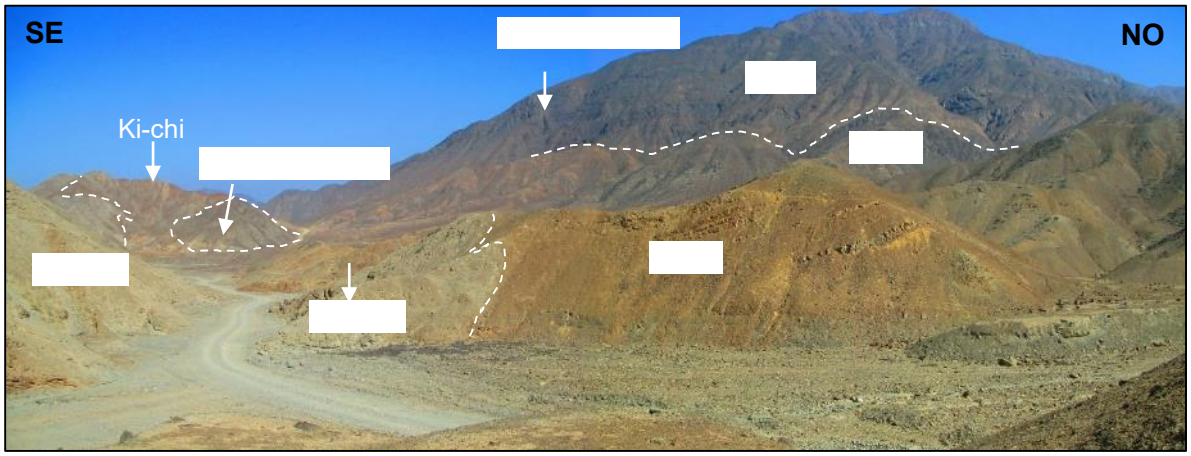


Foto 19. Vista al sureste, el sector Koreanos: Tonalita cortando a las capas de lavas de la Formación Chilca, estas se encuentran silicificadas y con pirita diseminada, coloración superficial pardo naranja por intemperismo. Hacia al fondo en la parte alta del Cerro Colorado, las secuencias masivas de la Formación Quilmaná.

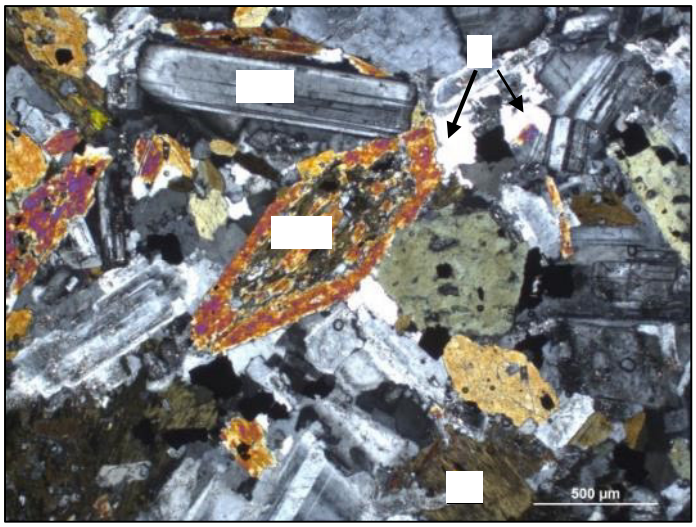


Foto 21. Tonalita con textura granular hipidiomórfica conformado por cristales de plagioclasas alterados incipientemente a sericita, cuarzo rellenando intersticios, anfíboles en sección rómbica alterados a cloritas. Vista en NCs. Ver Anexo 1 **Cód. BRN-02, Coord. 224869 E, 8798740 N.**

Dioritas

Son cuerpos relativamente masivos, en muchos casos fracturados y meteorizados. El color es gris oscuro ligeramente verdoso, está conformado por cristales de plagioclasas, piroxenos y anfíboles y magnetita. Según el grado de cristalización, los cristales son de grano medio a fino. Texturalmente es fanerítica con algunas variantes porfiríticas. Presenta magnetismo en intensidad moderada.

Se presentan como cuerpos marginales a la tonalita Purmacana, aflorando en ambos lados de esta. Estas dioritas intruyen a la secuencia volcanosedimentaria del Gpo. Casma, siendo el contacto no muy definido, y además son cortados por la cuarzodiorita.

Petrológicamente, se define como una roca ígnea intrusiva de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas I (1.99 mm) y piroxenos I (2.97 mm) dispuestos en una matriz fuertemente alterada conservando relictos de microcristales de plagioclasas II (0.22 mm) alterados incipientemente a sericita en sus fracturas. Entre otros minerales secundarios, se observa un agregado fibroso de actinolita reemplazando a los piroxenos I, asociado con un agregado microgranular de cuarzo y piroxenos II. Así mismo, presenta trazas de agregado criptocristalino de óxidos de hierro, minerales opacos con hábitos cúbicos y prehnita dispuesto en venillas. (ver **Foto 22** y Anexo 1 **Cód. BRN-12**).

Estructuralmente, es muy fracturado y en zonas de intensa actividad de fallas se presenta esquistoso.

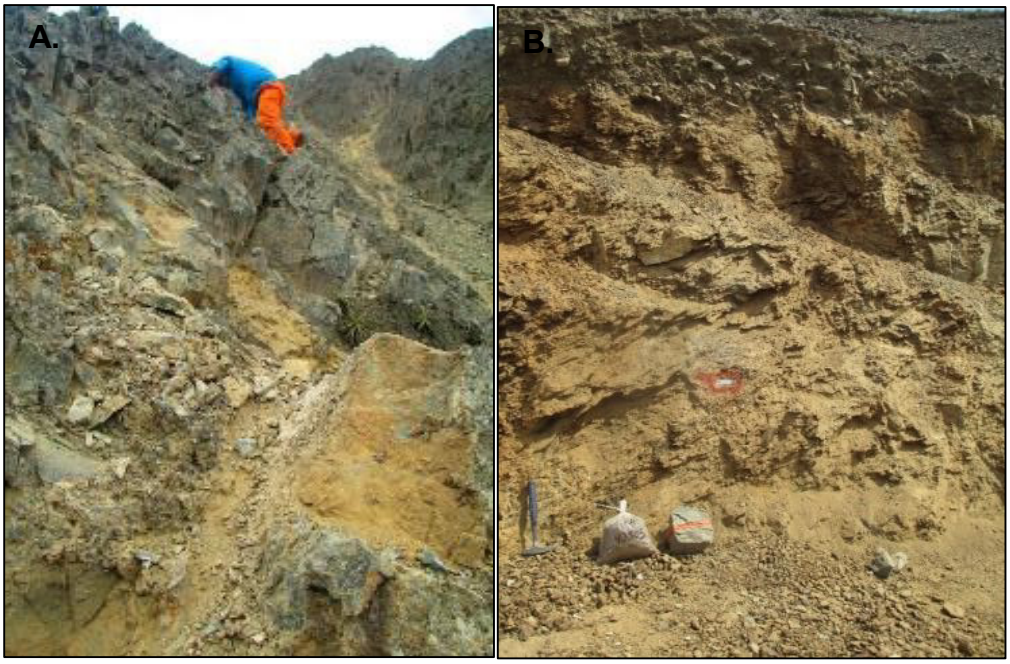


Foto 22. A. Afloramiento de diorita muy fracturada, se observa más de dos sistemas de fracturas, vista al sur. **B.** Afloramiento esquistoso de diorita en la zona de Koreanos.

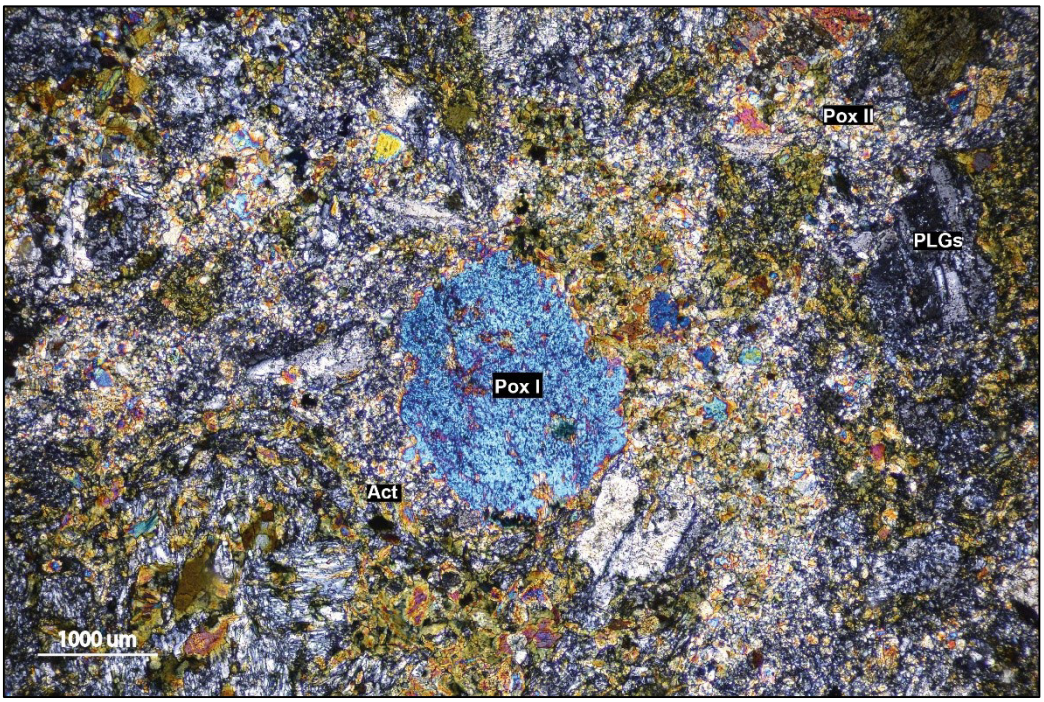


Foto 23. Pórfido diorítico, se observa fenocristales de plagioclasas (PLGs) y piroxenos I (Pox I) reemplazados por un agregado fibroso de actinolita (Act). La matriz está fuertemente alterada conformada por microcristales de plagioclasas (PLGs II) reemplazados por piroxenos (Pox II), cloritas y cuarzo. Ver Anexo 1 **Cód. BRN- 12 Anexo 1**.

Intrusiones menores

Stock pórfido diorítico

De naturaleza hipabisal, textura porfídica, melanóocrato, se caracteriza por ser rico en plagioclasas. Está conformada por fenocristales de plagioclasas (35%), anfíboles (5%) y piroxenos (3%) desarrollados en una matriz gris oscura de textura fanerítica de grano fino constituido principalmente por anfíboles (30%), plagioclasas (20%), piroxenos (2%), cuarzo (1%) y minerales opacos (4%). Se caracteriza por presentar un magnetismo moderado relacionado a la presencia de magnetita en la matriz. Aflora en la zona de Koreanos y en la parte alta de la Isla. Además, se encuentra emplazado en la formación Chilca del Grupo Casma.



Foto 24. Vista al sur del afloramiento en la zona de Koreanos. Se observa al Stock pórfido diorítico cortando a las secuencias de lavas de la formación Chilca.

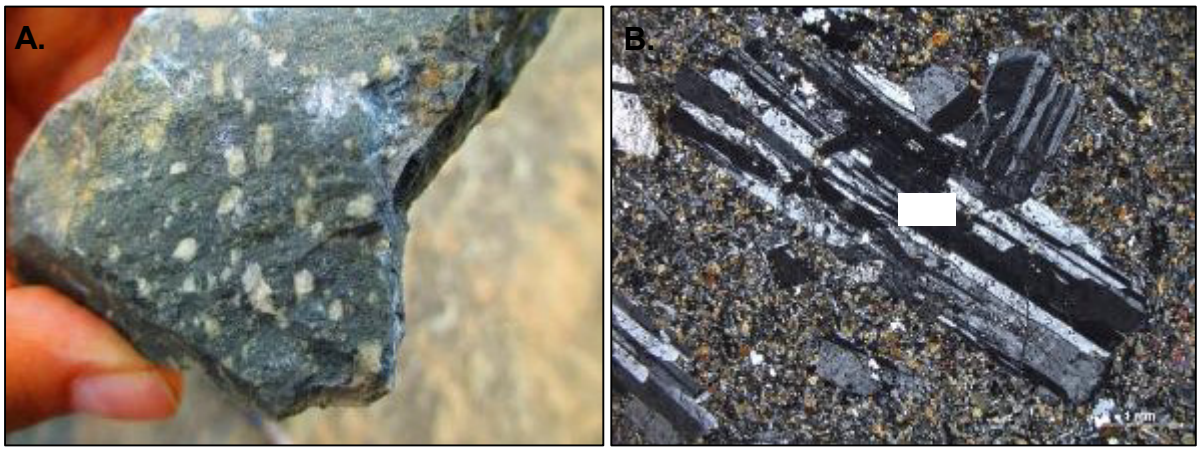


Foto 25. Pórfido diorítico: A. Rico en plagioclasas, macroscópicamente resalta sus fenocristales de plagioclasas de < 5mm. **B.** Al microscopio, los fenocristales de plagioclasas presentan maclas polisintéticas, inmersos en la matriz microcristalina reemplazada por piroxenos, cloritas y cuarzo. **Cód. BRN-04 Anexo 1.**

Dique cuarzodiorítico

Cuerpos tabulares que varían de 3 a 5 m de ancho y 700 a 900 m de longitud. Textura porfirítica, mesócrato conformado por fenocristales de plagioclasas en una matriz afanítica gris clara conformado por plagioclasas, anfíboles, poco cuarzo (<10%) y biotita. Se encuentran cortando predominantemente a la diorita en dirección NE-SO.

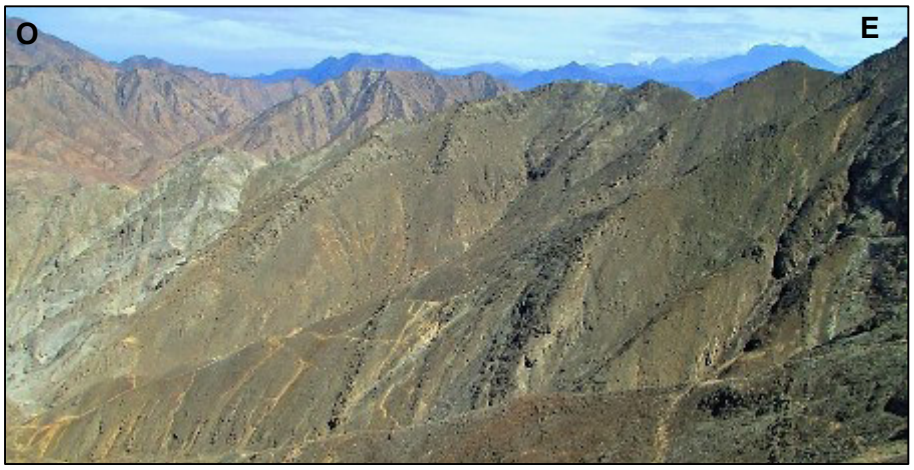


Foto 26. Enjambre de diques cuarzodioríticos cortando a la diorita del Complejo Purmacana y al Grupo Casma. Vista al norte.

Dique granodiorítico

Son poco frecuentes en el área de estudio con 5 m de ancho aproximadamente y 350 m de longitud. Textura fanerítica, leucócrato. Compuesto de cristales de plagioclasas (45%), cuarzo (25%) y feldespato potásico (20%), como minerales secundarios: biotita (10%). Se encuentran cortando a la diorita en dirección NE-SO buzando al SE.

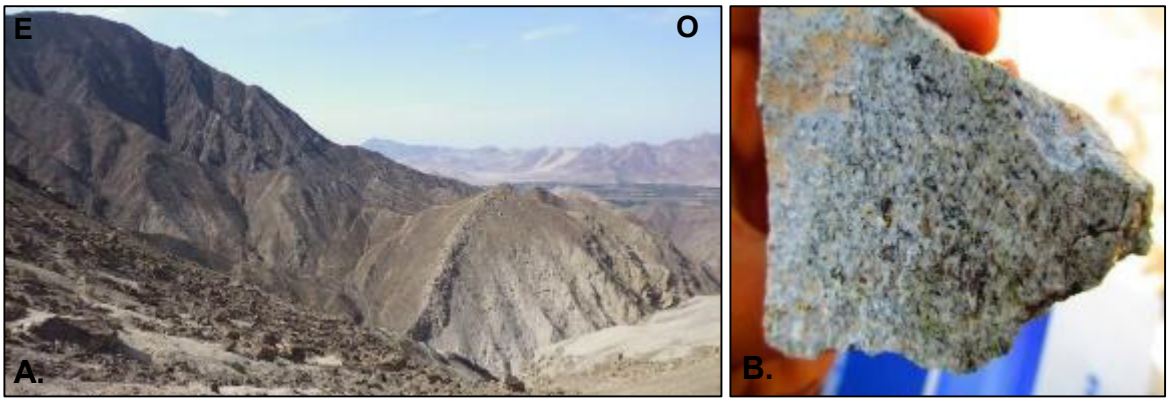


Foto 27.A. Dique granodiorítico cortando a la diorita en dirección NE-SO. Vista panorámica hacia el sur de la parte baja del Cerro Allpacoto, Zona La isla. **B.** Muestra de mano de la granodiorita gris blanquecina, textura cristalina. Se observa cristales de plagioclasas, cuarzo y anfíboles.

Dique aplítico

De ocurrencia ocasional, son tabulares de hasta 1 m de potencia y 20 m de longitud, coloración gris clara, conformado por cristales pequeños de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas, con venillas de epidota. Se encuentran cortando a la diorita.



Foto 28. Dique aplítico color blanquecino, aflora en la zona de la Isla emplazado en la diorita. Vista al este.

Dique gabroico

Su ocurrencia es poco frecuente en el área de estudio. Son cuerpos tabulares menores a 1.0 m, color negruzco, melanócrato y de textura cristalina. Está esencialmente constituido de minerales máficos. Se encuentra en la parte baja de la Isla cerca de la zona de Ariana y también frente a la zona Koreanos, intruyendo a la tonalita.



Foto 29. Dique gabroide emplazado en la tonalita con dirección NNE-SSO, son cuerpos tabulares con bordes definidos. Vista al norte.

4.3.1.3. METAMORFISMO DE CONTACTO

El emplazamiento de los intrusivos del batolito sobre las secuencias volcánicas sedimentarias del Grupo Casma formó localmente una aureola de metamorfismo de contacto evidenciado por una asociación mineralógica indicando una facie hornfels. La roca precursora del hornfels son aparentemente lavas andesíticas. Se encuentran silicificadas, bandeadas, compactas y soldadas. Los contactos son verticales y definidos. La extensión de la hornfelsificación en el área de estudio se ha reconocido hasta en 60 m. En campo se observan como estructuras tabulares.

En la zona de Koreanos se puede observar hornfels caracterizado por una intercalación de bandas claras y grises deformados formando pliegues. Esta se ha formado por la intrusión de la tonalita del Complejo Purmacana en las lavas de la Formación Chilca.

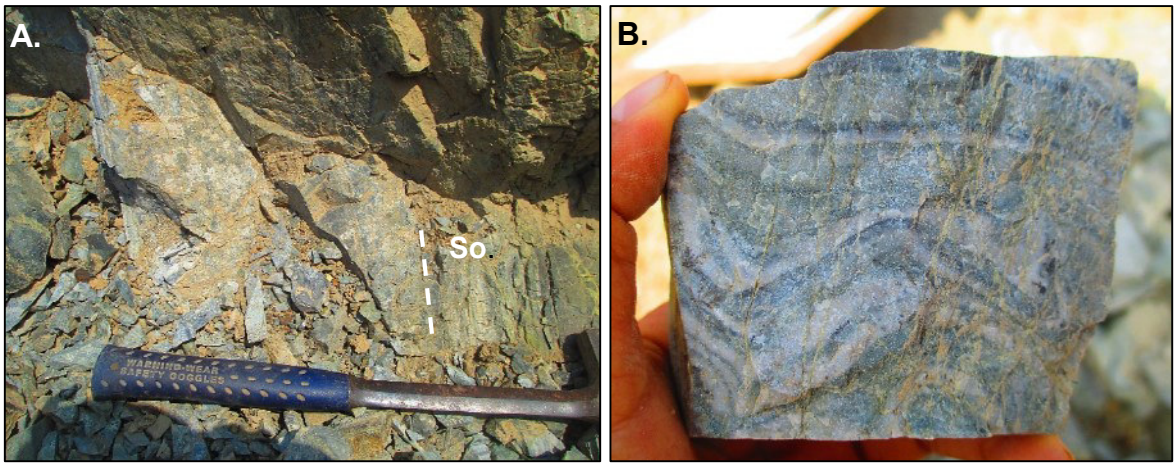


Foto 30. A. Afloramiento en superficie (224431 E, 8798790 N) se observa la dirección de las capas. **B.** Hornfels con deformación en las capas cortado por venillas de epídota.

Según los estudios petrográficos, presenta relictos de plagioclasas reemplazado por un mosaico microgranular de cuarzo (0,04 mm) y piroxenos (0.13 mm) cortado por venillas de cuarzo-albita (0.12 mm) y epídotas (0.09 mm) además de parches de carbonatos (< 0.09 mm) con algunas impregnaciones de arcillas. (**Foto 31.A.** y Anexo 1 **Cód. BRN-10**).

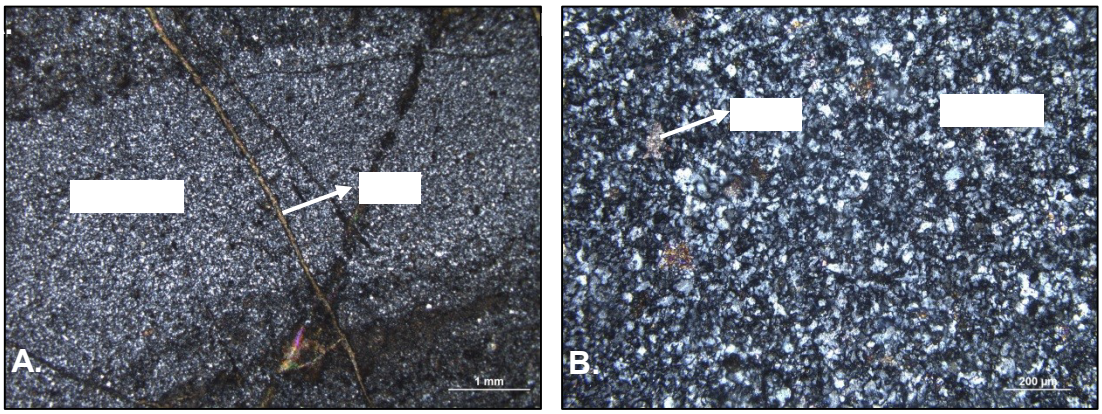


Foto 31. A. Relictos de las laminaciones del protolito cortado por venillas de epídota. **B.** Reemplazo de agregados microcristalinos a criptocristalinos de cuarzo (cz) y albita (alb) con escasos parches de carbonatos (CBTs).

Al norte de las vetas (225489E, 8798694N) aflora una secuencia tabular de lavas alteradas con aspecto de hornfels silicificado, constituido por bandas blanquecinas intercaladas con bandas grises oscuras. La alteración se ha formado como respuesta al metamorfismo termal de la interacción entre las lavas del Grupo Casma la intrusión de la diorita del Complejo Purmacana y un dique félsico. El contacto de la intrusión de la diorita con la secuencia lávica no se logra distinguir, sin embargo, el contacto del dique sí es notorio siendo sinuoso formado un halo de reacción centimétrico. Macroscópicamente se observa diseminaciones a modo de trazas de pirita y otros sulfuros, además de venillas de epídota.

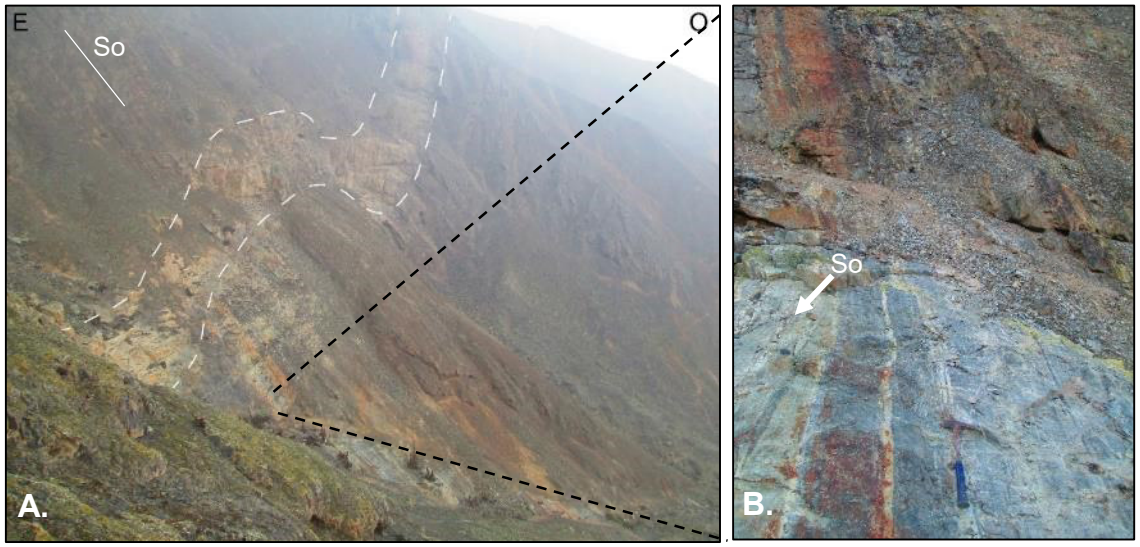


Foto 32. A. Secuencia volcanosedimentaria So: S15°E/75° SO cortado por un dique félsico y la diorita. **B.** Hornfels bandeado y silicificado manteniendo la estratificación del protolito.

Al microscopio, se trataría de un protolito de lava andesítica ya que presenta algunos relictos de fenocristales de plagioclasas (5%) en una matriz reemplazada por un agregado microcristalino de cuarzo (55%), escapolita (24%) con agregados de titanita (7%) alineados a la laminación.

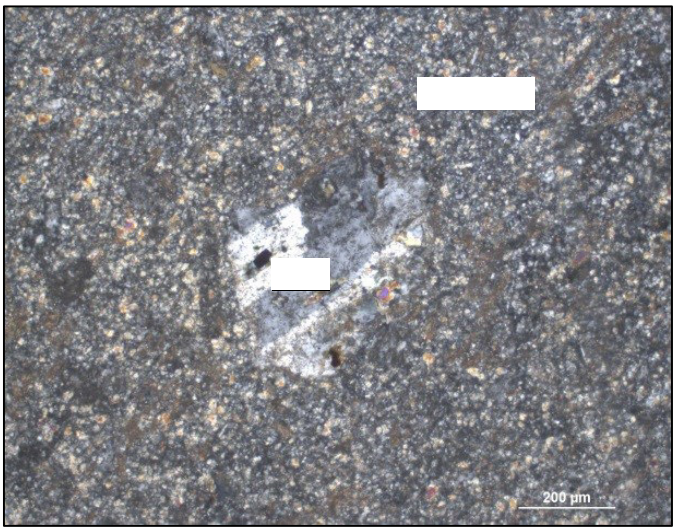


Foto 33. A. Relictos de plagioclasas con esfena (esf) con orientación de flujo, en la matriz reemplazada por un agregado microgranular de cuarzo (cz), escapolita (Scp) y parches de carbonatos. **Cód. BRN-07.**

4.3.1.4. DEPÓSITOS RECIENTES

Depósitos Aluviales

Se los puede observar en las quebradas secas, muchas de ellas cuando las lluvias han sido abundantes se han producido corrientes y huaycos. La litología consiste de gravas y cantos subangulosos, mal clasificados, de intrusivos y volcánicos formando barras con arenas y gravas entre las barras a lo largo del curso de la quebrada.



Foto 34.Vista panorámica hacia el sur, de fondo el Valle de Supe. Al ingreso al área de estudio aflora depósitos aluviales en la quebrada Allpacoto y en la Zona Esperanza.

Depósitos Coluviales

Se han formado por alteración y desintegración *insitu* de las rocas ubicadas en las laderas de los cerros y la acción de la gravedad, por lo que son de poco transporte. La litología es homogénea y la conforman fragmentos angulosos de roca distribuida de forma caótica.



Foto 35. Material coluvial acumulados a lo largo de la quebrada, en las faldas del cerro Allpacoto, zona la Isla. Vista al sur.

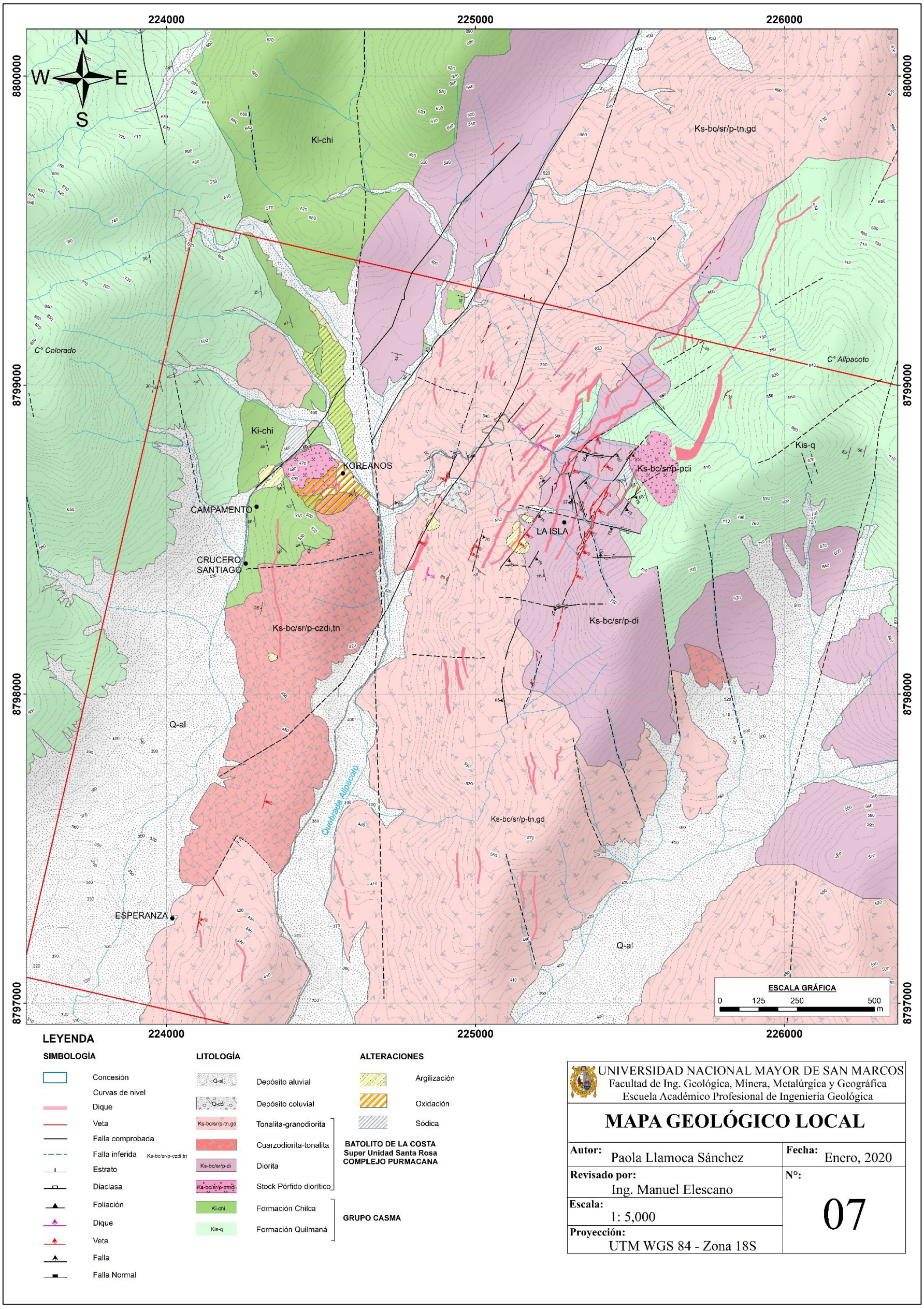


Lámina 7. Geología Local del área de estudio ubicada en la concesión Livia II.

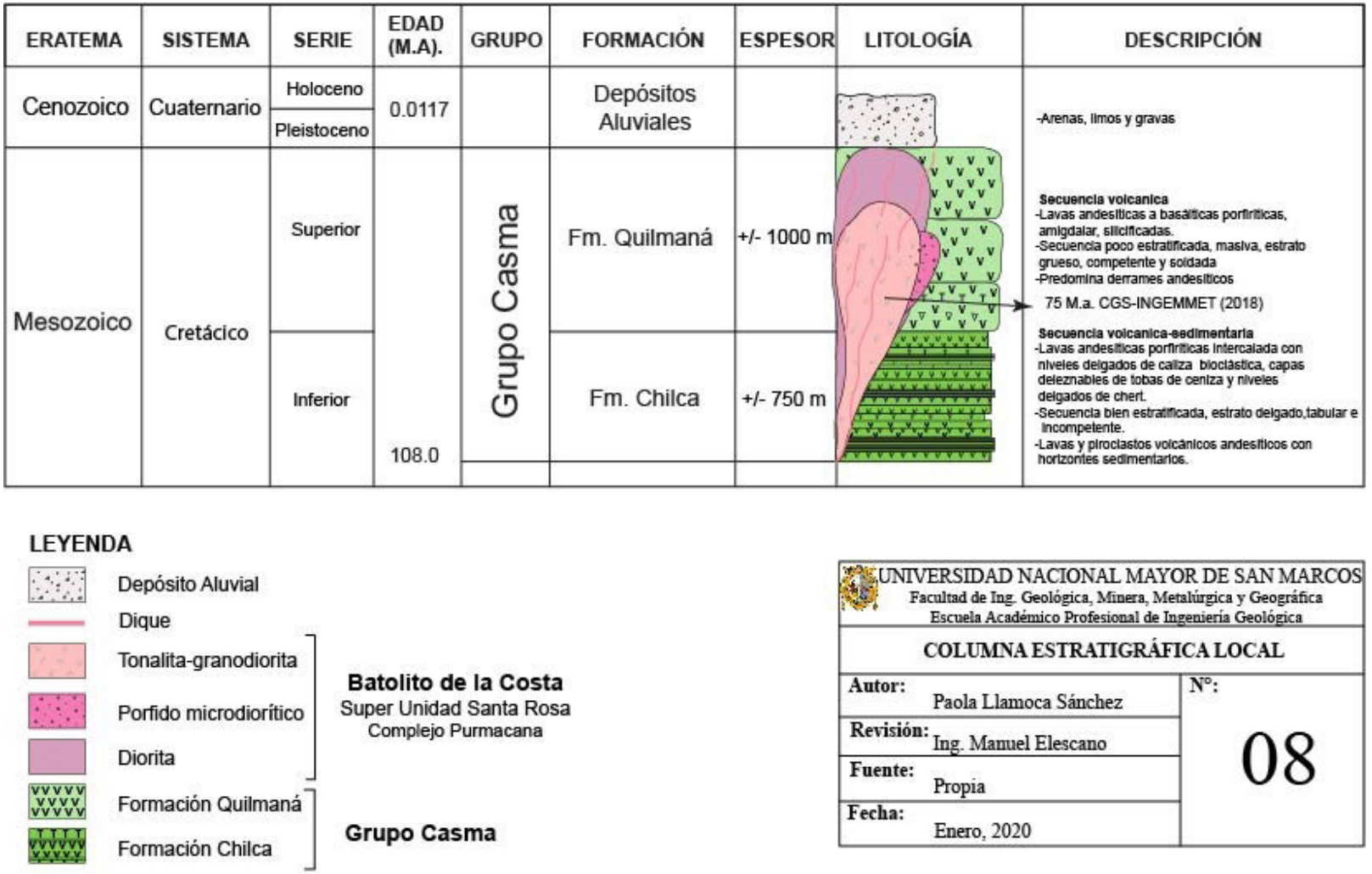


Lámina 8. Columna estratigráfica local del área de estudio.

CAPITULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El contenido de este capítulo se basa en las observaciones y toma de datos realizados en terreno durante los trabajos de prospección (cateo, muestreo y mapeo) con énfasis en las vetas de oro que afloran en la zona La Isla perteneciente a la concesión Livia II trabajadas en el periodo 2015 a cargo de la Cía. Minera Barranca Gold SAC.

5.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

5.1.1. GEOMETRÍA, DISTRIBUCION, ORIENTACION Y CONTINUIDAD DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Las estructuras mineralizadas en el Proyecto Cielo consisten de un sistema de vetas angostas que se ensanchan y adelgazan en la vertical y horizontal con geometría sigmoidal (*jog*), por sectores desarrollan ramificaciones que se interconectan e inflexionan en su recorrido. Presentan un sistema de orientación general NE-SO buzando al SE conformada por las vetas Cielo-Cumbre y Rosa-Toro entre otras estructuras menores, todas ellas hospedadas principalmente en las dioritas de la Súper Unidad Santa Rosa – Complejo Purmacana del Batolito de la Costa. También se alojan en Tonalitas-granodioritas, pero en menor proporción y con una dirección de mineralización NS.

Las vetas se encuentran emplazadas en un régimen de deformación frágil debido a que estas estructuras se encuentran asociadas a una zona de cizalla de rumbo sinestral que generó estructuras sigmoidales donde el relleno hidrotermal está dominado por texturas de brecha. Por lo general, la mineralogía está conformada por cuarzo oqueroso y hialino, hematita, goetita terrosa; a los bordes de la veta presenta jarosita, malaquita, crisocola y pirolusita. Presenta sulfuros en menor proporción, entre ellos, pirita, calcopirita los cuales se encuentran en parches, diseminados y venillas en la parte central de la estructura, asociado al cuarzo. El oro se encuentra en estado libre asociado los óxidos e hidróxidos de hierro, principalmente a la hematita terrosa y al cuarzo oqueroso hialino; en algunos tramos se ha tonado la presencia de sericita (moscovita) en esta asociación. El aspecto oqueroso del cuarzo, corresponde a la textura *boxwork* o celular formada por la lixiviación y disolución de la pirita dejando cavidades con sus formas de hábito, creando espacios para el relleno de óxidos de hierro. También puede darse por el reemplazamiento de limonitas en pirita formando seudomorfos. Esto ha sido corroborado de la petrografía (Anexo 1).

Por otro lado, la continuidad y similitud del relleno hidrotermal observado en ambas vetas sugiere que ambas estructuras se originaron de manera simultánea. Por su contenido mineralógico, las vetas se encuentran en la zona de oxidación del sistema hidrotermal.

ZONA LA ISLA

Consiste de un sistema de fallas-vetas hidrotermales, angostas y paralelas entre sí emplazadas en un cuerpo diorítico. Las principales estructuras vetiformes que afloran en esta zona son el sistema de vetas Cumbre-Cielo y Rosa-Toro, ambas presentan mayor continuidad en superficie y son potenciales en profundidad. Además, hay otras vetas menores con el mismo rumbo del sistema NE-SO, siendo estas a su vez paralelas al enjambre de diques cuarzodioríticos y granodioríticos.

Durante los trabajos de campo en superficie se observaron algunas estrías y fibras minerales dentro de las estructuras mineralizadas, esto dificultó en cierta medida la determinación de la dirección de apertura de las vetas. Sin embargo, el desarrollo de labores subterráneas de exploración permitió tener mejor visión para la toma de datos estructurales.

Veta Cumbre-Cielo

Está compuesto por una única estructura dividida en dos segmentos o ramales, denominados Cielo y Cumbre que se caracterizan por una orientación general NE-SO y una inclinación de ángulo alto hacia el SE. Es así que está compuesto por una red anastomosada de vetas, vetillas y fallas que se bifurcan y unen con un comportamiento tipo “rosario”. La veta Cumbre aflora en superficie con una orientación que varía desde N05°E – N40°E, buzando 63° – 85° al SE con potencia variable de 0.15- 0.45 m. Aflora como veta a lo largo de 100 m de forma discontinua y 150 m como falla donde la estructura se cierra. La veta Cielo presenta un rumbo variable desde N10°E - N38°E buzando 70°- 88° al SE con una potencia que varía de 0.15-0.6 m con un máximo de hasta 1.5 m aflorando por sectores con una longitud acumulada de 150 m como veta y 60 m acumulados como falla. Ambas vetas se unen al norte y sur en una sola estructura a la que se denominó Veta Cielo-Cumbre recorriendo una longitud de 90 m definidos en superficie y 470 metros inferidos siguiendo el lineamiento de la falla.

La veta Cielo-Cumbre se desarrolla como un filón mineralizado dentro de una zona de cizalla con mineralización discontinua, en su trayectoria en la vertical y horizontal, los filones varían su potencia dejando inclusive sólo una guía de panizo del plano de falla, típico comportamiento de una veta “rosario”.

Se ha desarrollado dos galerías de exploración a 20 metros bajo los afloramientos en superficie. Estas labores presentan una sección de 1.2 x 1.8 m en dos frentes con dirección al norte y sur. Sobre veta Cumbre se desarrolló una corrida de 20 m hacia el norte donde se observa un comportamiento caprichoso adelgazándose formando una guía de panizo de falla con patinas de óxidos. Seguido de un crucero que conecta con la veta Cielo, donde se desarrolla una galería de 55 m hacia el norte; y hacia el sur se desarrolló una labor sobre veta Cielo con un avance de 51.5 m.

Las vetas son fallas en cuyas paredes se puede observar estrías de bajo ángulo que evidencian un fallamiento de tipo sinestral-inversa y dextral normal. Asimismo, se ha observado algunos sigmoides formados por fallas extensionales normales.

La mineralización está comprendida desde la superficie por una zona lixiviada con un espesor de ± 25 m. está zona está constituida principalmente por impregnaciones terrosas de goetita, hematita, goetita acompañado de cuarzo ahumado y *boxwork* de pirita. La zona de óxidos con un espesor de ± 15 m, presenta una mineralización que está distribuida de la siguiente forma; al centro presenta la asociación cuarzo hialino, *boxwork* de pirita reemplazados por hematita y goetita asociado a oro libre residual y ocasionalmente presenta sericita (muscovita); seguido de jarosita, óxidos de Mn, calcita y venillas de yeso a ambos lados. Hacia los bordes externos en contacto con la roca encajonante, presenta malaquita, crisocola y arcillas en menor proporción, por lo general, en ausencia de mineralización de cobre se observa mayor presencia de arcillas.
Con el pique realizado en la galería Cielo sur, se empezó a observar una transición entre la zona de óxidos y la zona de enriquecimiento secundario, la mineralización consiste en covelita, calcosita y digenita reemplazando a calcopirita asociado a pirita diseminada, hematita, cuarzo ahumado a blanquecino y jarosita; disminuyendo la proporción de malaquita.
Con respecto a la alteración, esta se distribuye con la alteración cuarzo-sericita(moscovita)-pirita (alteración fílica) dentro de la veta y por ciertos sectores. Seguido de la alteración argílica representado caolinita-illita-esmectita, distribuido en la vertical en los bordes de la estructura vetiforme y como clastos dentro de tramos brechados de la veta. En la horizontal, se ha reconocido su presencia predominante hacia el norte de veta Cielo, aproximadamente a partir de los 35 m de corrida sobre veta. La roca encajonante presenta alteración propilítica representado por cloritas, epidotas y trazas de pirita diseminada, hacia las partes más externas predomina las cloritas acompañado de calcita y yeso en venillas y fracturas.

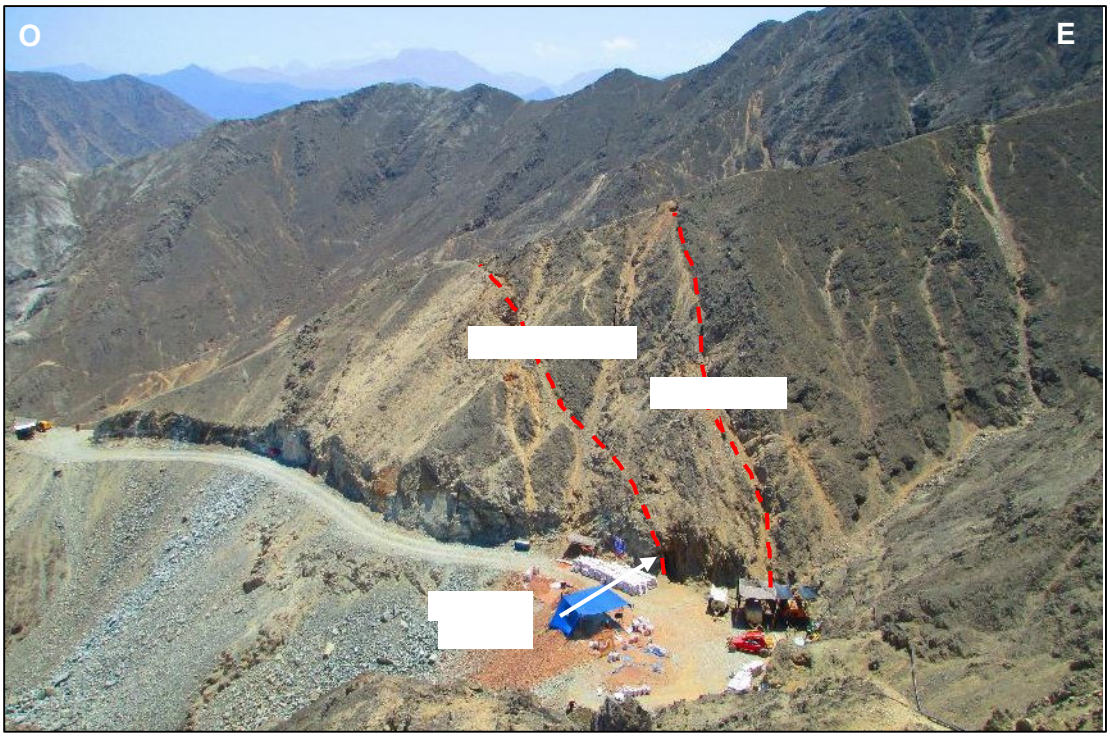


Foto 37. Vista al norte de las vetas Cielo-Cumbre. Ambas estructuras se emplazan paralelamente hasta confluir cerca a la quebrada ubicado a 130 metros al Norte.

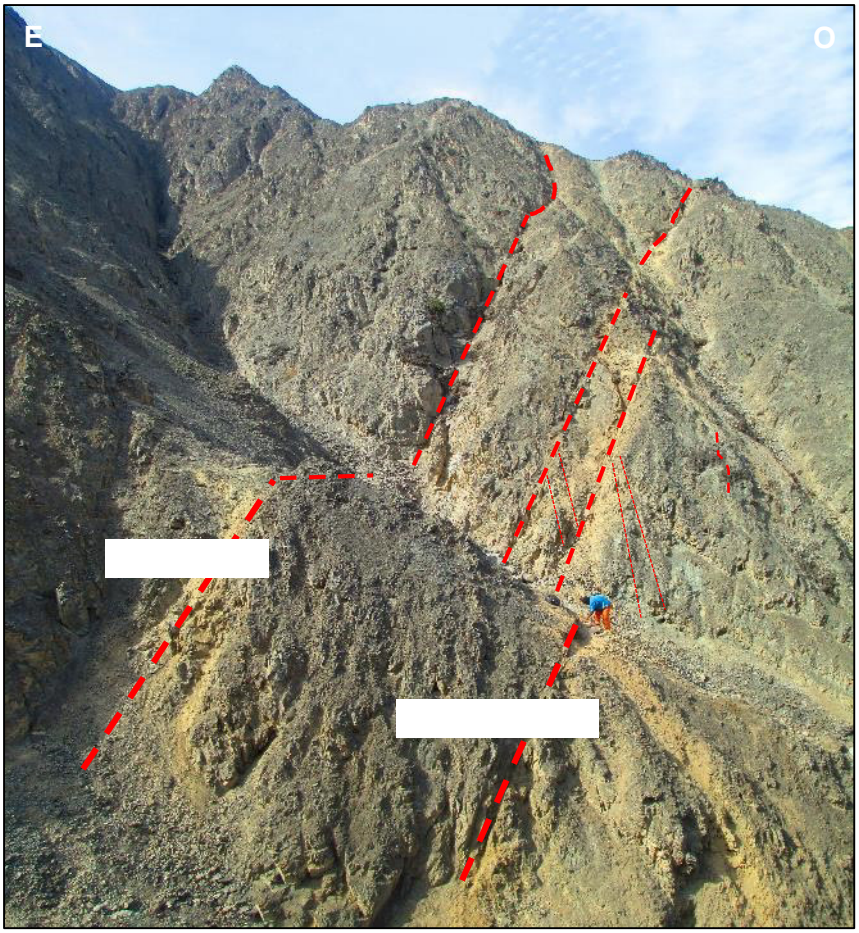


Foto 36. Vista hacia el sur de la distribución y continuidad de las vetas Cielo-Cumbre.

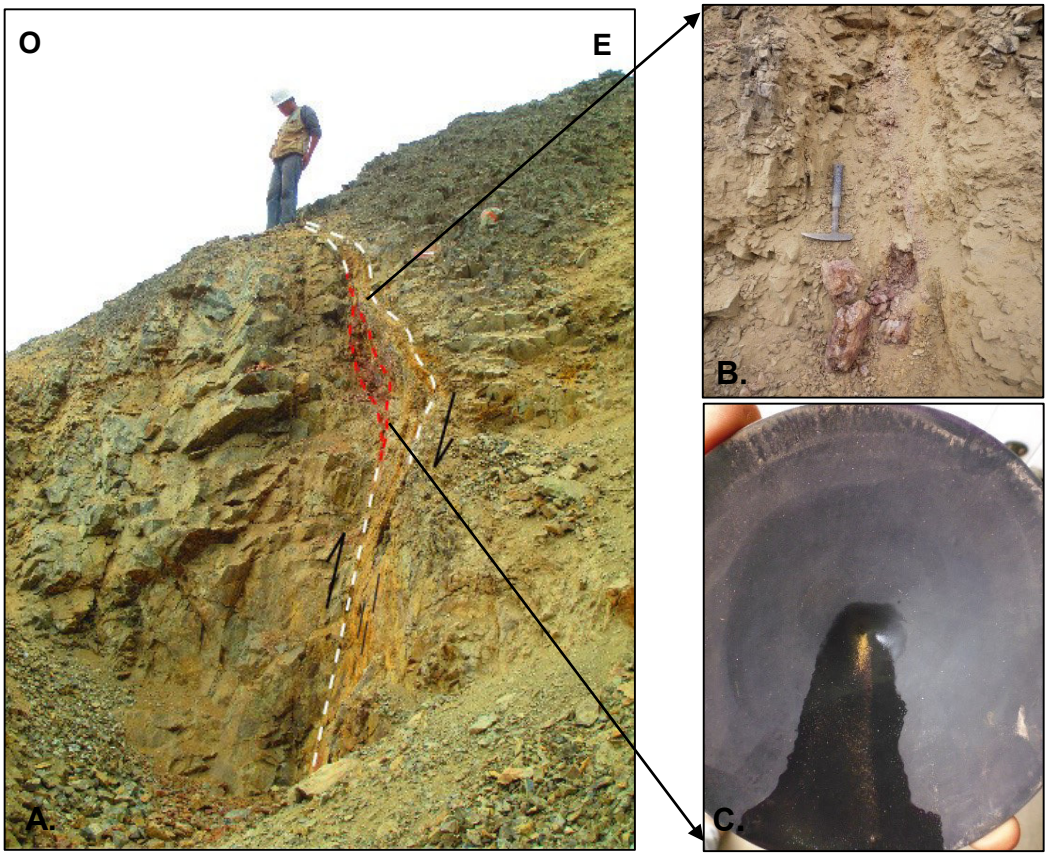


Foto 38. A. Afloramiento de veta Cumbre formando una estructura sigmoidal que contiene oro visible en charpas. **B.** Hallazgo de la estructura en los cateos. **C.** Contenido de oro arrojado en la puruña, esta estructura arrojó un valor de 11 g/t Au.

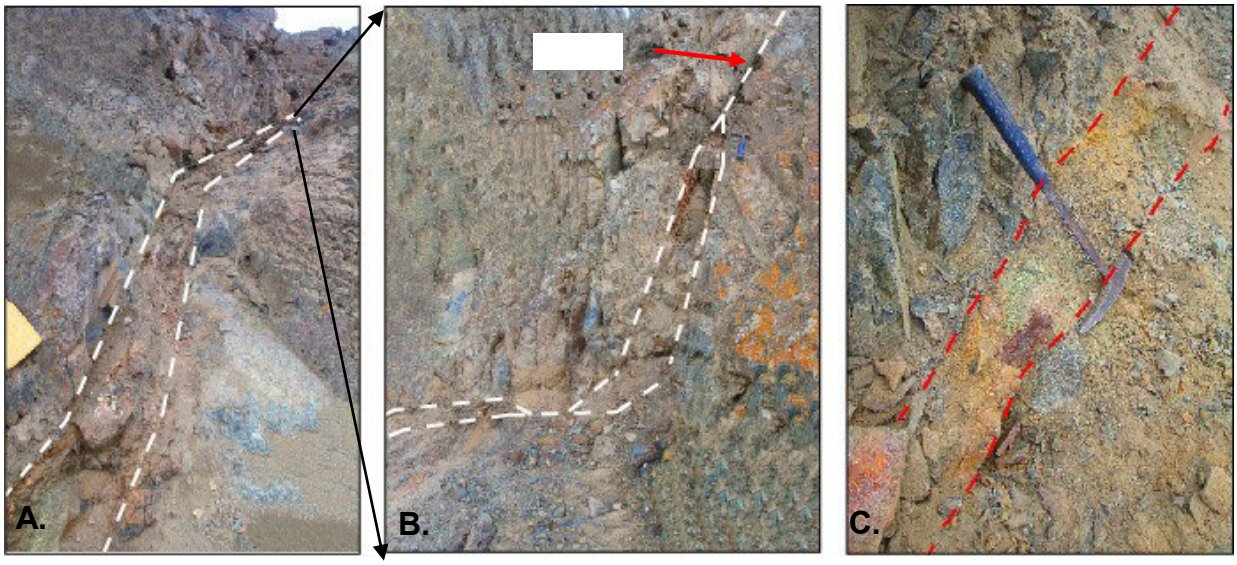


Foto 39. A. Inflexiones de la veta cumbre en su trayectoria hacia el sur. **B.** Forma geometrías sigmoidales rellenas de cuarzo y limonitas. **C.** Luego del cierre de la estructura, vuelve a ensancharse formando una estructura mineralizada de 15 cm que contiene oro asociado con cuarzo y hematita.

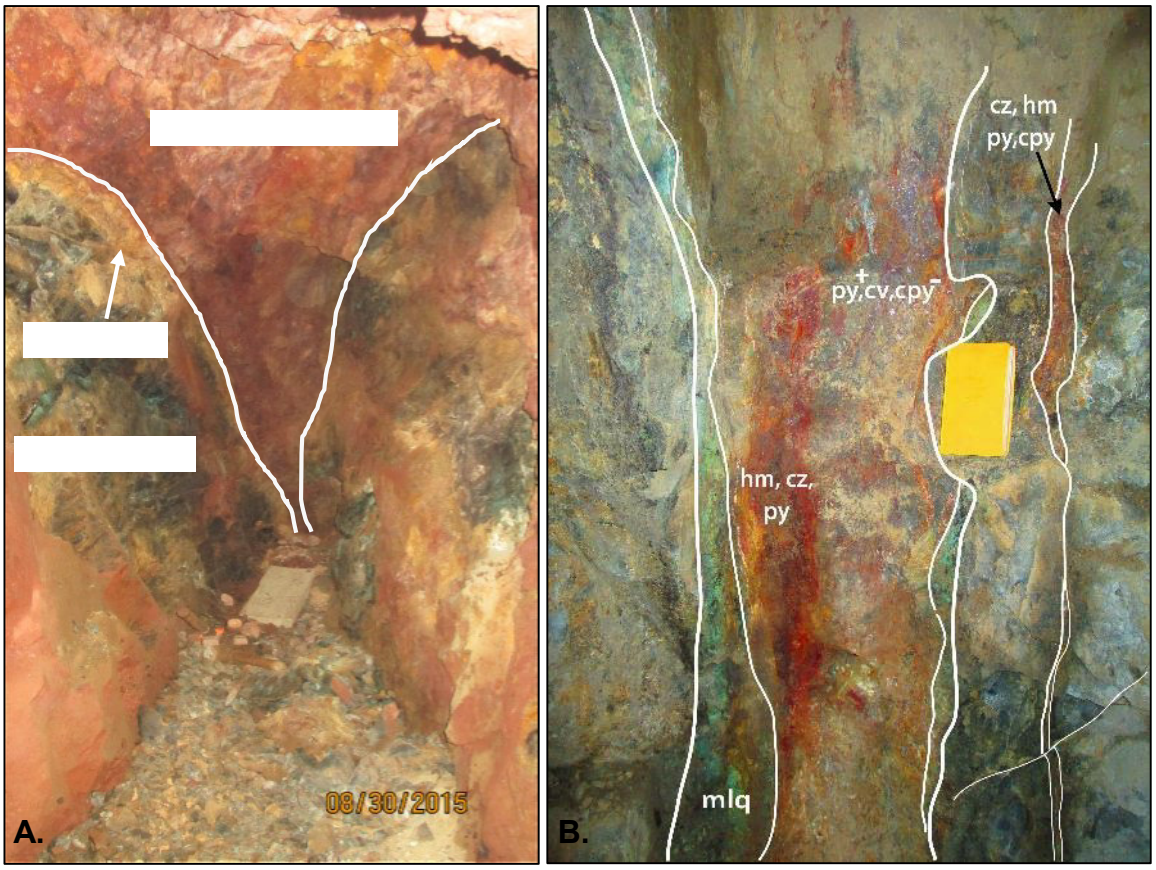


Foto 40. A. Comportamiento tipo rosario de veta Cielo al norte en la chimenea 01-CIN, se observa la distribución de la alteración hidrotermal y supérgena. **B. Galería Cielo Norte Nv 640:** Distribución mineralógica de la veta Cielo, hacia el centro de la estructura se encuentra la zona favorable para albergar mineralización de oro. jar: jarosita, hm: hematita, cz: cuarzo, mlq: Malaquita, cv: covelita, cpy: calcopirita.

Veta Rosa-Toro

Las vetas Rosa y Toro se encuentran en el sector bajo de la zona La Isla a 150 m al oeste y a menor cota que las vetas Cumbre-Cielo. Sobre estas estructuras, no se han realizado labores subterráneas de exploración, así que las características descritas han sido observadas mediante los trabajos superficiales.

La veta Toro fue de las primeras estructuras mineralizadas reconocidas en los trabajos de cateo, tiene un rumbo N 20°E, buzamiento de 60° – 78° SE con potencia promedio de 0.15 m. Presenta un comportamiento "tipo rosario" a lo largo de su distribución en superficie, formando un clavo mineralizado de 15 cm que reporta 5.75 g/t, esta estructura se une hacia el norte con la veta Rosa.

La veta Rosa tiene un rumbo N15°E – N40°E, buzando 70° – 85° al SE con potencia variable de 0.15-0.45 m. Presenta una longitud total de 760 m, de los cuales 280 metros corresponden a afloramientos discontinuos de veta-falla reconocidos en superficie y lo restante corresponde en parte a la veta oculta cubierto por depósitos aluviales de hasta 1.50 m de espesor y en un

lineamiento estructural. Su distribución sigue una forma sinuosa caracterizado por ramificarse a lo largo de su trayectoria NE-SO. Hacia el norte en contacto con el volcánico Casma, la estructura tiende a cerrarse mostrando una guía o lineamiento estructural relleno de arcilla o panizo. Al sur, la veta se encuentra cubierta por depósitos aluviales, además en zonas cercanas al contacto tonalita-diorita, la asociación mineralógica, aparentemente, se hace menos favorable para la mineralización aurífera.

La veta Rosa-Toro tienen una mineralización muy similar a Cielo-Cumbre, está conformada por abundante presencia de hematita, goetita, jarosita, y trazas de pirita diseminada asociado con oro y cuarzo ahumado, característica de la zona de lixiviación. El oro se presenta en su forma nativa como charpas dentro de las oquedades del cuarzo por lixiviación de la pirita.

La alteración más resaltante es la argilización, la cual se presenta como un área de coloración pardonaranja cerca al contacto de la diorita con la tonalita-granodiorita interdigitándose con la alteración supérgena. Está conformada caolinita, illita y esmectita formando un halo de aproximadamente 10 m alrededor de la estructura (ver Foto 63).

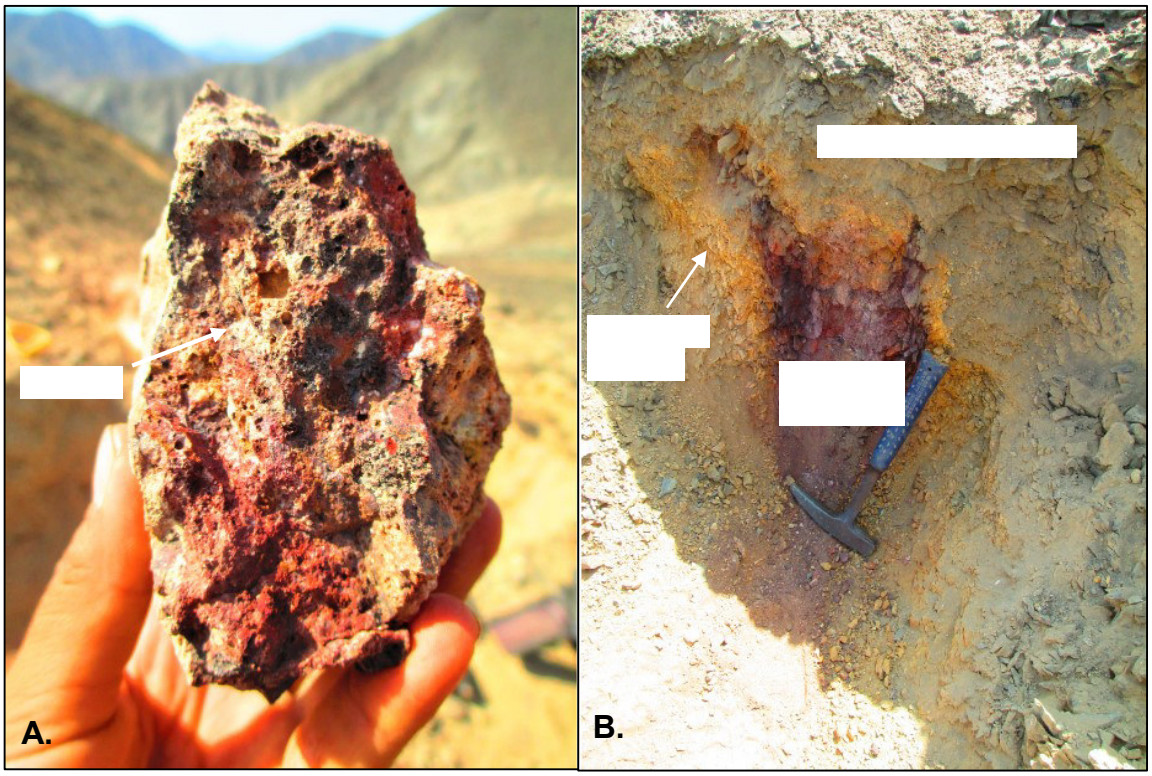


Foto 41. A. Boxwork de pirita reemplazados totalmente por hematita y goetita, presenta impregnaciones de caolinita. **B.** Alteración argílica distribuido alrededor de la veta con mineralización supérgena.

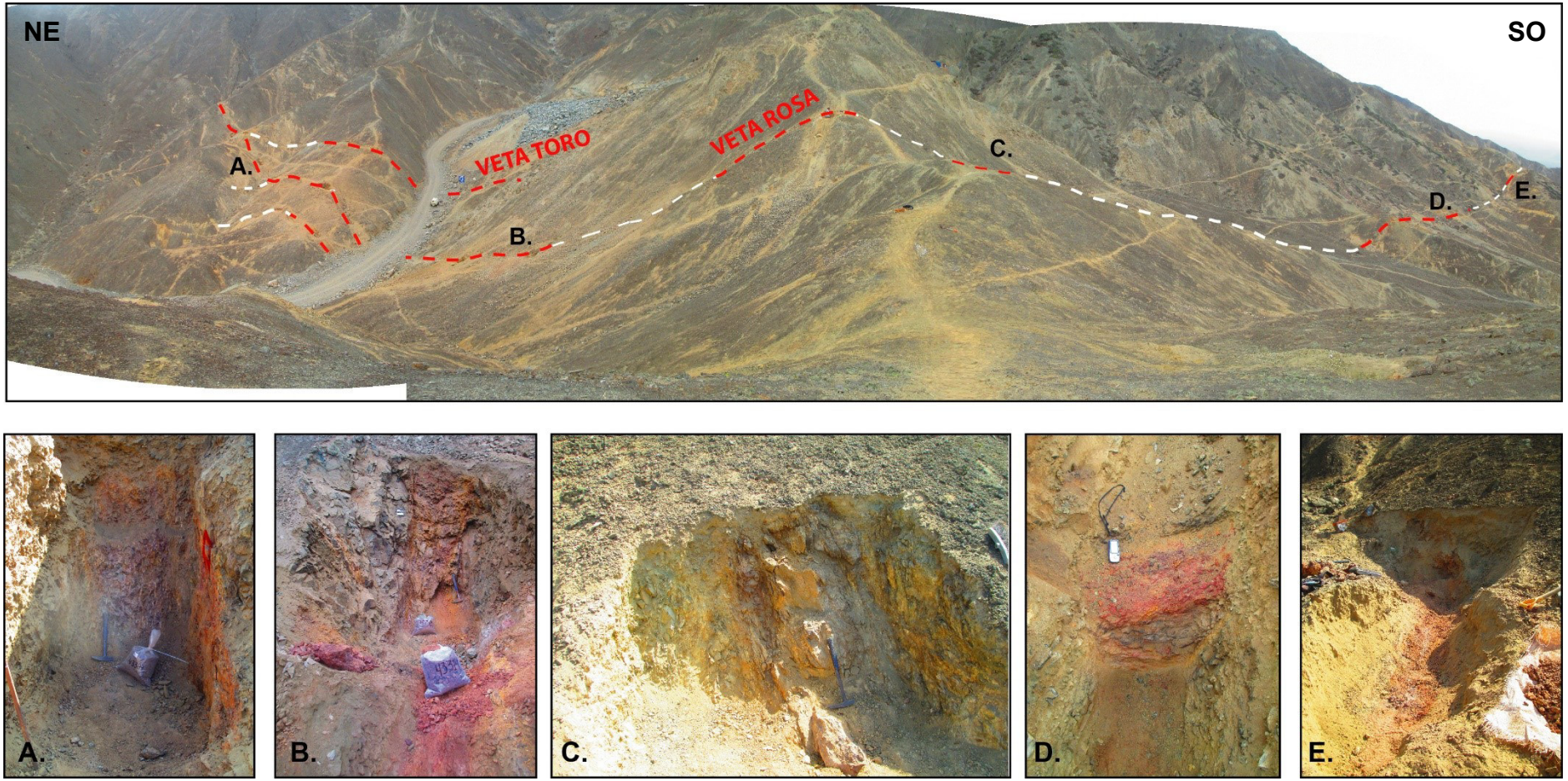


Foto 42. Afloramientos de la veta Rosa-Toro a lo largo de su emplazamiento en dirección NE-SO. Vista al SE.

Otras vetas menores

Son estructuras que no presentan continuidad en superficie. Corresponden al mismo sistema NE-SO. La veta-falla más representativa es Ariana que se encuentra emplazada en la tonalita con rumbo S15°O buzando 78° hacia el NO, su potencia en promedio es de 0.15 m con una exposición de 5 m en posición vertical visible y una longitud de 250 m reconocidos en superficie, de los cuales 3 metros corresponden a afloramientos de mineralización favorable. y la diferencia se encuentra como falla marcado por una guía de arcilla con óxidos y vetillas de calcita a lo largo de su trayectoria en superficie. Presenta una morfología sinuosa tipo "rosario" en su trayectoria con ramificaciones a manera de cola de caballo reconocido en superficie formando pequeños clavos mineralizados (2.29 g/t), sin embargo, la estructura tiene un comportamiento caprichoso haciendo de su mineralización discontinua. La asociación mineralógica típica la conforma la hematita-goetita rellenando las cavidades del cuarzo oqueroso producto de la lixiviación de la pirita y sericita (moscovita) ocasionalmente; la jarosita se distribuye hacia las paredes la roca encajonante y se encuentra sobreimpuesta a la caolinita.



Foto 43. *Jog* extensional del tipo cola de caballo, favorable para mineralización en la veta Ariana. Contiene oro en las ramificaciones de la estructura. Vista al NO.

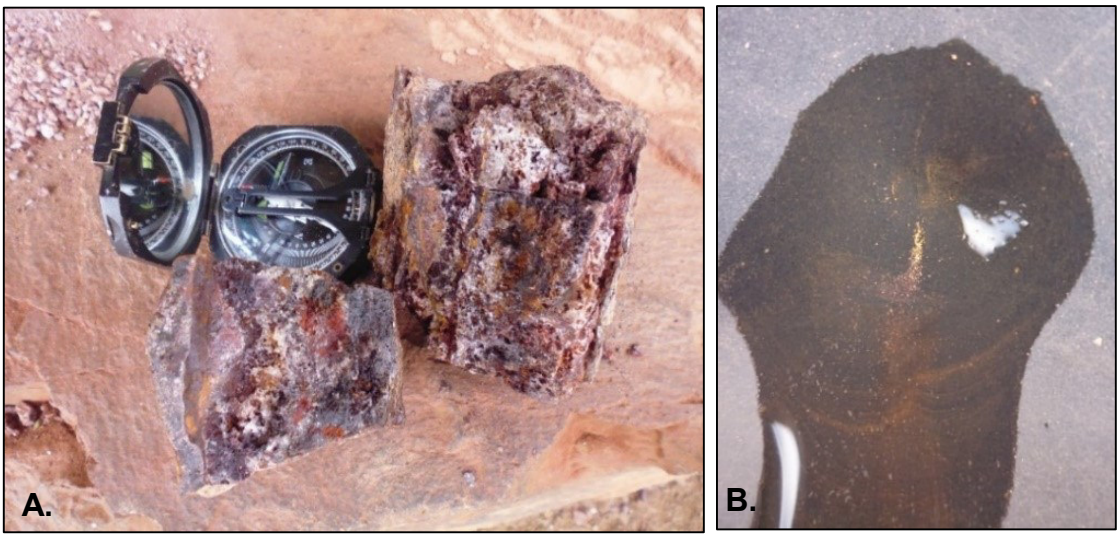


Foto 44. A. Muestra del clavo mineralizado Ariana. **B.** Presencia de oro luego de la puruña de la muestra.

Hacia el sur de la labor Ariana, la alteración hidrotermal se hace más pervasiva, sirviendo de guía para el cateo de la veta-falla. Además, se puede notar la paragénesis de la estructura representado por una Etapa 1 (E1) ubicado hacia la parte externa de la veta conformado por una brecha hidrotermal clasto soportada por un cemento conformado por cuarzo blanquecino englobando a fragmentos subangulosos de roca argilizada (caolinita con impregnaciones terrosas de jarosita). Le sigue una Etapa 2, distribuido hacia el centro de la estructura, caracterizado por una brecha matriz soportante con fragmentos subangulosos de cuarzo lechoso del E1 englobados por una pasta rojiza de hematita. El evento se sella con una carbonatación.

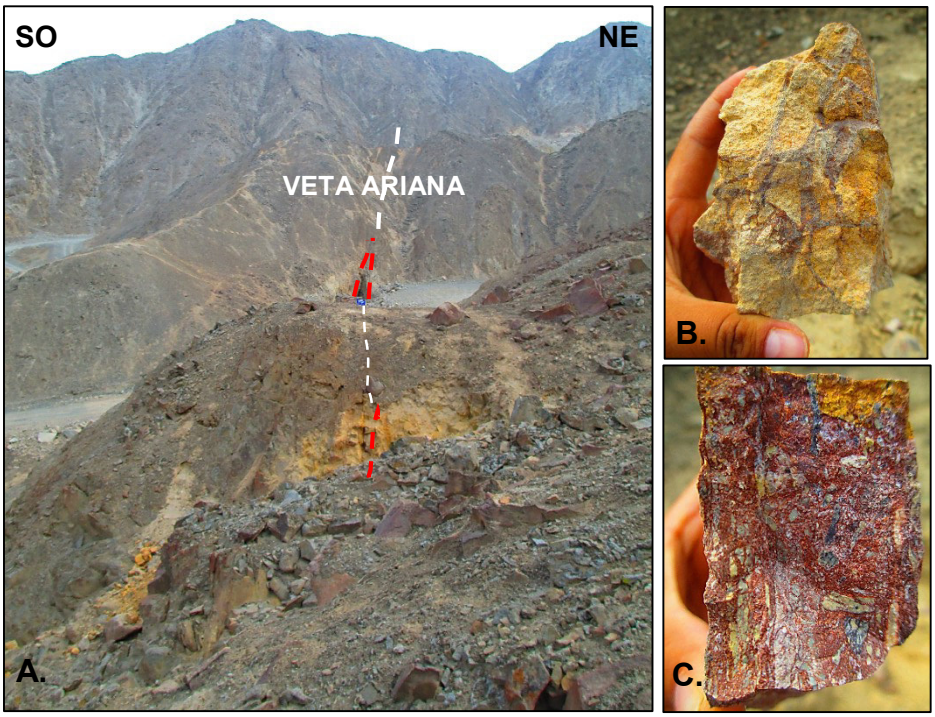


Foto 45. A. La zona de alteración argílica favorece el rastreo de la veta Ariana, vista al NO. **B.** Etapa E1, brecha hidrotermal clasto soportada. **C.** Etapa E2, brecha hidrotermal matriz soportada con fragmentos de sílice blanquecina del E1 sellado por un evento de calcita sobreimpuesta.

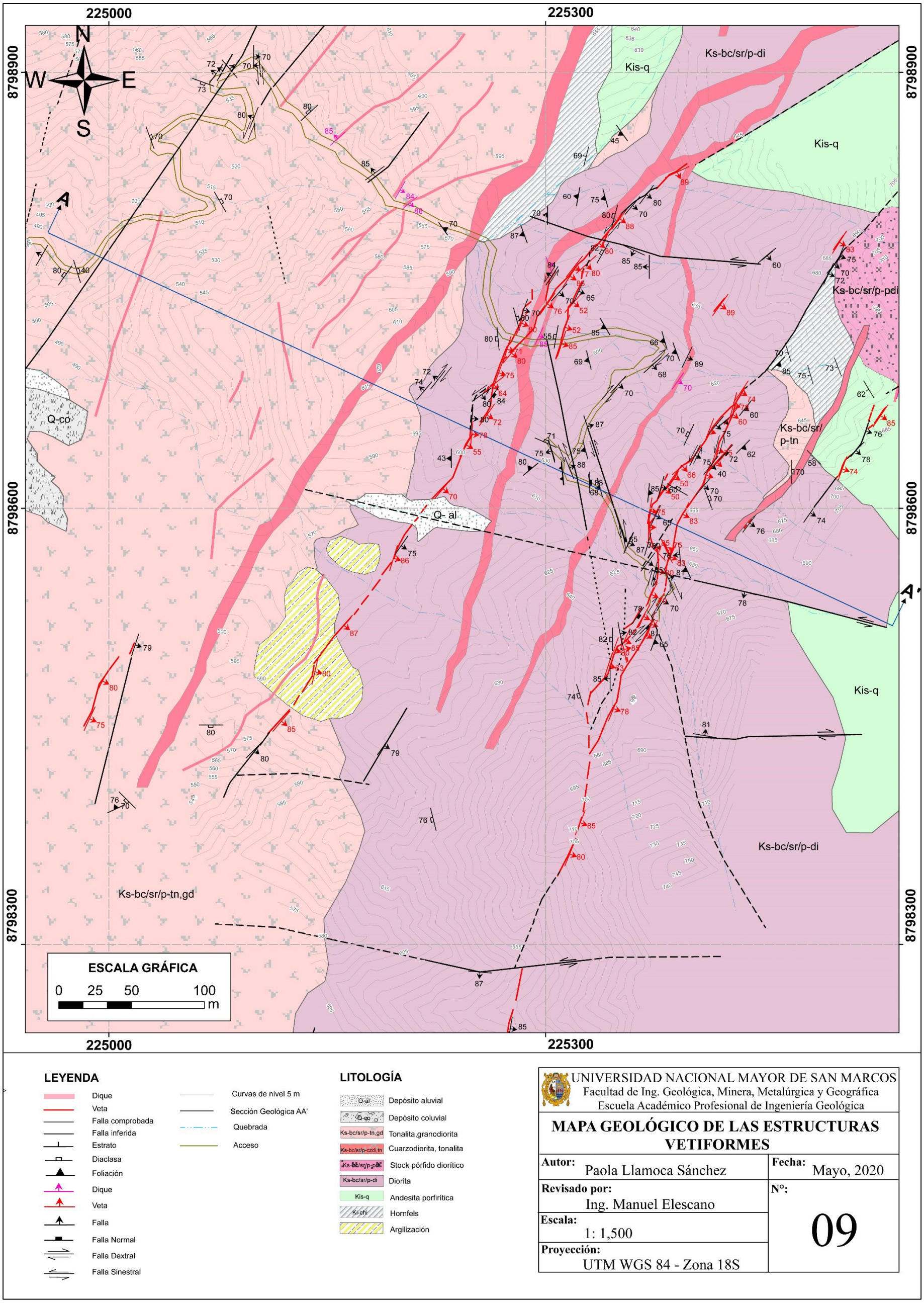


Lámina 9. Mapa geológico de las estructuras mineralizadas a escala 1: 1,500.

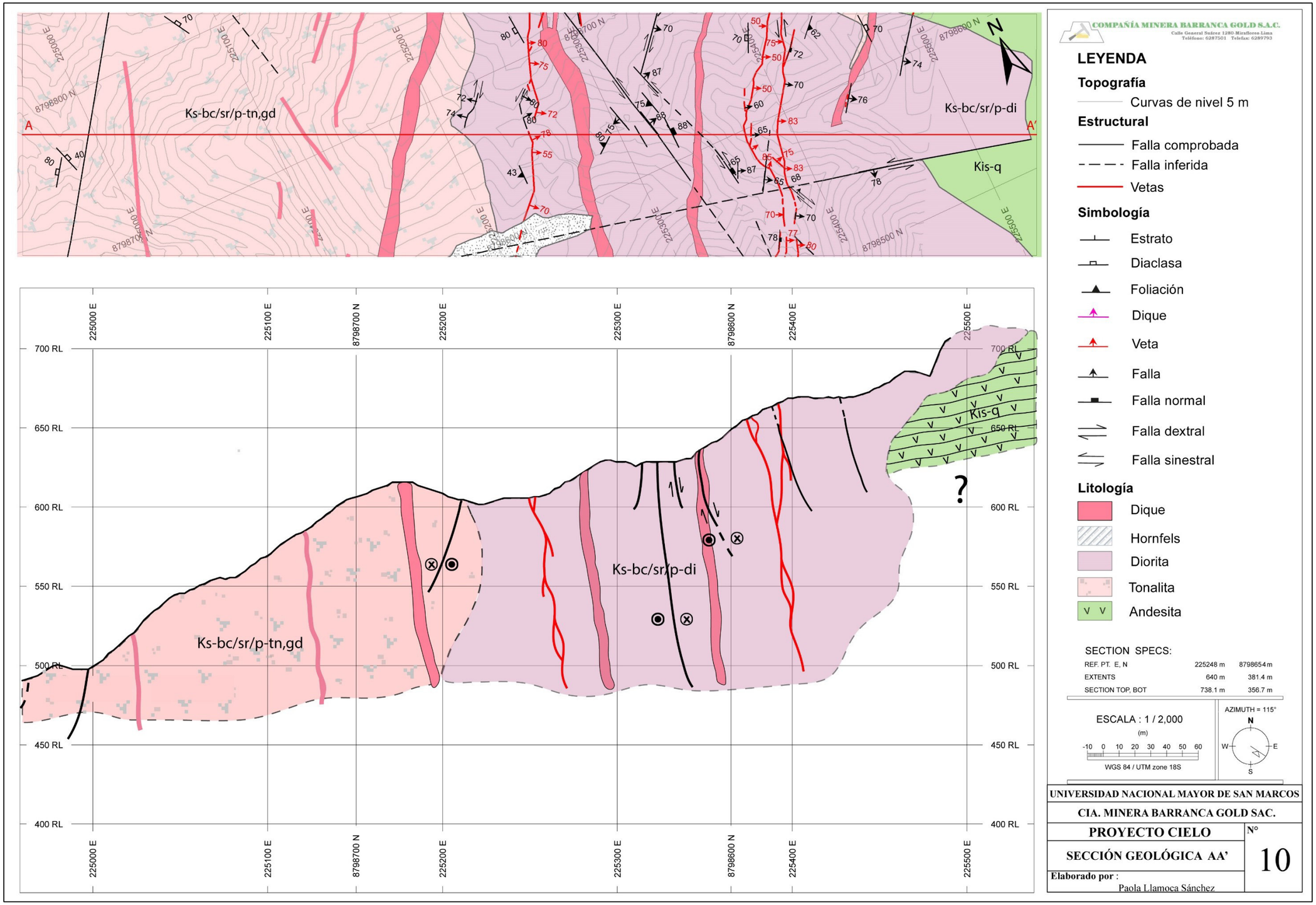


Lámina 10. Sección Geológica NO-SE del área de estudio.

5.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas del Grupo Casma tienen un comportamiento dúctil que se observa claramente por el sistema de anticlinales y sinclinales que afloran al norte del Proyecto. Sin embargo, en el área de estudio, predomina un comportamiento frágil de las rocas denotado por zonas de brecha de falla y panizo (*gouge*) de falla formado en los intrusivos del Batolito Costero y del Grupo Casma.

5.1.2.1. INDICADORES CINÉMATICOS

Son rasgos de origen tectónico que permiten identificar el sentido del desplazamiento de bloques rocosos separados por zonas de cizalla y fallas. Estos rasgos son visibles desde escala de afloramiento local a escala regional. Para determinar la cinemática de la falla es necesario contar con herramientas de observación también llamadas tectoglifos.

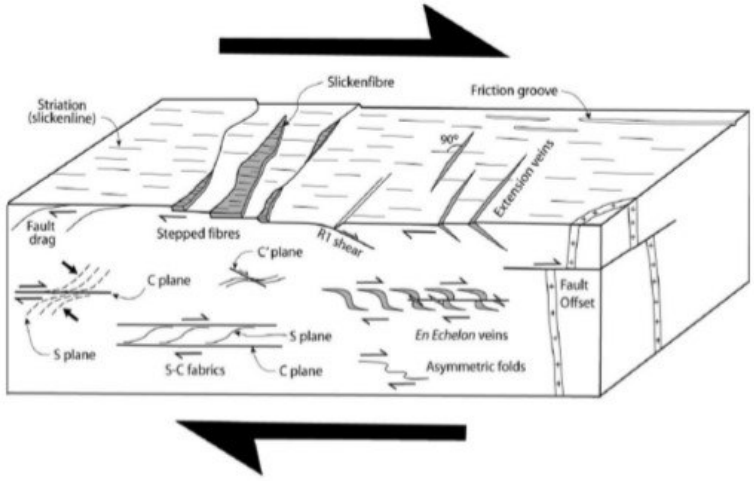


Figura 16. Tectoglifos o indicadores cinemáticos en un plano de falla.

A continuación, se describirán los indicadores cinemáticos reconocidos en el Proyecto Cielo.

FIBRAS RECRISTALIZADAS

Falla en superficie 225103 E/8798908 N, nótese las fibras de epidotas dentro de las estrías, estas crecen a partir de las asperezas donde el esfuerzo es menor indicando el sentido del movimiento del bloque.



Foto 46. Fibras de crecimiento en el plano de falla mostrando el sentido del movimiento del bloque faltante. Falla Sinestral (Sx) S 05°E/70°SO.

LAZO SIGMOIDE

Estructura filoniana también llamada *Jog* extensional (Sibson, 1990) producido por esfuerzos de cizalla.

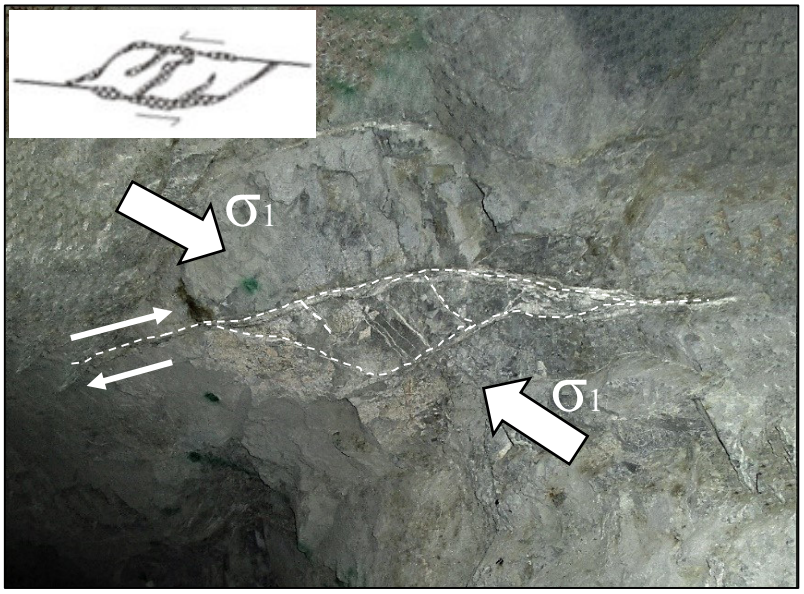


Foto 47. *Jog* dilatacional de tipo sigmoide con relleno de cuarzo lechoso. Aflora en interior mina, en la corona de la labor Cielo Sur. Cinemática Dextral (Dx).

FALLA RIEDEL

El plano de falla es una superficie ligeramente estriada que se sumerge suavemente en la pared de la roca. Las estrías solo aparecen en los lados ascendentes de las asperezas.

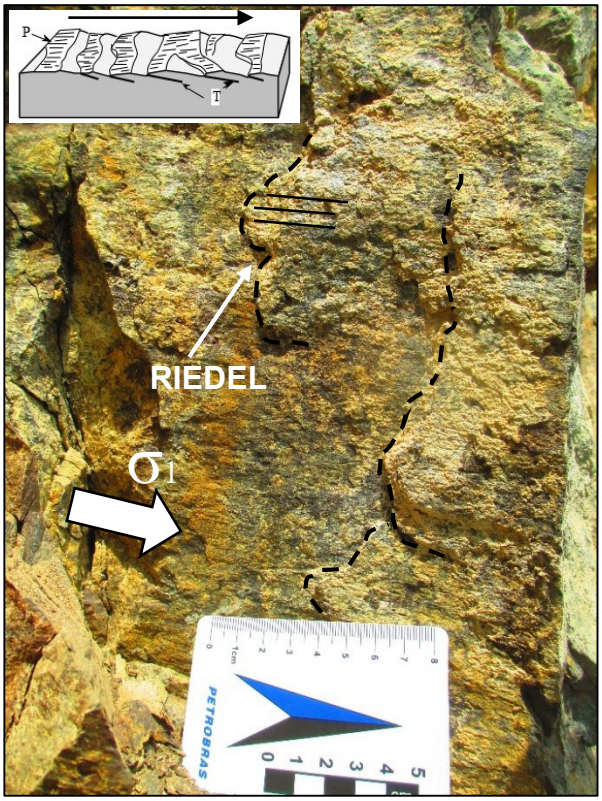


Foto 48. Veta-falla Toro aflora en superficie, su cinemática es Sinestral (Sx).

FAULT OFFSETS- SIGMOIDE

Estructura extensional rellena de cuarzo y hematita formada a lo largo de una zona de cizalla subvertical inclinada hacia la derecha. Dos lados paralelos del sigmoide tienden a ser paralelos a σ1 formando una falla normal que se confirma por la discontinuidad de las venillas horizontales de cuarzo.

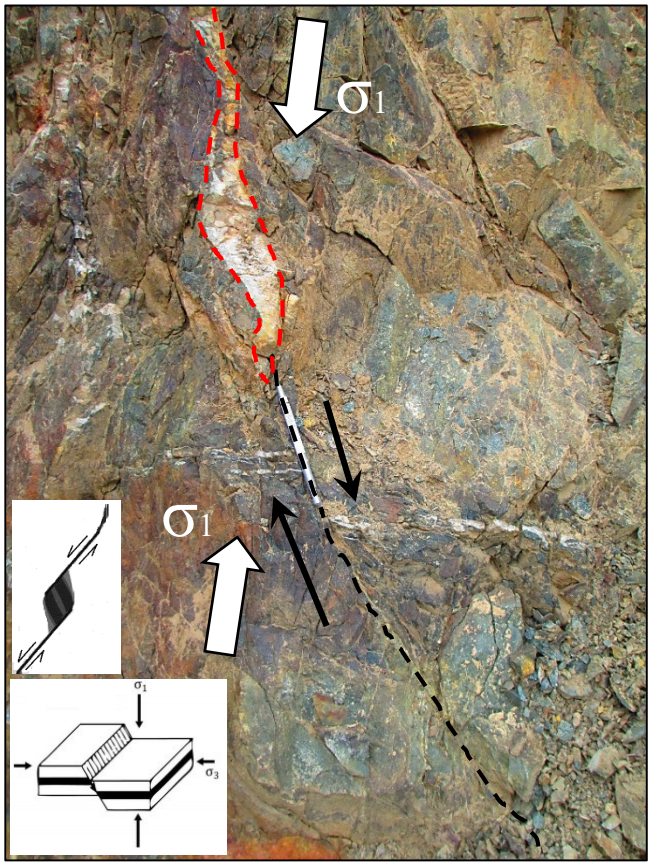


Foto 49. Sigmoide formando parte del sistema Veta Cielo. Nótese que la cinemática extensional (falla normal) se corrobora a partir de la discontinuidad de las venillas horizontales de cuarzo que yace debajo del sigmoide.

COLA DE CABALLO

Jog extensional de tipo Cola de caballo, se ha observado pequeños clavos mineralizados en los ramales de la estructura.

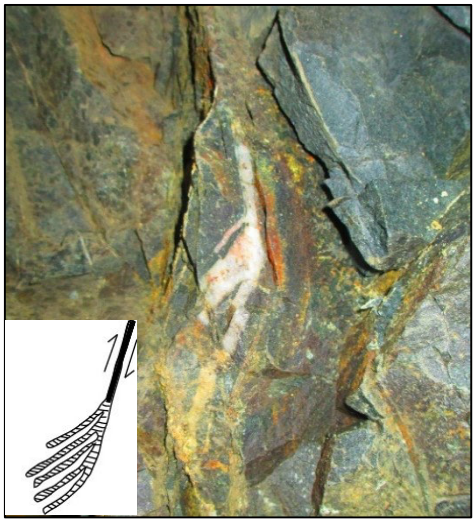


Foto 50. Estructura rellena de cuarzo blanquecino.

5.1.2.2. CONTEXTO ESTRUCTURAL REGIONAL

El proyecto Cielo está limitada al este por el sistema de falla inversa Conchao-Cocachacra de dirección NO-SE ubicado a 40 km. Romero (2007) refiere a la Falla Vegueta de rumbo NE-SO a N-S con cinemática dextral; que desplaza los afloramientos del Grupo Casma y controla el borde oeste del Batolito de Pativilca; además es posible que esta estructura haya jugado también con rumbo Sinestral en el sistema extensional que se daba en el Cretácico Superior-Paleoceno. Esta falla atraviesa el área de estudio al norte y correspondería a rampas laterales de la falla Conchao-Cocachacra (Romero, 2007). Huillca (2017) describe a una estructura NE-SO a la que denomina Falla 1, nombrada en el presente estudio como Falla Las Minas, presenta una larga extensión con una cinemática normal, esta estructura se emplaza al pie de la quebrada Mesa Redonda, dentro de la concesión Capacho de Oro, ubicado a 6.5 Kms. al SO del proyecto Cielo.

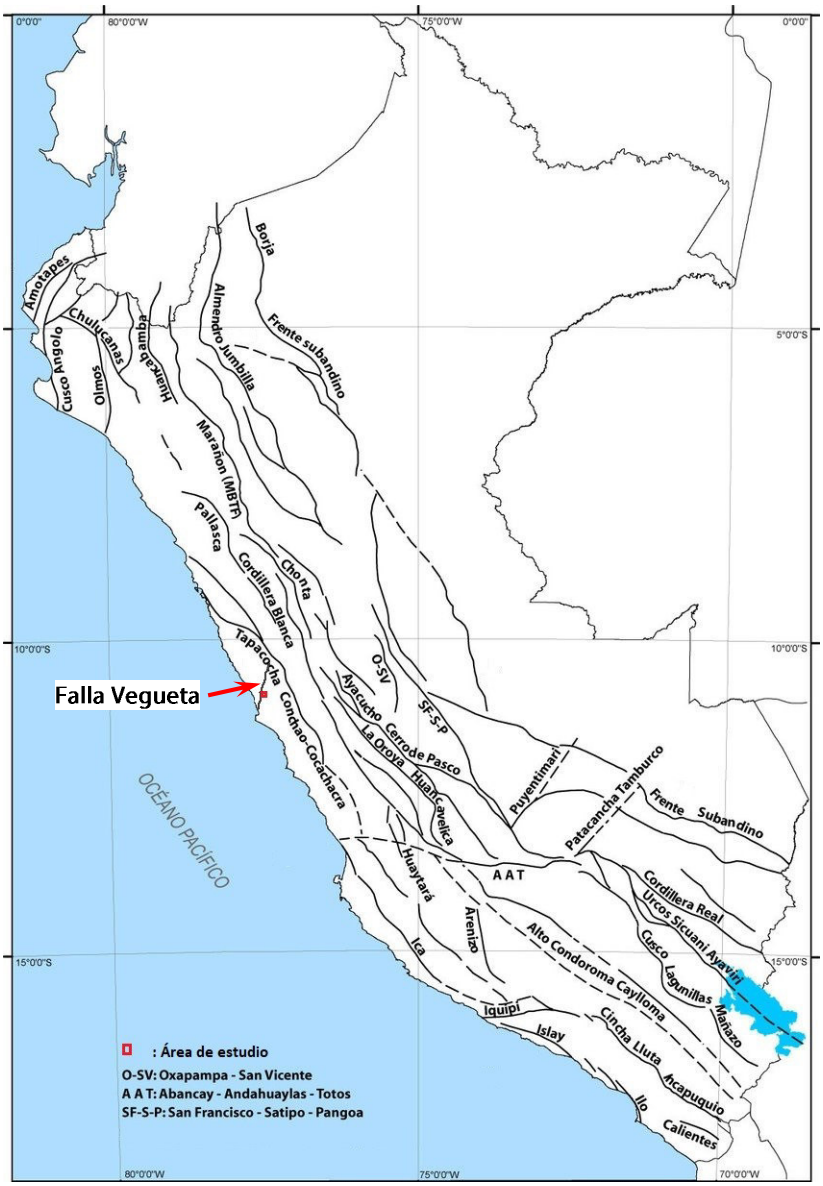


Figura 17. Mapa estructural del Perú con los principales sistemas de fallas regionales elaborado por la Dirección de Geología Regional del INGEMMET.

5.1.2.3. LINEAMIENTOS REGIONALES FOTOINTERPRETADOS

Los lineamientos que se describirán a continuación han sido interpretados a partir de imágenes satelitales descargados del SASplanet y Google Earth, representando los rasgos estructurales de mayor extensión e importancia. Tal es así que con la fotointerpretación se identificaron tendencias NNE-SSO a N-S, NE-SO y ONO-ESE.

El sistema de lineamientos NNE-SSO a N-S son estructuras de mayor predominancia y según las interpretaciones del presente estudio, se cree fueron fundamentales para la formación de zonas en extensión favorables para albergar mineralización.

El sistema de lineamiento NE-SO tendrían alguna relación de interés exploratorio debido a la congruencia que presentan con las estructuras mineralizadas vetiformes tal como se evidencia en el área de estudio.

La tendencia ONO-ESE serían fallas de rumbo posteriores al sistema NE-SO, que, según las observaciones de campo, desplazan a los cuerpos mineralizados y diques.

Estos sistemas de lineamientos formarían parte de un set de fallas conjugadas como resultado de una zona de cizalla principal.



Lámina 11. Fotointerpretación de lineamientos estructurales regionales.

5.1.2.4. CONTROLES ESTRUCTURALES EN LOS CUERPOS MINERALIZADOS

5.1.2.4.1. METODOLOGÍA

Para el análisis de las estructuras se tomaron datos con el uso de la brújula mediante el método Rumbo / Buzamiento con la regla de la mano derecha de los sistemas de fallamiento, foliación y estructurales vetiformes los que serán representados en diagramas de rosetas, histogramas de frecuencias y en proyección estereográficas en la red de Schmidt.

Los diagramas de rosetas se clasificaron por tipo de estructura: Foliación, falla y veta. El total de datos estructurales son 24 de foliación, 108 de fallas y 88 datos de vetas.

Los histogramas de frecuencias son del buzamiento (Dip) y dirección del buzamiento (*Dip Direction*) de las estructuras anteriormente mencionadas. Para estos procesos se utilizó el software Dip 6.0.

En la elaboración de las proyecciones estereográficas de vetas-fallas se usó el software Faultking, que ayudará a la interpretación de los eventos tectónicos que influenciaron en el área de estudio, para lo cual se midieron datos estructurales en planos de fallas de 26 estaciones microtectónicas en 28 estructuras reconocidas en superficie y en las galerías subterráneas donde se midieron 64 superficies estriadas con cinemáticas sinestrales, dextrales y normales y sus respectivas combinaciones para luego realizar el análisis estructural de los datos.

I. ANALISIS ESTADÍSTICO

Foliación

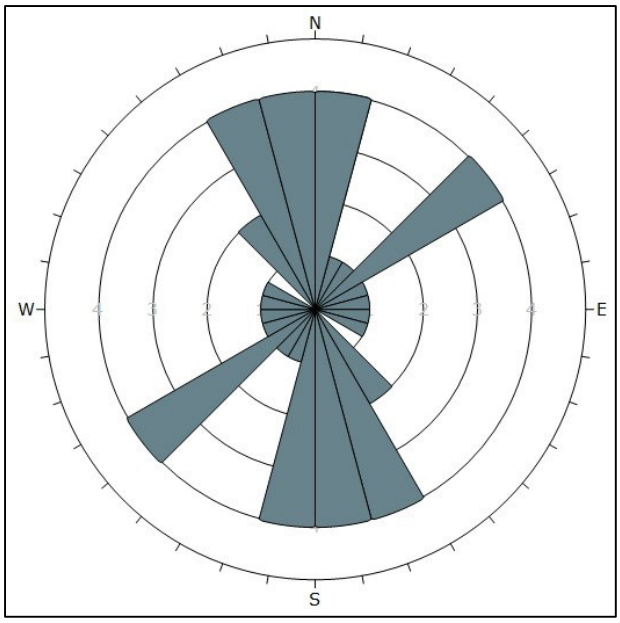
Se han analizado un total de 24 datos de foliaciones medidos en superficie, haciendo un análisis se define dos principales familias de foliaciones, una familia NO-SE y otra familia NE-SO.

Familia NO-SE

Este sistema presenta un buzamiento que varía desde 40° a 87 al SO y 70° al NE. Son concordantes a la dirección de las capas de las secuencias volcánicas.

Familia NE-SO

Este sistema presenta un buzamiento que varía desde 60° A 85° al SE y 60 a 80° al NO. Este sistema es de importancia porque indica la deformación de la roca en relación a la dirección de las estructuras mineralizadas.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	15°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	24
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figura 18. Diagrama de rosetas de los sistemas de foliación: NE-SO y NO-SE.

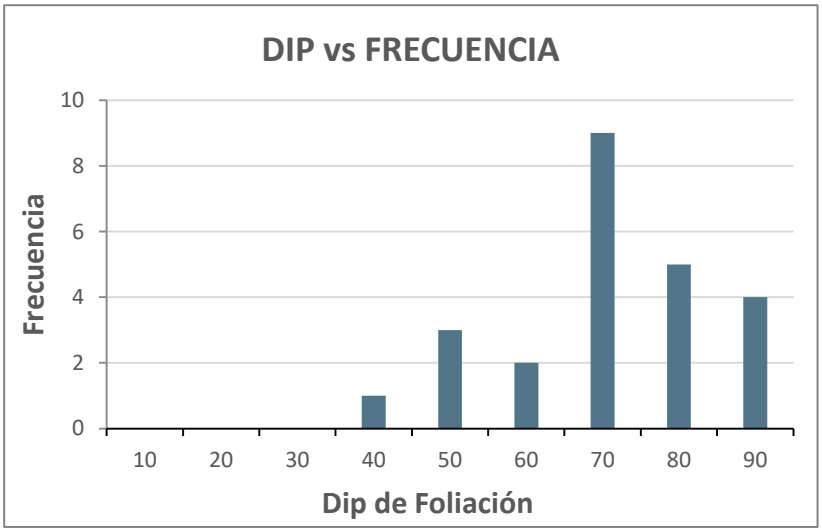


Figura 19. Histograma de frecuencia del buzamiento(Dip) de las foliaciones. El buzamiento predominante oscila entre 60° y 70°.

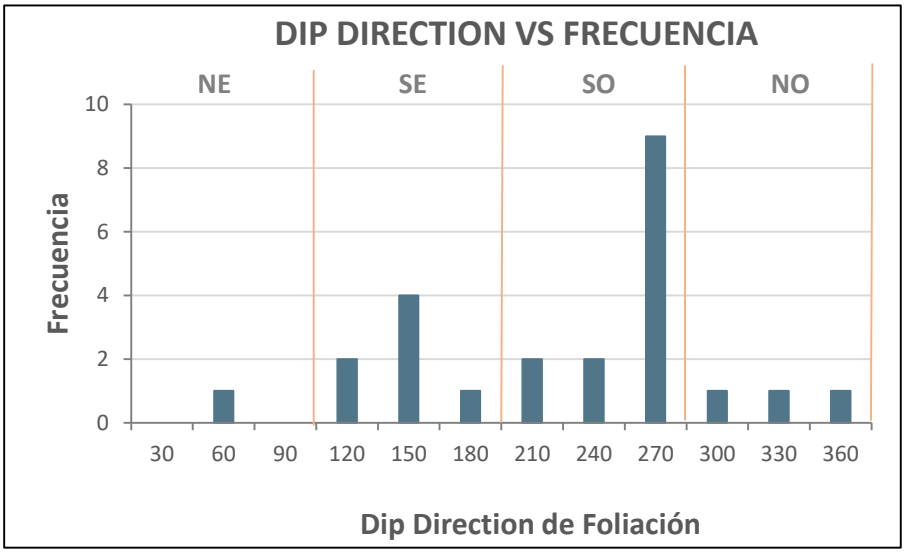


Figura 20. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las foliaciones. Predominan los datos buzando hacia el SO entre 240°-270°.

Fallas

Se han analizado un total de 108 datos de foliaciones medidos en superficie, haciendo un análisis se define tres principales familias de fallas en direcciones NNO-SSE, NE-SO, y ENE-OSO.

Familia NNO-SSE - NS

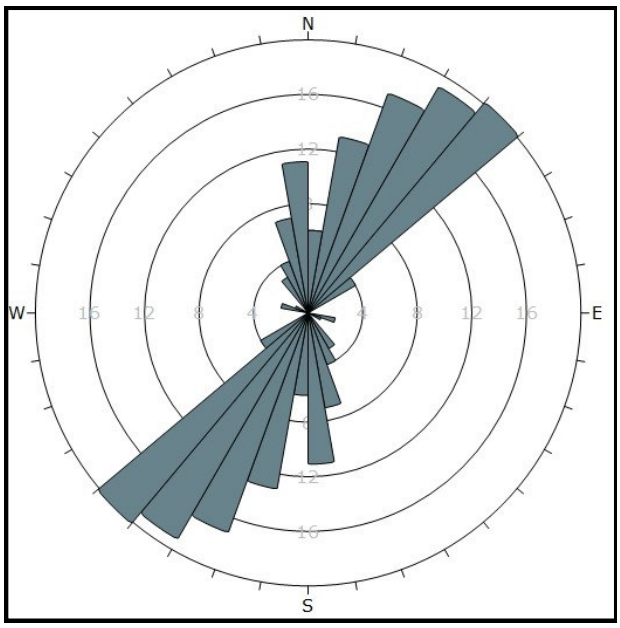
Este sistema presenta un buzamiento que varía desde 55° a 88° al NE y 40° a 87 al SO. Son de importancia por generar la formación de estructuras que favorecen en emplazamiento de los fluidos hidrotermales relacionados a la mineralización.

Familia NE-SO

Este sistema presenta un buzamiento que varía desde 60° a 89° al SE y 40 a 85° al NO. Presentando inflexiones a lo largo de su trayectoria observada en terreno. Este sistema es de importancia por ser paralelo a las estructuras mineralizadas

Familia ONO-ESE

Este sistema presenta un buzamiento que varía desde 78° a 87° al SSO. Son fallas postmineralización con cinemática de rumbo desplazando a las estructuras mineralizadas y diques.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	20 planes per arc
Planes Plotted	108
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figura 21. Diagrama de rosetas de los sistemas de fallas: Sistema NE-SO, NNO-SSE y ONO-ESE.

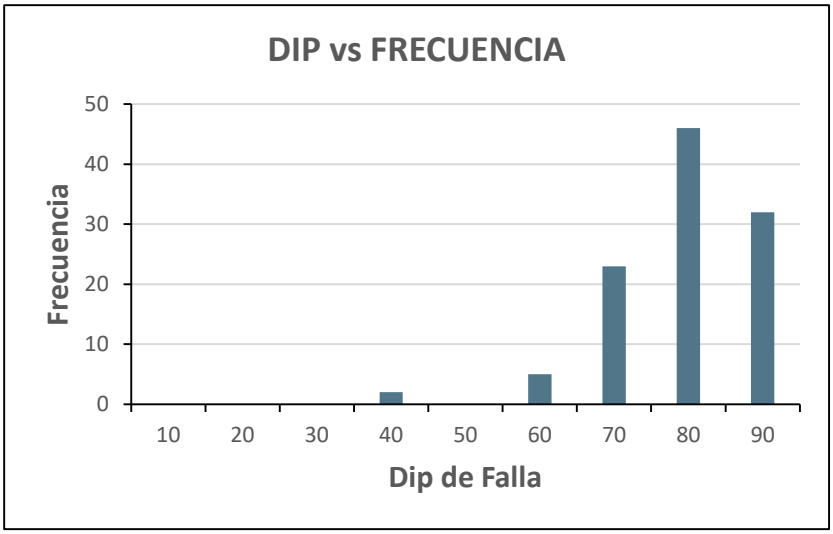


Figura 23. Histograma de frecuencia del buzamiento (Dip) de las fallas. El buzamiento predominante oscila entre 70° y 80°.

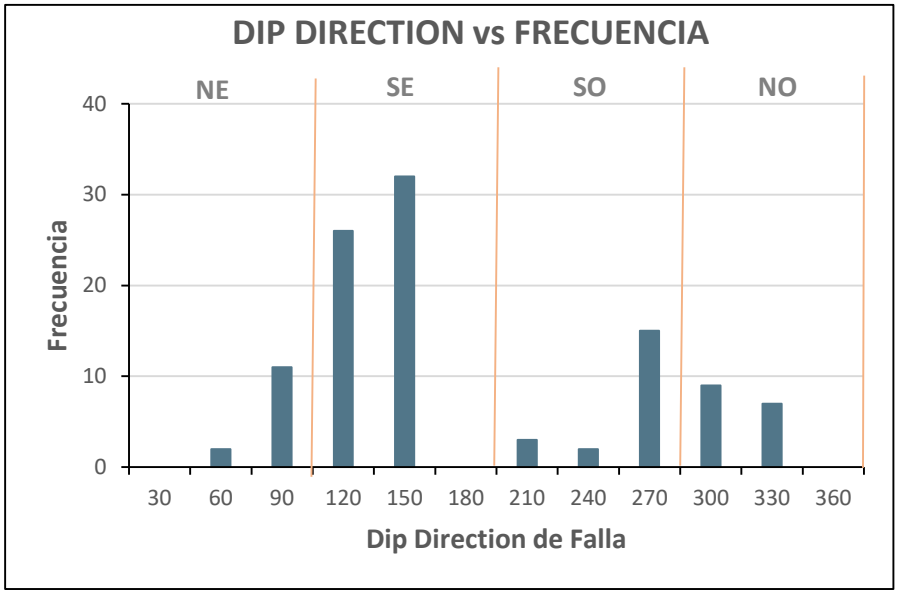


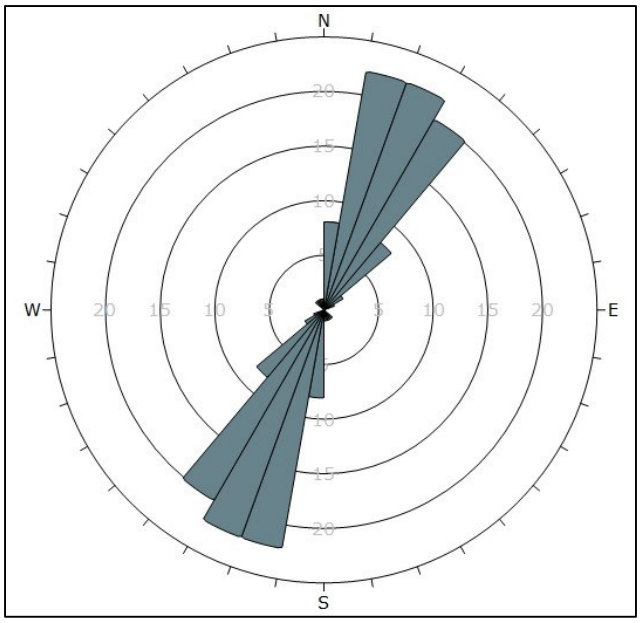
Figura 22. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las fallas. Predominan los datos buzando hacia el SE entre 90°-150°.

Vetas

Se han considerado 88 datos de estructuras vetiformes medidos en superficie e interior mina, haciendo un análisis se define una principal familia en dirección NE-SO.

Familia NE-SO

Este sistema presenta una dirección de buzamiento variable, propio de las inflexiones de las estructuras sigmoidales, la dirección de buzamiento principal varía desde 52° a 89° al SE, con inflexiones buzando con 65° a 85° al NE. Este sistema es de importancia por ser paralelo a las estructuras mineralizadas.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	25 planes per arc
Planes Plotted	88
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figura 24. Diagrama de rosetas del sistemas de vetas: Sistema NE-SO.

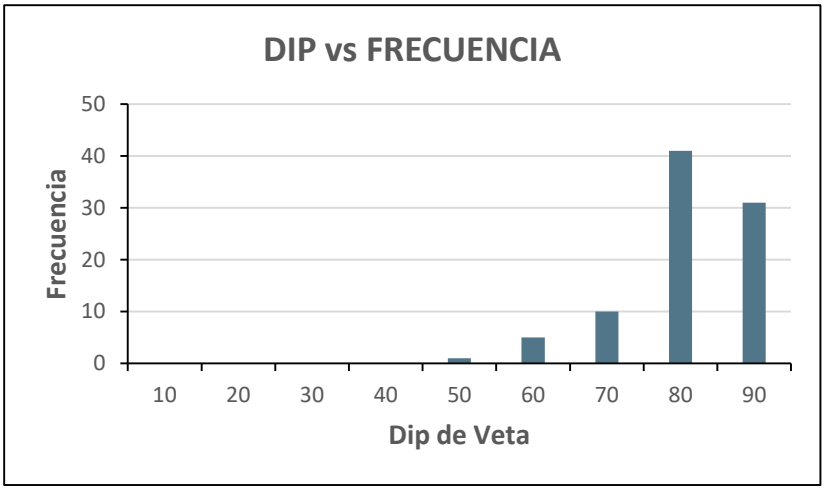


Figura 26. Histograma de frecuencia del buzamiento (Dip) de las vetas. El buzamiento predominante oscila entre 70° y 80°.

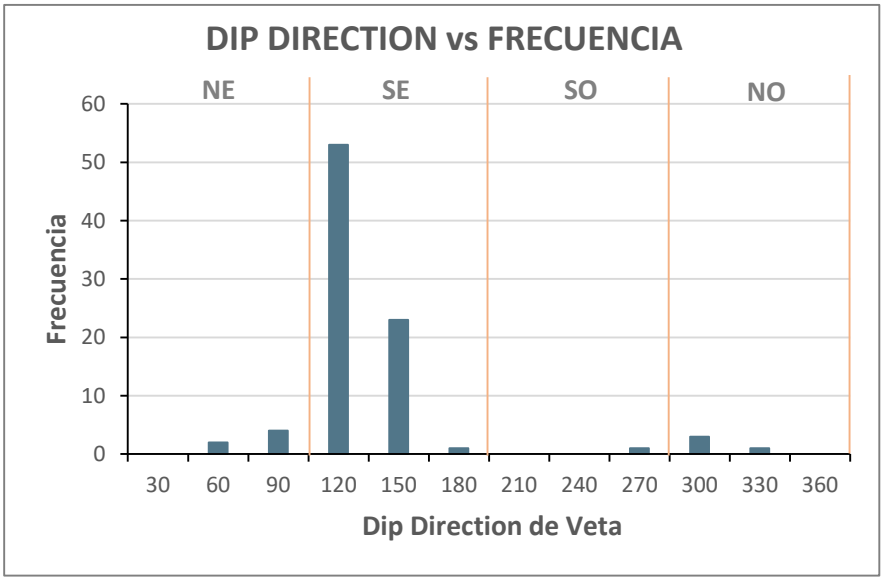


Figura 25. Histograma de frecuencia de la dirección del buzamiento (Dip Direction) de las vetas. Predominan los datos buzando hacia el SE entre 90°-120°.

II. DESCRIPCION DE LOS EVENTOS

De las mediciones hechas en campo, procesamiento y análisis estructural de los datos se determinó 3 fases de deformación denominados: Fase I, etapa pre-mineral que generó estructuras favorables a mineralizar; Fase II, etapa syn-mineralización donde se dio la formación de las estructuras mineralizadas; y Fase III, etapa post-mineral que desplazó y deformó a las estructuras. Estas estructuras se generan dentro de una envolvente conformado por una zona de cizalla la cual desarrolla un set de fracturas (R, R', P) con cinemáticas propias (Riedel,1929). A continuación, se plantea un esquema estructural para cada evento tectónico siguiendo el modelo de cizalla de Ramsay (1967).

Los procedimientos y análisis estructural y cinemático se realizaron internamente. La descripción detallada se ha obviado con el fin de sintetizar los procesos. A continuación, se describe de forma resumida las fases de deformación y se propone un modelo estructural.

FASE I

Evento pre mineral que ha sido originado por una comprensión regional en la dirección NO-SE (σ_1: N 329°) con un plunge de 3.4°, cuya cinemática estuvo gobernada por movimientos sinestrales de rumbo ~N-S y NNE-SSO caracterizado por las Fallas Vegueta y Las Minas respectivamente que dieron lugar a un set de fallas representada por un sistema NE-SO con cinemática predominante de tipo Sinestral con componente Inverso (Vetas Cielo-Cumbre, Rosa-Toro); asociado a un sistema conjugado ONO-ESE de naturaleza Dextral Normal caracterizado por la Falla C. Y un sistema NNO-SSE con cinemática Sinestral con componente Normal.

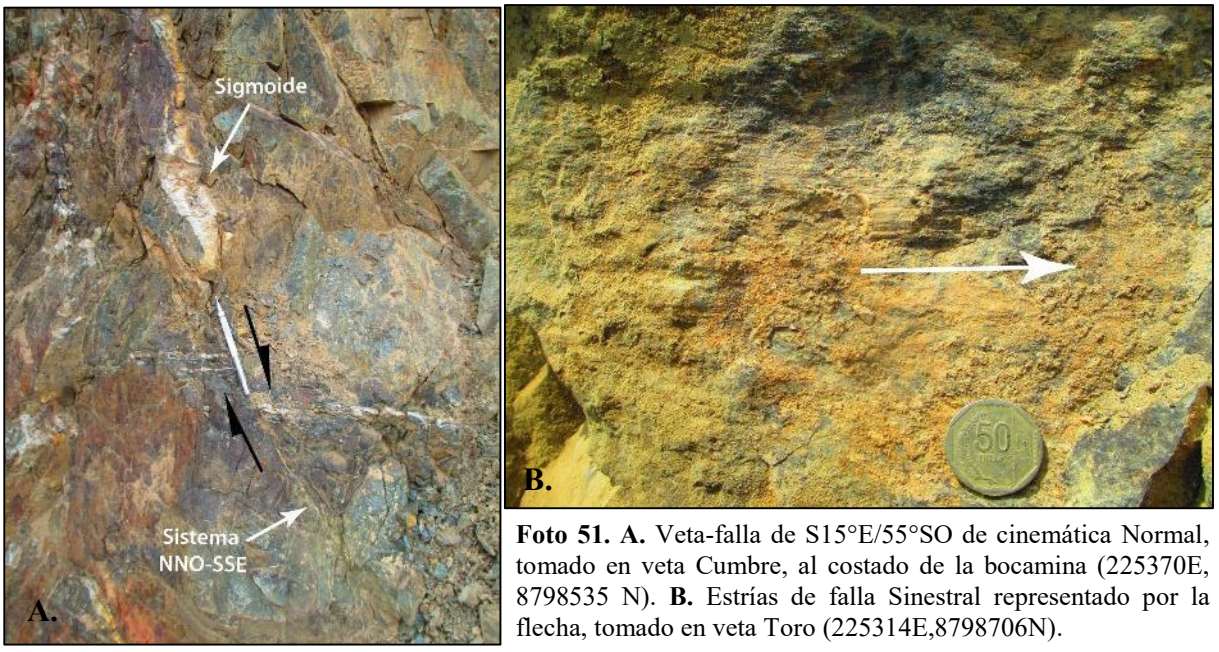


Foto 51. A. Veta-falla de S15°E/55°SO de cinemática Normal, tomado en veta Cumbre, al costado de la bocamina (225370E, 8798535 N). **B.** Estrías de falla Sinestral representado por la flecha, tomado en veta Toro (225314E,8798706N).

EJE DE ESFUERZO	TREND	PLUNGE
σ1	328.8	3.4
σ2	142.2	86.6
σ3	238.8	0.4

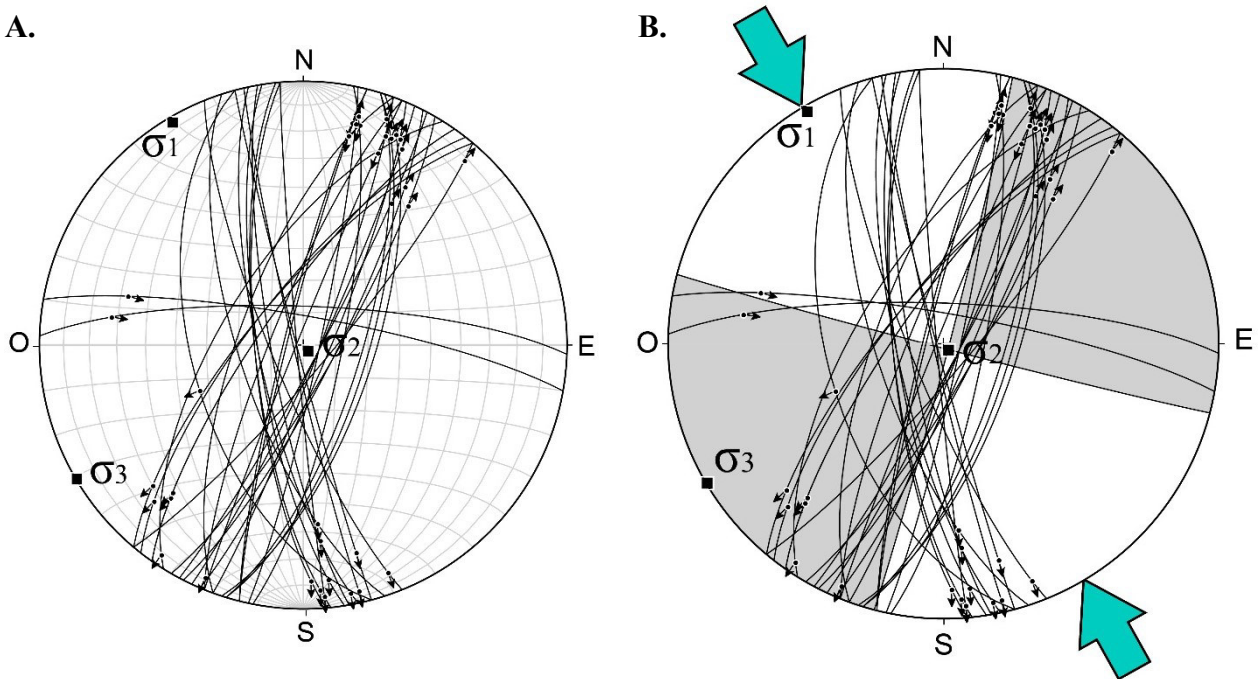


Figura 28. A. Proyección estereográfica formada por 34 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de compresión regional efectivo es NNO-SSE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris.

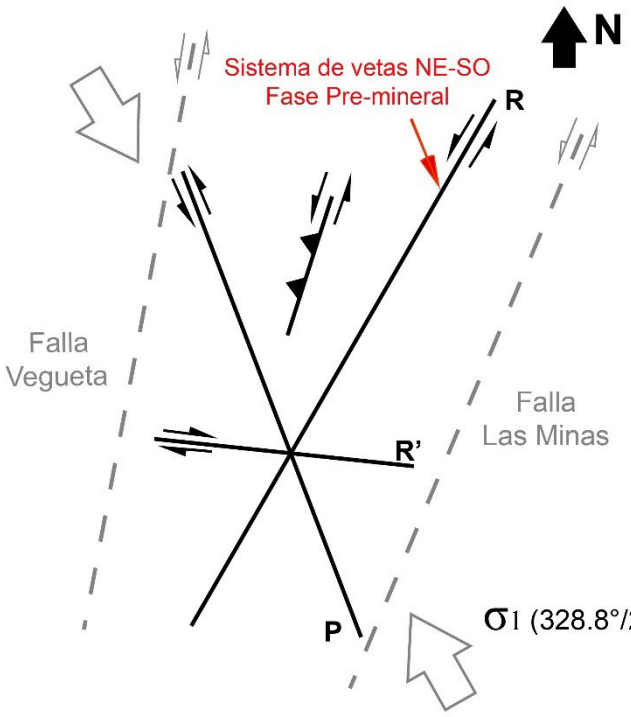


Figura 27. Modelo esquemático en la primera fase de deformación efectuado por el esfuerzo compresivo en dirección NO-SE (σ1: 328.8°). Algunas fallas sinestrales (R) presentan componente inverso.

FASE II

Evento extensional que ha favorecido a los procesos de mineralización de las estructuras NE-SO. El esfuerzo distensivo tuvo una dirección ONO-ESE (σ_3: N 103°) con un *plunge* de 7.7°. Los indicadores cinemáticos evidencian una cinemática predominantemente de naturaleza Normal y Normal con componente sinestral en los planos de las fallas-vetas con desarrollo de cuerpos mineralizados de geometría sigmoidal ocupando cizallas tipo R (veta Cielo-Cumbre, Rosa-Toro).

Se ha tomado registro de fallas con rumbo NS- N41°E, buzando 40-88° al E y SE; y estrías de fricción mayores a 60° al NE para una cinemática Normal Sinestral. Asimismo, fallas N20°E-N42°E buzando 72°-80° al SE con estrías de ángulo alto, mayores a 80° para una cinemática Normal. Y fallas S30°O- S40°O, buzando 72° – 84° al NO con estrías de fricción de 72-78° inclinadas al SO evidenciando un desplazamiento de tipo Normal Sinestral.

Este periodo de distensión habría servido como conducto para el ascenso de los fluidos hidrotermales los cuales se relacionan con procesos de mineralización a nivel regional

En la foto 52, se observa el sistema de falla-veta Cielo-cumbre desplazando a vetillas de cuarzo blanquecino formados en la fase I.



Foto 52. Veta falla Cumbre con cinemática Normal desplazando a las vetillas de cuarzo del evento I. (225370E, 8798535 N). Mirando al Sur.

EJE DE ESFUERZO	TREND	PLUNGE
σ1	323.6	80
σ2	193.9	6.5
σ3	103	7.7

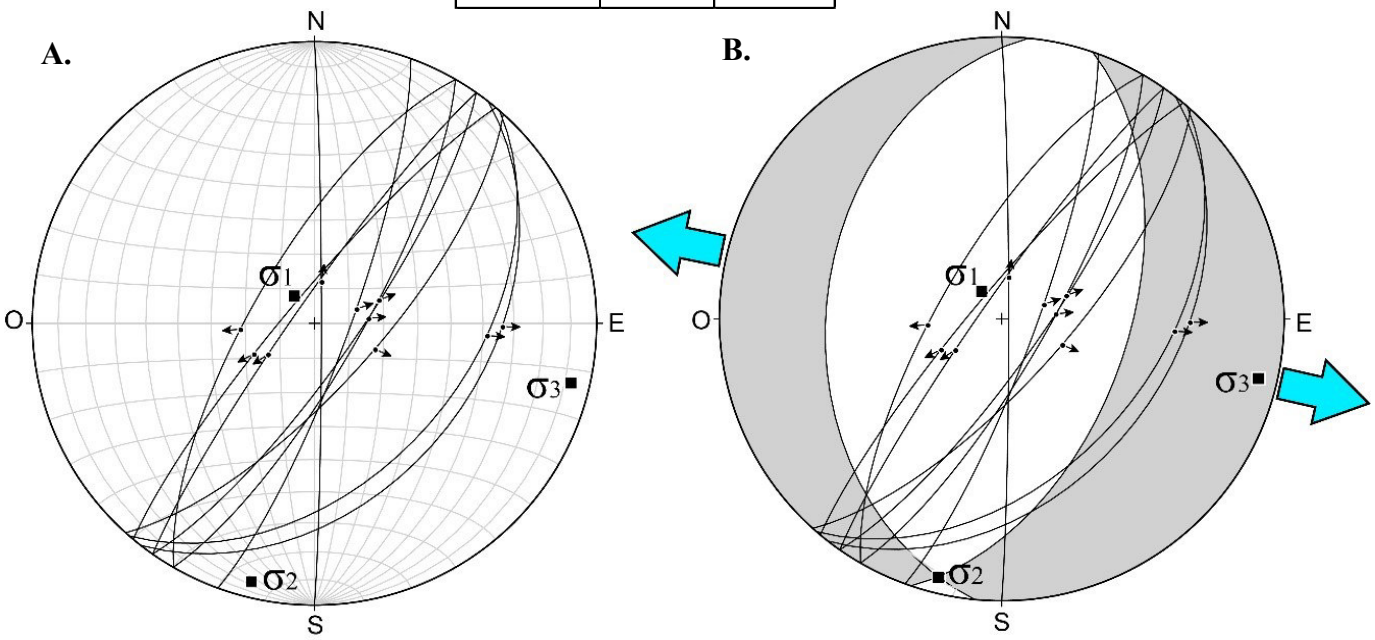


Figura 29. A. Proyección estereográfica formada por 10 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de extensión regional efectivo es ONO-ESE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris.

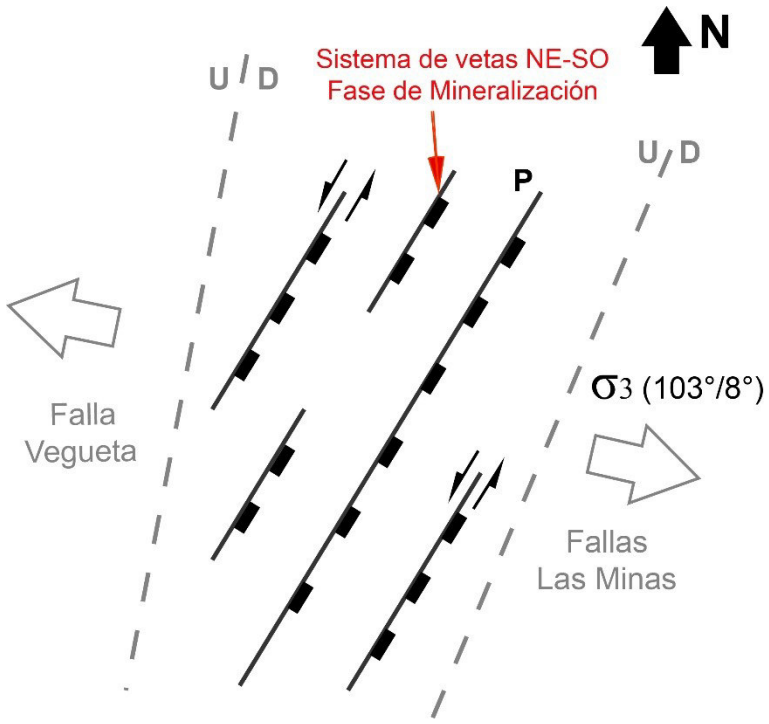


Figura 30. Modelo esquemático de la fase de extensión en dirección ONO-ESE (σ3: 103°) que generó zonas de apertura en estructuras preexistentes (Fase Pre-mineral) y formando otras nuevas en este proceso, relacionadas a la formación de filones mineralizados en cizallas R de naturaleza Normal. Algunas fallas normales tienen componente sinestral.

FASE III

Evento post mineral de régimen compresional cuyo eje compresivo máximo tuvo una dirección ENE-OSO (σ1: N 71.4°) con un *plunge* 3.6°, cuya cinemática estuvo dominada por movimientos dextrales. Se encuentra asociado a un set de fallas NE-SO, NNO-SSE y ONO-ESE. Los indicadores cinemáticos evidencian una cinemática de tipo Dextral con componente Normal con rumbo NE-SO, tal como se ha observado en las fallas veta Toro y Cielo; la cual habría generado una reactivación del sistema de vetas. Asociado a este sistema, se tienen fallas conjugadas N 95°-115° (Sistema ONO-ESE) presentan una cinemática Sinestral-Normal (Fallas A, B, y D), generando un desplazamiento de las estructuras vetiformes y diques. Por otro lado, el sistema de fallas conjugadas NNO-SSE de naturaleza Dextral con componente inversa fue registrado en la bocamina de la veta Cumbre norte.

Se ha tomado registro de fallas con rumbo N27°E-N44°E, buzando 59-85° al SE; y estrías de fricción menores a 31° al N para una cinemática Dextral-Normal. Asimismo, fallas S85°E-S65°E buzando 76°-88° al SO con estrías de ángulo menores a 35°S evidenciando una cinemática Sinestral Normal; y fallas N26°O-N15°O, buzando 76° – 86° al NE con estrías de fricción de 9-25° inclinadas al NO reflejando una cinemática Dextral con componente Inversa.



Foto 53. A. Estrías verticales en falla S04°E/87°SO inversa (225310E, 8798626N). **B.** Fibras de calcita en Falla N15°E/70SE de cinemática Dextral con componente inversa (225377E,8798559N).

EJE DE ESFUERZO	TREND	PLUNGE
σ1	71.4°	3.6
σ2	173.9°	74°
σ3	340.4°	15.6°

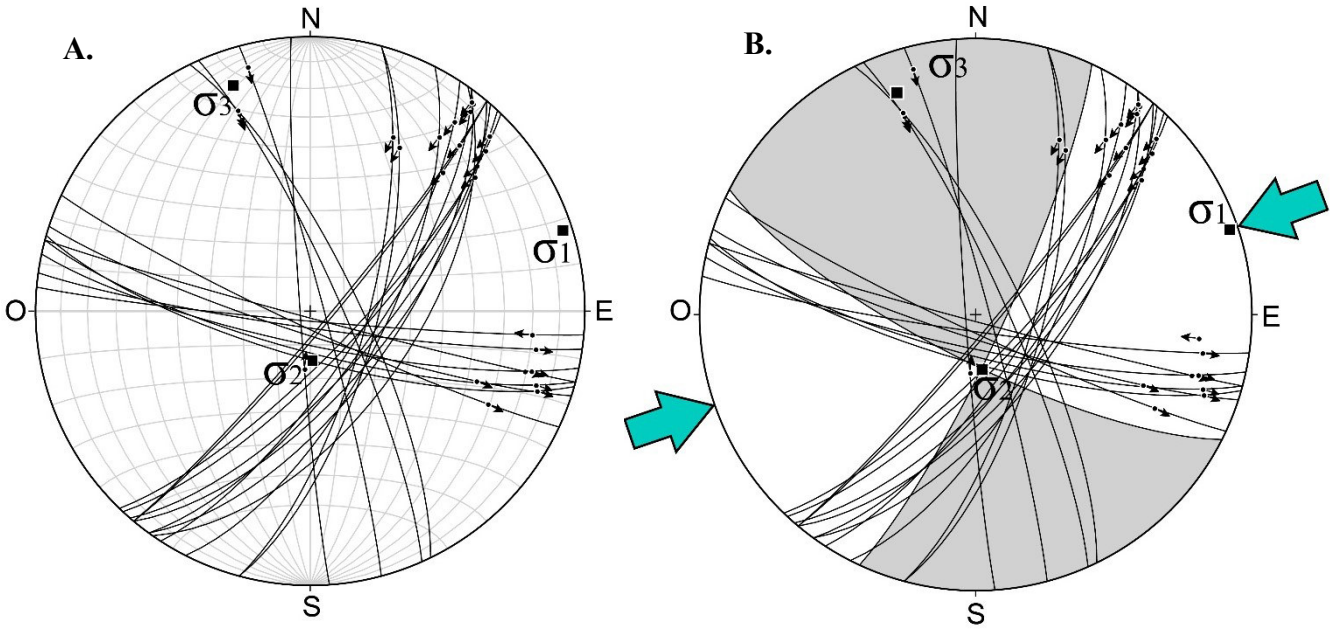


Figura 32. A. Proyección estereográfica formada por 25 estrías. **B.** Gráfico de esfuerzos σ1, σ2, σ3. La dirección de compresión regional efectivo es OSO-ENE, las zonas de extensión se encuentran sombreadas de gris.

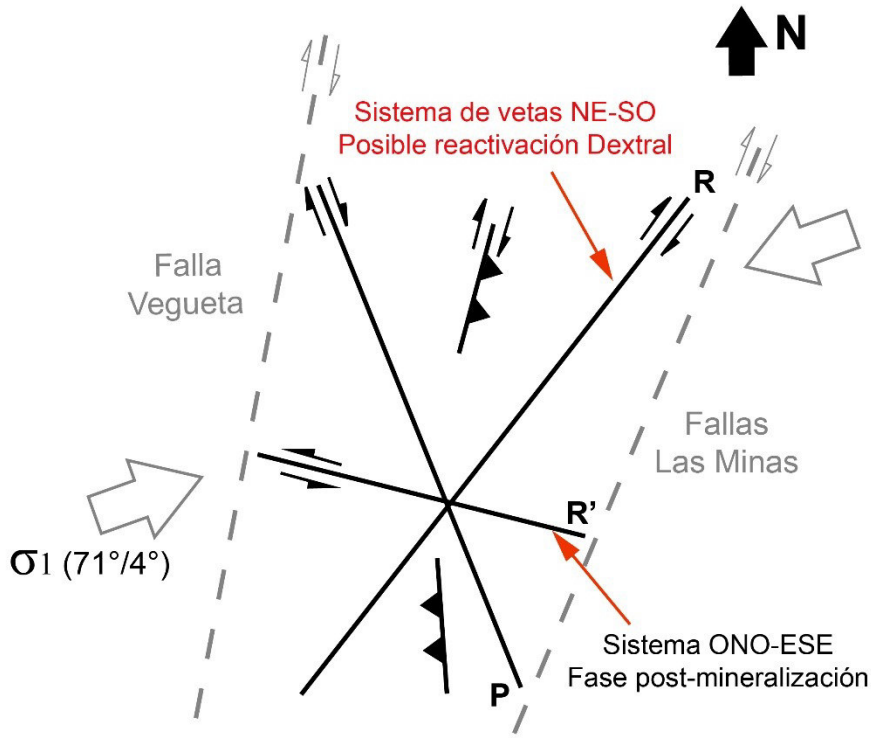


Figura 31. Modelo esquemático de la fase de compresión en dirección OSO-ENE (σ1: 71°) que generó una reactivación del sistema NE-SO de vetas. Algunas fallas dextrales (R) tienen componente inverso.

I. MODELO ESTRUCTURAL

El arreglo del juego de estructuras Riedel desarrolladas en la zona de cizalla de la falla, muestran que σ1 tuvo una dirección NNO-SSE, seguido por un evento tectónico extensional de σ'3 de dirección ONO-ESE. Las las zonas en amarillo corresponden a clavos mineralizados de alta ley en oro. Para efectos de esta demostración, también se tomó en cuenta los resultados químicos del muestreo en veta Rosa enviados a Laboratorio químico de la UNI (Anexo 3).

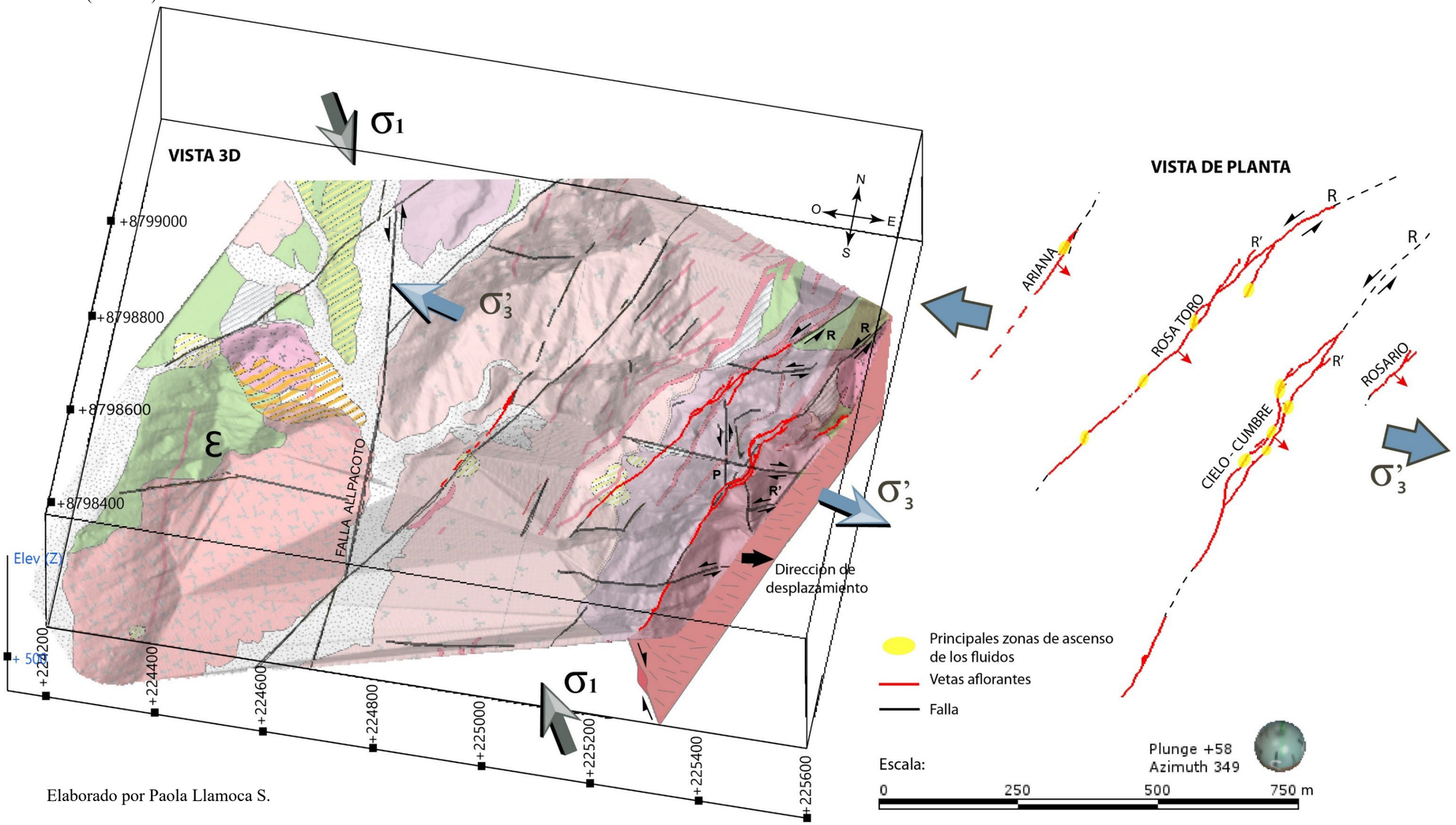


Figura 33. Esquema 3D del modelo estructural del prospecto Cielo.

5.1.2.4.2. PRINCIPALES FALLAS

Falla Vegueta

Romero (2007) describe a la falla Vegueta como parte de un sistema NE-SO a N-S de rumbo dextral subvertical; recorre kilómetros y desplaza los afloramientos del Grupo Casma y controla el borde oeste del Batolito de Pativilca datado en 37 Ma (Soler 1991). Este sistema de falla corresponde a rampas laterales de la falla inversa Conchao-Cocachacra de dirección NO-SE. Y podría haber tenido un comportamiento Sinestral en el sistema extensional que se daba en el Cretácico Superior – Paleoceno.

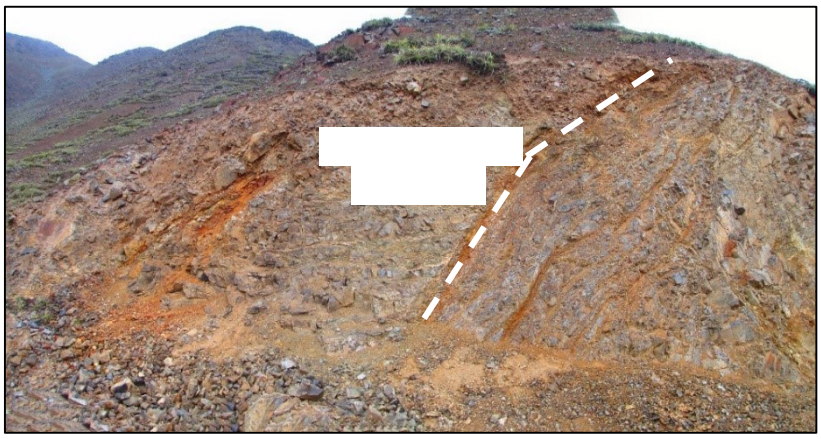


Foto 54. Zona de falla, se observa deformación frágil en la estratificación de la secuencia de chert del Grupo Casma.

Falla Allpacoto

Falla NNO-SSE aparentemente de rumbo, su recorrido parte desde el valle de Supe recorriendo a lo largo de la quebrada Allpacoto hasta la Quebrada Tanta Laynes. Esta estructura posiblemente ha tenido un comportamiento como falla normal asociado a regímenes extensionales. En superficie, se observa esquistosidad en las dioritas que afloran en la quebrada Allpacoto (ver Foto 55).

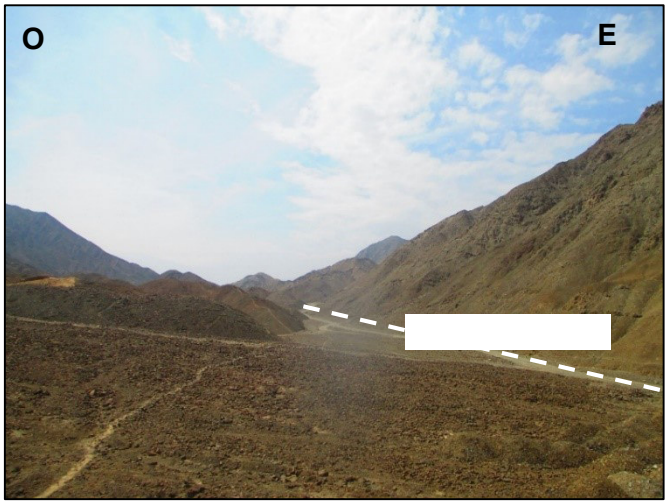


Foto 55. Vista al norte a lo largo de la quebrada Allpacoto.
Vista al norte a lo largo de la quebrada Allpacoto.

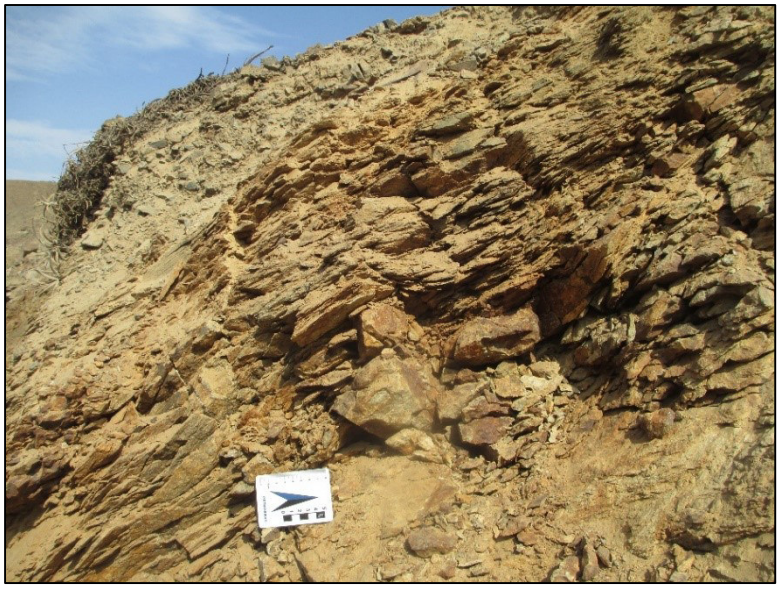


Foto 56. Esquistosidad en las dioritas (Coord. 224745 E, 8799099 N). Vista al NO.

Falla Trocha

Falla NE-SO, el cual se puede apreciar en superficie, en el acceso a la zona La Isla en las coordenadas 225094 E, 8798919 N con una longitud explorada de 950 metros. En la estructura se observa una zona de falla de 40 m rellenada por *gouge*, calcita, óxidos de hierro y arcillas. Tiene un rumbo promedio N 209° con un buzamiento de 79°. La falla se emplaza en una roca encajonante tonalítica evidenciando una cinemática de tipo normal relacionado posiblemente al evento II. Hacia el suroeste se junta con la veta-falla Ariana.

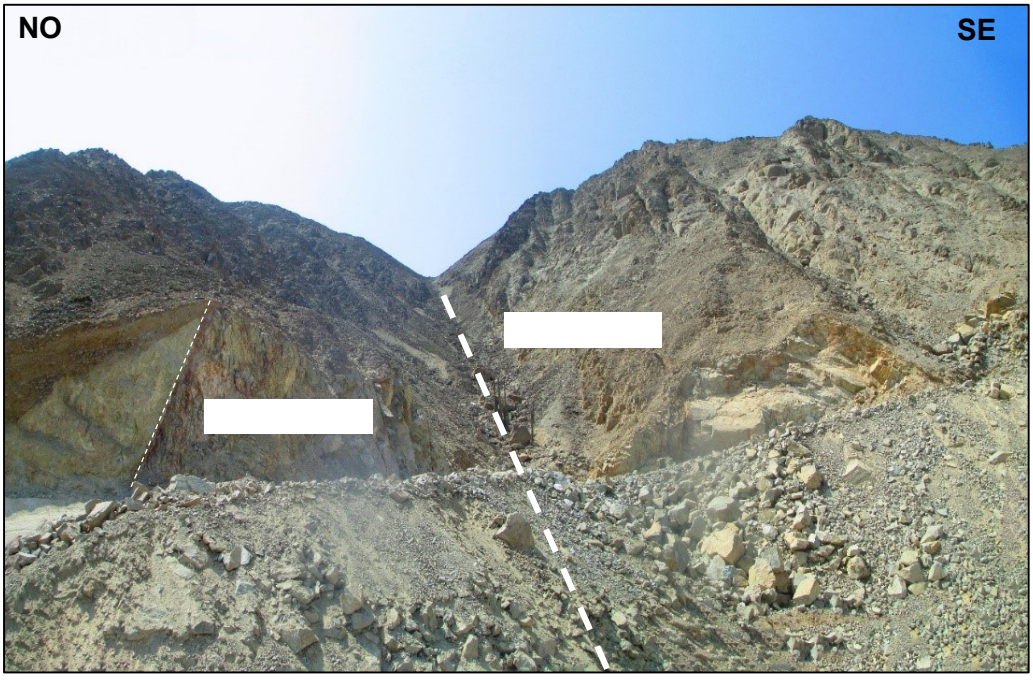


Foto 57. Deformación frágil con formación de panizo y brecha de falla. Vista al NE.

Falla A

Falla ONO-ESE con rumbo S65°E y 85° de buzamiento al SO. Esta estructura se puede observar a lo largo de la quebrada emplazado en una roca encajonante diorítica, donde corta y desplaza con una cinemática Sinestral (Pitch 28°) por 15 metros a un dique cuarzodiorítico (Evento III), esto se puede observar en las coordenadas 225310 E, 8798771 N.



Foto 58. Emplazamiento de la Falla A, limitando y restringiendo a la veta Rosa al norte. Vista al NE.

Falla B

Lineamiento del sistema ONO-ESE de rumbo S75°E y buzamiento 78° al SO con una longitud explorada de 50 m. Se distribuye a lo largo de una quebrada de coordenadas referenciales 225395 E, 8798557 N y pasa cerca de la bocamina Cumbre. En las observaciones de campo solo se pudo observar indicadores cinemáticos en una estación donde se determinó una cinemática Sinestral-Normal (Pitch 15°).



Foto 59. Falla B a lo largo de la quebrada, tomada antes del desarrollo de las labores mineras de exploración. Vista al norte.

Falla C

Esta falla se puede observar en superficie con una longitud explorada de 20 m. Nace a partir de una quebrada cerrada de dirección NO-SE. Se ha reconocido la estructura en una pared de falla con rumbo N80°O /81°NE. En este punto la estructura presenta ligeras inflexiones y una potencia de 5cm rellenada por panizo, además se reconoce una cinemática de tipo dextral asociada al evento tectónico I. La estructura se desarrolla en una roca caja de naturaleza diorítica en la parte alta del proyecto.

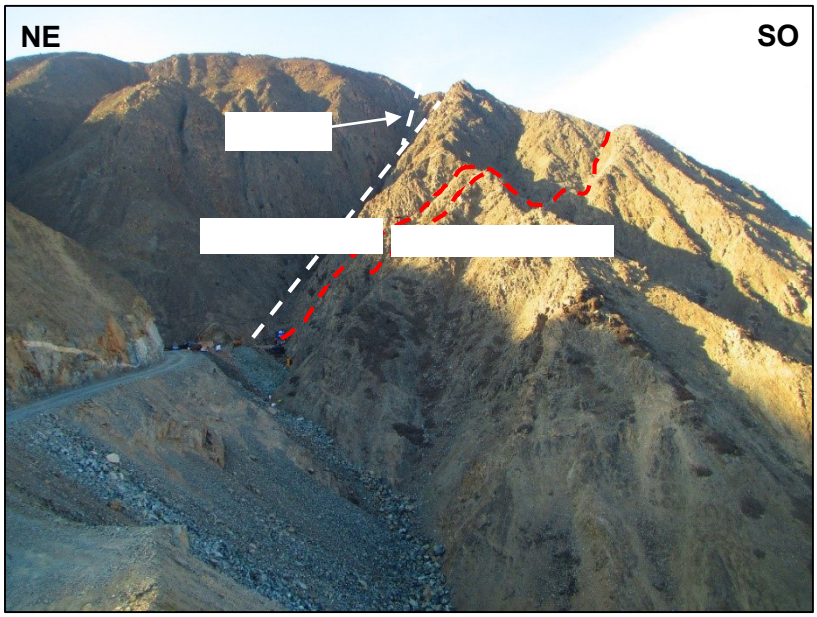


Foto 60. La falla C empieza en la bifurcación de la quebrada principal. Vista al SE.

5.2. CARACTERIZACIÓN GEOQUIMICA

La presente sección muestra los resultados de análisis geoquímicos de 29 muestras de veta que afloran en el Prospecto Cielo, estos han sido seleccionados de las campañas de muestreo en el 2015. La disposición espacial de las muestras fue con la finalidad de conocer el contenido de oro y otros metales que resulten de interés.

5.2.1. METODOLOGÍA DEL MUESTREO

Durante la etapa de campo se realizó el muestreo geoquímico aleatorio de las vetas, considerándose un total de 29 muestras para el tratamiento estadístico, el tipo de muestreo fue rockchip en canales ("*Chip Channel Sample*") cuando la estructura tiene un ancho mayor a 0.2m y *rockchip* a lo largo de la estructura cuando su ancho es menor a 0.2m y una longitud < 1m de tal forma de obtener una muestra de ~ 3kg. El muestreo se realizó sobre las vetas que afloran en superficie las cuales fueron colectadas selectivamente con la finalidad encontrar un clavo mineralizado y determinar posibles zonas de mineralización económica.

Adicionalmente, se tomaron 02 muestras compósito (Cód 43308 y 43309) de la cancha con material mineralizado de las labores de exploraciones de las vetas Cielo Sur y Cumbre Norte a modo de referencia. Luego, las muestras fueron enviadas al laboratorio Inspectorate Services S.A.C. para ser preparados y analizados.

Para el tratamiento estadístico de los resultados químicos de las muestras se ha considerado principalmente el criterio estructural y litológico.

Finalmente, es importante mencionar que el factor presupuestal durante la prospección fue condicionante en la cantidad de muestras tomadas en la última etapa de muestreo.

5.2.1. ENSAYOS QUIMICOS

En el análisis, se determinó concentraciones de 45 elementos químicos, considerando sólo 17 elementos principales (Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, S, Sb, Zn, Ba, Co, P, Cd, Ti); para el análisis químico por el método ICP-AES, con un ataque químico preliminar de una digestión acida por vía húmeda (agua regia). Además, para las concentraciones de Au se utilizó espectrometría de absorción atómica (AAS), con un ataque químico preliminar por vía seca (ensayo al fuego).

5.2.2. LÍMITE DE DETECCIÓN DEL MÉTODO (LMD)

Definida generalmente como la cantidad o concentración mínima de una sustancia (también llamado analito) que puede ser detectada con alto grado de confianza mediante un método analítico determinado y cuya señal puede ser fácilmente distinguida de la del ruido. Las

condiciones para la determinación del LDM deben ser exactamente las mismas que las condiciones utilizadas para el análisis, ya que el LDM variará de analista a analista, por lo expuesto, es importante que los analistas determinen el LDM basado en sus condiciones operativas únicas.

Los límites se dan en porcentaje (%) para elementos mayores; en caso para elementos trazas, se da en partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb).

Tabla 7. Límites de Detección elemental

Elemento	Unidad	Límite de Detección (LMD)
Au	ppm	0.005
Ag	ppm	0.2
As	ppm	5
Bi	ppm	5
Cu	ppm	2
Fe	%	0.01
Mn	ppm	2
Mo	ppm	2
Pb	ppm	5
S	ppm	0.01
Sb	ppm	5
Zn	ppm	5
Ba	ppm	5
Co	ppm	1
P	ppm	10
Cd	ppm	1
Ti	ppm	100

5.2.3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS GEOQUÍMICOS

Los resultados de los análisis químicos de las 29 muestras tomadas en superficie sobre las vetas, muestran una buena respuesta geoquímica. A continuación, se presentan los mejores valores: Au (26.8 g/t), Cu (2.976 %), Ag (8 g/t), Zn (1.035 %), Pb (221.86 ppm), Mo (51 ppm) y Fe (20.07%). Es importante mencionar que se requiere una mayor densidad de muestreo para definir mejor la representatividad del contenido mineral en el Proyecto Cielo, sin embargo, evidencia una actividad hidrotermal relacionada posiblemente a un depósito polimetálico.

5.2.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento estadístico se realizó en las 29 muestras, todas pertenecen a una sola población (diorita) que siguen un mismo sistema NE-SO.

Primero, se seleccionaron 17 elementos principales (Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, S, Sb, Zn, Cd, Ba, P, Co, Ti) de la data geoquímica cruda, dichos elementos son parte de la firma geoquímica para el tipo de yacimiento que se plantea en la presente tesis.

Las muestras que presentaron valores debajo del límite de detección del método (LDM) han sido reemplazados por la mitad del valor del LDM (Bi y Ti) y aquellos que presentaron más del 50% de los datos bajo el límite de detección, fueron eliminados en los siguientes procedimientos estadísticos (Sb). En el caso del Bi y Ti, ambos presentan alrededor del 42% de sus muestras con valores inferiores a su MDL, por lo que para los cálculos estadísticos de estos valores han sido reemplazados por la mitad de su LDM. El Sb presenta el 90% de las muestras con valores por debajo de su LDM por lo que no se consideró posteriormente. Luego, se realizó el cálculo de los parámetros estadísticos: Media, mediana, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, asimetría y Curtosis. Estos estadísticos nos dan una idea generalizada y resumida sobre del comportamiento de la data. Los gráficos de caja "*box plot*" describen al centro de los datos a la mediana y a su alrededor, la dispersión; así como valores típicos y atípicos extremos llamados "*outliers*" quienes no han sido considerados en el tratamiento estadístico para el cálculo de los parámetros geoquímicos: Valor de fondo o *Background*, umbral o t*hreshold* y anomalías de cada elemento; siendo posteriormente reincorporados para el análisis final.

5.2.2.2. ANALISIS ESTADISTICO UNIVARIADO

Del procesamiento estadístico básico, a continuación, se muestran los principales estadísticos descriptivos: Media, desviación estándar, varianza, mediana, asimetría y curtosis; de los datos sin ninguna transformación (Tabla 8) y luego de ser transformados a logaritmo natural (Tabla 9). En la Tabla 8; se observa la amplia diferencia entre la media y mediana debido a la presencia de algunos valores altos en las leyes; a excepción del P que sus valores no distan mucho entre sí. La asimetría para cada variable es mayor a 0 reflejando una distribución positiva con sesgo a la derecha (no presentan una distribución normal). La curtosis es mayor a 0, por lo que la mayor concentración de los datos se encuentra en torno a la media. En la Tabla 9, la media y mediana varían en decimales pudiendo asumirse que el logaritmo de los datos sigue un comportamiento de distribución normal, esto se puede notar en: LnBi, LnFe, LnS, LnBa, LnMo, LnZn, LnTi, LnCo y LnCd. Las variables con una distribución simétrica son LnMo, LnFe, LnCd y LnBa. En la asimetría, los valores de las variables tienden a cero, esto quiere decir que

sus histogramas son asimétricos negativos con ligeros sesgos a la izquierda donde la mayor parte de sus valores son grandes y pocos datos son pequeños (LnAg, LnAs, LnCu, LnMn, LnCo, LnP); y asimétricos positivos con sesgos a la derecha cuando la mayor cantidad de sus datos son pequeños y pocos datos son grandes (LnAu, LnBi, LnMo, LnPb, LnS, LnZn, LnTi).

Tabla 8. Principales Estadísticos descriptivos para las variables sin transformar.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Mediana	Asimetría	Curtosis
Au_ppm	29	2.096	5.359	28.72	0.21	3.94	17.08
Ag_ppm	29	2.181	1.948	3.796	1.9	1.28	1.73
As_ppm	29	108.7	116.8	13652.7	75	2.8	9.82
Bi_ppm	29	148.3	270.4	893.29	21	1.44	1.84
Cu_%	29	0.619	0.687	73100.1	0.46	2.11	3.62
Fe _%	29	9.52	3.956	0.472	8.55	1.99	4.33
Mn_ppm	29	1531	1030	15.649	1288	0.72	0.24
Mo_ppm	29	12.75	12.22	1060440	9	0.84	0.02
Pb_ppm	29	36.09	42.67	149.27	19	2.19	4.96
S_ppm	29	852	586	1821.06	700	3.21	12.82
Zn_ppm	29	1063	2420	12.145	294	4.99	25.83
Ba_ppm	29	32.83	29.89	5857785	21	3.26	10.11
Co_ppm	29	35.65	40.17	1613.47	22	2.41	5.61
P_ppm	29	345.7	114.3	13056.6	348.3	0.29	0.02
Ti_%	29	0.0236	0.04014	0.00161	0.01	3.9	17.4
Cd_ppm	29	6.16	11.48	131.76	2	3.9	16.96

Tabla 9. Principales Estadísticos descriptivos para las variables transformadas a Logaritmo natural.

Variable / Elemento	Total	Media	Desv. Est.	Varianza	Mediana	Asimetría	Curtosis
Ln Au	29	-1.348	2.075	4.306	-1.561	0.6	-0.56
Ln Ag	29	0.244	1.231	1.516	0.642	-0.7	-0.51
Ln As	29	4.223	1.089	1.185	4.317	-0.92	2.23
Ln Bi	29	3.07	2.164	4.682	3.045	0.44	-1.25
Ln Cu	29	-1.182	1.447	2.094	-0.777	-0.88	0.5
Ln Fe	29	2.1691	0.4237	0.1795	2.1459	-0.15	-0.57
Ln Mn	29	7.06	0.838	0.703	7.161	-0.84	0.43
Ln Mo	29	2.201	0.837	0.7	2.197	0.17	-0.2
Ln Pb	29	3.162	0.888	0.789	2.944	0.54	-0.18
Ln S	29	6.58	0.572	0.327	6.551	0.33	0.31
Ln Zn	29	5.763	1.385	1.917	5.684	0.87	1.11
Ln Ba	29	3.085	0.966	0.933	3.045	-0.22	-0.35
Ln Co	29	3.063	1.259	1.586	3.091	-2.22	9.75
Ln P	29	5.787	0.362	0.131	5.853	-0.75	0.88
Ln Ti	29	-4.408	1.030	1.060	-4.605	1.09	0.51
Ln Cd	29	0.941	1.348	1.817	0.693	-0.11	0.95

5.2.2.3. ANALISIS ESTADISTICO MULTIVARIADO

En la evaluación de la relación estadística que existe entre las variables, se calculó el índice de correlación de Pearson a escala logarítmica, ya que muestra un mejor contraste estadístico. En tal sentido, se toma en consideración los siguientes rangos de correspondencia entre las variables:

Tabla 10. Tabla de intensidad de correlación.

Intensidad	Correlación Positiva	Correlación Negativa	Color
Muy buena	< 0.85 - ≤ 1.00	<-0.85 - ≥ -1.00	
Buena	< 0.50 - ≤ 0.85	< -0.50 - ≥ -0.85	
Moderada	< 0.33 - ≤ 0.50	< -0.33 - ≥ -0.50	
Débil	< 0.15 - ≤ 0.33	< -0.15 - ≥ -0.33	
Muy débil	> 0 - ≤ 0.15	<0 - ≥ -0.15	

La correlación se elaboró en Excel (**Tabla 11**), determinando correlaciones de Pearson entre los 16 elementos (variables) asociados al tipo de depósito mineral (Camprubí y González-Partida, 2017), de los cuales se tomaron 6 elementos indicadores (Au, Cu, Fe, Ag, Pb, Zn) de mineralización. Cabe resaltar que el análisis de correlación es solamente una guía y no corrobora una relación determinante entre las variables. Sin embargo, en caso las correlaciones entre las variables sean coherentes con los procesos y relaciones geológicas-geoquímicas, se podría asumir lógicamente una relación causal (Siegel, 1962).

De la Tabla 11 se ha distinguido las principales correlaciones:

- Correlación moderada y positiva entre Au y Bi.
- Correlación positiva en intensidad moderada entre Ag- Pb-Bi.
- Correlación positiva y en intensidad buena-moderada entre Cu-Ag-Pb.
- Correlación positiva y buena entre Pb-Fe; y moderada entre Pb- Ag, Cu, As, Mo, Bi, S.
- Correlación positiva y buena entre Zn-Mn-Co.
- Correlación positiva y en intensidad buena-moderada entre As-Pb-Fe-Mo-S.
- Correlación positiva y en intensidad buena entre Ba-P.

Tabla 11. Diagrama de Correlación de Pearson con datos superficiales.

Variable	Ln_Au	Ln_Ag	Ln_As	Ln_Ba	Ln_Bi	Ln_Cu	Ln_Fe	Ln_Mn	Ln_Mo	Ln_Pb	Ln_S	Ln_Zn	Ln_Co	Ln_P	Ln_Ti	Ln_Cd
Ln_Au	1.00															
Ln_Ag	0.23	1.00														
Ln_As	0.15	0.17	1.00													
Ln_Ba	-0.03	-0.68	0.07	1.00												
Ln_Bi	0.34	0.40	0.22	-0.34	1.00											
Ln_Cu	-0.18	**0.67**	0.09	-0.48	0.27	1.00										
Ln_Fe	-0.15	0.30	0.36	-0.28	-0.02	0.32	1.00									
Ln_Mn	-0.17	-0.32	-0.39	0.27	-0.39	0.10	-0.24	1.00								
Ln_Mo	0.14	0.22	**0.52**	-0.10	0.08	0.24	0.44	-0.40	1.00							
Ln_Pb	0.22	0.42	0.44	-0.24	0.40	0.43	0.52	-0.25	0.45	1.00						
Ln_S	0.18	0.21	0.50	0.03	0.07	0.03	0.45	-0.47	0.57	**0.50**	1.00					
Ln_Zn	-0.07	0.07	0.10	0.10	-0.12	0.21	0.13	0.59	-0.05	0.05	-0.06	1.00				
Ln_Co	0.05	-0.33	0.16	0.41	-0.11	-0.02	-0.01	0.37	0.08	-0.14	-0.05	0.53	1.00			
Ln_P	-0.41	-0.46	-0.01	0.54	-0.61	-0.11	0.03	0.36	0.00	-0.16	0.18	0.16	0.18	1.00		
Ln_Ti	-0.17	0.09	-0.33	-0.03	-0.35	0.19	-0.15	0.31	-0.06	-0.11	-0.12	0.12	-0.07	0.39	1.00	
Ln_Cd	-0.42	-0.06	0.40	0.12	0.02	0.11	-0.08	0.18	-0.03	-0.03	0.04	0.49	0.25	0.34	0.00	1.00

Tabla 12. Principales correlaciones en vetas superficiales

Variables	Muy buena	Buena	Moderada	Débil	Muy Débil
Au			Bi	Ag, Pb, S, Mn	Zn, Fe, Mo, As
Cu		Ag	Pb	Zn, Mo, Bi, Fe	As, S, Mn
Fe		Pb	Mo, As, S	Ag, Cu	Zn,P
Ag		Cu	Pb, Bi	Au, As, Mo, S, Fe	Zn, Ti
Pb		Fe	Ag, Cu, As, Mo, Bi, S	Au	Zn
Zn		Mn, Co	Cd	Cu, P	Ag, Pb, As, Fe, Ba , Mo, S, Ti

5.2.2.4. CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

Una vez se haya comprobado la normalidad de los principales elementos, se procede con retirar los valores atípicos y atípicos extremos de los valores logaritmizados, tal como se observa en los diagramas *box plot* de cada elemento.

De manera que, para el cálculo del valor de fondo o *Background* y los umbrales de contenidos anómalos para los diferentes elementos indicadores de mineralización de oro y asociados: Au, Cu, Fe Ag, As, Mn, Mo, Pb, S, Zn, Ba, P, Co, Ti, Cd; se fundamentó en los parámetros estadísticos según la expresión siguiente:

$$\text{Valor de fondo} = \bar{X}_{Ln}$$

$$\text{Umbral (T)} = \bar{X}_{Ln} + \sigma_{Ln}$$

Donde:

$\bar{X}_{Ln}$: Media aritmética de los Logaritmos de cada elemento

σ_{Ln} : Desviación estándar de los Logaritmos de cada elemento

Para el cálculo del umbral del fósforo (P) se trabajó sin el logaritmo natural de la variable puesto que presenta una distribución normal (campana simétrica) sin ser transformado (Fig. 79).

5.2.2.4.1. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

Los valores que superen al umbral geoquímico o *Threshold* (T) son considerados anomalías geoquímicas. Además, en esta etapa se consideran los valores atípicos que fueron retirados antes del tratamiento estadístico. Luego de calcular el umbral, se hará la conversión del valor en escala logarítmica a escala natural y los valores mayores a éste se definirán como anomalías.

El rango de intensidad de las anomalías se calculó en función al umbral de manera que se considera:

1.- Sub anomalía, con valor que van desde el valor mínimo hasta el valor del umbral (1T)

2-Anomalía débil, con valores que van desde el umbral (1T) hasta 2 veces el umbral (2T).

3.- Anomalía moderada, con valores que van desde (2T) hasta 3(T)

4.- Anomalía fuerte, con valores que van desde 3(T) hasta 4(T).

En el caso del Bi y Ti, cerca del 50% de sus datos tienen valores que están por debajo del límite de detección por lo que se consideró el Percentil 75 (P75) como umbral de la variable.

Tabla 14. Parámetros geoquímicos para 13 elementos que representan anomalías en vetas en el Proyecto Cielo.

Variable	N° MUESTRAS	MUESTRAS EMPLEADAS	VALOR MINIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR DE FONDO	UMBRAL	SUB ANOMALÍA	ANOMALÍA DEBIL (1T - 2T)	ANOMALÍA MODERADA (>2T- 3T)	ANOMALÍA FUERTE (>3T)
Au ppm	29	29	0.02	26.8	0.26	2.07	0.02 - 2.07	>2.07 - 4.14	>4.13 - 6.21	>6.21
Ag ppm	29	29	0.1	8	1.28	4.37	0.1 - 4.37	>4.37 - 8.00		
As ppm	29	28	2.50	588	76.80	188.87	2.50 - 188.87	>188.87 - 377.74	>377.74 - 566.61	>566.61- 588
Bi ppm	29	29	2.50	1016	*	203.50	2.50 - 203.50	203.50 - 407	407 - 610.5	> 610.5
Cu %	29	28	0.007	2.976	0.35	1.25	0.007 - 1.25	>1.25 - 2.51	>2.51 - 2.976	
Fe %	29	29	3.81	20.07	8.75	13.37	3.81 - 13.37	>13.37 - 20.07		
Mn ppm	29	28	132	3753	1258.97	2637.85	132 - 2637.85	>2637.85 - 3753		
Mo ppm	29	29	2	51	9.04	20.87	2 - 20.87	>20.87 - 41.73	> 41.73 - 51.00	
Pb ppm	29	29	5	221.86	23.63	57.44	5 - 57.44	>57.44 - 114.89	>114.89 - 172.33	> 172.33
S ppm	29	28	300	3300	682.22	1125.06	300 - 1125.06	>1125.06 - 2250.13	>2250.13 - 3300	
Zn ppm	29	27	34.1	10350	247.90	714.64	34.1 - 714.64	>714.64 - 1429.27	>1429.27 - 2143.91	>3095.19
Ba ppm	29	29	2.5	124	21.86	57.41	2.5 - 57.41	> 57.41 - 114.82	>114.82 - 124	
Co ppm	29	28	0.125	175	25.71	56.85	0.125 - 56.85	>56.85 - 113.71	>113.71 - 170.56	>170.56 - 175
P ppm	29	28	121	604	345.70	459.97	121 - 459.97	>459.97 - 604		
Ti %	29	29	0.005	0.21	*	0.03	0.005 - 0.03	>0.03 - 0.05	>0.05 - 0.08	>0.08
Cd ppm	29	27	0.125	59	2.56	9.87	0.125 - 9.87	>9.87 - 19.73	>19.73 - 29.60	>29.60

* Cerca del 50% de las muestras con valores por debajo del limite de detección y de distribución errática.

Tabla 13. Porcentaje de anomalías por elemento.

Variable	N° MUESTRAS	SUB ANOMALÍA %	ANOMALÍA DÉBIL %	ANOMALÍA MODERADA %	ANOMALÍA FUERTE %
Au ppm	29	79.31	6.90	6.90	6.90
Ag ppm	29	89.66	10.34	0.00	0.00
As ppm	29	89.66	6.90	0.00	3.45
Bi ppm	29	75.86	10.34	0.00	13.79
Cu %	29	89.66	6.90	3.45	0.00
Fe %	29	82.76	17.24	0.00	0.00
Mn ppm	29	86.21	12.90	0.00	0.00
Mo ppm	29	82.76	10.34	6.90	0.00
Pb ppm	29	79.31	17.24	0.00	3.45
S ppm	29	82.76	13.79	3.45	0.00
Zn ppm	29	79.31	10.34	0.00	10.34
Ba ppm	29	79.31	17.24	3.45	0.00
Co ppm	29	79.31	10.34	0.00	10.34
P ppm	29	86.21	13.79	0.00	0.00
Ti %	29	89.66	6.90	3.45	0.00
Cd ppm	29	86.21	6.90	3.45	3.45

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL ORO

El oro presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 1.B.** Histograma Lognormal y **Fig. 2.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial de la variable en las estructuras va desde 0.02 ppm a 26.8 ppm. Gran parte de su población de valores se encuentra en el rango de 0.02 a 2.07 ppm que equivale al 79.31 % del total de la población.

Según el diagrama de Pearson, el oro presenta una correlación positiva en grado moderado con el Bi, y una correlación débil Ag, Cu, Pb, S y Mn (**Tabla 11**).

Para el cálculo de los parámetros geoquímicos no se consideraron los valores atípicos, los cuales se pueden obtener de los gráficos de caja (box plot) en la distribución Log Normal (ver Anexo 4 **Fig. 1. B.**). Para este caso, no presenta valores atípicos por lo que se trabajó con las 29 muestras. El valor de fondo calculado es 0.26 ppm y el umbral es de 2.07 ppm.

Además, se reconocieron 6 valores sobre el umbral que equivale al 20.69 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil a fuerte. A continuación, se presenta los valores más altos en Au muestreados en superficie sobre las vetas.

Cód. Muestra	Au (ppm)	Ubicación
43224	5.75	Veta Toro
43282	11.5	Veta Cumbre - Norte
43271	26.8	Veta Cumbre - Sur
43290	4.61	Veta Cumbre
43291	2.97	Veta Cielo - Norte

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Au (ppm)	Ubicación
43308	14.2	Labor Cielo Sur – Nv 640
43309	0.98	Labor Cumbre Norte – Nv 630

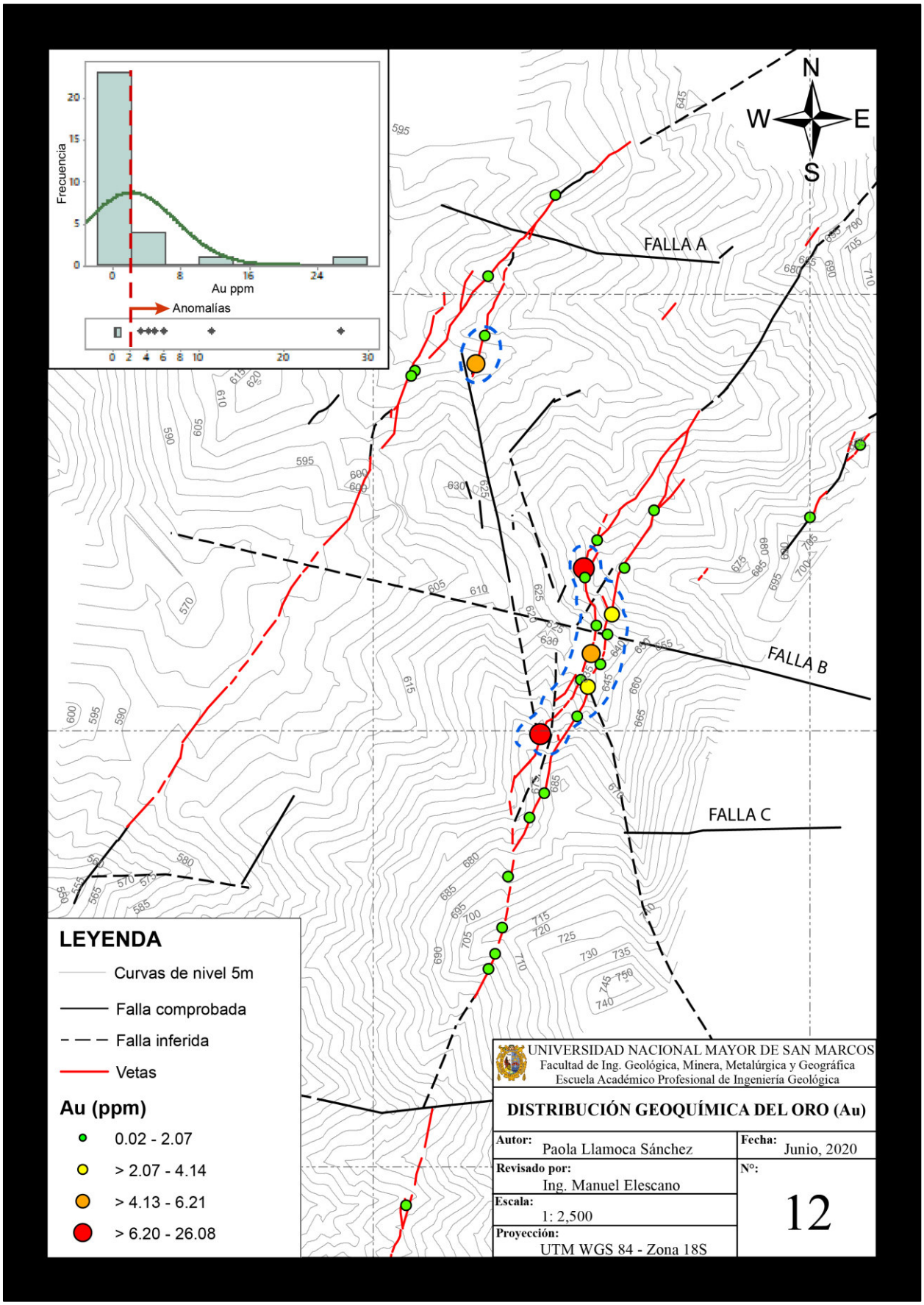


Lámina 12. Mapa de distribución geoquímica del oro.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE LA PLATA

La plata presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 4. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 6** Prueba de Normalidad). La distribución superficial de la plata en las estructuras va desde 0.1 ppm a 8 ppm. Gran parte de su población de valores se encuentra en el rango de 0.1 a 4.37 ppm que corresponde al 89.66 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el diagrama de Pearson para la plata corresponde a una correlación positiva y buena con el Cu y en intensidad moderada con Pb y Bi (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 1.28 ppm y el umbral es 4.37 ppm, en este caso no se presentaron valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 4. B.**); de modo que se trabajó con las 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 3 valores sobre el umbral que equivale al 10.34 % de todas las muestras y corresponden a una anomalía de intensidad débil. A continuación, se presenta los valores más altos en Ag muestreados en superficie sobre las vetas.

Cód. Muestra	Ag (ppm)	Ubicación
43269	3.1	Veta Cielo - Norte
43271	3.7	Veta Cumbre - Sur
43291	5.8	Veta Cielo - Norte
43275	8	Veta Cielo - Sur

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Ag (ppm)	Ubicación
43309	18.6	Labor Cumbre Norte – Nv 630
43308	74.7	Labor Cielo Norte – Nv 630

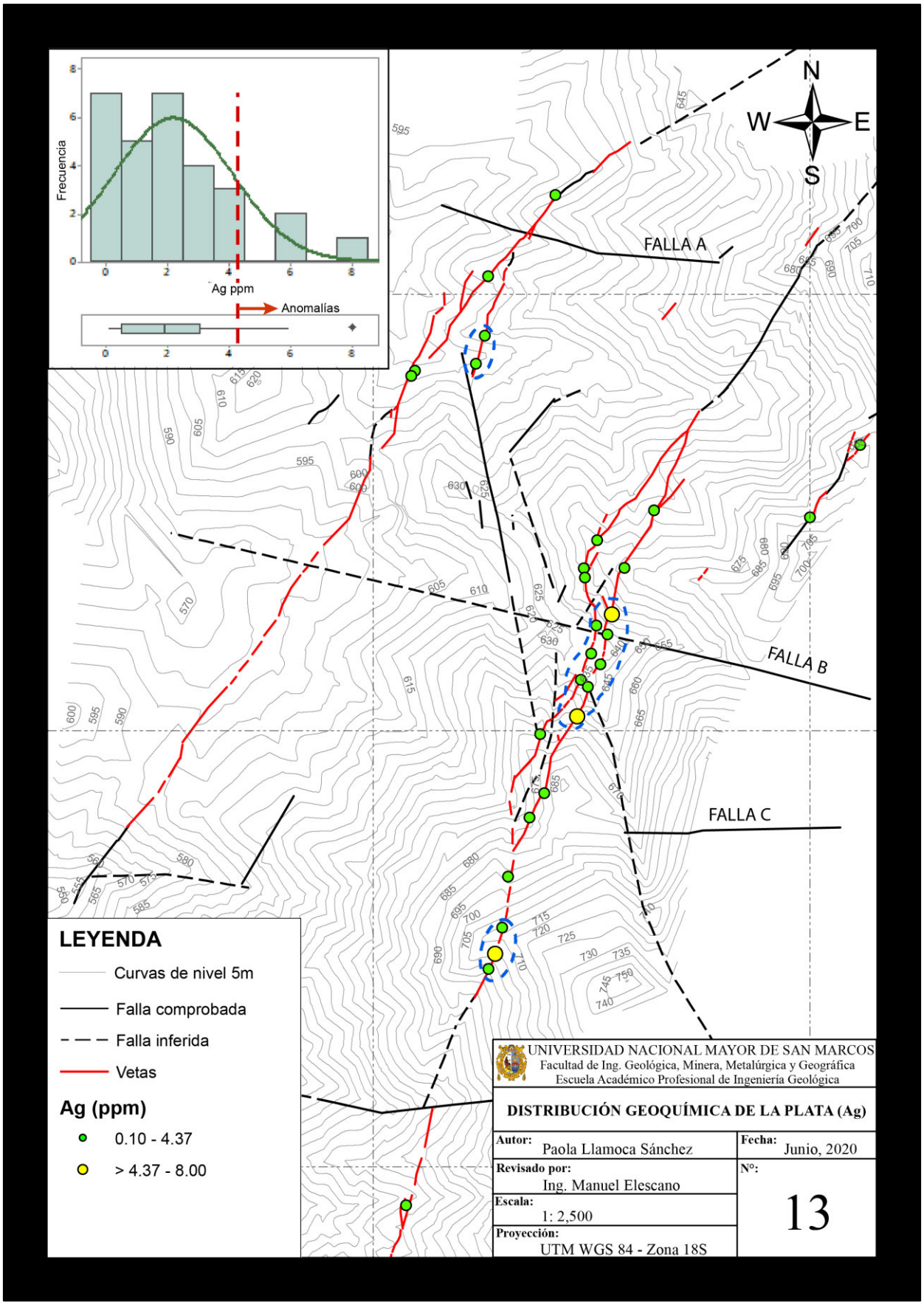


Lámina 13. Mapa de distribución geoquímica de la plata.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL ARSÉNICO

El arsénico posee un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 7. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 8** Prueba de Normalidad). Las distribuciones superficiales del arsénico en las estructuras se encuentran en el rango de 2.50 ppm a 588 ppm. Gran parte de su población de valores se encuentra dentro del rango de 2.50 a 188.87 ppm que representan el 89.66 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el arsénico corresponde a una correlación positiva y buena con Mo y en intensidad moderada con Pb, Fe y S. Por otro lado, presenta una correlación negativa y moderada con el Mn (**Tabla 11**).

El valor del fondo es de 76.8 ppm y el umbral es 188.87 ppm, en este caso presentó un valor atípico según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 7. B.**); de modo que se trabajó con 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 3 valores por encima del umbral que equivale al 10.34 % del total de muestras y corresponden a una anomalía de intensidad débil y fuerte.

Cód. Muestra	As (ppm)	Ubicación
43268	260	Veta Toro
43292	588	Veta Rosario
43299	309	Veta Cumbre - Cielo Sur

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	As (ppm)	Ubicación
43308	339	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	82	Labor Cumbre Norte – Nv 630

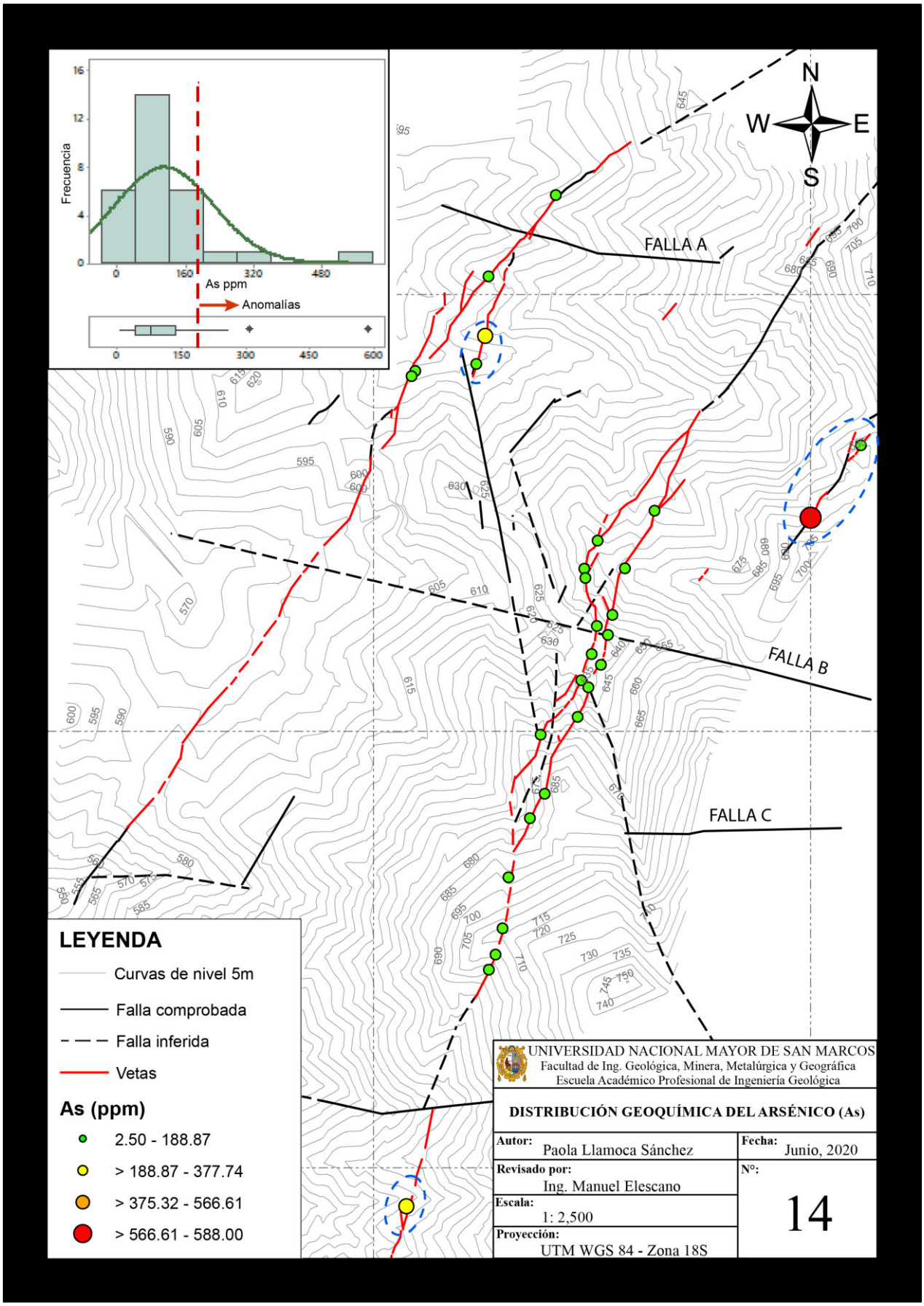


Lámina 14. Mapa de distribución geoquímica del arsénico.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL BISMUTO

El Bismuto posee un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 10 B.** Histograma Lognormal y **Fig. 11.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Bismuto en las estructuras va desde 2.50 ppm a 1016 ppm. Gran parte de su población de valores se encuentra dentro de los rangos de 2.50 a 203.50 ppm que corresponde al 75.86 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Bismuto corresponde a una correlación positiva y moderada con el Au, Ag y Pb; además, una correlación negativa y moderada con el Mn (**Tabla 11**).

Se estimó el umbral utilizando el método no paramétrico, basada en el percentil 75 (P75) cuyo valor calculado es 203.50 ppm.

Se reconocieron 7 valores sobre el umbral que equivale al 22.58% del total de muestras y corresponden a una anomalía de intensidad débil y fuerte.

Cód. Muestra	Bi (ppm)	Ubicación
43299	1016	Veta Cumbre-Cielo Sur
43275	741	Veta Cielo Sur
43291	699	Veta Cielo

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	**Bi (ppm)**	**Ubicación**	**Tipo Muestreo**
43308	810	Labor Cielo Sur – Nv. 640	Compósito
43309	113	Labor Cumbre Norte – Nv 630	Compósito

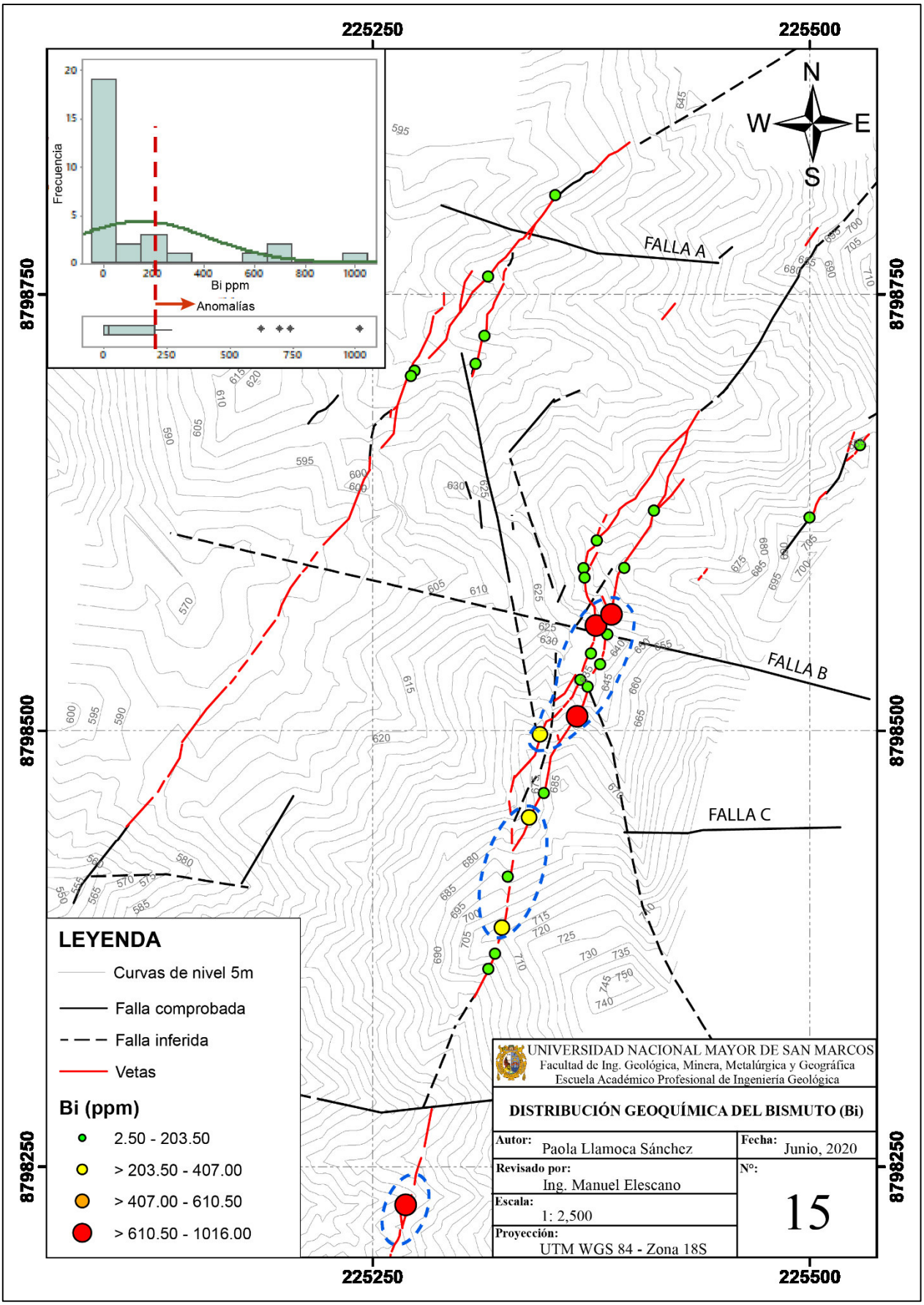


Lámina 15. Mapa de distribución geoquímica del Bismuto

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL COBRE

El Cobre presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 13. B.** Histograma lognormal y **Fig. 14.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Cobre en las estructuras va desde 0.007 ppm a 2.976 ppm. Gran parte de su población de valores está en el rango de 0.007 a 1.25 ppm que representan el 89.66 % del total de su población.

El índice de correlación de Pearson para el Cobre presenta una correlación positiva y buena con la Ag y en intensidad moderada con el Pb (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 0.35 ppm y el umbral es 1.25 ppm, en este caso presentó 1 valor atípico según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 13. B.**); de modo que se trabajó con 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 3 valores por encima del umbral que equivale al 10.34 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil a moderada.

Cód. Muestra	Cu (%)	Ubicación
43278	2.976	Veta Cumbre-Cielo Sur
43269	2.077	Veta Cielo
43235	1.82	Veta Cielo Sur

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Cu (%)	Ubicación	Tipo de muestreo
43308	0.26	Labor Cielo Sur – Nv. 640	Compósito
43309	1.08	Labor Cumbre Norte – Nv. 630	Compósito

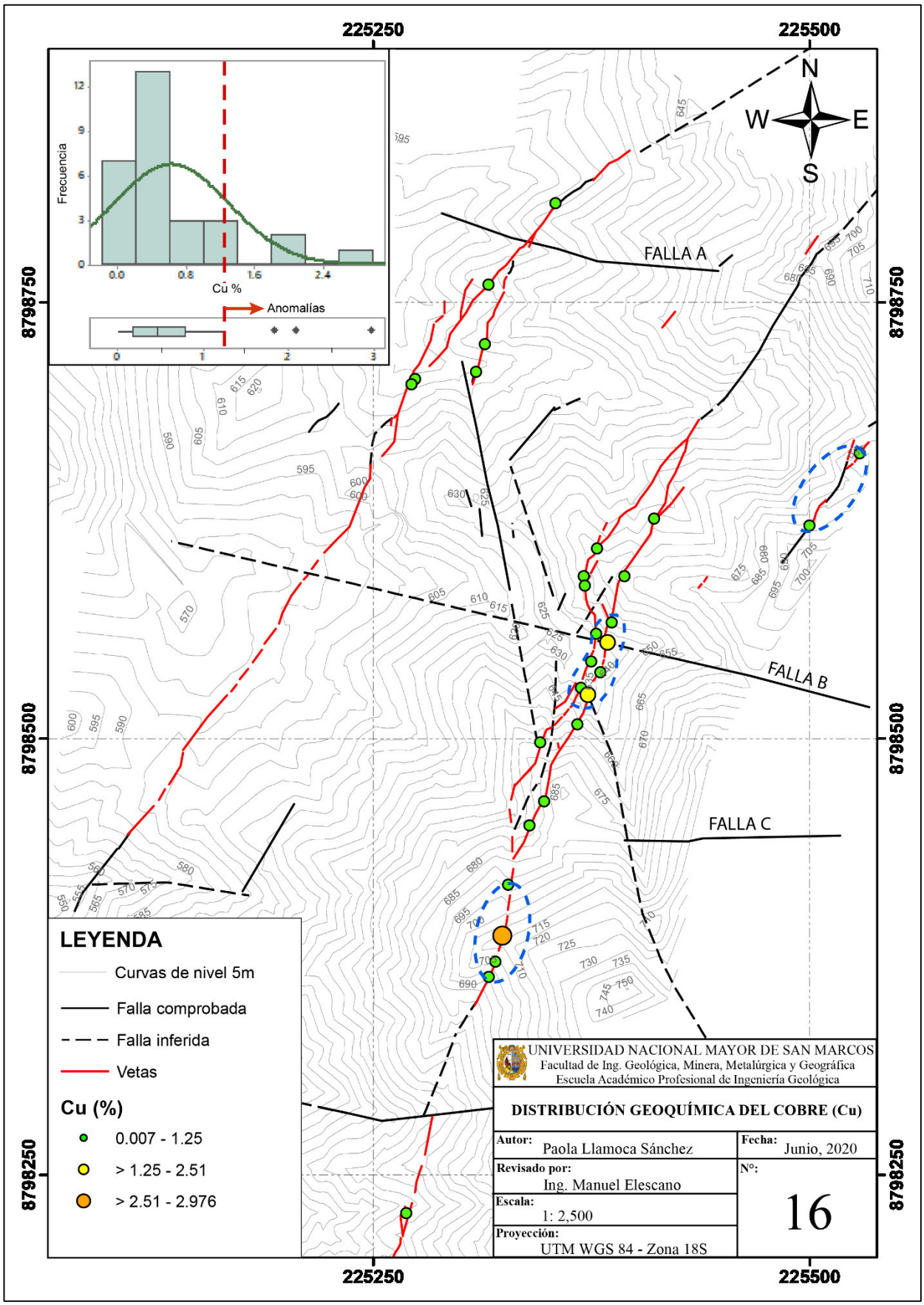


Lámina 16. Mapa de distribución geoquímica del cobre.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL FIERRO

El Hierro presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 16. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 17.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Fierro en las estructuras va desde 3.81 ppm a 20.07 ppm. Gran parte de su población de valores está en el rango de 3.81 a 13.37 ppm que corresponde al 82.76 % de la población total.

El índice de correlación de Pearson para el Fierro corresponde a una correlación positiva y buena con el Pb; y en grado moderado con el Mo, S y As (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 8.75 ppm y el umbral es 13.37 ppm, en este caso no presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box Plot de su distribución Log normal (**Fig. 16. B.**); de modo que se trabajó con 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 5 valores sobre el umbral que equivale al 17.24 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil.

Cód. Muestra	Fe (%)	Ubicación
43292	20.07	Veta Rosario
43278	15.43	Veta Cumbre-Cielo Sur
43268	15.32	Veta Toro

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Fe (%)	Ubicación
43308	19.62	Labor Cielo Sur – Nv 640
43309	7.59	Labor Cumbre Norte – Nv. 630

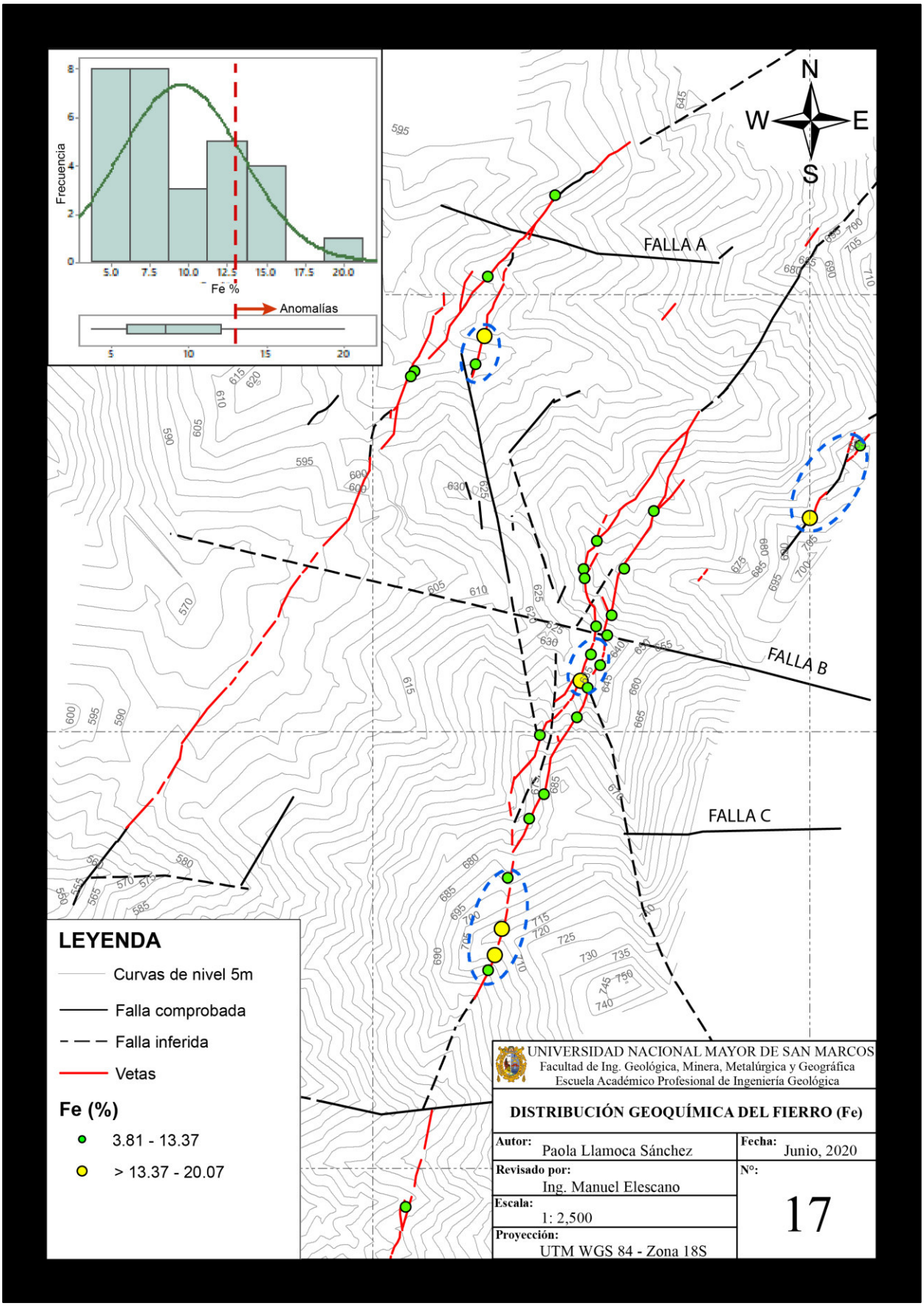


Lámina 17. Mapa de distribución geoquímica del hierro.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL MANGANESO

El Manganeso presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 21. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 20** Prueba de Normalidad). Las distribuciones superficiales del Manganeso en las estructuras están en el rango de 132 ppm a 3753 ppm. Gran parte de su población de valores va desde 132 a 2637.85 ppm que corresponde al 86.21 % del total de la población.

El índice de correlación de Pearson para el Manganeso corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el Zn; y una correlación negativa en intensidad moderada con el Mo, As, Bi y S (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 1258.97 ppm y el umbral es 2637.85 ppm, en este caso presentó 1 valor atípico según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 21 B.**); de modo que se trabajó con 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 4 valores sobre el umbral que equivale al 13.79 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía débil.

Cód. Muestra	Mn (ppm)	Ubicación
43303	3753.0	Veta Cumbre Norte
43234	3603.28	Veta Cumbre Sur
43293	3516.0	Veta Cumbre-Cielo Sur

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Mn (ppm)	Ubicación
43308	225	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	588	Labor Cielo Norte – Nv. 630

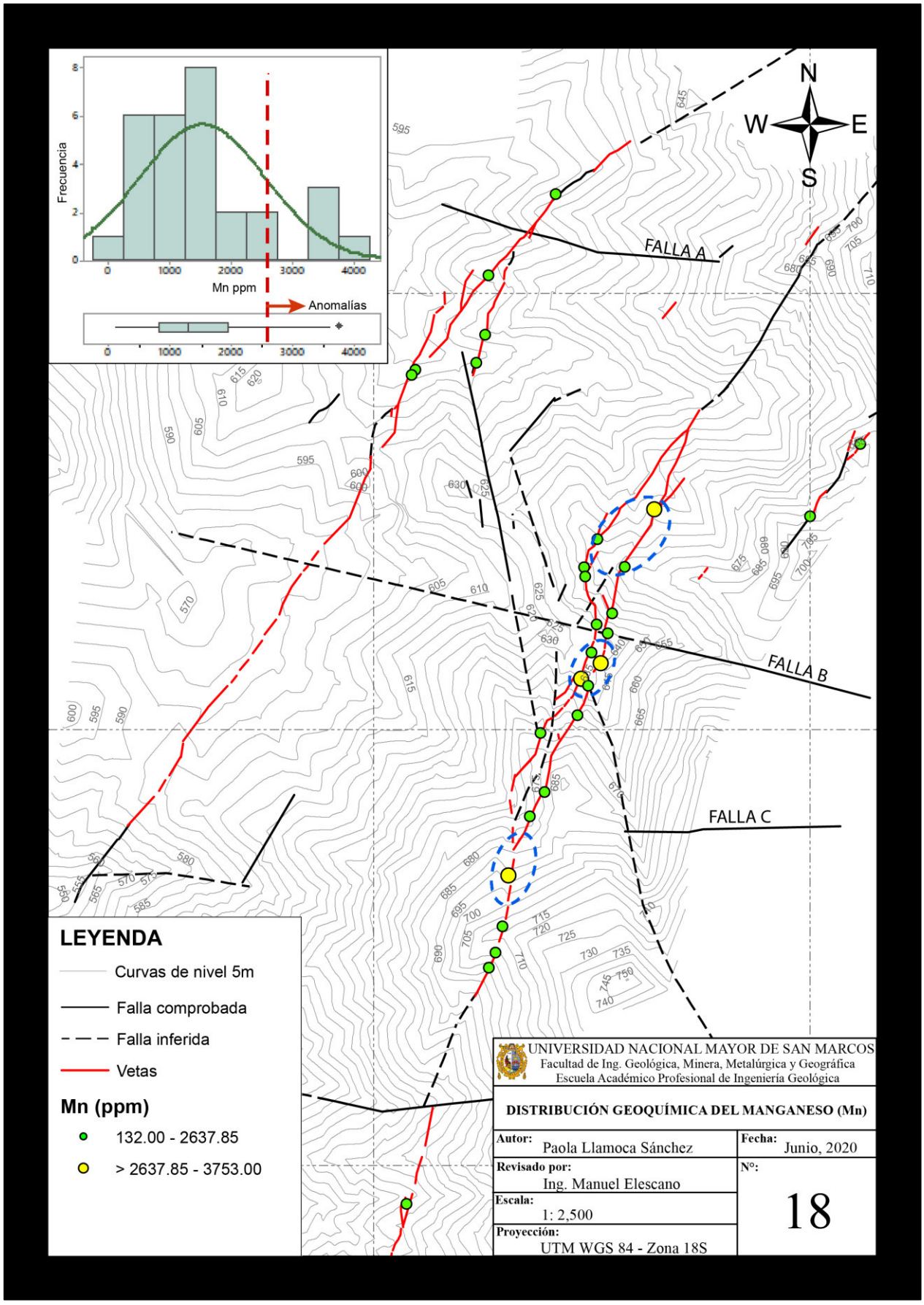


Lámina 18. Mapa de distribución geoquímica del manganeso.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL MOLIBDENO

El Molibdeno presenta un comportamiento Log normal (ver Anexo 4 **Fig. 22. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 23** Prueba de Normalidad). Las distribuciones superficiales del Molibdeno en las estructuras están en el rango de 2 ppm a 51 ppm. Gran parte de su población de valores va desde 2 a 20.87 ppm que corresponde al 82.76 % del total de su población.

El índice de correlación de Pearson para el Molibdeno corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el S y en intensidad moderado con el As, Fe y Pb; y una correlación negativa en intensidad moderada con el Mn (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 9.04 ppm y el umbral es 20.87 ppm, en este caso no presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 22. B.**); de modo que se trabajó con 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 5 valores sobre el umbral que equivale al 17.24 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil a moderado.

Cód. Muestra	Mo (ppm)	Ubicación
43280	73	Veta S/N
43268	51	Veta Toro
43292	50	Veta Rosario

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Mo (ppm)	Ubicación
43308	11	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	12	Labor Cielo Norte – Nv. 630

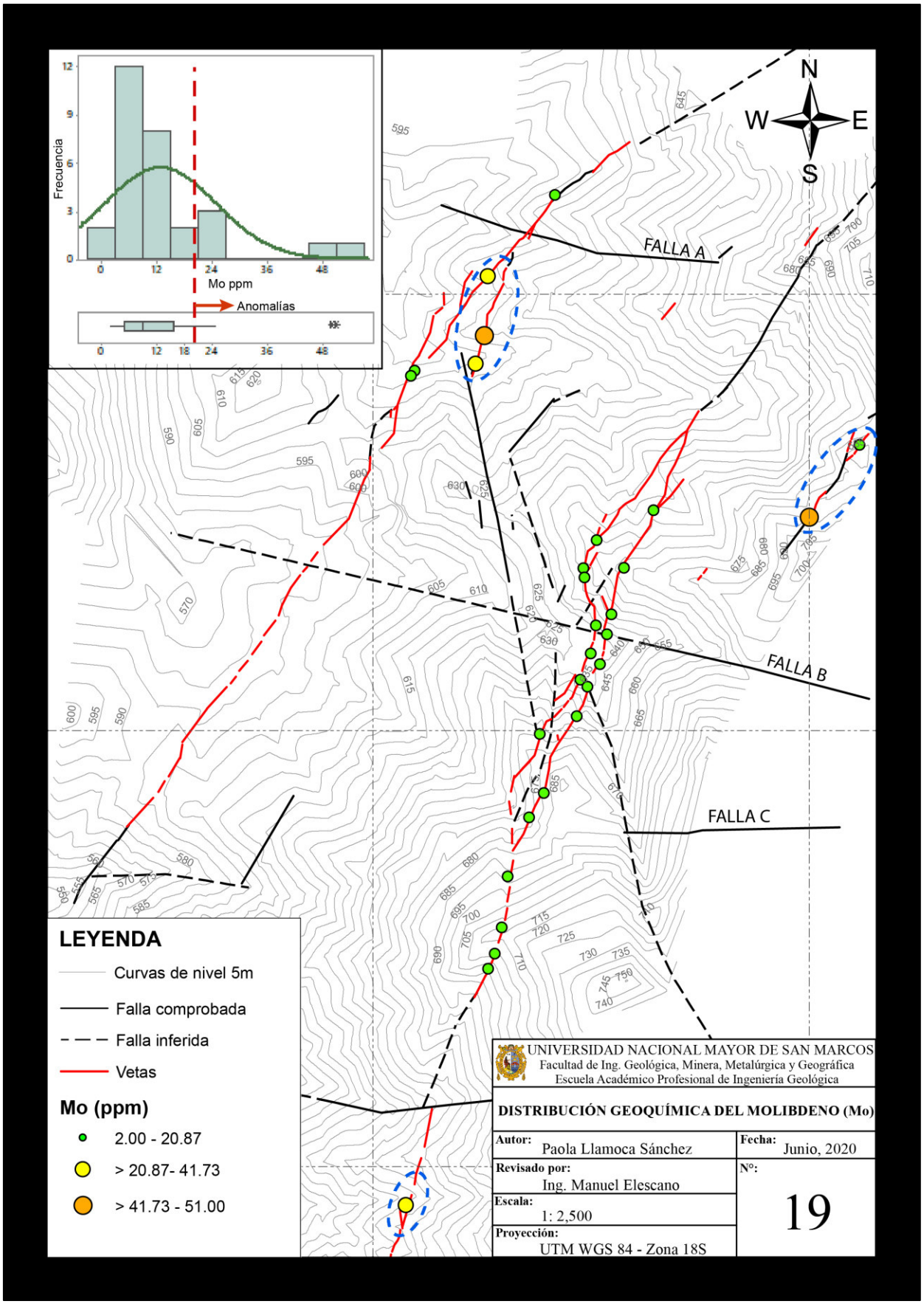


Lámina 19. Mapa de distribución geoquímica del molibdeno.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL PLOMO

El Plomo presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 25. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 26.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Plomo en las estructuras va desde 5 ppm a 221.86 ppm. Gran parte de su población de valores está en el rango de 5 a 57.44 ppm que corresponde al 79.31 % del total de la población.

El índice de correlación de Pearson para el Plomo corresponde a una correlación positiva y buena con el Fe; además de una correlación en intensidad moderada con el Cu, Ag, As, Mo, Bi y S (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 23.63 ppm y el umbral es 57.44 ppm, en este caso no presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 25 B.**); de modo que se trabajó con 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 6 valores sobre el umbral que equivale al 20.69 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía débil y fuerte.

Cód. Muestra	Pb (ppm)	Ubicación
43224	221.86	Veta Rosa-Toro
43278	94	Veta Cumbre-Cielo Sur
43299	72	Veta Cumbre-Cielo Sur

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Pb (ppm)	Ubicación
43308	59	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	22	Labor Cielo Norte – Nv. 630

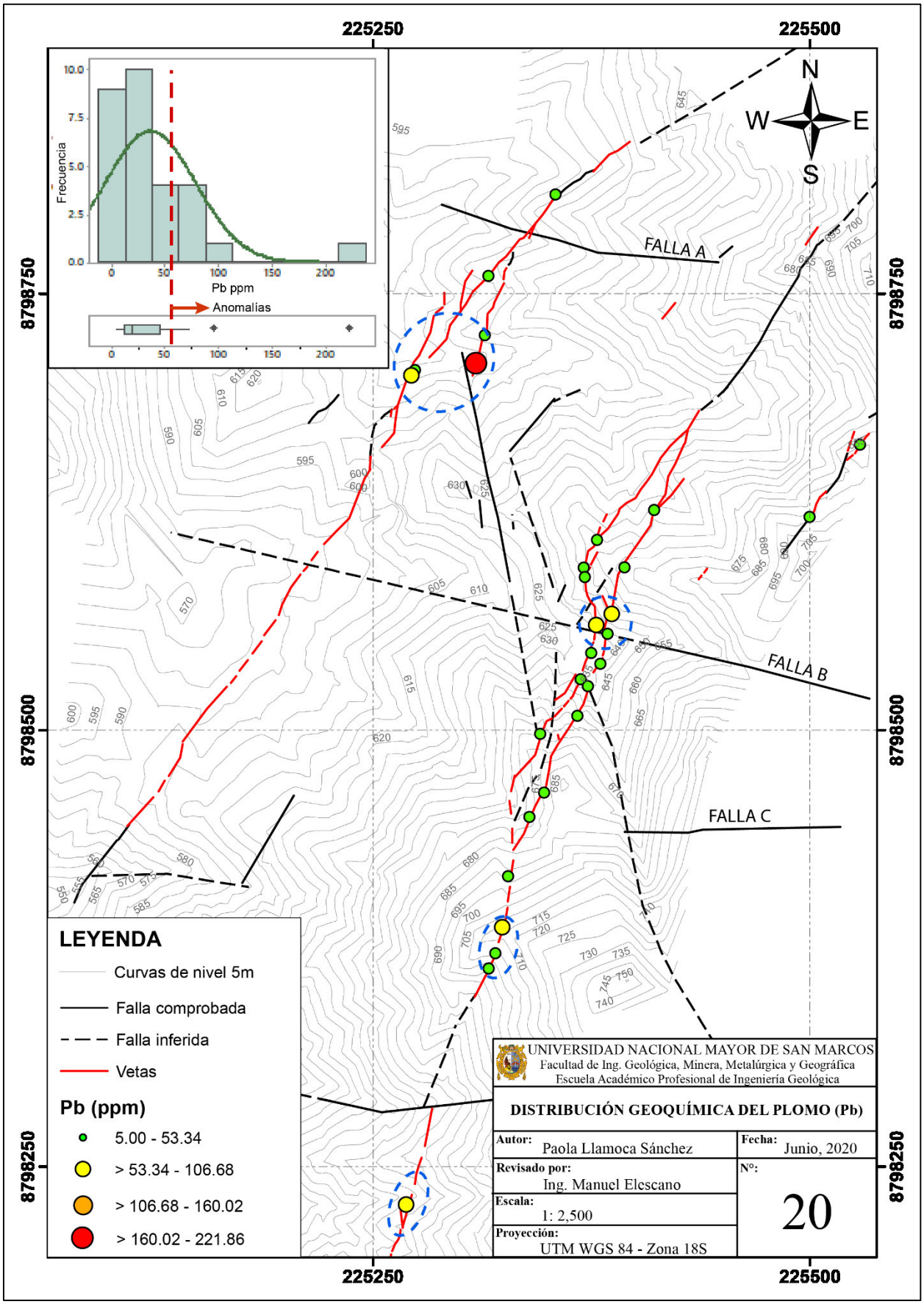


Lámina 20. Mapa de distribución geoquímica del plomo.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL AZUFRE

El Azufre presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 28. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 29.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Azufre en las estructuras va desde 300 ppm a 3300 ppm. Gran parte de su población de valores está en el rango de 300 a 1089.31 ppm que corresponde al 82.76 % del total de su población.

El índice de correlación de Pearson para el Azufre corresponde una correlación positiva en intensidad buena con el Mo y en intensidad moderada con el Pb, As y Fe; además presenta una correlación negativa en intensidad moderada con el Mn (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 682.22 ppm y el umbral es 1125.06 ppm, en este caso presentó un valor atípico según como se observa en la gráfica Box Plot de su distribución Log normal (**Fig. 28. B.**); de modo que se trabajó con 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 5 valores sobre el umbral que equivale al 17.24 % de todas las muestras que corresponden a una anomalía débil a moderada.

Cód. Muestra	S (ppm)	Ubicación
43292	3300	Veta Rosario
43224	1400	Veta Rosa-Toro
43291	1400	Veta Cielo

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	S (ppm)	Ubicación
43308	16100	Labor Cielo Sur – Nv 640
43309	5000	Labor Cumbre Norte – Nv. 630

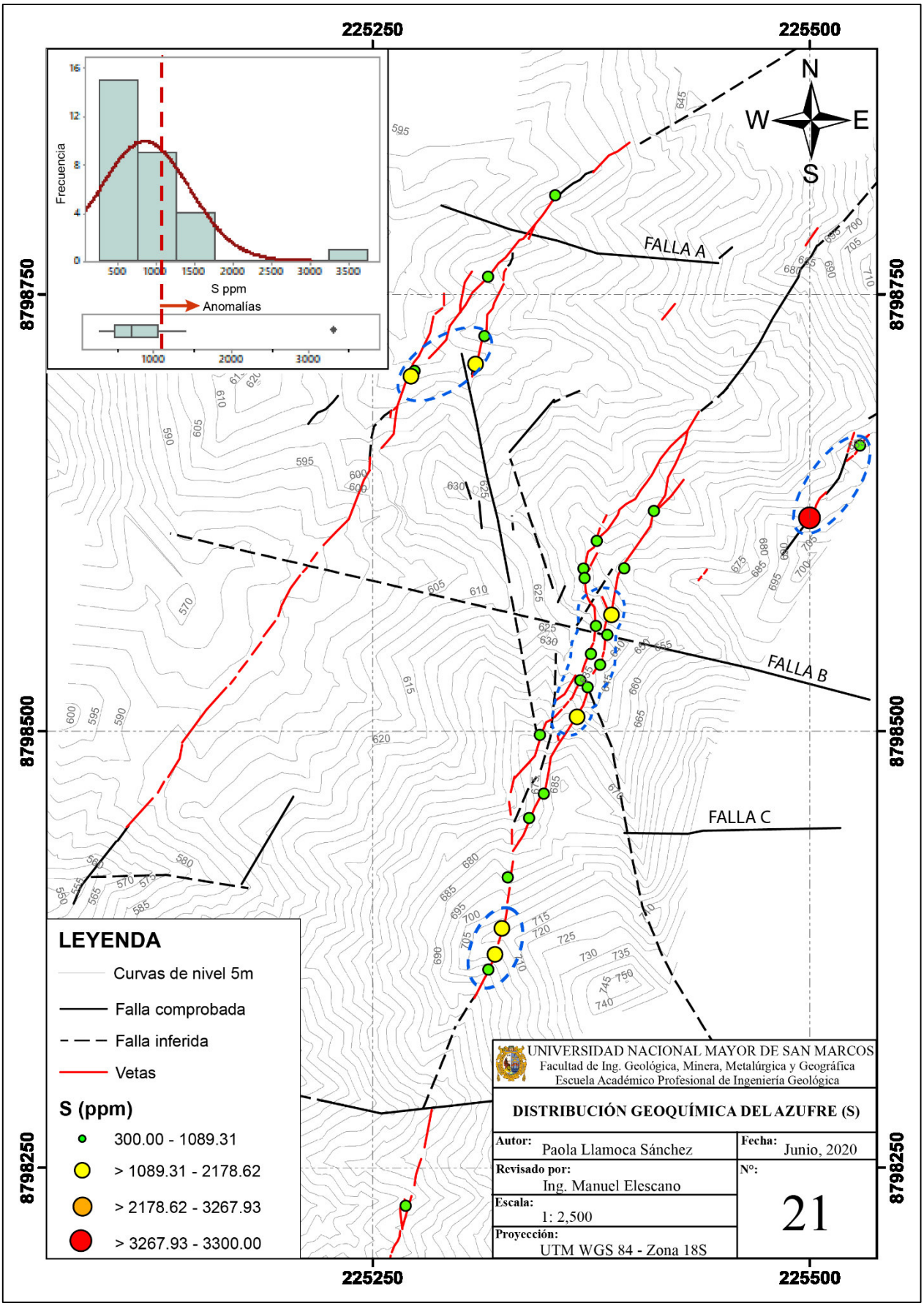


Lámina 21. Mapa de distribución geoquímica del azufre.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL ZINC

El Zinc presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 31. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 32.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Zinc en las estructuras va desde 34.1 ppm a 10350 ppm. Gran parte de la población de valores está en el rango de 34.1 a 714.64 ppm que corresponde al 79.31 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Zinc corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el Mn y Co; y en intensidad moderada con Cd en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 247.9 ppm y el umbral es 714.64 ppm, en este caso se presentó dos valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 31. B.**); de modo que se trabajó con las 27 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 6 valores sobre el umbral que equivale al 20.69 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad moderada a fuerte.

Cód. Muestra	Zn (ppm)	Ubicación
43303	10350	Veta Cielo Norte
43292	8416	Veta Rosario
43288	3827	Veta Rosario

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Zn (ppm)	Ubicación
43308	114	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	265	Labor Cielo Norte – Nv. 630

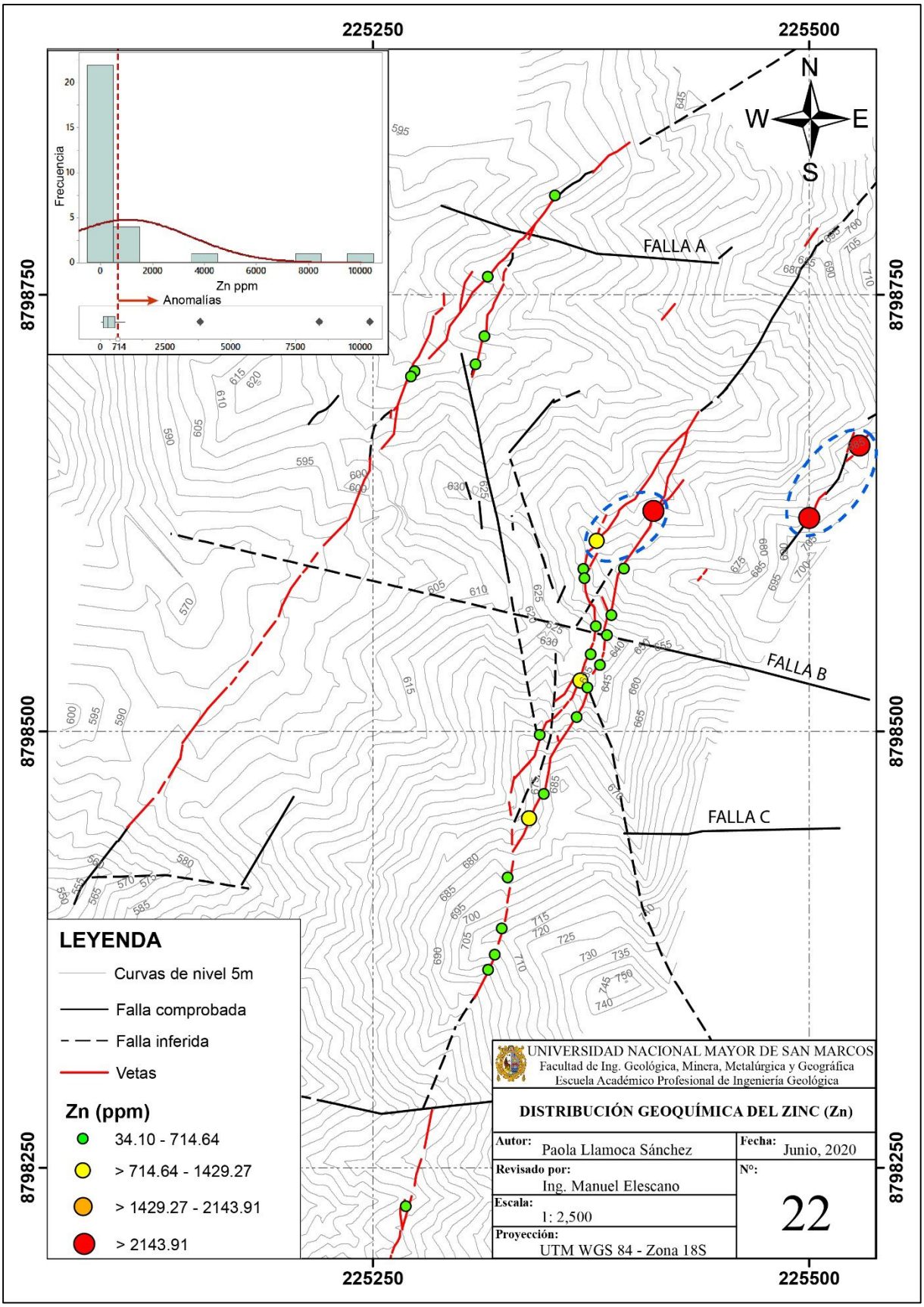


Lámina 22. Mapa de distribución geoquímica del zinc.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL BARIO

El Bario presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 34. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 35.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Barioc en las estructuras va desde 2.5 ppm a 124 ppm. Gran parte de la población de valores está en el rango de 2.5 a 57.41 ppm que corresponde al 79.31 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Bario corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el P; y en intensidad moderada con Co en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 21.86 ppm y el umbral es 57.41 ppm, en este caso no se presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 34. B.**); de modo que se trabajó con las 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 6 valores sobre el umbral que equivale al 20.69 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad moderada a fuerte.

Cód. Muestra	Ba (ppm)	Ubicación
43307	124	Veta Rosa
43287	72	Veta Cumbre
43282	69	Veta Cumbre

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Ba (ppm)	Ubicación
43308	15	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	12	Labor Cielo Norte – Nv. 630

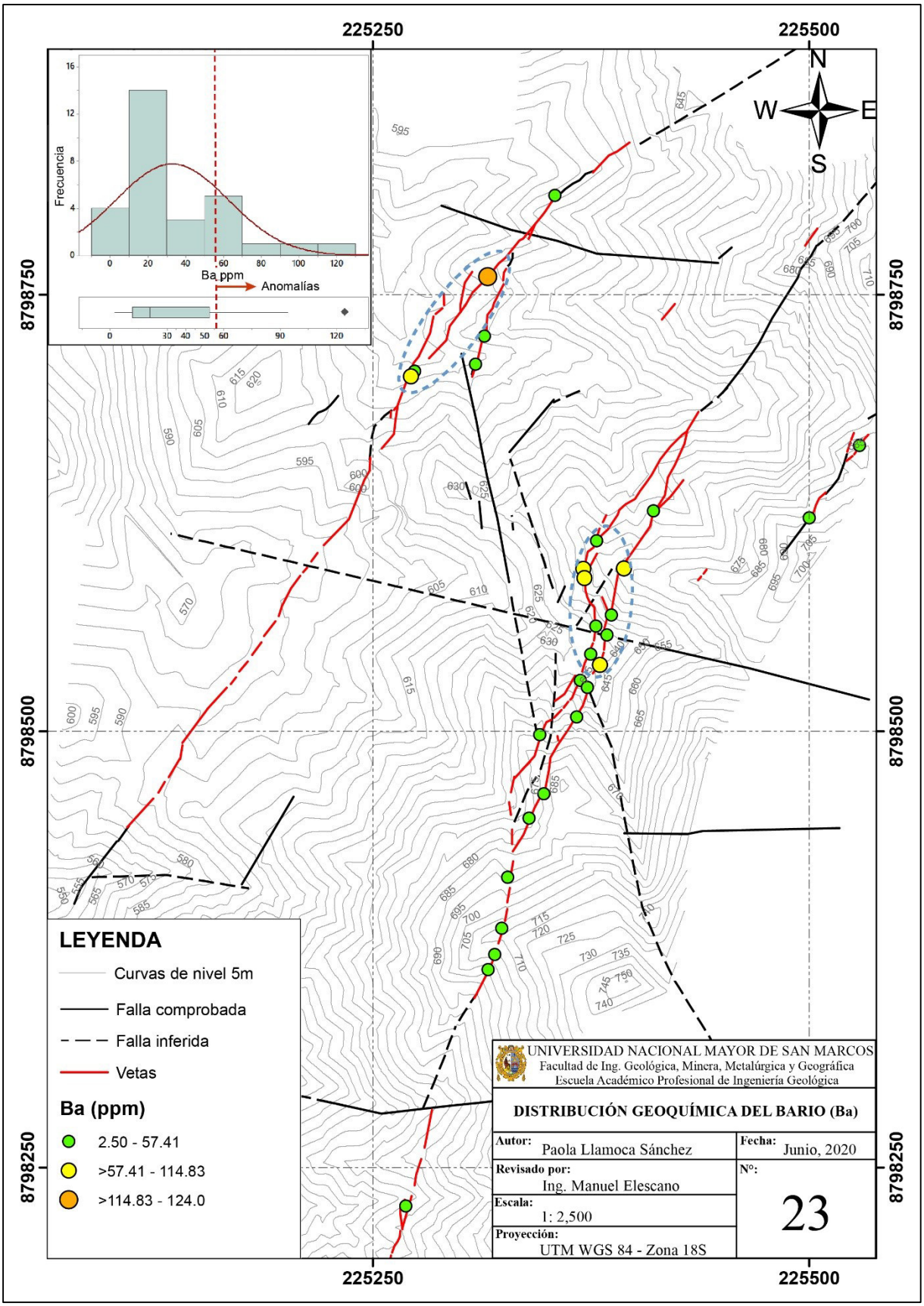


Lámina 23. Mapa de distribución geoquímica del Bario.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL COBALTO

El Cobalto presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 37. B**. Histograma Lognormal y **Fig. 38.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Cobalto en las estructuras va desde 2.5 ppm a 175 ppm. Gran parte de la población de valores está en el rango de 0.125 a 56.85 ppm que corresponde al 79.31 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Cobalto corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el Zn; y en intensidad moderada con Ba y Mn en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 25.71 ppm y el umbral es 56.85 ppm, en este caso se presentó 1 valor atípico según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 37. B.**); de modo que se trabajó con las 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 6 valores sobre el umbral que equivale al 20.69 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad moderada a fuerte.

Cód. Muestra	Co (ppm)	Ubicación
43303	175	Veta Cielo
43292	141	Veta Rosario

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Co (ppm)	Ubicación
43308	19	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	26	Labor Cielo Norte – Nv. 630

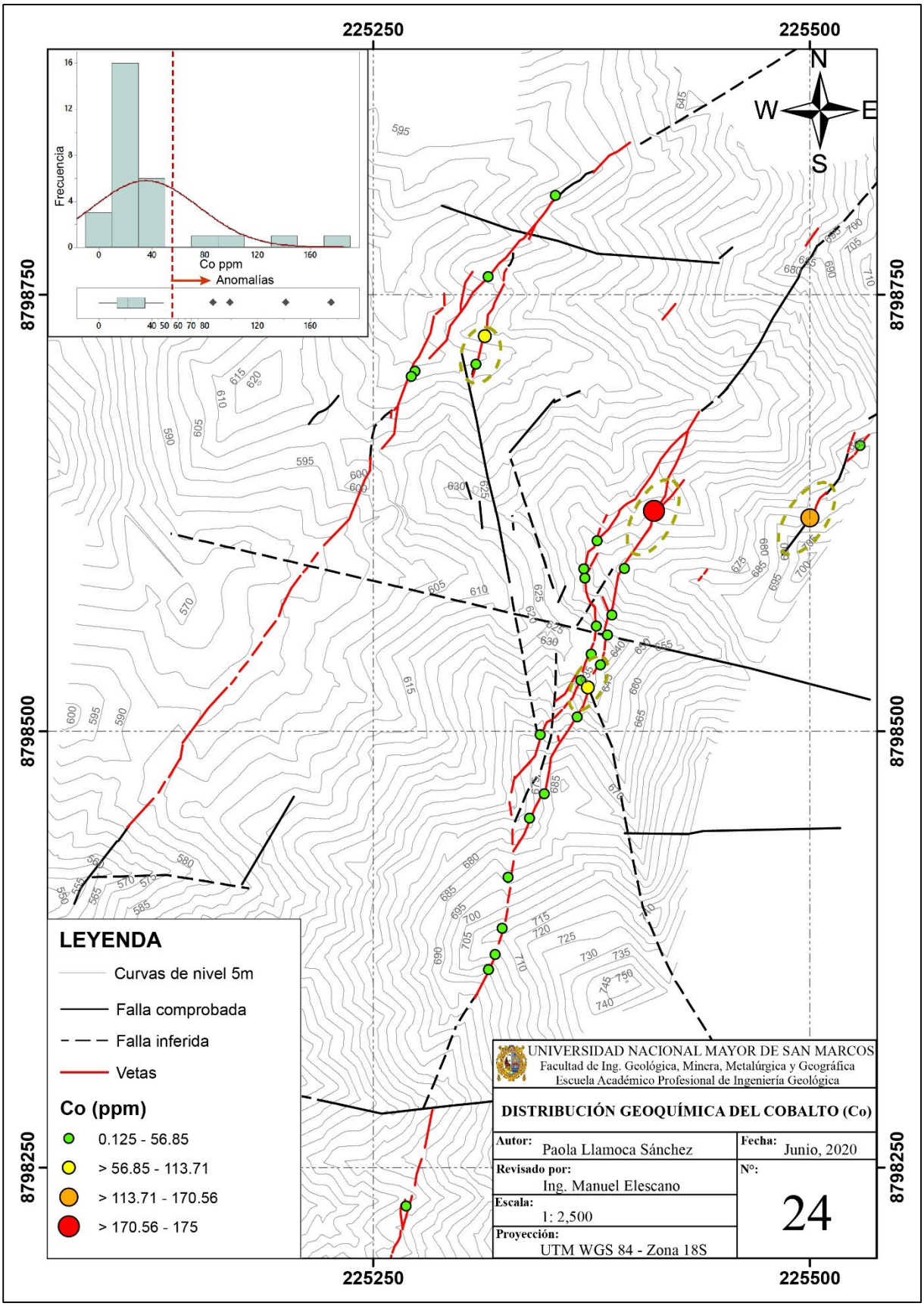


Lámina 24. Mapa de distribución geoquímica del Cobalto.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL FÓSFORO

El Fósforo presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 40** Histograma Lognormal y **Fig. 41** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Fósforo en las estructuras va desde 121 ppm a 604 ppm. Gran parte de la población de valores está en el rango de 121 a 459.97 ppm que corresponde al 86.21 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Fósforo corresponde a una correlación positiva en intensidad buena con el Ba; y en intensidad moderada con Mn, Ti y Cd en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor de fondo es 345.70 ppm y el umbral es 459.97 ppm, en este caso se presentó 1 valor atípico según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 40**); de modo que se trabajó con las 28 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 4 valores sobre el umbral que equivale al 13.79 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil.

Cód. Muestra	P (ppm)	Ubicación
43267	556	Veta Rosa
43307	532	Veta Rosa
43292	479	Veta Rosario

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	P (ppm)	Ubicación
43308	191	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	154	Labor Cielo Norte – Nv. 630

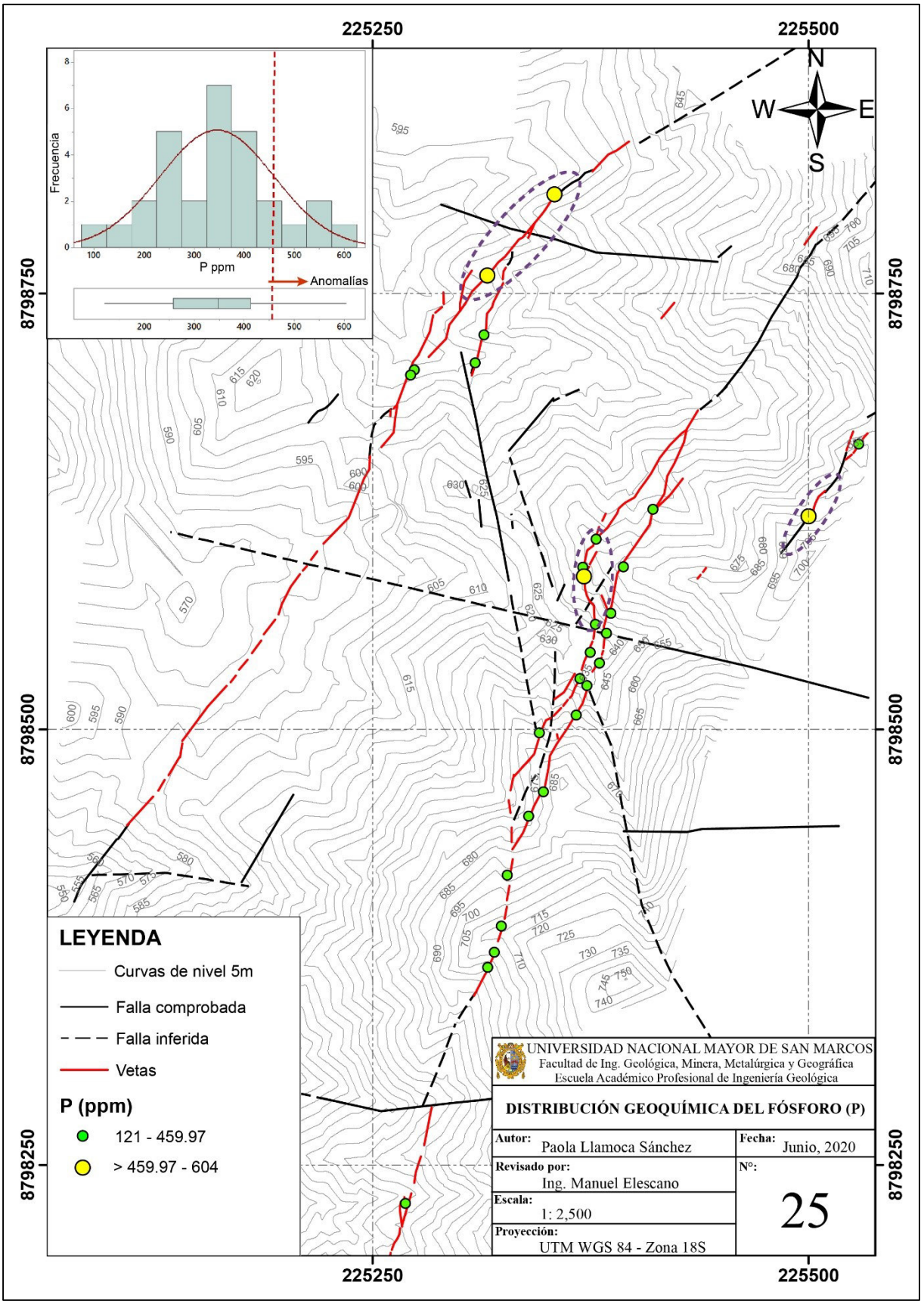


Lámina 25.Mapa de distribución geoquímica del Fósforo

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL TITANIO

El Titanio presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 43. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 44.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Titanio en las estructuras va desde 0.005 % a 0.21 %. Gran parte de la población de valores está en el rango de 0.005 a 0.03 % que corresponde al 89.66 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Titanio corresponde a una correlación positiva en intensidad moderada con el P en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor del umbral es 0.03 %, en este caso no se presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 43. B.**); de modo que se trabajó con las 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 3 valores sobre el umbral que equivale al 10.34 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil a moderada.

Cód. Muestra	Ti (%)	Ubicación
43267	0.21	Veta Rosa
43224	0.06	Veta Rosa
43287	0.07	Veta Cumbre

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Ti (%)	Ubicación
43308	0.01	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	< 0.01	Labor Cielo Norte – Nv. 630

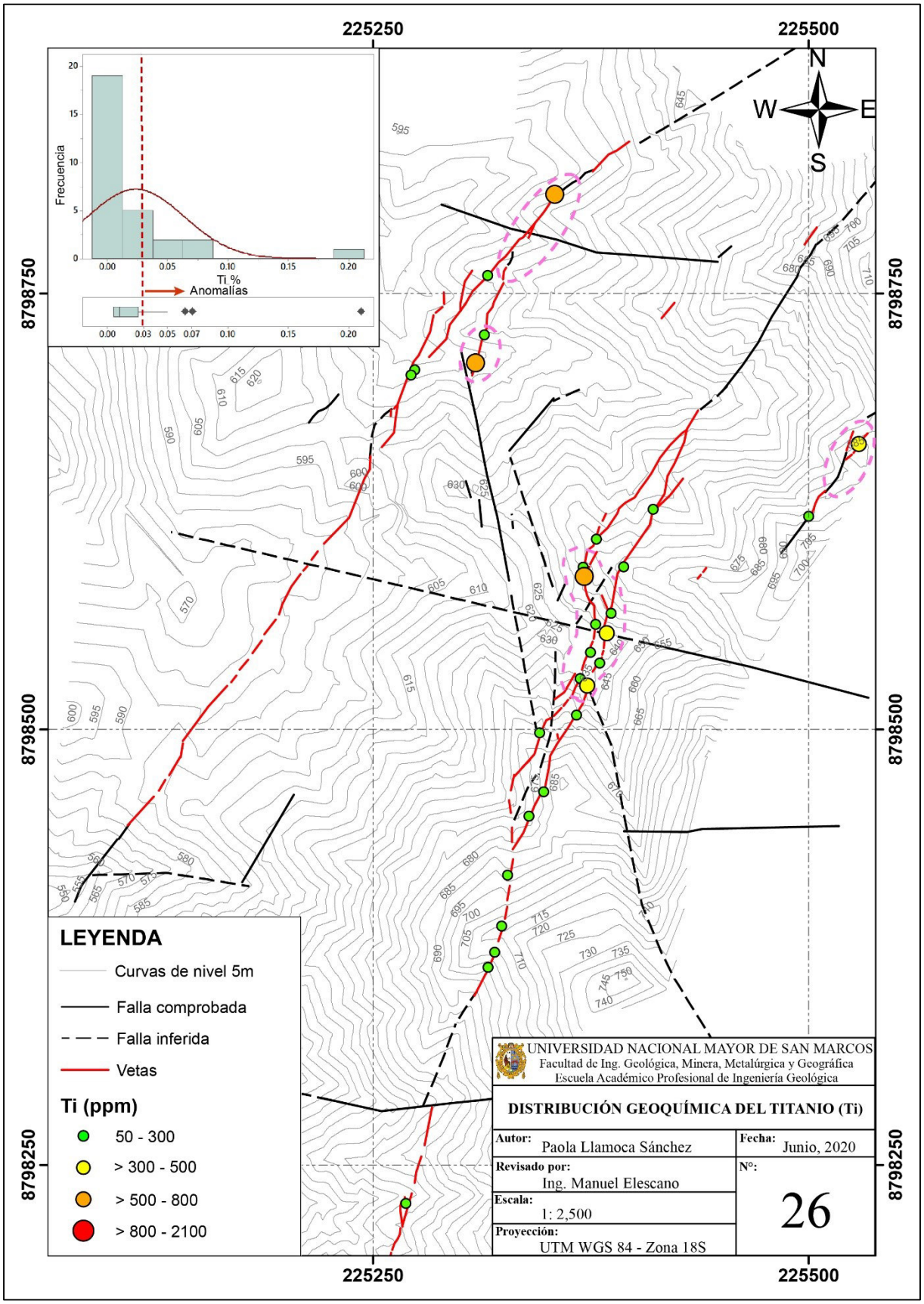


Lámina 26. Mapa de distribución geoquímica del Titanio.

DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL CADMIO

El Cadmio presenta un comportamiento Log normal (ver **Fig. 46. B.** Histograma Lognormal y **Fig. 47.** Prueba de Normalidad). La distribución superficial del Cadmio en las estructuras va desde 0.125 ppm a 59 ppm. Gran parte de la población de valores está en el rango de 0.125 a 9.87 % que corresponde al 86.21 % del total de la población.

Del análisis estadístico multivariado, el índice de correlación de Pearson para el Cadmio corresponde a una correlación positiva en intensidad moderada con el Zn, As y P en muestras superficiales (**Tabla 11**).

El valor del background es 2.56 ppm y del umbral es 9,87 ppm, en este caso no se presentó valores atípicos según como se observa en la gráfica Box plot de su distribución Log normal (**Fig. 46. B.**); de modo que se trabajó con las 29 muestras para el cálculo.

Además, se reconocieron 4 valores sobre el umbral que equivale al 13.79 % del todas las muestras que corresponden a una anomalía de intensidad débil a fuerte.

Cód. Muestra	Cd (ppm)	Ubicación
43303	59	Veta Cielo
43292	26	Veta Rosario
43270	14	Veta Cumbre

Por otro lado, del muestreo selectivo y referencial tipo rock chip sobre la cancha de mineral de las galerías de exploración realizada sobre veta se obtuvieron los siguientes valores:

Cód. Muestra	Cd (ppm)	Ubicación
43308	<1	Labor Cielo Sur – Nv. 640
43309	3	Labor Cielo Norte – Nv. 630

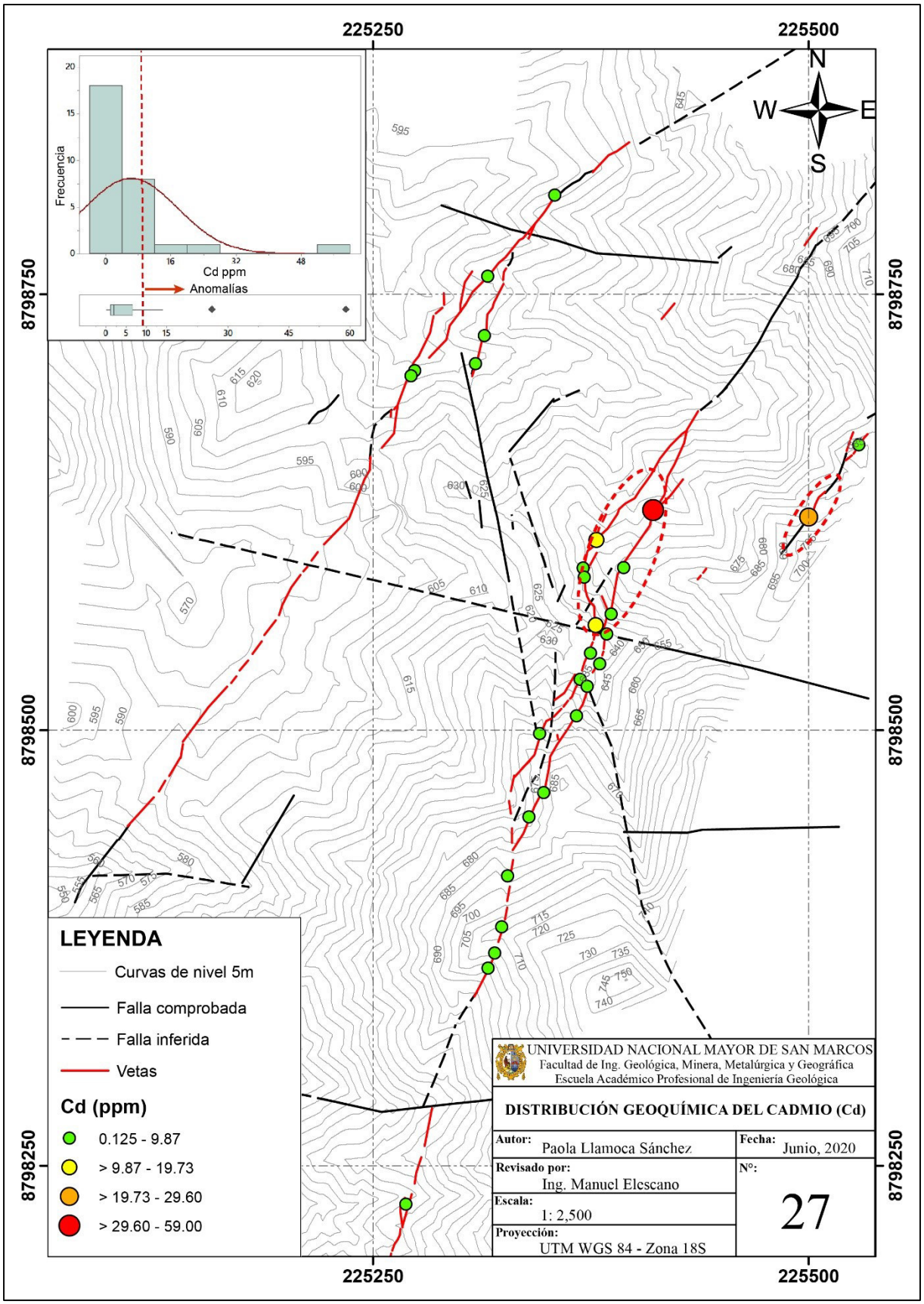


Lámina 27. Mapa de distribución geoquímica del Cadmio.

5.2.2.4.2. ASOCIACIONES GEOQUIMICAS

A partir de la superposición de los planos de Distribución Geoquímica de cada elemento se realizó el análisis de la información obteniendo las asociaciones geoquímicas del área de estudio. Dichas asociaciones geoquímicas nos indican que las vetas corresponden a un sistema polimetálico donde se tiene elementos asociados para metales base (Cu, Fe, Pb, Zn, Mo) y metales preciosos (Au, Ag) como se muestra a continuación.

UBICACIÓN	SECTOR	ASOCIACIÓN GEOQUÍMICA
Cielo-Cumbre, Veta Rosa	NORTE	As, Mo, Ba, Ti, P
Cielo-Cumbre, Rosario	NORTE	Zn, Cd, Co
Rosa-Toro, Cielo-Cumbre	SUR	Au, Ag, Cu, Mn, Bi

Además, según el comportamiento geoquímico de los elementos, se ha observado mayor concentración de Cu en veta Cielo-Cumbre que en Veta Rosa. La distribución elemental de las anomalías para Bi y Mn muestran una relación espacial similar al Au y Ag, comportándose posiblemente como guía para dichos metales.

Asimismo, se resalta la distribución geoquímica de algunos elementos restringidos preferentemente en relación a un rasgo estructural de dirección ONO-ESE, tales como el As-Mo-Ba-P-Ti que se distribuyen preferentemente hacia el Norte de la falla B, al igual que la asociación Zn-Co-Cd principalmente en Veta Cielo-Cumbre y Rosario. Por otro lado, hacia el Sur de la falla B, resalta la asociación Au-Ag-Cu-Mn-Bi.

En caso del Fe, Pb y S no muestran una distribución preferente de acuerdo a algún rasgo geoquímico-estructural.

En cuanto a las anomalías determinadas para el área de estudio se tiene valores en Au desde 2.07 ppm, Cu % > 1.25%, Fe % > 13.37%, Ag > 4.37 ppm, Pb > 57,44 ppm, Zn > 714.64 ppm, Mo > 20.87 ppm, As >188.87 ppm, Bi > 203.5 ppm, Ba > 57.41 ppm, Co > 56.85 ppm, Ti > 300 ppm, Mn > 2637.85 ppm.

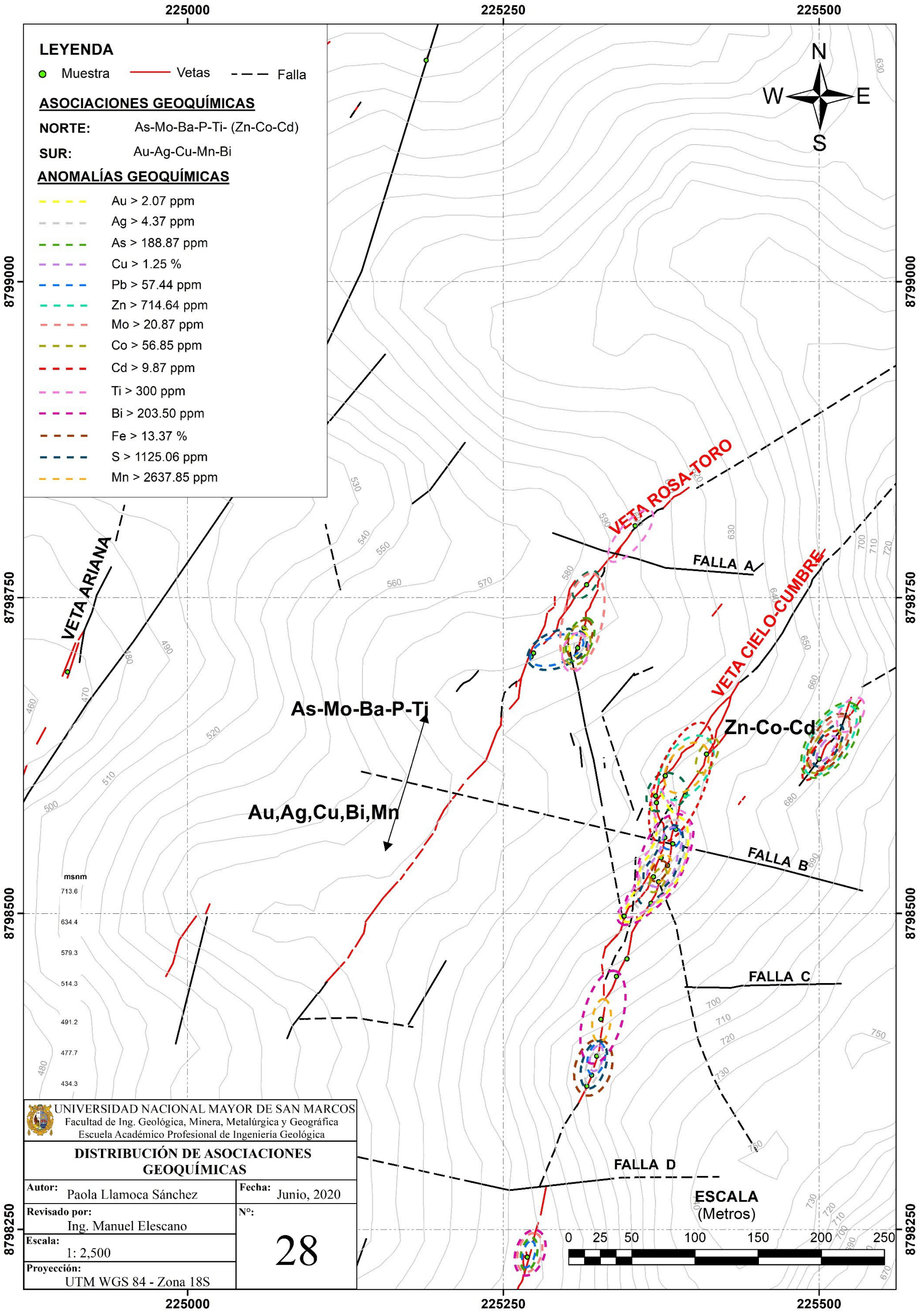


Lámina 28. Mapa de distribución de asociaciones geoquímicas.

5.3. CARACTERIZACION MINERALÓGICA

Las características mineralógicas de la zona de investigación se determinaron según las observaciones realizadas en terreno durante los trabajos de cateo, mapeo y muestreo; asimismo, observaciones microscópicas de muestras de roca caja y estructuras mineralizadas, con el uso de un microscopio óptico modelo Leyca y estudios de espectrometría de reflectancia con lecturas tomadas sobre muestras alteradas con el uso del Terraspec.

Se analizaron 13 muestras en sección delgada para estudio petrográfico con la finalidad de determinar la composición de las unidades intrusivas y litoestratigráficas del área de estudio.

Asimismo, se estudió 06 muestras representativas en sección delgada pulida para la caracterización mineragráfica, estas fueron tomadas de las estructuras vetiformes. De igual manera, se hicieron 16 lecturas de 07 muestras representativas con alteración hidrotermal presente en las vetas con el fin de analizar sus espectros y determinar su composición mineralógica.

5.3.1. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

La mineralización en el prospecto Cielo se encuentra alojada principalmente en las dioritas del Complejo Purmacana, a modo de estructuras vetiformes discordantes a la secuencia litoestratigráfica del Grupo Casma. Por otro lado, se tiene registro del emplazamiento de vetas en las tonalitas que afloran en áreas circundantes al proyecto (zona Esperanza), sin embargo, por su poca continuidad en su exposición a superficie, no ha sido de interés durante la prospección. De igual manera, las evidencias de mineralización de Au, Cu, Zn y Pb reportadas en Capacho de Oro (Huillca, 2017), ubicado a 6kms del área de estudio SO, han servido de guía para ubicarnos espacialmente dentro de un modelo descriptivo idealizado de un sistema de Mineralización y Alteración Hidrotermal, y así tener mayor visión para explorar a profundidad.

La alteración y mineralización forman un zoneamiento lateral y vertical, la alteración que se manifiesta en superficie es conocida como alteración supérgena y puede producir un zoneamiento vertical que resulta en la zona lixiviada. La mineralización hipógena consta de oro, pirita y calcopirita.

Las alteraciones hidrotermales hipógenas corresponden a sódica, cálcico-sódicas, potásica, fílica, propilitización, cloritización, y como supérgena la argilización y oxidación producida por los procesos de meteorización.

5.3.1.1. ANALISIS DE REFLECTANCIA ESPECTRAL MEDIANTE TERRASPEC

Se realizó un análisis descriptivo de los datos de la mineralogía obtenida con la espectrometría de reflectancia. Los principales minerales presentes en las muestras analizadas son la asociación illita – esmectita que se encuentran en alta concentración generando importantes rasgos de absorción en la región del espectro infrarrojo debido a los enlaces Al_2OH.

Analizando el espectrómetro de las 04 muestras representativas tomadas a lo largo de la galería cielo norte, se refleja un notable contenido de illita y esmectita en la región del SWIR. El rasgo profundo y agudo caracteriza a la illita. Por otro lado, los rasgos profundos, un poco anchos y asímetricos diagnostican a la esmectita. Estos minerales retienen humedad $n.H_2O$, reflejado en 1900 nm, que en cierto modo dificulta la identificación precisa de minerales. Además, se nota una ligera formación de rasgos dobles abiertos característico en Caolinita.

En la zona del NIR, los rasgos de absorción muestran un ligero a moderado desarrollo de los rasgos en forma de hombro que caracteriza a la Goetita. La inflexión a los ~2300nm en CIN-40 es rasgo diagnóstico de la Jarosita.

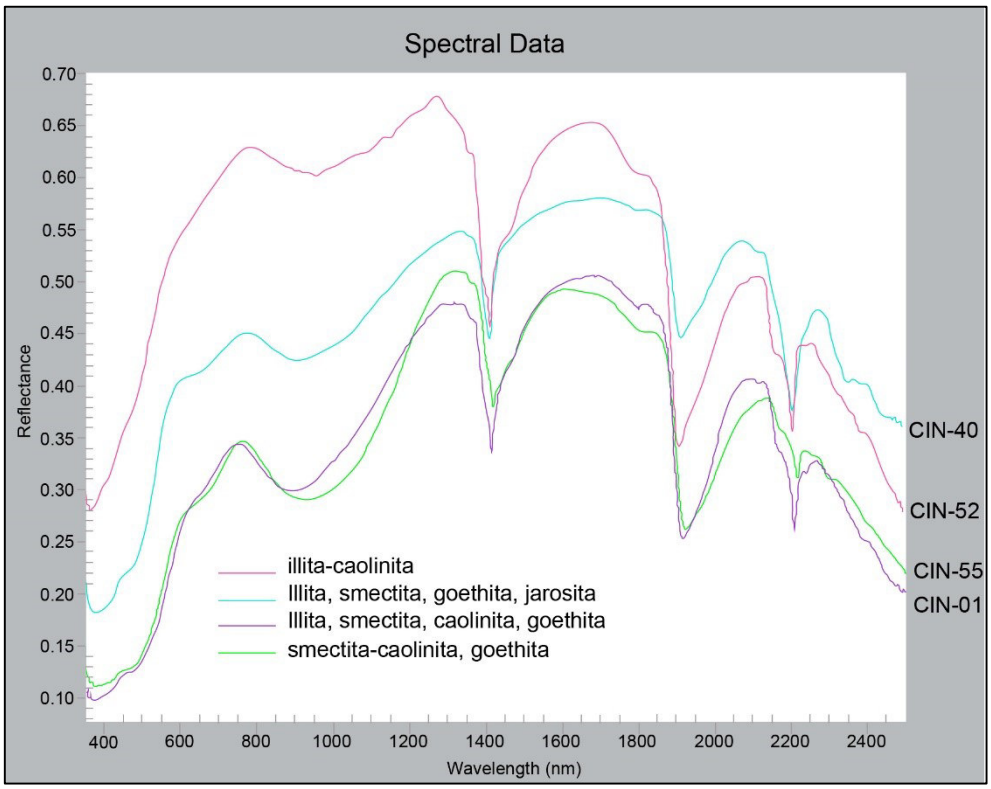


Figura 34. Firmas espectrales de las muestras tomadas en veta cielo al norte y su asociación mineralógica determinada mediante Terraspec.

En la Fig. 35, la muestra CISch-10151 fue obtenida en la chimenea 10 del Nv. 635 de la Galeria Cielo Sur, macroscópicamente se reconoció óxido de hierro con cuarzo rellenando espacios entre los clastos argilizados. Los espectros de absorción muestran en la región del SWIR, los rasgos dobles que son diagnósticos de la Caolinita en las posiciones de sus longitudes de onda en 1400 nm y 2200 nm. La presencia de minerales hidratados n.H2O se refleja en el rasgo abierto, profundo y ligeramente asimétrico a los 1900 nm, el cual se trataría de Montmorillonita (Grupo Esmectita), asimismo, los dos rasgos pequeños en 2350 nm y 2450 nm también son diagnósticos de la predominancia de illita sobre esmectita. Con respecto a la región del infrarrojo cercano (NIR) se ha detectado el rasgo diagnóstico a los 880 nm de Fierro férrico (+3) de Hematita.

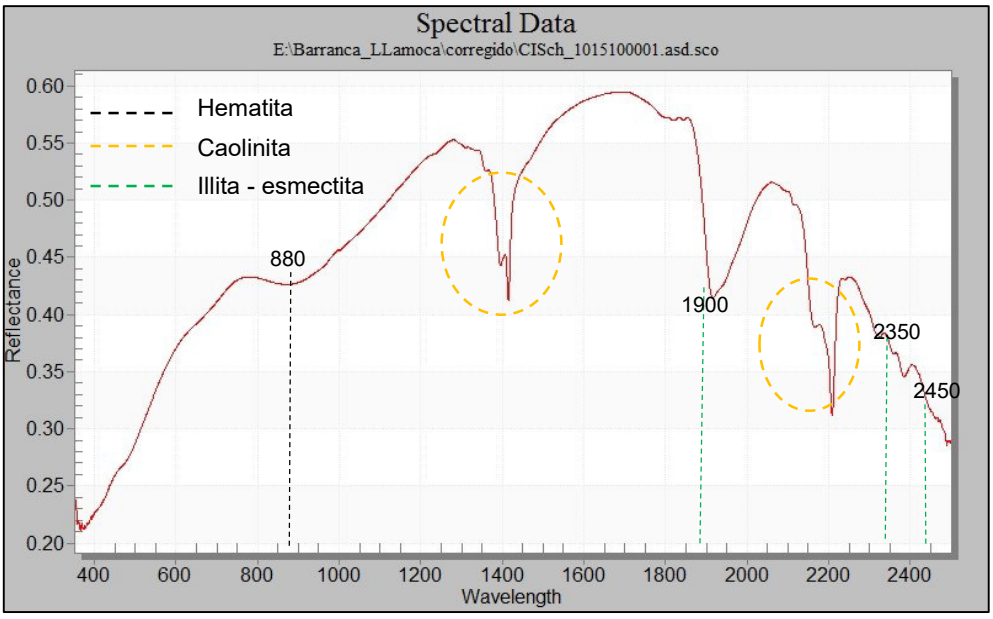


Figura 35. Rasgos distintivos de los minerales identificados en las zonas de alteración de veta Cielo Sur- Chimenea 10.

En la Fig. 36 muestra el espectro realizado sobre una muestra extraída a los 10 m de avance en la galería Nv. 635 (CIN-01152). En la región del VIS/NIR, tiene una característica fuerte de absorción de Fe3+ a los ~890 nm caracterizando a la hematita. En la región SWIR note como el rasgo de absorción de agua y OH es fuerte a los ~1400 nm debiéndose a la illita o muscovita, en cambio a los ~1912nm prevalece la Illita sobre muscovita, además en 2350nm y ~ 2450nm ratifica la presencia de Illita y muscovita (sericita).

Los espectros de la Fig. 37 corresponden a las muestras CINch-01150 y CINch-01151 tomadas en la chimenea 1 del Nv. 635 de la Galería Cielo Norte. En CINch-01150, el rasgo de absorción a los 860 nm discrima a la goetita de la hematita. Además, se observa el pico que caracteriza al

color rojo de la hematita. Con respecto a la región de SWIR, los rasgos profundos y asimétricos en ~1450 nm) y 1900 nm, corresponden a la presencia de agua, pudiéndose tratar entre illita y esmectita. En ~ 2200 nm, el rasgo caracteriza a la esmectita. En CINch-01151, los espectros de absorción muestran el rasgo distintivo para la goetita en la región del NIR, que se caracteriza por el mejor desarrollo del hombro a los 660 nm en comparación con la hematita. Con respecto a la región del SWIR, los rasgos agudos son diagnóstico de la Illita, asimismo, la inflexión en 1830 nm caracteriza a la caolinita en intensidad leve.

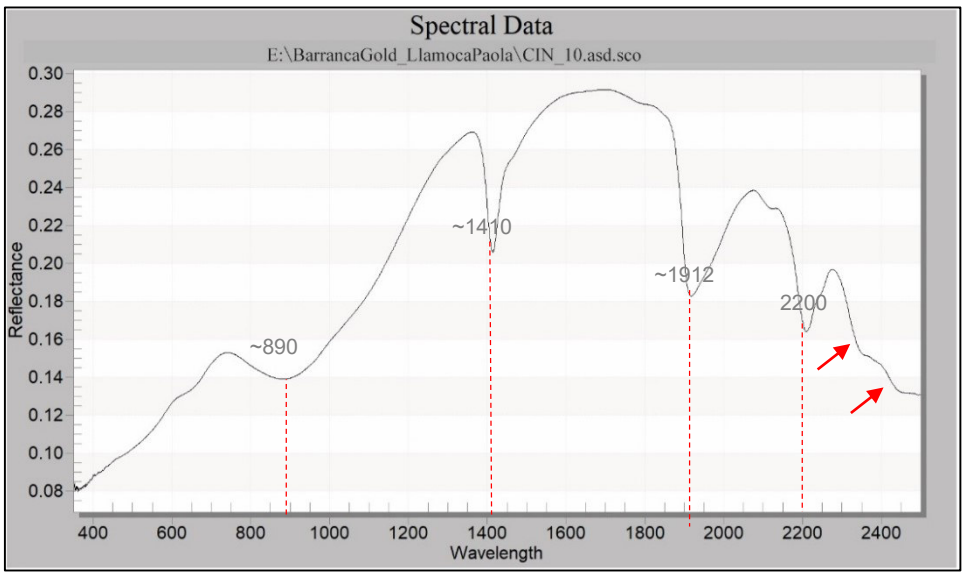


Figura 37. Rasgos espectrales de veta Cielo Norte (CINch-01152).

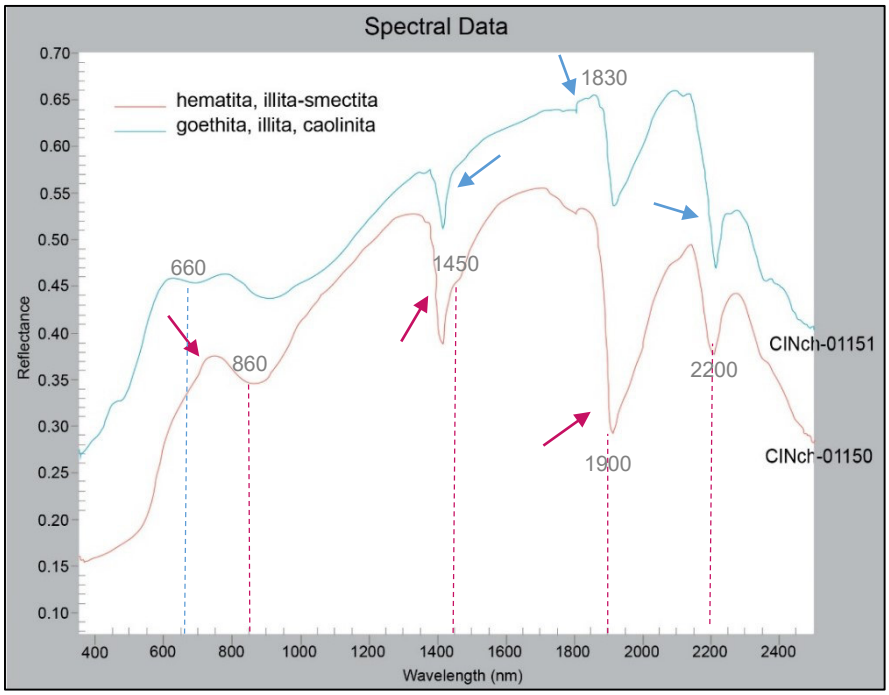


Figura 36. Rasgos espectrales de la asociación mineralógica en las muestras tomadas en la chimenea 01 de la Galeria Cielo Norte.

5.3.2. MINERALIZACIÓN EN SUPERFICIE

La alteración supérgena se distribuye de forma homogénea en la denominada Zona La Isla del Prospecto Cielo, donde se puede observar una superficie de roca alterada en grado moderado, en las zonas cercanas a las estructuras vetiformes.

La asociación mineralógica en las vetas es muy parecida, salvo la presencia de minerales secundarios de cobre (malaquita, crisocola) en veta Cielo-Cumbre, que apenas se observa en Veta Rosa, posiblemente por presentar material de cobertura en parte de sus afloramientos. Esta asociación es típica de la zona de oxidación y está conformada, por estructuras tipo *boxworks* de seudomorfos de pirita en limonitas (Foto 61. A.), asociado con cuarzo hialino, distribuidos en la parte central de la estructura; paralelamente y a los bordes, presenta jarosita y óxidos de manganeso; y hacia las partes más externas en contacto a la roca encajonante, presenta malaquita y crisocola (Foto 61 B.). Entre los sulfuros supérgenos de Cu, se tiene remantes de calcopirita reemplazados por calcosita, digenita y covelita (Foto 63). Los minerales se presentan a manera de ocres, diseminación, parches, venillas y reemplazamiento de minerales.

De las evidencias más resaltantes en las exploraciones, se ha determinado tanto macroscópica y microscópicamente, la presencia de oro nativo en las cavidades de lixiviación (*boxwork*) de la pirita euhedral, la cual se encuentra a modo de relictos por reemplazamiento de hematita y goetita; asociado a un evento de cuarzo hialino (Ver Anexo 1 BRN-14)

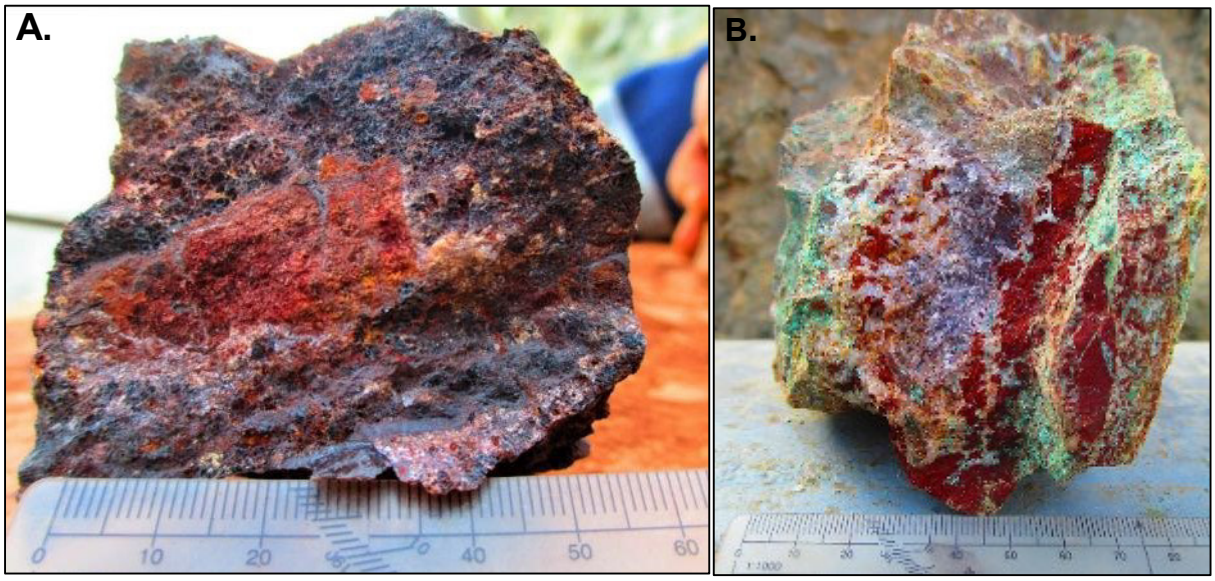


Foto 61. A. Mineralización de la zona de lixiviación: Boxworks de pirita que genera un aspecto oqueroso del cuarzo, las oquedades son espacios dejados por la pirita lixiviada que han sido reemplazados y rellenos por hematita y goetita. **B. Mineralización de la zona de óxidos:** hematita, cuarzo ahumado, oro, trazas de pirita, a los bordes malaquita y crisocola con pátinas de jarosita.

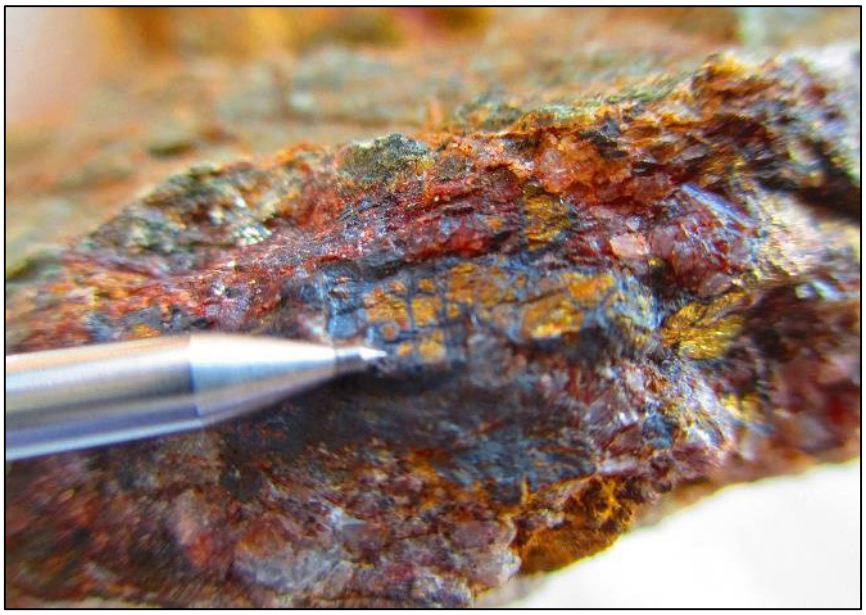


Foto 63. Mineralización de la zona de enriquecimiento secundario: Reemplazamiento de calcosita y covelita en los bordes de calcopirita.

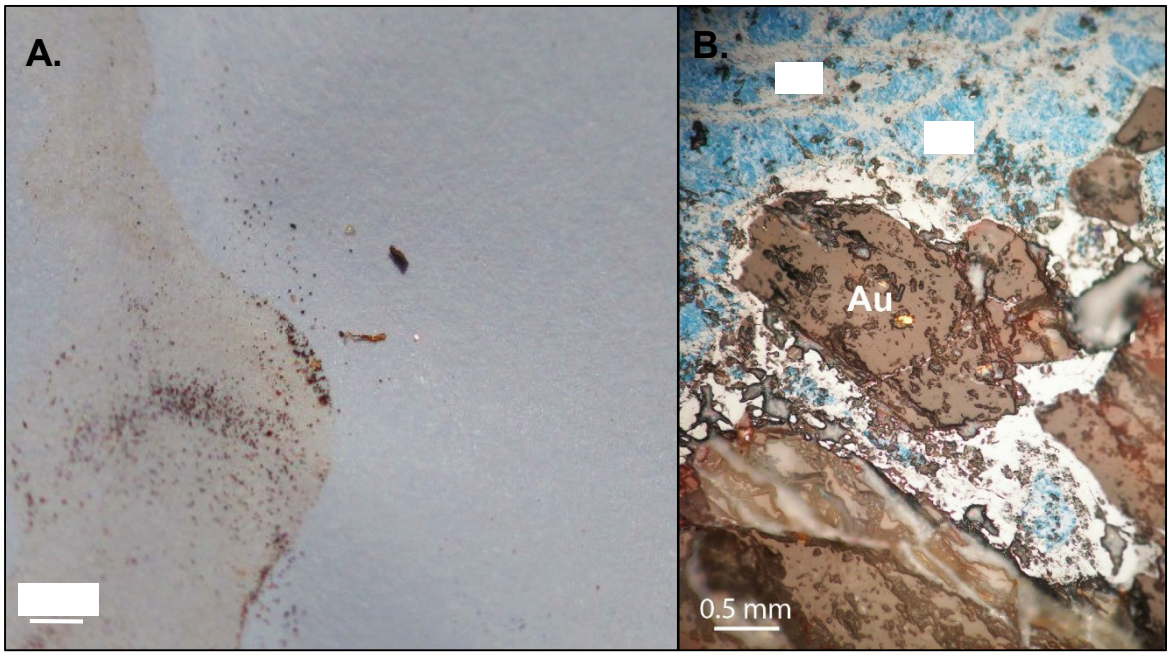


Foto 62. A. Oro con hábito capilar encontrado en un clavo mineralizado en veta Cumbre. **B.** Traza de oro en estado libre incluido en cuarzo II, entre los sulfuros secundarios se observa calcosita y covelita reemplazando totalmente a la calcopirita.

5.3.3. ALTERACIONES HIDROTERMALES

La alteración hidrotermal es un proceso de transformación de una asociación mineral original, en una nueva que es más estable en las nuevas condiciones de temperatura, presión y sobretodo en equilibrio con el fluido hidrotermal que atraviesa la roca modificando ligera o completamente la textura y estructura original de la roca.

En el prospecto Cielo, las alteraciones hidrotermales se caracterizan por ser de alta temperatura (> ~400°C - 350°C), de regular extensión y poco voluminosa con evidencias de enriquecimiento de álcalis de tipo alteración sódica (Na) relacionadas a la reacción entre la tonalita y los niveles volcánicos del Casma;y, una alteración cálcica (Ca) en las proximidades de las rocas encajonantes dioríticas que albergan la mineralización. Seguido por una alteración ácida de tipo Sericítica conformando las vetas, Alteración Propilítica y Argílica afectando las cajas. Estos tipos de alteración se distribuyen en forma de un halo envolvente a la estructura vetiformes. Su emplazamiento vertical ocurre en un intervalo que varía desde centímetros a decenas de metros, la zonación horizontal es muy similar a la vertical.

La mineralogía de alteración se definió mediante el Espectrómetro Terraspec y fue complementada con las observaciones macroscópicas y microscópicas.

ALTERACIÓN SÓDICA

La alteración sódica (Na) se ha reconocido en la zona Koreanos y La Isla del área de estudio. En zona koreanos está definida por la asociación albita, piroxenos (Foto 64). La mineralogía se forma como producto de un metamorfismo de contacto entre el miembro volcanosedimentario y el intrusivo cuarzodiorítico reconociéndose una extensión de 6500 m2 aproximadamente.

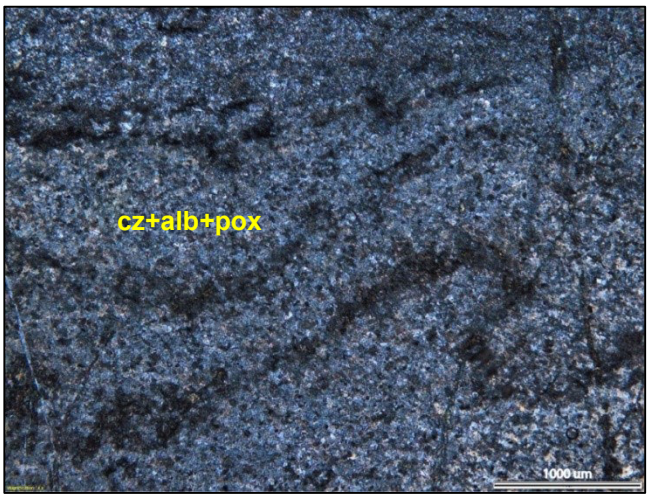


Foto 64. Agregado microcristalino de albita-piroxenos con cuarzo I hidrotermal reemplazando al protolito. Aún se logra observar los pliegues por deformación de la roca.

Además, en la zona la Isla, al norte de las vetas, se presenta en una zona de metamorfismo termal en el contacto de la tonalita y la secuencia de lavas formándose una mineralogía: escapolita, cuarzo y trazas de piroxenos (Foto 66).

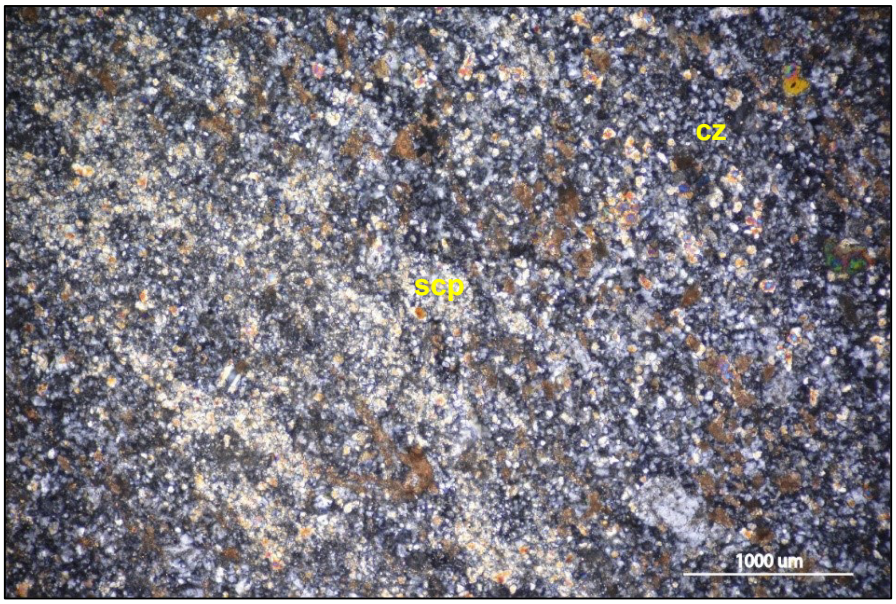


Foto 65. BRN-07: Agregado microgranular de escapolita como reemplazamiento de las Plagioclasas. Se encuentra junto con esfena asociado al cuarzo secundario. Fotomicrografía en NXs.

ALTERACIÓN CÁLCICA-SÒDICA

Está relacionada a los intrusivos dioríticos de textura porfirítica que afloran en la zona la Isla y que albergan a las estructuras mineralizadas. En el lugar se define por la asociación trazas de magnetita, actinolita, piroxenos, epídota y prehnita en venillas. Se presenta a modo de reemplazamiento de la matriz de la roca encajonante y muy adyacente a la veta.

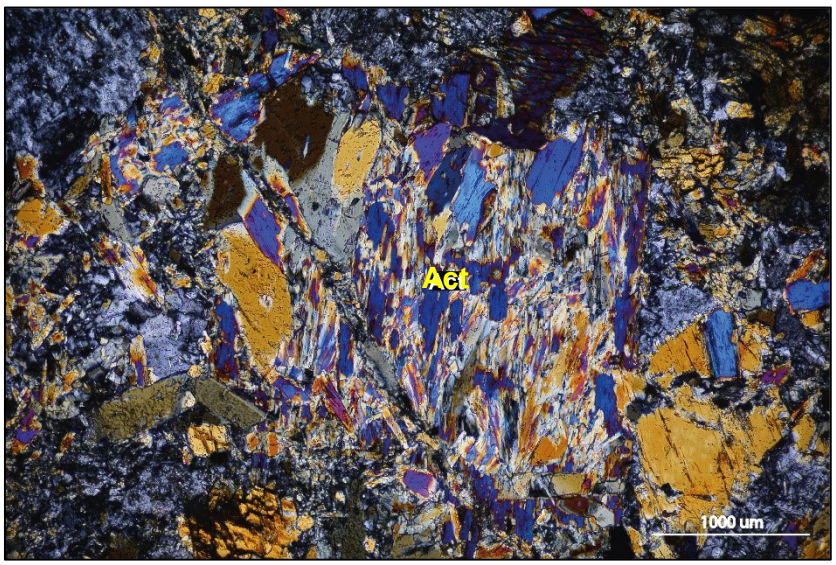


Foto 66. BRN-13: Agregado fibroso de actinolita en el pórfidodiorítico. Fotomicrografía en NXs.

ALTERACIÓN FÍLICA

Este tipo de alteración se presenta de forma restringida, sin embargo, se ha podido diferenciarla en la galería Cielo Sur. Se caracteriza principalmente por cuarzo-moscovita-pirita. La sericita, se reconoce macroscópicamente y al microscopio, sin embargo, al terraspec se identificó según su espectro a la muscovita. Su presencia es discontinua a lo largo de la veta y se distribuye hasta 30 cm en la horizontal. La pirita se encuentra lixiviada dejando texturas *boxwork*. En algunos sectores está sobreimpuesta a la alteración argílica.

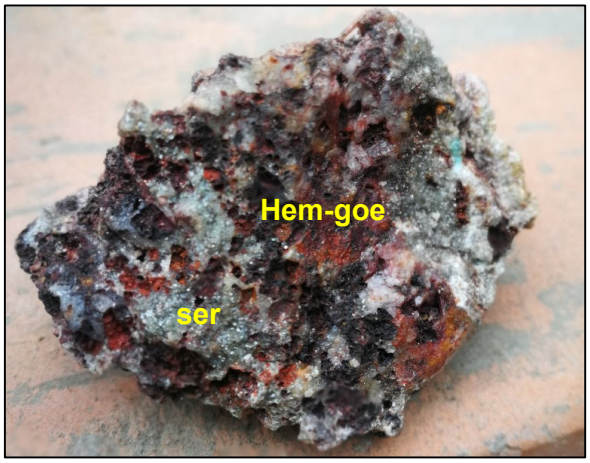


Foto 67. Asociación cuarzo-sericita-pirita. Pirita lixiviada por alteración supérgena dejando cavidades reemplazadas por hematita y goetita.

ALTERACIÓN ARGÌLICA

Se ha desarrollado de forma intensiva en cercanías al contacto tonalita-diorita, además se distribuye como halo entorno a las vetas en una escala de decenas de metros; se ha definido desde las labores subterráneas de Cielo-Cumbre Norte Nv. 630, presentándose en la vertical con 20 metros desde la superficie y en la horizontal a lo largo de 60 metros hacia el norte. La asociación mineralógica està conformada por caolinita,illita y esmectita. En rocas encajonantes tonalíticas, la presencia de caolinita es más pronunciada.

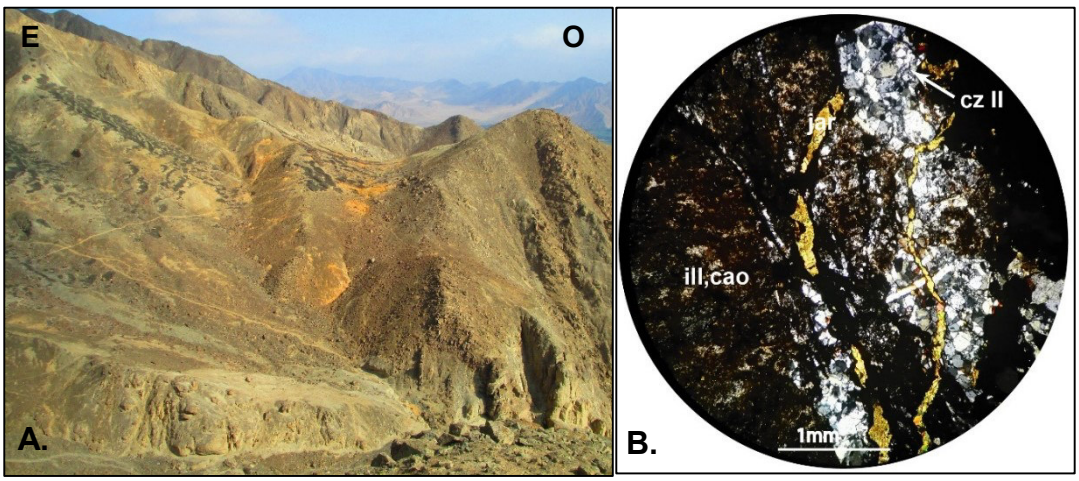


Foto 68. A. Vista al sur: Zona de argilización en los alrededores de veta Rosa. **B.** Cod. BRN-17: Venilla de cuarzo II cortando al agregado fibroso de illita-caolonita. Asimismo, las venillas de jarosita cortan al cuarzo II.

ALTERACIÓN PROPILITICA

Esta alteración es típica de la diorita como roca encajonante donde se emplazan las vetas. Presenta coloración gris verdosa oscura a clara. Esta alteración se distribuye paralelamente a los bordes de las vetas e inmediatamente a la alteración SCC. Forma un halo externo y envolvente de ± 10 m aproximadamente conformado por epídota-cloritas-calcita.

SILICIFICACIÓN

Se ha formado a través del paso del fluido hidrotermal en las fracturas, por lo que su disposición es restringida a lo largo de las vetas, con respecto a la mineralización se ha reconocido macroscópicamente tres eventos de silicificación: El primero, relacionado a una etapa pre mineral caracterizado por sílice blanquecino o cuarzo I. Segundo, un evento de cuarzo II hialino; al microscopio, presenta un habito prismatico columnar y un tamaño de grano más desarrollado que los demás eventos de silicificación, este evento se encuentra relacionado a la mineralización. El tercer evento, conformado por un cuarzo de grano fino (cz III) que se encuentra reemplazando al cuarzo II. En la zona Koreanos, se dispone sobre las secuencias volcanosedimentaria de forma masiva dandole un aspecto soldado.

La presencia de cuarzo en sus diferentes eventos de formaciòn va de la mano con los tipos de alteraciones que se han desarrollado en la etapa temprana

OXIDACIÓN

Alteración producto de los procesos supérgenos en el área de estudio, se relaciona con zonas de fallamiento y fracturamiento. Los afloramientos representativos se encuentran en zona Koreanos donde se distribuye de forma masiva en la zona de contacto entre la cuarzodiorita y la secuencia volcanosedimentaria. En zona la Isla, se presenta restringido a las estructuras vetiformes. Siendo llamativo por su coloración rojiza que atribuye a la meteorización y lixiviación de los sulfuros primarios por parte de fluidos ácidos que percolan en la roca. El reconocimiento a nivel de trazas de magnetita conlleva a postular que es mínimo su aporte en el proceso de oxidación, sin embargo, no se descarta su presencia a profundidad; por otro lado, se reconoce el rol de la pirita como la principal fuente de estas soluciones ácidas fundamental para la concentración de oro. La alteración supérgena ha afectado a todo el sistema de vetas caracterizado por el reemplazamiento de óxidos e hidróxidos de hierro en pirita; acompañado

de oro y cuarzo, favoreciendo el enriquecimiento aurífero cerca de la superficie por removilizacion y liberación del sulfuro.



Foto 70. Asociación cloritas, epidota con venillas de calcita distribuido como halo envolvente de la veta.

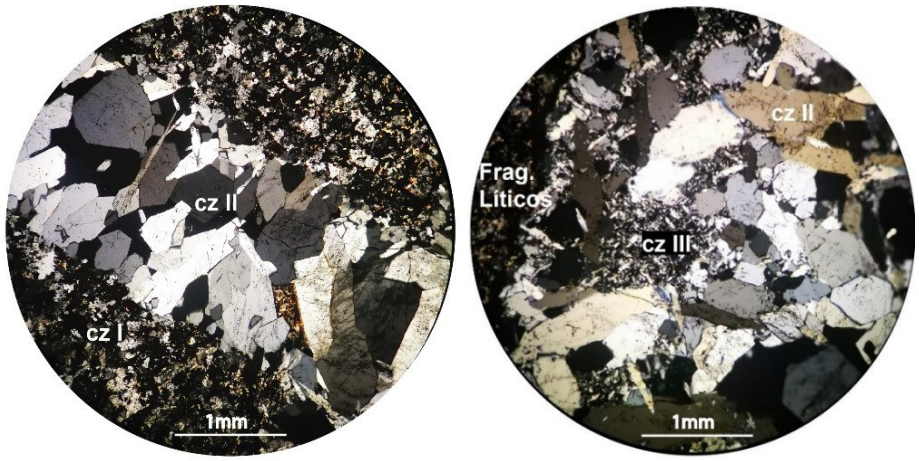


Foto 69. Cód. Muestra BRN-19: A. Venilla de cuarzo II cortando al cuarzo I. **B.** cuarzo III reemplazando al cuarzo II. Ver Anexo I



Foto 71. Vista al sur del afloramiento con fuerte oxidación en Zona Koreanos, presenta relictos de pirita diseminada por lo que se considera como fuente principal de oxidación; y, en menor proporción, las trazas de magnetita del intrusivo.

5.3.4 SECUENCIA PARAGENÉTICA

Mediante los estudios de microscopía, espectrometría y observaciones de campo se ha podido interpretar la secuencia paragenética para el depósito en las siguientes etapas:

ETAPA TEMPRANA

Se dieron las condiciones necesarias de alta temperatura (~600 – ~400°C) caracterizado por una alteración sódica caracterizado por un ensamble de cristales microcristalinos de albita-cuarzo I, escapolita y piroxenos. Seguido de una alteración rica en Sódico-cálcica rica en Fe representado por reemplazamiento magnetita, actinolita, piroxenos, venillas de prehnita y pirita I diseminada. Seguido de un cambio en las condiciones de ph a más ácido y temperaturas más someras que generó una alteración propilitica: cloritas, epídota I, venillas de calcita. Esta etapa terminaría con una argilización representado por la formación de illita, esmectita y caolinita seguido de una etapa de brechamiento.

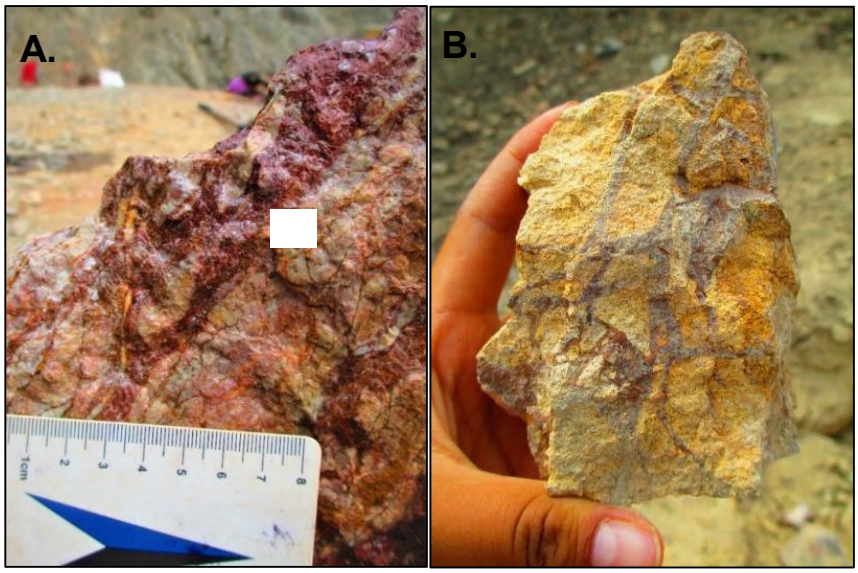


Foto 72. A. Fragmentos de sílice blanquecina en brecha hidrotermal. **B.** Fragmentos argilizados con caolinita principalmente. Ambos tipos de fragmentos reflejan los procesos durante la etapa I.



Foto 73. Fragmentos de roca caja propilitizada constituida por cloritas y epidotas. Esto refleja el primer proceso de alteración que sufrió la roca encajonante.

Aparentemente, las condiciones de temperatura siguieron siendo altas ricas en Fe (condiciones moderadamene oxidanes) y empobrecidas en K, caracterizado por la formación de anfíboles II asociado con la formación de py II y calcopirita, además se resalta la ausencia de formación de Feldespato potásico o posiblemente las posteriores alteraciones la hayan obliterado.

En la Etapa II, otro pulso hidrotermal continuaría con la formación de cuarzo hialino (cz II) relacionado con la presencia de oro nativo asociado a una pirita euhedral (py II). Inclusive, se observa al fluido hidrotermal englobando clastos de cuarzo I blanquecino del evento anterior. También se observó que la propilitización siguió dándose luego de la etapa de mineralización relacionado al cuarzo II. Durante la Etapa III, se habría dado el emplazamiento de otro fluido de menor temperatura que el anterior, formando un agregado fino de cuarzo asociado (cz III) con una pirita fina diseminada (py III), el cuarzo III está reemplazando al cuarzo II (Anexo 1 Cód. BRN-19); este último pulso no se relacionaría con otro evento de mineralización según lo observado.

Hacia el sur de las labores mineras, aparentemente siguiendo el trend de la veta Cielo-Cumbre se ha reportado, de forma puntual, el reemplazo de hematita especular por magnetita formando mushketovita acompañado de un agregado fibroso de cloritas y epidota. Además, se ha observado la presencia diseminaciones de calcopirita en venillas de cuarzo II (cz II). De la microscopía, se determina que la precipitación de epidota y cloritas es posterior al cuarzo II y que la mushketovita es posterior a la epidota y cuarzo II. Por otro lado, en una etapa más tardía del evento, muestra a un cuarzo III en venillas cortando toda la mineralogía preexistente.

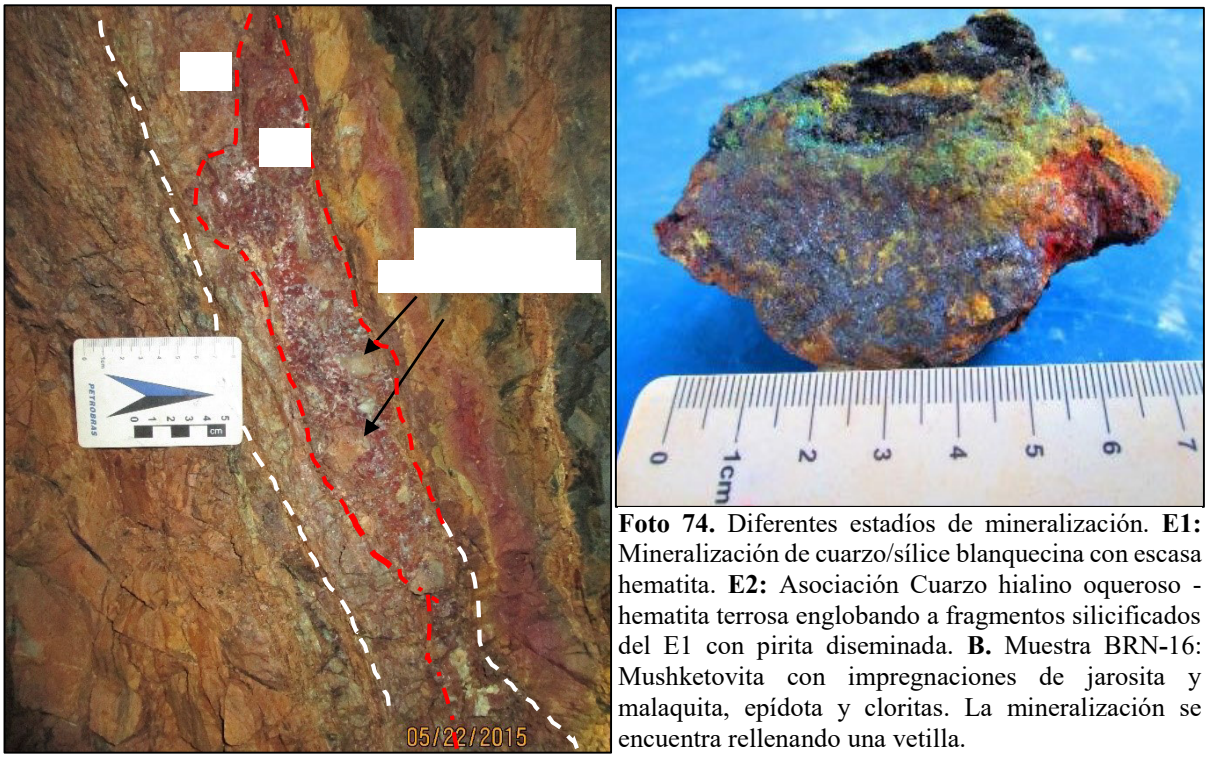


Foto 74. Diferentes estadíos de mineralización. **E1:** Mineralización de cuarzo/sílice blanquecina con escasa hematita. **E2:** Asociación Cuarzo hialino oqueroso - hematita terrosa englobando a fragmentos silicificados del E1 con pirita diseminada. **B.** Muestra BRN-16: Mushketovita con impregnaciones de jarosita y malaquita, epídota y cloritas. La mineralización se encuentra rellenando una vetilla.

ETAPA SECUNDARIA O SUPÉRGENA

Se caracteriza por la meteorización de los sulfuros primarios formando minerales supérgenos estables en estas condiciones, entre ellos se encuentra la hematita, jarosita y goetita asociado a óxidos de Mn. De igual manera, la covelita, calcosita y digenita se presentan como reemplazamiento supérgeno de la calcopirita. Además, el oro se enriquece en la zona oxidada debido a un enriquecimiento residual por la destrucción de la pirita (py II) (ver Foto 63).

El siguiente ejemplar muestra a modo de resumen, desde las primeras a últimas etapas de mineralización, caracterizado a los extremos por la Etapa Temprana (E.T.): Etapa I caracterizado por Silicificación representado con cuarzo blanquecino (cz I) y Argilización con caolinita, illita-esmectita. Seguido por la Etapa II, con presencia de cuarzo hialino (cz II) que se encuentra englobando a fragmentos de la Etapa I de la E.T. Finalmente, la etapa Supérgena está caracterizado por la oxidación, conformado por hematita, jarosita y limonitas que se encuentran cortando a la E.T. de forma irregular y en venillas.

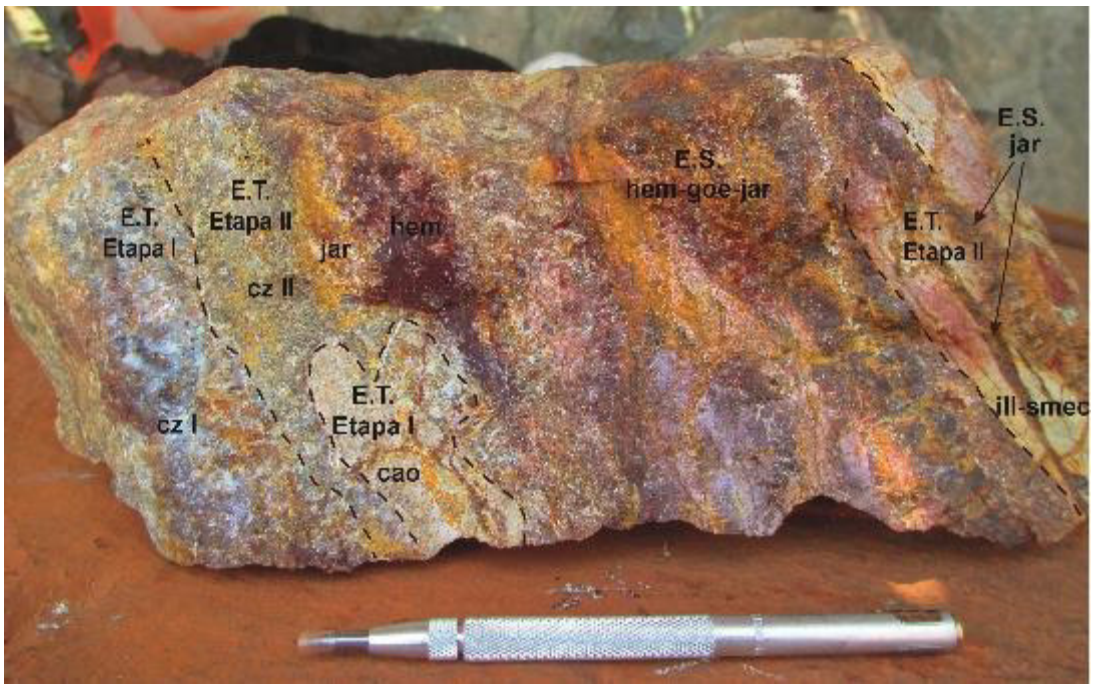
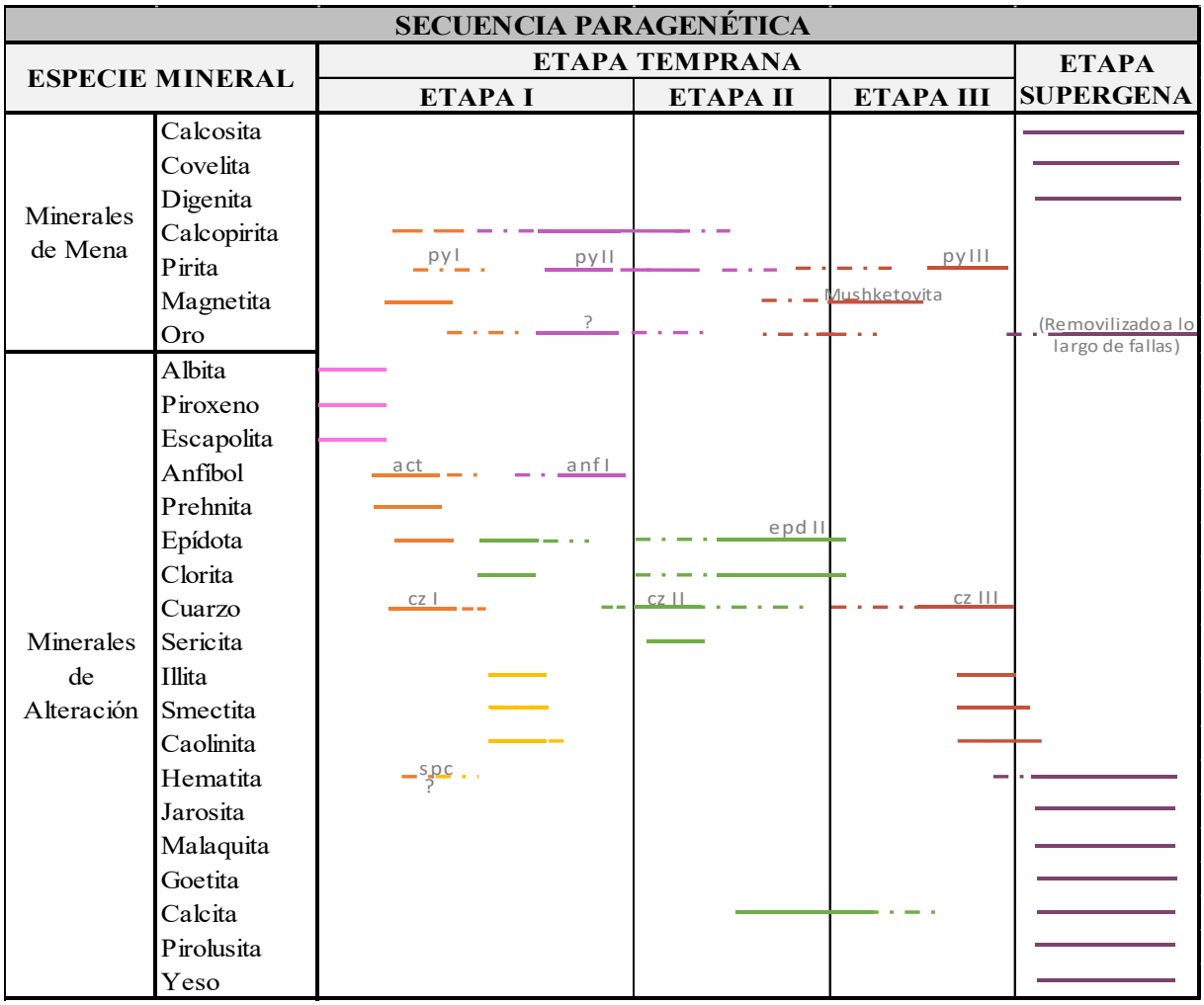


Foto 75. Secuencia Paragenética visto en ejemplar de veta Cielo sur. Etapa Temprana: Etapa I asociación a silicificación, argilización; Etapa II relacionado a una Silicificación. Etapa Supérgena: Oxidación. cz I = cuarzo blanquecino, cz II = cuarzo hialino; cao = caolinita; jar = jarosita, hem = hematita, ill – smec = illita – esmectita.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de la secuencia paragenética propuesta, como resultado de las observaciones de campo, análisis mediante el terraspec y estudios petromineralógicos.

Tabla 15. Paragénesis de las vetas estudiadas en el Prospecto Cielo.



5.4. TIPO Y MODELO DE YACIMIENTO

De acuerdo a las evidencias litológicas, estructurales, mineralógicas y geoquímicas determinadas en el área de estudio, se propone que el Proyecto Cielo estaría relacionado a un tipo de depósito mineral de Óxidos de Fe-Cu-Au conocido como IOCG (Iron, Oxides, Copper, Gold), caracterizado por un sistema de vetas-brecha compuesto principalmente de hematita y goetita; así como el oro (Au) y cobre (Cu) albergados dentro de la pirita y calcopirita.

El posible origen de la mineralización en el Prospecto Cielo se iniciaría con la reactivación de la subducción en un contexto geotectónico extensional durante el Cretáceo Inferior-Tardío lo que genera la reactivación del arco magmático Casma que estuvo caracterizado por la

formación de una cuenca volcanosedimentaria (Grupo Casma) y el emplazamiento del Batolito de la Costa, específicamente la Súper Unidad Santa Rosa (Complejo Purmacana).

La intrusión del Complejo Purmacana compuesta por diorita a monzogranito (50-91 Ma, Mukasa, 1986) generó un metamorfismo de contacto y una zona de alteración sódica-cálcica. Posteriormente, los nuevos pulsos magmáticos habrían sido responsables de traer fluidos mineralizantes formando magnetita, sulfuros de Fe y Cu (calcopirita y pirita) y Au en profundidad.

La continua actividad magmática en el Cretáceo permite la generación de un siguiente pulso magmático que produce la liberación de nuevos fluidos mineralizadores. A la par, la actividad tectónica juega un rol esencial, produciendo zonas de apertura de naturaleza normal. Estas fallas sirven como conductos para el ascenso de los fluidos magmáticos hidrotermales cargados en volátiles que removilizan parte del hierro, además de los sulfuros de cobre y el oro hacia niveles más superficiales fracturando y deformando frágilmente a la roca caja (diorita) y depositando la mineralización en forma de estructuras sigmoidales con relleno y reemplazamiento hidrotermal en forma de vetas y brechas. Posteriormente, el yacimiento fue expuesto a procesos de oxidación y lixiviación dando origen a minerales oxidados y de enriquecimiento secundario.

De lo expuesto, es importante mencionar que actualmente permanece la controversia en relación al origen de este tipo de yacimiento debido a la complejidad de los cuerpos mineralizados; sin embargo, muchos autores entre ellos, Sillitoe (2003) y Richards & Mumim (2013) refieren un posible origen de los fluidos de naturaleza magmático-hidrotermal. Con ello, la interpretación sobre el origen y ocurrencia de este tipo de yacimiento que se explica líneas arriba, es de manera referencial y preliminar siendo importante para investigaciones futuras.

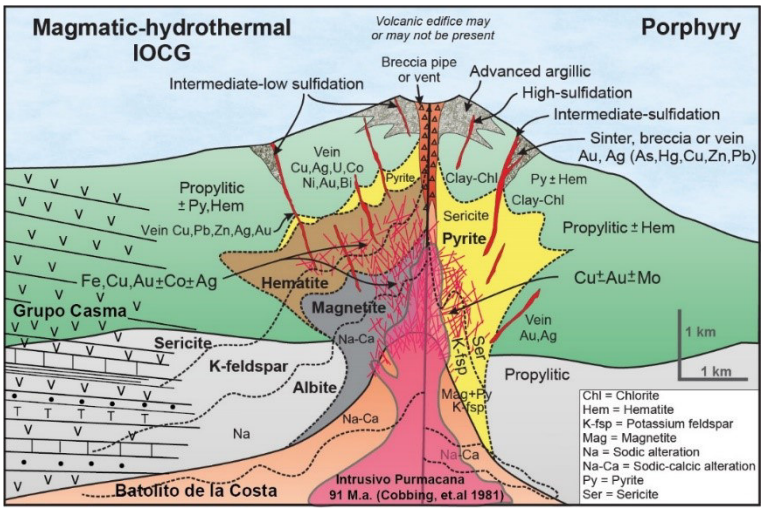


Figura 38. Esquema representativo de las relaciones existentes entre los depósitos IOCG y Pórfidos mostrando sus respectivos ensambles mineralógicos y alteración. Tomado de Richards and Mumim, 2013.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1. PRUEBA DE HIPOTESIS

A partir de características descriptivas de la investigación; se determinó un sistema de vetas que afloran principalmente en dioritas de la Súper Unidad Santa Rosa del Batolito de la Costa. La asociación mineralógica característica consiste en cuarzo hialino, oro en seudomorfos de pirita por limonitas (*boxwork*) y sulfuros secundarios de cobre reemplazando a calcopirita. Las vetas son estructuras angostas que tienen un comportamiento "tipo rosario" con geometría sigmoidal donde se ha reconocido 10 clavos mineralizados de 15 cm de potencia con leyes hasta de 26.8 g/t Au. La distribución geoquímica de los principales elementos muestra anomalías en Cu, Fe, Au, Ag, Cu, Zn y Pb. Con todo lo expuesto el Prospecto Cielo es un target para futuros estudios geológicos y exploratorios de mayor detalle.

6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El reconocimiento de áreas prospectivas puede estar condicionada por diversas guías de búsqueda tales como el comportamiento estructural, geoquímico, mineralógico y litológico, los cuales permitieron comprender y determinar el yacimiento. A continuación, se resume los principales resultados obtenidos:

Control Litológico

A partir de la prospección geológica se detalló la geología local del área de estudio registrando principalmente un cuerpo intrusivo de composición diorítica cuya extensión es considerable a la escala 1:50,000; sin embargo, este cuerpo no se reporta en el cuadrángulo de Barranca 22h (Cobbing, 1973), pese a ser mencionado en el Boletín N°26 como un cuerpo con bastante afinidad textural y espacial con la Tonalita; lo que se corrobora con el cartografiado geológico y estudio petrográfico realizado. Debido a esta asociación, Cobbing,1973; los considera como un solo Grupo en la carta geológica. En el presente trabajo, se ha podido diferenciar los cuerpos durante el cartografiado, siendo importante su reconocimiento y diferenciación ya que las dioritas son las rocas encajonante que albergan estructuras mineralizadas de mayor continuidad (Veta Cielo-Cumbre, Rosa-Toro), por otro lado, las tonalitas también albergan filones mineralizados (Veta Ariana, Vetas zona Esperanza), pero no son continuas en superficie, esto posiblemente sea por las variaciones en la composición de tonalita a cuarzodiorita.

El recorrido de los fluidos hidrotermales desde su origen hasta su depositación está controlado en gran medida por la permeabilidad de las rocas que atraviesa la solución hidrotermal debido a la presencia de fisuras o poros interconectados. De manera que, la permeabilidad secundaria se ha desarrollado mejor en los intrusivos que en los volcánicos metasomatizados siendo la diorita, la roca encajonante más favorable para el desarrollo de estructuras mineralizadas.

Control Estructural

El yacimiento corresponde a relleno de fisuras preexistentes que se extienden en la dirección NE-SO con buzamientos subverticales formando vetas angostas tipo "rosario" tanto en la dirección horizontal como vertical, presenta geometrías sigmoidales y texturas brechosas. Según el arreglo geométrico observado en el sistema de vetas se determina que el ambiente tectónico durante el emplazamiento de los fluidos hidrotermales se dio bajo un régimen extensional con cinemática pura de fallas normales y mixta de normales – sinestrales.

La relación entre las principales zonas de ascenso de los fluidos hidrotermales con las inflexiones sinestrales de las estructuras forma zonas de apertura favorables para el relleno hidrotermal tal como se ha podido observar en el modelo estructural (Fig. 33).

La distribución de los filones está en función de la competencia del tipo de roca. Tal como ocurre en el emplazamiento de veta Rosa-Toro y Cielo-Cumbre al norte, donde se puede notar que no se desarrollan estructuras extensionales en el cambio litológico de dioritas a hornfels (protolito andesítico), por el contrario, se comportan como fallas o estructuras cerradas, lo que indicaría que la diferencia en la competencia entre el intrusivo y el volcánico, habría generado espacios abiertos (desarrollo de sigmoides) y permeabilidad en la roca más deformadas. Esta permeabilidad es clave para el ascenso y circulación de fluidos mineralizantes a través de rocas más incompetente (diorita) a diferencia de las competentes (hornfels).

Las estructuras vetiformes del Prospecto Cielo presentan por lo menos 3 etapas de deformación que habrían afectado en cierta medida a la geometría inicial del yacimiento:

- Fase I, relacionada a un evento pre mineral que habría sido originado por una comprensión regional en la dirección NO-SE ($\sigma 1$: N 329°) gobernada por una cinemática de tipo Sinestral generando fisuras y espacios abiertos (sigmoides) que luego servirán de trampa para las vetas Rosa-Toro, Cielo-Cumbre, Rosario, entre otros. Este periodo de compresión estaría relacionado con la Fase Peruana (84-79 Ma).
- Fase II, relacionada al principal evento de mineralización, se caracteriza por un evento extensional en la dirección ONO-ESE (σ_3: N 103°) que habría favorecido al ascenso de los

fluidos hidrotermales a través de las fisuras formando las vetas. Por lo expuesto, podría interpretarse la edad de esta de deformación al Maastrichtiano, el cual se relacionaría de forma similar con el evento tectónico registrado en otros depósitos del Cretáceo superior (Polliand et al. 2005).

- Fase III, relacionado a un evento post mineral de régimen compresivo en dirección ENE-OSO (σ1: N 71.4°) que genera deformación y desplazamiento de tipo sinestral sobre las vetas y diques. Por lo expuesto, podría interpretarse la edad de esta de deformación a la Fase Incaica en el Terciario, relacionándose de manera similar a la dirección del esfuerzo tectónico principal de aquella época (Polliand et al. 2005).

Control Mineralógico

Los estilos de mineralización se caracterizan por un relleno de fisuras y reemplazamiento hidrotermal conformado por nuevos minerales los cuales son estables bajo las nuevas condiciones físicoquímicas. La alteración hidrotermal se presenta como una zonación vertical y horizontal de regular extensión en superficie y poco volumen. Para la clasificación de los tipos de alteración se establecieron las asociaciones mineralógicas según el tipo de yacimiento IOCG propuesto basado en el criterio de Hitzman et al. 1992.

Los cambios metasomáticos ocurridos en zonas de metamorfismo de contacto de alto grado generan un ensamble mineralógico de alta temperatura (>~ 400°C – 350°C), rica en álcalis caracterizado por una Alteración Cálcica-Sódica de intensidad moderada a pervasiva. La alteración cálcica se ha desarrollado en cuerpos dioríticos que albergan la mineralización. Su asociación mineralógica está conformada por actinolita, piroxenos, trazas de magnetita diseminada y prehnita en venillas. La alteración sódica se ha desarrollado en intrusivos de naturaleza más félsicos con ensambles albita, piroxenos, escapolita, clorita y carbonatos; además, presenta trazas de pirita diseminada (py I) y minerales opacos débilmente magnéticos. Seguido por un cambio en las condiciones de ph a más acido reflejado en el desarrollo de sericita restringido a la estructura mineralizada y asociado al cuarzo (cz II), ± pirita II, donde la presencia de sericita es relativa ya que se reconoció en algunos tramos de la veta, asimismo, la pirita se encuentra en modo de relictos reemplazado por hematita y goetita albergando oro en estado libre. Generalmente, la mineralización de cobre tales como malaquita y crisocola se distribuyen a ambos lados de esta asociación mineral y adyacente a la roca encajonante, lo acompañan jarosita, limonitas, calcita, yeso y óxidos de manganeso.

Continúa un halo de alteración argílica representado por caolinita-illita-esmectita, pasando a una zona de alteración propilítica conformado por cloritas-epídota-calcita y pirita en trazas,

mientras que en las partes cercanas a la veta y adyacentes a la alteración propilitica se ha reconocido una asociación cloritas-sericita-illita a caolinita-sericita-illita. Este tipo de alteración es descrito por Sillitoe (2010) como SCC a una sobreimposición de la alteración Argílica en una alteración fílica más temprana.

Entre otros estilos de mineralización, se reconoce un evento de silicificación representada por un cuarzo blanquecino (cz I) el cual no está relacionado a la mineralización.

Se ha reconocido de manera puntual una vetilla con presencia de mushketovita, mineral formado por el reemplazo de hematita especular por magnetita. Con los estudios petrográficos se determinó que la presencia de esta magnetita es posterior al evento de mineralización relacionado a la presencia de cuarzo II, pirita II, calcopirita y oro.

La mineralización en Prospecto Cielo resalta en superficie por su coloración rojiza formado por alteración supérgena, en efecto, se ha podido reconocer y diferenciar las asociaciones mineralógicas conforme va variando en la vertical. Así pues, en la superficie, la mineralogía predominante la conforman los óxidos e hidróxidos de Fe, como goetita y hematita, asociado a oro nativo junto con cuarzo (cz II) ahumado de aspecto oqueroso y trazas de pirita (py II), esta asociación mineral corresponde a la zona de lixiviación de un espesor estimado de ± 25 m. Seguido por la zona de óxidos con un espesor mínimo estimado de 15 m y una mineralogía conformada al centro de la veta por la asociación de cuarzo ahumado, oro en *boxwork* de pirita rellenos y reemplazados por hematita y goetita, seguido de jarosita y pirolusita a ambos lados, y hacia las partes más externas adyacente a la roca caja, presenta malaquita y crisocola con venillas de calcita, esta zona se observa principalmente al nivel 630 de la Galería Cielo norte. Luego, con el avance de un pique de 12 m en Galería Cielo Sur, se empezó a visualizar algunos parches de covelita, calcosita y digenita reemplazando a la calcopirita en sus bordes; asociado al cuarzo ahumado, pirita diseminada y parches, y en menor proporción jarosita, hematita y goetita, lo cual representaría a la zona de sulfuros secundarios de cobre.

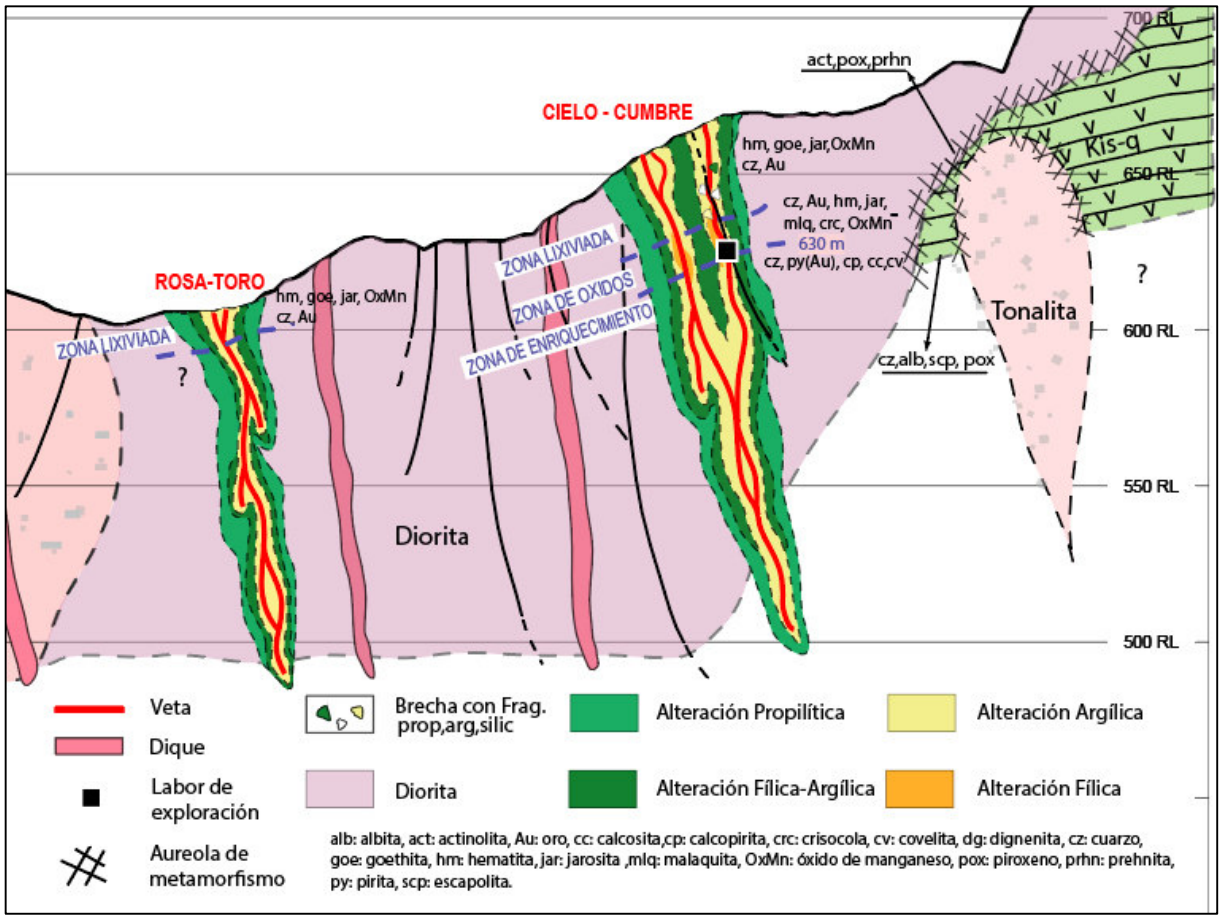


Figura 39. Perfil esquemático de la Distribución de la mineralización y alteración del Proyecto Cielo.

Existen varios mecanismos que conducen a la precipitación de oro de las soluciones que migran en la zona de oxidación. Es muy probable que la movilización química del oro en la zona supergénica esté frecuentemente relacionado con la meteorización de los sulfuros de fierro, tal como la pirita, quien es la principal fuente de soluciones ácidas responsables de la destrucción el mineral sulfurado durante la meteorización.

La presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, tales como la goetita, hematita, y pirolusita, sugiere que la lixiviación supergénica formó una zona de enriquecimiento de oro principalmente residual. Prueba de ello, se observó al microscopio, un reemplazamiento de goetita y hematita en la pirita (textura *boxwork*), donde el oro se encuentra libre en los relictos de pirita (py II) asociado con el cuarzo ahumado (cz II). Tomando en cuenta este criterio, la oxidación en forma de hematita, goetita y jarosita sería de mucha utilidad como guía determinante para la prospección de oro. Además, es posible que en profundidad el ensamble pirita II-cuarzo II controle la presencia de oro. Por otro lado, no se descarta que los óxidos también provengan de la alteración de la magnetita, así sea en menor proporción, prueba de ello es la ocurrencia de vetillas delgadas de mushketovita.

Las asociaciones mineralógicas observadas en el Prospecto Cielo se asemejan a las identificadas en los depósitos IOCG en la costa norte del Perú (Reyes, 2019), así como en Cerro Colorado Chico (Torres et al. 2020) o en Mina Phoenix-5 (Sánchez F., 2018). Estos proyectos coinciden con el Prospecto Cielo con respecto a la poca concentración (trazas) de magnetita. Además, es importante mencionar que no se ha reconocido evidencia de alteración potásica típica de estos depósitos.

Control Geoquímico

El muestreo geoquímico realizado sobre los afloramientos de vetas con mineralización, se realizó bajo el objetivo de encontrar clavos mineralizados de alta ley en Au a partir de anomalías fuertes. Con el tratamiento estadístico, se definió el valor de fondo (Background) de las estructuras en 0.26 g/t Au y un umbral (Threshold) de 2.07 g/t Au. Aquellos valores por encima de 2.07 g/t de oro se consideran anomalías para la población estudiada, ya que se alejan de los valores geoquímicos promedio. Además, el valor máximo reportado es de 26.8 g/t que corresponde a un clavo mineralizado de 15 cm en Veta Cumbre. Es importante mencionar que la evaluación económica de las estructuras no solo depende de las leyes altas, sino también está en función de su potencia, continuidad de la mineralización y complejidad metalúrgica de extracción, entre otros.

El análisis geoquímico, incluyó un tratamiento estadístico univariable y multivariable de 16 elementos indicadores y guías de mineralización para un yacimiento magmático-hidrotermal tipo IOCG caracterizado por su enriquecimiento en óxidos de hierro por lo que se determinó las anomalías de los elementos asociados: Cu, Fe, Au, Ag, As, Bi, Mn, Mo, Pb, S, Zn, Ba, Co, P, Cd, Ti (Camprubí y González-Partida, 2017).

El índice de correlación de Pearson muestra relaciones positivas en intensidad buena y moderada entre los principales elementos indicadores y los elementos guías por lo que ha sido de utilidad como para establecer relaciones geológicas y geoquímicas.

- Au-Bi, Ag-Pb-Bi: Moderada correlación entre bismuto y Au, Ag y Pb. Se interpreta al Bi como elemento pathfinder de Au, Ag y Pb. Posible indicador de electrum (Au,Ag) y galena a profundidad.
- Zn-Mn-Co: Buena correlación entre los elementos. Posible indicador de esfalerita a profundidad.

- As-Mo-Fe-S: Correlación buena a moderada entre los elementos. Se interpreta como posible indicador de pirita, pirrotita, arsenopirita y molibdenita a profundidad.
- Cu-Ag-Pb: Correlación buena a moderada. Posible indicador de calcopirita, galena a profundidad.

Tabla 16. Asociación e interpretación de los coeficientes de correlación.

ASOCIACIÓN	INTERPRETACIÓN
Au, Ag, Pb - Bi	Electrum? - Galena? Bi como elemento guía.
Zn-Mn-Co	Esfalerita?- Pirolusita
As-Mo-Fe-S	Pirita-pirrotita?- Arsenopirita?-Molibdenita?
Cu-Ag-Pb	Calcopirita-galena?-electrum?

Por otro lado, del comportamiento geoquímico de los elementos, resalta la mayor concentración de Cu en veta Cielo-Cumbre que, en Veta Rosa, esto posiblemente esté relacionado a la ubicación espacial del sistema de alteración hidrotermal en las vetas, siendo probable el incremento de Cu conforme se profundice en la vertical en veta Rosa ya que la configuración actual de la estructura se encuentra en la zona de lixiviación. En cuanto al Bi, este se distribuye siguiendo el comportamiento del Au y Ag, por lo tanto, serviría como guía para la exploración de estos metales.

La distribución de algunos elementos seguiría aparentemente un comportamiento estructural en dirección ONO-ESE (Falla B), así pues, la asociación As-Mo-Ba-Ti-P se concentra al norte de la falla B en veta Cielo-Cumbre y veta Rosa, la asociación Zn-Cd-Co se concentra al norte de la falla B en veta Cielo-Cumbre y veta Rosario y la asociación de Au-Ag-Cu-Mn-Bi se concentran al sur de la falla B en veta Rosa-Toro y Cielo-Cumbre.
En caso del Fe, Pb y S no muestran una distribución preferente de acuerdo a algún rasgo geoquímico-estructural.

Finalmente, De acuerdo a las principales Franjas Metalogenéticas (Carlotto, et. al., 2009) el depósito correspondería a la Franja Metalogenética VIII de Depósitos de Fe-Cu-Au del cretáceo Inferior .

POTENCIAL EXPLORATORIO DEL ÁREA DE ESTUDIO

De las observaciones de campo y de acuerdo a la importancia de seguir explorando, se describen las áreas con potencial económico para la exploración, tanto a escala distrital como a escala local.

Desde el punto de vista local, los afloramientos de las vetas se encuentran en la zona de lixiviación-oxidación, por lo que tiene mucho potencial para la prospección aurífera. Con respecto a veta Cielo-Cumbre, tiene continuidad comprobada en superficie hacia el sur de las labores mineras, por ende, se debería realizar un muestreo sistemático sobre la estructura y analizar bajo los métodos de Ensayo al fuego y Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) para Au. Además de continuar con las exploraciones hacia profundidad desde el Nv 630. De igual manera, en veta Rosa-Toro, la estructura tiene potencia y continuidad consistente al norte y sur. En este caso, se recomienda mejorar la limpieza de sus afloramientos cubiertos para un muestreo sistemático sobre la estructura y realizar un muestreo sistemático a lo largo de la estructura y analizar químicamente bajo el mismo método.

A escala distrital, el prospecto Cielo parece ser más atractiva debido a su cercanía con otras operaciones mineras cercanas. De manera que, basado en las características geológicas, estilos de mineralización y control estructural de las vetas; es probable que las estructuras mineralizadas de la U.M. Vicus (Huillca, 2017) sean parte del mismo sistema de emplazamiento, ya que comparten similitudes, que, bajo un contexto a escala regional de la zona, formarían parte del mismo sistema de mineralización; incluso, Arcos, F. (2019) considera al Proyecto Cielo, al que describe como Barranca Gold en el boletín N°14 “Actividad Minera Artesanal en la Region Lima”, junto a la minera Vicus y otros, dentro del Bloque norte como “Zona Colorado” resaltando la ocurrencia de Au, Cu del Proyecto Cielo y principalmente Au de la minera Vicus. Además, esta hipótesis toma fuerza por la cercanía del proyecto Cielo a unos 6.5 Km al SE en línea recta de la minera Vicus. A continuación, se señala las características que comparten consistentemente ambos depósitos son:

- Estructuras de mineralización caracterizado por vetas angostas tipo rosario enriquecida en oro asociado a la pirita.
- Emplazamiento de las estructuras mineralizadas en dioritas del Complejo Purmacana.
- Mismo control estructural. El modo de emplazamiento de las vetas sigue una dirección NE buzando al SE alojado en fallas normales y fallas de rumbo con componente normal.

Asimismo, las vetas están controladas por fallas NO-SE de postmineralizacion de cinemática sinestral.

- Mineral de mena constituida por oro nativo, y en menor medida cantidades subeconómicas de metales como la plata y el cobre.
- Presencia de alteraciones hidrotermales como: alteración supergéna por oxidación, alteración argílica, pasando a alteración propilítica (Huilca,2017).

Es importante señalar que, la U.M. Vicus es una pequeña minera que empezó su producción de oro desde el 2002, reportando en el 2017 una ley mínima explotable de 13 g/TMS (Cornelio, 2017). Y actualmente se encuentran en etapa de profundización. En su mineralogía, el oro se presenta asociado a una pirita masiva y cuarzo lechoso, también se reporta leyes altas de oro asociado a esfalerita (incluida en pirita) y galena con inclusiones de pirita aurífera en cantidades menores (Huillca,2017). Con ello, se deduce que las anomalías geoquímicas de Zn, Pb arrojados en los resultados de la presente investigación, refleja una firma geoquímica de las estructuras a profundidad. De manera que, las operaciones de la U.M. Vicus se encontrarían en la zona hipógena del yacimiento, lo que genera un considerable potencial exploratorio para el Proyecto Cielo.

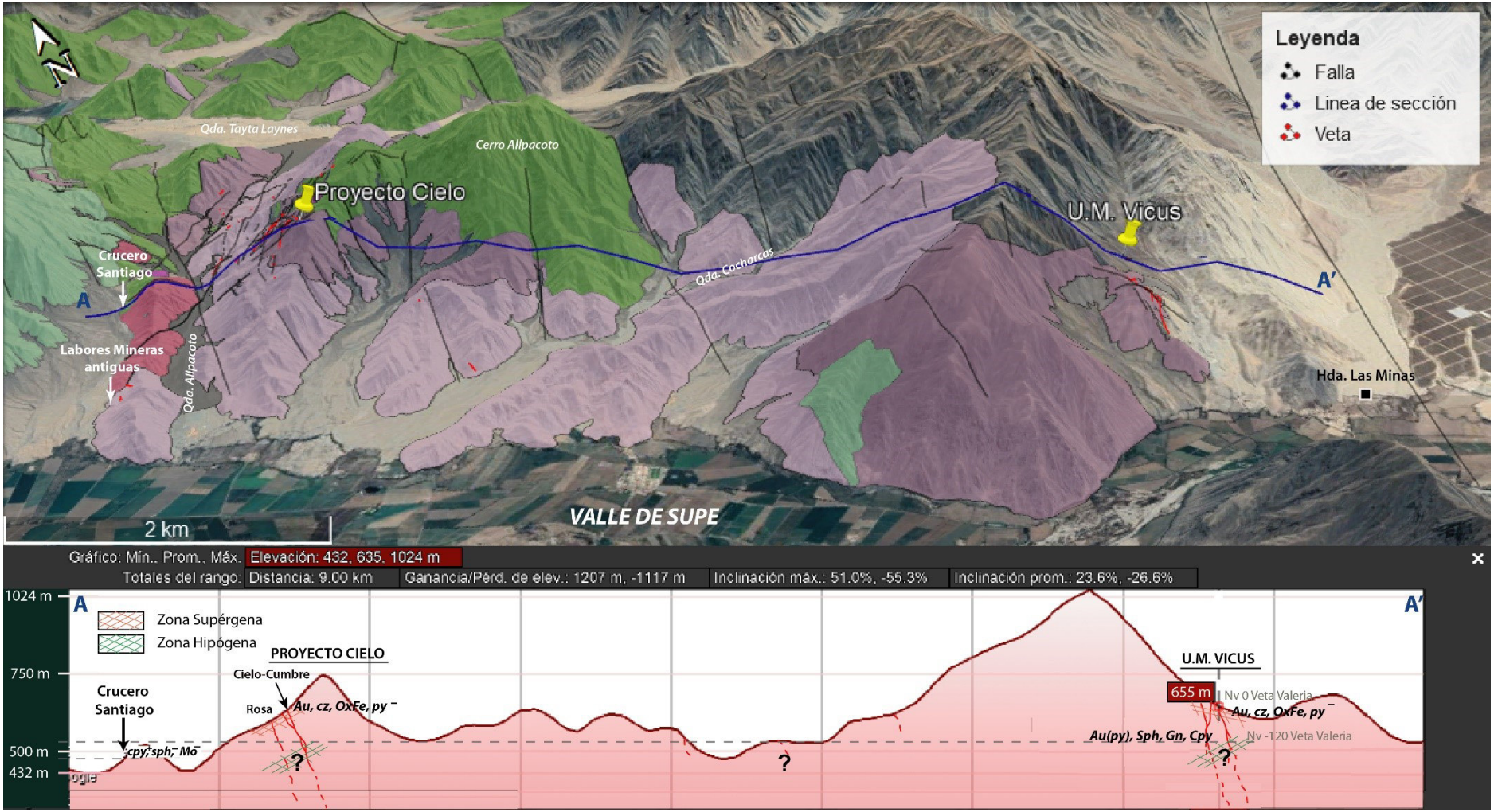


Figura 40. Sección esquemática transversal mostrando la ubicación referencial del Proyecto Cielo y la U.M. Vicus. Se representa el potencial a profundidad y hacia el este del Proyecto Cielo con respecto a la minera, considerando la similitud en sus características geológicas.

CONCLUSIONES

1. El Proyecto Cielo es un yacimiento filoniano emplazado en intrusivos del Complejo Purmacana de la Súper Unidad Santa Rosa del Batolito de la Costa. Las estructuras mineralizadas tienen como roca encajonante a dioritas, tonalitas-granodioritas, y, de manera restringida a secuencias de andesitas del Grupo Casma. La mineralización principal es de Au-Cu alojadas en dioritas datadas en 91 M.a. (Mukasa,1986).
2. Consiste en un sistema de vetas-brechas probablemente de origen magmático-hidrotermal de tipo relleno de fisuras y reemplazamiento, con un comportamiento en "rosario" en la vertical y horizontal con geometría sigmoidal favorables para la depositación de mineral económico. Las vetas presentan una dirección NE-SO con buzamientos subverticales hacia el SE, son de potencia angostas que varían desde 0.1 m a 0.3 m, alcanzando excepcionalmente a 1.5 m, entre las que destacan la veta Cielo-Cumbre y Rosa-Toro con leyes que varían desde 0.99 a 26.8 g/t Au.
3. La veta Cumbre aflora con un rumbo que varía desde N05°E – N40°E/ 63° – 85°SE con potencia variable de 0.15- 0.45 m aflorando a lo largo de 100 m de forma discontinua y 150 m como falla. La veta Cielo presenta un rumbo N10°E - N38°E/70°- 88°SE con una potencia de 0.15 – 0.6 m. Aflora en superficie a lo largo de 150 m como veta y 60 m como falla. Ambas vetas convergen al norte y sur en una sola estructura a la que se denominó Veta Cielo-Cumbre que tiene una longitud de 90 m definidos en superficie y 470 m inferidos siguiendo el lineamiento de la falla.
4. La veta Rosa-Toro se ramifica e inflexiona a lo largo de su trayectoria. Presenta un rumbo N05°E – N40°E/63°–85°SE con una potencia de 0.15- 0.45 m, aflorando como veta a lo largo de 280 m y como falla o estructura cubierta cerca de 480 m.
5. La diorita es el mejor control litológico, siendo más favorable en albergar mineralización aurífera, seguido de la tonalita-granodiorita. Además, presenta un diferente comportamiento al fracturamiento, siendo menos competente y más permeable que las rocas volcánicas adyacentes, favoreciendo al paso de fluidos hidrotermales por los espacios abiertos.
6. Los fluidos hidrotermales aprovecharon zonas de apertura (sigmoides) para canalizar y concentrar el flujo las soluciones mineralizadas. En vista del arreglo geométrico observado en las vetas, se interpreta que el ambiente tectónico activo al momento del funcionamiento del sistema hidrotermal corresponde a un régimen extensivo

caracterizado por una cinemática mixta de tipo normal a normal-sinestral, con una posible reactivación de tipo dextral-Normal.

7. El control estructural es un factor determinante en la proyección y la exploración de las vetas en el prospecto Cielo, por ello se concluye que los "blancos" de exploración deben dirigirse a posibles estructuras tensionales y siguiendo el modelo de riedel (R, R') a fin de detectar vetas "sigmoide" que puedan corresponder clavos mineralizados.
8. Se ha determinado tres fases de deformación en el desarrollo de las estructuras. La Fase I, corresponde a un evento compresivo relacionado a la formación de fisuras que sirvieron como trampa estructural para el paso posterior de los fluidos mineralizantes. Este evento se habría desarrollado en la Fase Peruana (~84-79 M.a.). La Fase II corresponde a un evento extensional que habría favorecido el ascenso de los fluidos través de las fisuras formando vetas. La edad de esta deformación correspondería al Maastrichtiano. La Fase III, corresponde a un evento post mineral de régimen compresivo que generó deformación y desplazamiento de tipo sinestral sobre las vetas y diques. Este evento podría interpretarse a la Fase Incaica en el Terciario.
9. Del análisis estadístico multivariable, el Bi se comportaría como guía para Au y Ag según su moderada correlación y distribución geoquímica. Además, la asociación geoquímica del Mn con Au y Ag refuerza la posibilidad de que el Mn haya servido como agente migrador de Au. Además, existe una correlación buena a moderada entre Ag-Cu-Pb.
10. La distribución geoquímica de los elementos estaría regida por un control estructural (falla B), que genera tres zonas de asociación al norte y sur del área de estudio:
    - As-Mo-Ba-Ti-P al norte de la falla B, en veta Cielo-Cumbre y veta Rosa.
    - Zn-Cd-Co norte de la falla B, en veta Cielo-Cumbre y veta Rosario.
    - Au-Ag-Cu-Mn-Bi al sur de la falla B, en veta Rosa-Toro y Cielo-Cumbre.

    En caso del Fe, Pb y S no muestran una distribución preferente de acuerdo a algún rasgo geoquímico-estructural.
11. La mineralización en general, es muy similar en la familia de vetas estudiadas y está conformada por Au asociado a la pirita II y al cuarzo II hialino y ahumado, conforme se va profundizando, presenta covelita, calcosita y digenita reemplazando a la calcopirita. Con respecto a la alteración hidrotermal, se ha desarrollado en las siguientes etapas según su temporalidad: **Etapa Temprana:** Etapa I: Alteración Sódica (Albita-piroxeno-escapolita), Alteración Cálcica-Sódica (Magnetita-actinolita-prehnita-epìdota-cuarzo I-especularita?-pirita I), Alteración Potásica rica en Hierro (Anfíbol II-

pirita II-Calcopirita-Oro). Seguido por un evento de propilitización (Epídota-Clorita) y argilización (Illita-esmectita-caolinita). Etapa II: Alteración fílica (Cuarzo II-sericita-pirita II), oro, calcopirita; seguido de Alteración Propilítica (Clorita-epídota-calcita). Etapa III: silicificación (cuarzo III); mushketovitización y pirita III. **Etapa Supérgena:** Covelita, calcosita, digenita, jarosita, hematita, goetita, pirolusita, carbonatos, yeso.

De todo lo expuesto, se resalta que, el cuarzo II es una guía favorable por estar asociado con la presencia de sulfuros de Fe y Cu primarios que albergan Au. Además, la etapa supérgena es fundamental para el enriquecimiento de Au y Cu. Por otro lado, el aspecto físico de la alteración argílica sirve como guía de exploración de las vetas. Finalmente, no se observa alteración potásica propiamente dicha, característico de estos depósitos, posiblemente, los eventos de alteración posteriores hayan obliterado a esta alteración, sumado a la presencia de sericita en una fase posterior lo que indicaría pérdida de K en el sistema.

12. La alteración supergénica es el resultado de la oxidación de los sulfuros como la pirita los cuales albergan oro en estado libre, este metal se libera, remobiliza y concentra en dicha zona. Por lo tanto, las zonas lixiviadas son guías importantes para la prospección aurífera.
13. La ocurrencia de mineralización de Cu, Au y Fe en otros proyectos de la costa norte del Perú con similares características geológicas, mineralógicas, geoquímicas desarrollados en un escenario tectónico de cuenca intra-arco en un régimen extensional en el Cretácico (Polliand et al. 2005) evidencian que el Prospecto Cielo correspondería a un depósito tipo IOCG perteneciente a la Franja VIII Depósitos Fe-Cu-Au del Cretácico Inferior.
14. El potencial de este estilo de mineralización sigue siendo desconocido al norte de Lima, no obstante, la prospección en esta zona permite generar oportunidades para más estudios de detalle que sostengan operaciones a escala de pequeña minería.

RECOMENDACIONES

1. Se debe profundizar los estudios sobre el área con trabajos de mayor detalle teniendo en cuenta que los resultados geoquímicos muestran anomalías en Au, Ag y metales base (Cu, Fe, Pb, Zn, Mo). Para lo cual se recomienda realizar una campaña de exploración geoquímica sobre vetas y roca de forma sistemática sobre las concesiones Leonel I, Juan Carlos y al norte de Livia II (concesión Sandra Fresia).
2. Para una evaluación económica de las estructuras mineralizadas se debe disponer de una buena exposición de las mismas, seguido de una segunda etapa de muestreo geoquímico, más denso, en canales sistemáticos y transversales a la veta, muestreando todas las estructuras que afloran en superficie de Veta Cielo-Cumbre y veta Rosa-Toro, de igual manera en las galerías de exploración, con el fin de obtener una mejor representatividad del valor económico del proyecto.
3. Continuar con los trabajos de exploración en las galerías desde el Nv. 630 mediante perforaciones con packsac a fin de reducir costos y ver el comportamiento y continuidad de la mineralización en profundidad.
4. Se recomienda implementar los controles y aseguramiento de la calidad (QAQC) durante los procesos de muestreo y análisis químico.
5. Realizar un mapeo geológico y estructural a detalle en las galerías de exploración.
6. Realizar una visita técnica a la U.M. Vicus para conocer sus características de mineralización a profundidad y así tener una idea de ubicación y proyección en el sistema del yacimiento mineral.

BIBLIOGRAFÍA

Allmendinger, R., Gephart, J. & Marrett, R. (1989). Notes on Fault Slip Analysis, Prepared for the Geological Society of America Short Course on "Quantitative Interpretation of Joints and Faults". Department of Geological Sciences of Cornell University Ithaca. New York, 23- 31.

Atherton, M. y Brenchley, P. (1972). A preliminary study of the structure, stratigraphy and metamorphism of some contact rocks of the western Andes, near the Quebrada Venado Muerto, Peru. Geological Journal, 8(1), 161-178.

Atherton, M. y Webb, S. (1989). Volcanic facies, structure, and geochemistry of the marginal basin rocks of central Peru. Journal of South American Earth Sciences, 8(3), 241-261.

Arcos, F. y Calderón, D. (2019). Actividad Minera Artesanal en la Región Lima. INGEMMET, Boletín N°14, Serie E: Minería, 33-40.

AusSpec International Ltd. (2008). Spectral Interpretation field Manual. GMEX. Edicion (3), 34 – 42.

Berkman, D. (2001). Field Geologists' Manual. Preston, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy

Chirif, L. (2010). Microscopía óptica de Minerales. INGEMMET, Boletín N°1, Serie J: Tópicos de Geología, 11-19.

Chirif, L. (2005). Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja N°4. INGEMMET, Boletín N°14, Serie B: Geología Económica, 60-63.

Cobbing J. (1973). Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. INGEMMET, Boletín N°26, Serie A: Carta Geológica Nacional,

Cobbing J. y Pitcher, W. (1979). Algunos Aspectos Estructurales del Batolito Costanero del Perú. INGEMMET, Boletín N°7, Serie D: Estudios Especiales, 8 – 23.

Cobbing J., Pitcher, W., Wilson, J., Baldock, J., Taylor, W., McCourt, W. & Snelling N. (1981). Estudio Geológico de la Cordillera Occidental del Norte del Perú. INGEMMET, Boletín N°10, Serie D: Estudios Especiales,85-94.

Cornelio La Rosa, A. (2017). Diagnóstico del circuito de Molienda y Cianuración, para fijar los parámetros de control de las operaciones de la Minera Vicus S.A.C. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Govett, G. (1983). Handbook of Exploration Gechemistry: Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting. Elsevier Science, 2 (1).

Hildebrand, R. y Whalen, J. (2014). Arc and Slab-Failure Magmatism in Cordilleran Batholiths I – The Cretaceous Coastal Batholith of Peru and its Role in South American Orogenesis and Hemispheric Subduction Flip. Geoscience Canada, 41,255-282.

Huillca, R. (2017). Geología, Análisis y Modelo Estructural del Sistema de vetas de la empresa Minera Vicus SAC. Barranca, Lima-Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Injoque, J. y Aranda, A. (2005). Metalogenia de la Costa – Visión Actualizada. Sociedad Geológica del Perú. Volumen Especial N° 6 "Alberto Giesecke Matto", 149-166.

Injoque, J. (2005). Yacimientos de óxido Fe-Cu-Au en el Perú, una visión integral. XI Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. 429-448.

Lachowicz, H. (2009). Depósitos Supérgenos de oro. Revista Escuela Politécnica Nacional de Quito, 30 (1), 48-69.

Mackenzie, W., Donalson, C. y Guilford, C. (1982). Atlas of igneous rocks and their textures. England: Wiley, 101-104.

Morales, P. (2014). Cocientes metálicos y Cálculo de reservas de minerales de la Veta Cinthia – Proyecto Minero Caracol S.A.C.- Barranca-Lima (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Mukasa, S. (1986). Zircon U-Pb ages of super-units in the Coastal batholith, Peru: Implications for magmatic and tectonic processes. Geological Society of America Bulletin, 97, 241-254. doi: 10.1130/0016-7606(1986)972.0.CO;2.

Páez, C. (2008). Espectrometría de reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración en la zona de Viruela-La Cruz, proyecto La India: Distrito Minero Mulatos, Sahuaripa, Sonora México (Tesis de postgradp). Universidad de Sonora, México.

Pitcher, W. y Bussell, M. (1977). Structural control of batholithic emplacement in Peru: a review. Journal of the Geological Society, 133, 249-255. doi:10.1144/gsjgs.133.3.0249.

Polliand, M., Schaltegger Urs & Fontboté, L. (2005). Formation of intra-arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction: field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes.

Reyes, P. (2019). Sobre el potencial de mineralización de Cu, Au tipo IOCG en la costa norte del Perú paralelo 9°-12°. Proexplo 2019. Resúmenes extendidos.

Richards, J. & Mumim H. (2012). Lithospheric fertilization and mineralization by Arc Magmas: Genetic links and secular differences between porphyry copper 6 molybdenum 6 gold and magmatic-Hidrotermal iron oxide. Society of Economic Geologists. Special Publication 17, pp. 277-299.

Romero, D. (2007). La Cuenca Cretácico Superior-Paleoceno del Perú Central: Un metalotecto para la exploración de SMV, Ejemplo Mina María Teresa (Tesis postgrado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cuzco, Perú.

Siegel, F. (1992). Geoquímica Aplicada. Washington, D.C., Estados Unidos de América: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

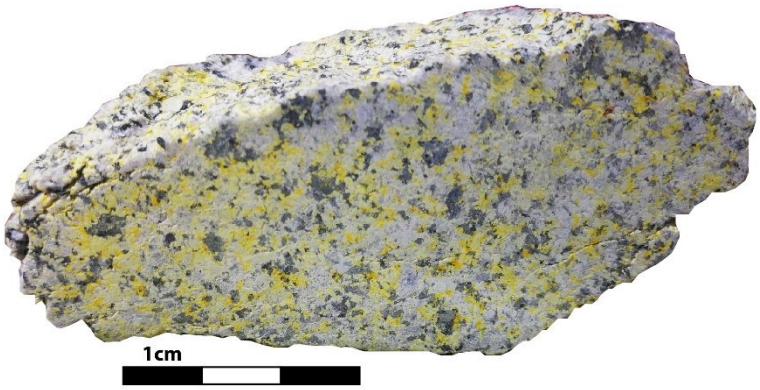
Torres, A. et al. (2020). Localización y evidencias geológicas enfocados en la determinación del yacimiento IOCG Cerro Colorado Chico, Ancash-Perú.

Tumialán, P. (2003). Compendio de Yacimientos Minerales del Perú Yacimientos Cordilleranos. INGEMMET, Boletín N° 10, Serie B: Geología Económica, pp. 286.

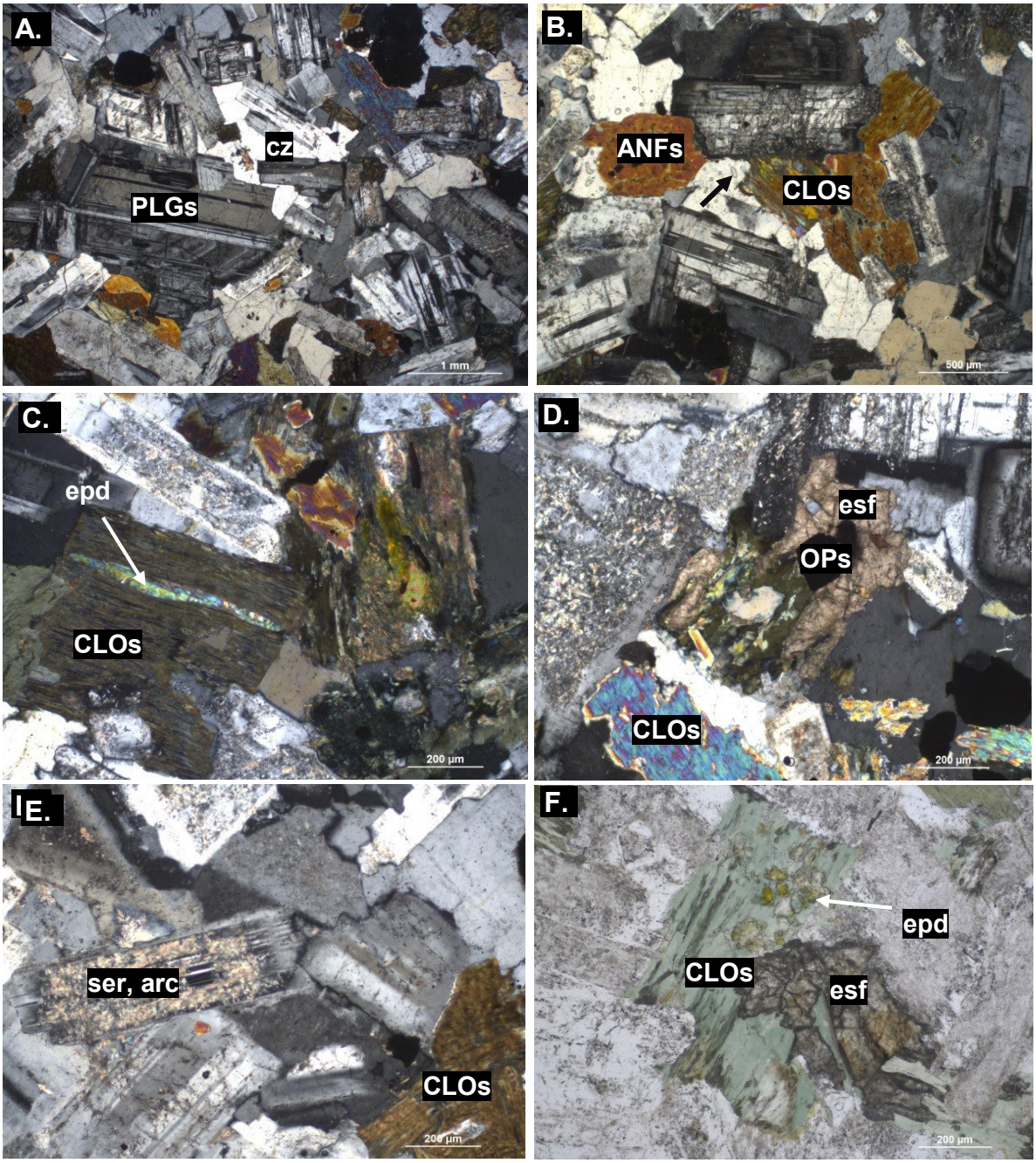
Valls, R. (2012). El empleo de histogramas y polígonos de frecuencia en la interpretación de datos geoquímicos. Revista Informativa Nuestro Pórtico de Calvista Gold Corporation. Edición septiembre 15, 1-8.

ANEXOS

ANEXO 1. ESTUDIOS PETROMINERALÓGICOS

CÓDIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN
	ESTE	NORTE	ZONA		
BRN-01	224743	8798416	18	Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa	**Tonalita**
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
Roca ígnea intrusiva de color gris claro, por su índice de color es leucócrata. Presenta textura fanerítica de grano medio. Está conformada principalmente por cristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita y esporádicos cristales de ortosa, con una incipiente alteración de los feldespatos a arcillas. Presenta un magnetismo moderado.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca ígnea intrusiva con textura granular hipidiomórfica. Está compuesto por cristales de Plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, anfíboles, biotita, esfena, trazas de zircón y apatito. Además, entre los minerales de alteración presenta sericita, arcillas, cloritas, epidota, óxidos de hierro, carbonatos y minerales opacos.					
ALTERACIÓN	Sericitización, argilización, cloritización y epidotización débiles; oxidación y carbonatación incipientes.				

MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Plagioclasas:** subhedrales a anhedrales tabulares, maclados y zonados, algunos microfracturados. Se encuentran alterados a sericita, arcillas, epidota, cloritas y carbonatos.	4.24	60
		Cuarzo: anhedrales con microfracturas y presentes rellenando intersticios de cristales de plagioclasas y anfíboles; presentan extinción ondulante	1.44	19
		Anfíboles: subhedrales a anhedrales, tabulares, algunas con sección rómbica, maclados. Alterados a cloritas y epidota, con impregnaciones de óxidos de hierro. Ocurren con inclusiones de apatito y minerales opacos	1.68	13
		Biotita: subhedrales, tabulares con hábito prismático corto, alterado a cloritas, óxidos de hierro y epidota. Posee inclusiones de apatito y minerales opacos.	1.20	2
		Feldespato potásico: subhedrales a anhedrales, alterados a arcillas.	0.5	3
	ACCESORIOS	**Esfena:** anhedrales asociados con minerales opacos y anfíboles, además muy microfracturados.	0.48	Traza
		Apatito: subhedrales subredondeados, tabulares, ocurren como inclusiones en cristales de biotita y algunos anfíboles.	0.06	Traza
		Zircón: euhedrales con bordes subredondeados, como inclusiones en cristales de plagioclasas y cuarzo, además junto con minerales opacos.	0,17	Traza
		Minerales opacos: Entre ellos se encuentra la magnetita reconocido por el corte de la sección de forma cuadrada. Está asociado con esfena, anfíboles y biotita. Y con tamaños menores a 0,16 como inclusiones en anfíboles y biotita.	0.56	3
SECUNDARIOS		**Sericita:** agregados microescamosos producto de alteración de las plagioclasas.	0.11	Traza
		Arcillas: agregados criptocristalinos producto de alteración de las plagioclasas	0.005	Traza
		Cloritas: agregados microfibrosos, ocurren como alteración de plagioclasas, anfíboles y biotita. Ocasionalmente en intersticios y junto con epidota reemplazando casi en su totalidad a cristales de biotita.	0.22	Traza
		Epídota: cristales anhedrales, producto de alteración de plagioclasas, anfíboles, biotita y algunos como diseminados junto con minerales opacos y ferromagnesianos	0.48	Traza
		Óxidos de hierro: agregados criptocristalinos, alteración de biotita y minerales opacos. Además como impregnaciones en cristales de anfíboles.	0.004	Traza
		Carbonatos: agregados microcristalinos, como relleno de venillas con espesores menores a 0,01 mm y como producto de alteración de cristales de plagioclasas	0.01	Traza

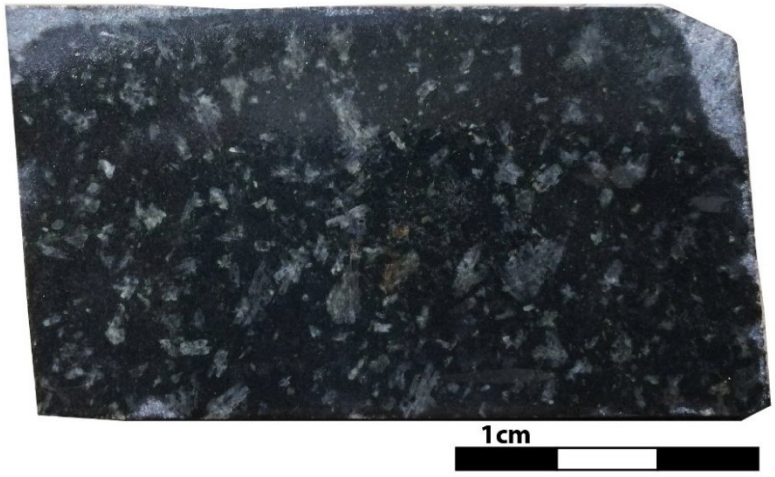


Fotomicrografías: A. Cristales de plagioclasas, anfíboles y cuarzo. **B.** Anfíboles alterados a cloritas y epídota, junto con biotita. **C.** Biotita alterada a epídota por medio de sus planos de clivaje. **D.** Agregados de anfíboles alterados a cloritas y epídota, junto con esfena y minerales opacos. **E.** Cristales de plagioclasas alteradas a sericita y arcillas. **F.** Anfíboles alterados a cloritas y epídota; junto con cristales anhedrales de esfena. Observaciones con Luz transmitida en nicoles cruzados (**A.**, **B.**, **C.**, **D. y E.**); y en nicoles paralelos (F.). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas ; cz = cuarzo; ANFs = anfíboles; esf = esfena; CLOs = cloritas; arc = arcilla; epd = epidota; OPs = opacos.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN
	ESTE	NORTE	ZONA		
BRN-04	224509	8798799	18	Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa	**Pórfido Microdiorítico**

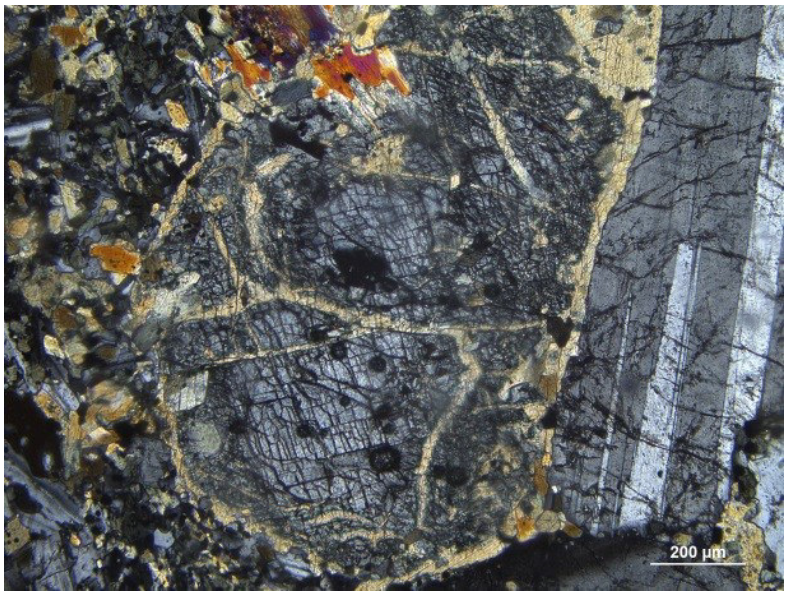
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva de color gris oscuro, por su índice de color es melanócrata. Presenta textura porfirítica de grano medio a fino. Está conformada principalmente por fenocristales de plagioclasas y anfíboles en una matriz de minerales ferromagneasianos. Tiene magnetismo moderado.



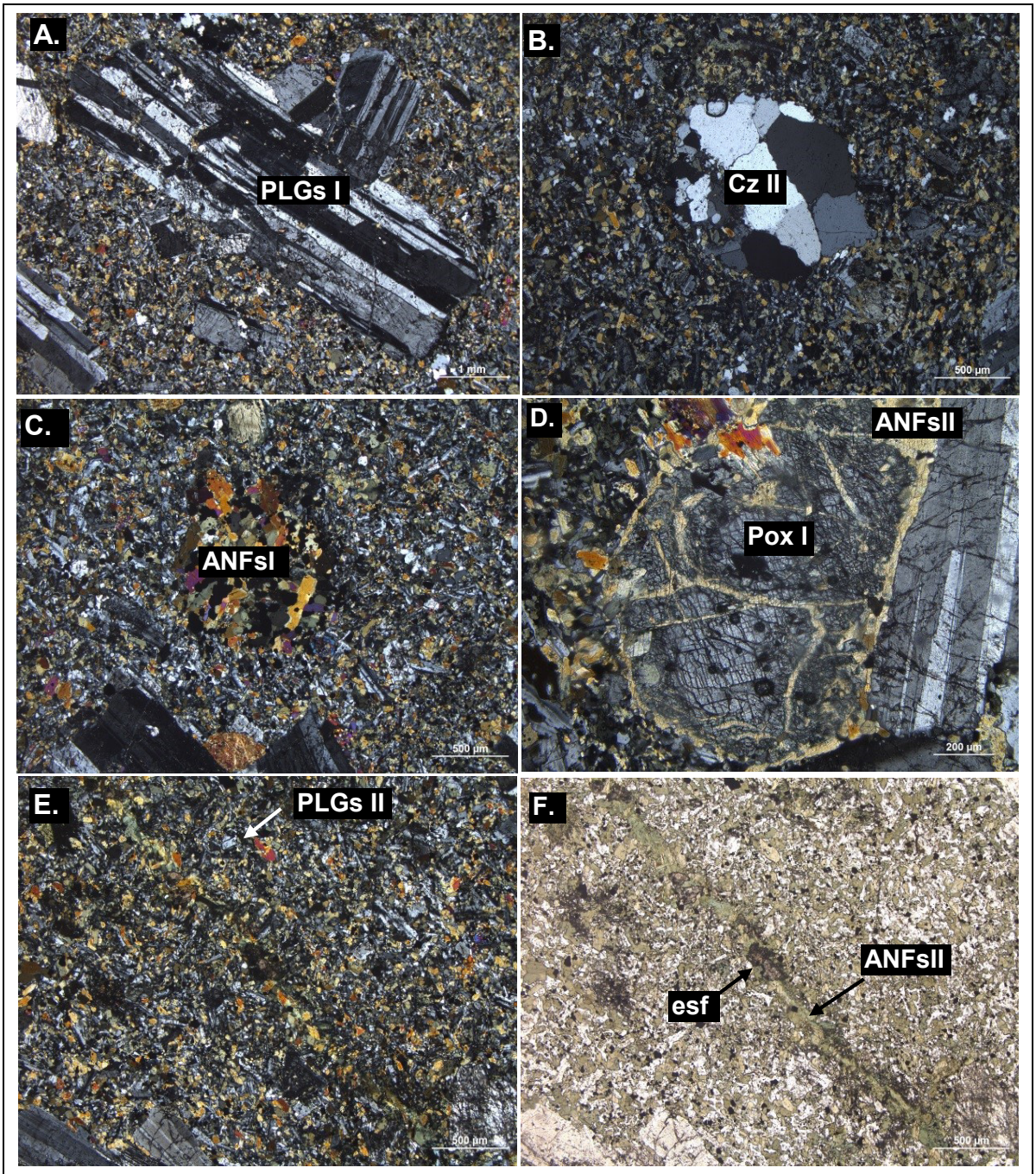
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva con textura granular hipidiomórfica. Está compuesto por cristales de plagioclasa, cuarzo, anfíboles, biotita y trazas de apatito. Además, entre los minerales de alteración presenta cloritas, sericita, arcillas, epidota, óxidos de hierro, carbonatos y minerales opacos

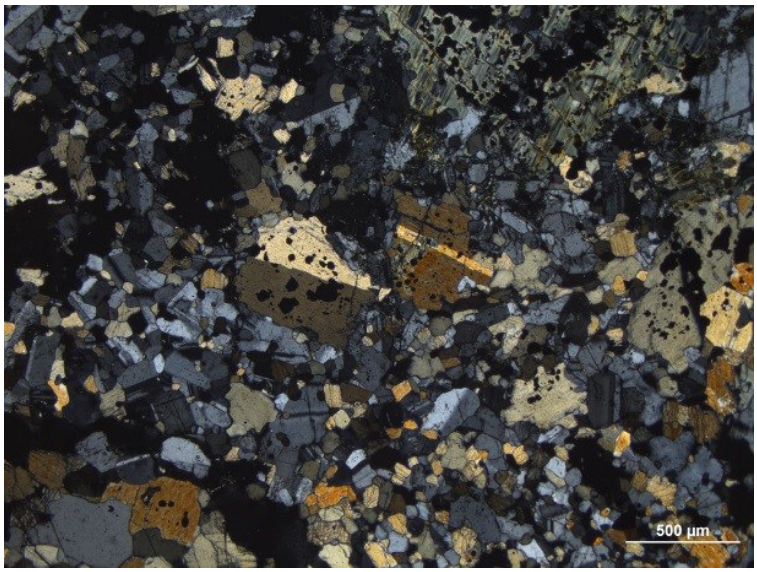


ALTERACIÓN	Uralitización. Argilización, silicificación,y epidotización incipiente.

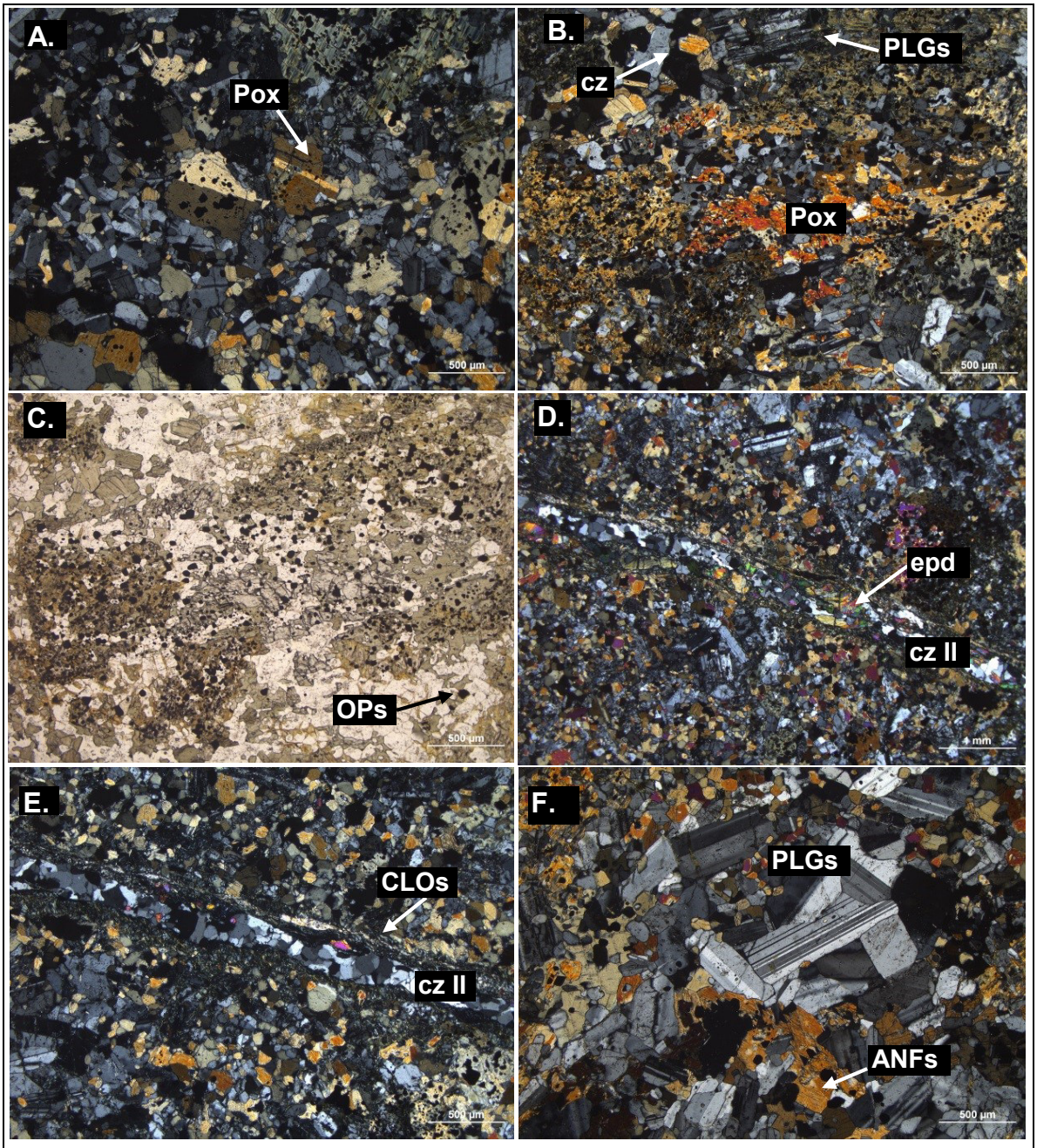
		MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Fenocristales**		
		Plagioclasas I: subhedrales tabulares con hábito prismático, maclados y zonados, algunos microfracturados. Se encuentran alterados a epidota y arcillas. Algunos cristales presentan inclusiones de minerales opacos y anfíboles constituyendo textura poiquilítica.	4.84	35
		Piroxenos I: anhedrales y muy microfracturados, alterados a anfíboles siendo reemplazados por ellos casi aprovechando sus planos de clivaje.	1.52	3
		Anfíboles I: subhedrales a anhedrales. Presenta aglomeraciones de minerales opacos. Se encuentran alterándose a cloritas.	1.60	5
		Matriz		
		Plagioclasas II: subhedrales, tabulares, maclados y ligeramente alterados a arcillas.	1.56	20
		Piroxenos II: anhedrales, junto con piroxenos como constituyente de la matriz.	0.32	2
	ACCESORIOS	**Esfena:** subhedrales a anhedrales, algunos con hábito rómbico y ocasionalmente junto con anfíboles en venillas.	0.14	Traza
		Minerales opacos: anhedrales a subhedrales, principalmente como constituyente de la matriz junto con piroxenos, además como inclusiones en fenocristales de plagioclasas.	1.04	4
SECUNDARIOS		**Anfíboles II:** subhedrales a anhedrales. También presentes como relleno de venillas y ocasionalmente con impregnaciones de óxidos de hierro. También como inclusiones en cristales de plagioclasas, se encuentran como aglomeraciones junto con minerales opacos y piroxenos.	0.10	30
		Cuarzo II: anhedrales y presentes rellenando amígdalas; presentan extinción ondulante	0.64	1
		Arcillas: agregados criptocristalinos producto de alteración de las plagioclasas.	0.003	Traza
		Epídota: cristales anhedrales, sub redondeados y como producto de alteración de plagioclasas.	0.11	Traza



Fotomicrografías: A. Fenocristales de PLGs inmersos en la matriz microcristalina. **B.** Amígdalas rellenas de cuarzo secundario. **C.** Acumulaciones de microcristales de ANFs con minerales opacos. **D.** Piroxeno microfracturado alterándose a ANFs II por sus fracturas. **E.** Venilla de ANFs secundarios con impregnaciones de óxidos de hierro, se distingue esfena al centro de la foto. La matriz contiene Plagioclasas II, Anfiboles II y Piroxenos II**. F.** Vista anterior en nícoles paralelos. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A.** hasta **E.**) y nicoles paralelos (**F.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; ANFs = anfíboles; Pox = piroxenos; esf = esfena.

<table>
<tr><th rowspan="2">CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="3">COOORDENADAS WGS84</th><th rowspan="2">UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th rowspan="2">CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><th>ESTE</th><th>NORTE</th><th>ZONA</th></tr>
<tr><td>BRN-05</td><td>224892</td><td>8799214</td><td>18</td><td>Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa</td><td>Diorita</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea intrusiva de color gris, por su índice de color es mesócrata. Presenta textura fanerítica de grano medio. Está conformada principalmente por cristales de plagioclasas, anfíboles y cuarzo. Presenta patinas de óxidos y magnetismo moderado.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea intrusiva con textura granular hipidiomórfica. Está compuesto por cristales de Plagioclasa, cuarzo, anfíboles, biotita y trazas de apatito. Además, entre los minerales de alteración presenta cloritas, sericita, arcillas, epidota, óxidos de hierro, carbonatos y minerales opacos (magnetita).</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Cloritización, oxidación, epidotización y silicificación débiles; argilización incipiente.</td></tr>
</table>

MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Plagioclasas:** cristales subhedrales a anhedrales, algunos tabulares con hábito prismático, maclados y zonados. Se encuentran alterados a arcillas y en sus microfracturas con óxidos de hierro. Algunos cristales poseen inclusiones de anfíboles y minerales opacos conformando una textura poiquilítica.	1.45	48
		Cuarzo: cristales anhedrales con extinción ondulante, también presente en intersticios.	0.44	3
		Anfíboles: cristales anhedrales, ocurren como inclusiones en algunos cristales de plagioclasas.	0.30	39
		Feldespato Potásico: cristales anhedrales, ocurren junto con cristales de plagioclasas.	0.46	Traza
		Piroxenos: cristales subhedrales a anhedrales, maclados. Presentan inclusiones de anfíboles y minerales opacos conformando textura poiquilítica. Están siendo reemplazados por anfíboles, en ocasiones llegando a encontrarse completamente reemplazados conformando moldes de piroxenos con impregnaciones de óxidos de hierro.	3.50	4
	ACCESORIOS	**Minerales opacos:** subhedrales a anhedrales alterados a óxidos de hierro por sus bordes. Por la forma cuadrada según la dirección de corte se trataría de magnetita. Ocasionalmente como inclusiones en cristales en plagioclasas y piroxenos	0.38	Traza
SECUNDARIOS		**Cuarzo II:** agregados microcristalinos anhedrales en venillas junto con epidota.	0.05	1
		Arcillas: agregados criptocristalinos producto de alteración de las plagioclasas.	0.005	Traza
		Cloritas: agregados microfibrosos presentes en venillas y conformando halos en venillas de hasta 0,18 mm.	0.18	2
		Epídota: cristales anhedrales, como relleno de venillas junto con cuarzo secundario.	0.27	1
		Óxidos de hierro: agregados criptocristalinos, alteración de minerales opacos por sus bordes y como impregnaciones en piroxenos y en microfracturas.	0.002	2



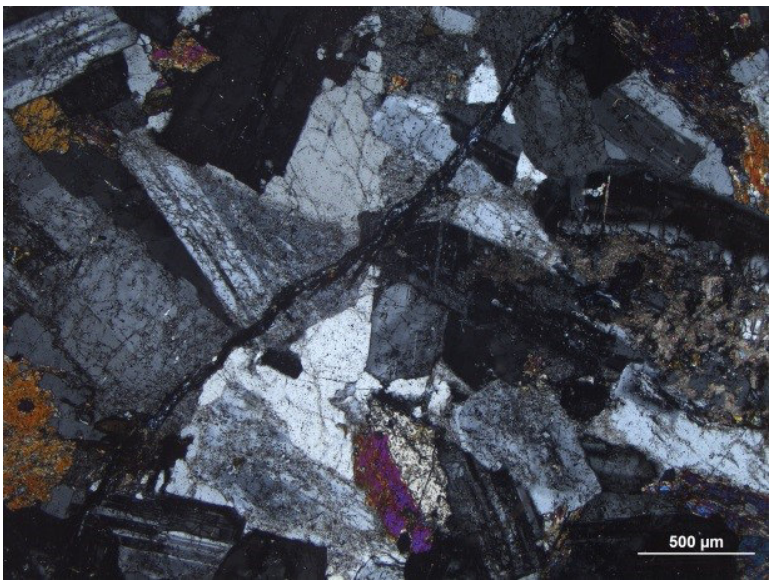
Fotomicrografías: A. Piroxenos alterados a anfíboles, se distinguen maclados. **B.** Molde de piroxeno tabular con relictos de piroxenos reemplazados por anfíboles y minerales opacos. Además, siendo reemplazados por la matriz (cuarzo y plagioclasas) **C.** Fotomicrografía anterior en nícoles paralelos. **D.** Venilla de cuarzo secundario junto con epídota cortando la muestra. **E.** Halos de cloritas en venillas descritas anteriormente. **F.** Plagioclasas con cuarzo y anfíboles. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A., B., D., E.** y **F.**) y nicoles paralelos (**C.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; ANFs = anfíboles; Pox = piroxenos; epd = epidotas; CLOs = cloritas.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN
	ESTE	NORTE	ZONA		
BRN-06	224418	8798176	18	Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa	**Cuarzodiorita**

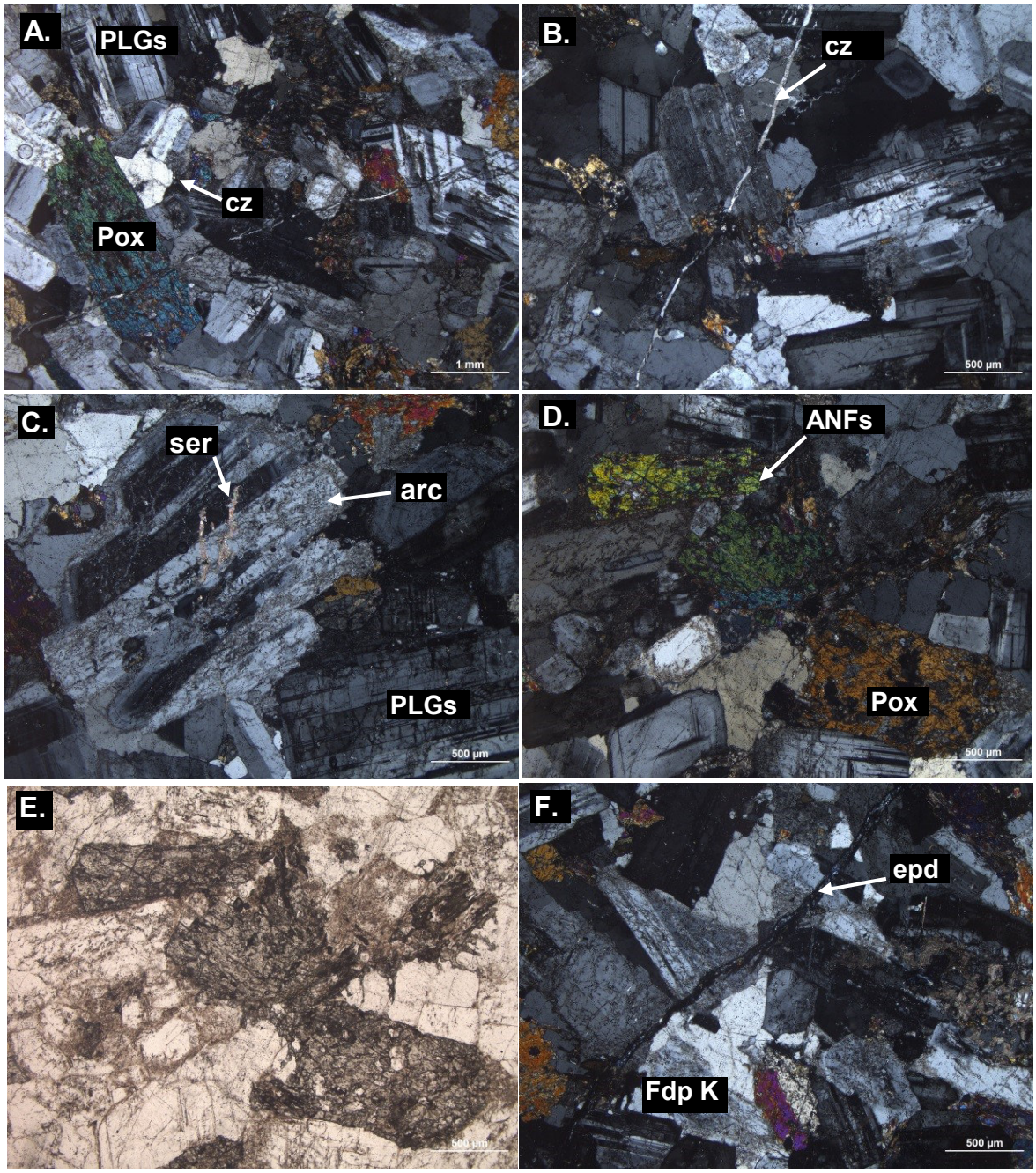
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva de color gris claro, según su índice de color es Leucócrato. Presenta textura fanerítica de grano medio. Está conformada principalmente por cristales de plagioclasas, anfíboles alterándose a cloritas y algunos cristales de cuarzo. Presenta leve magnetismo.	

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva con textura granular hipidiomórfica. Está compuesto por cristales de Plagioclasa, cuarzo, anfíboles, biotita y trazas de apatito. Además, entre los minerales de alteración presenta cloritas, sericita, arcillas, epidota, óxidos de hierro, carbonatos y minerales opacos (magnetita).	
ALTERACIÓN	Argilización, carbonatación, silicificación y epidotización débiles; cloritización y sericitización incipientes.

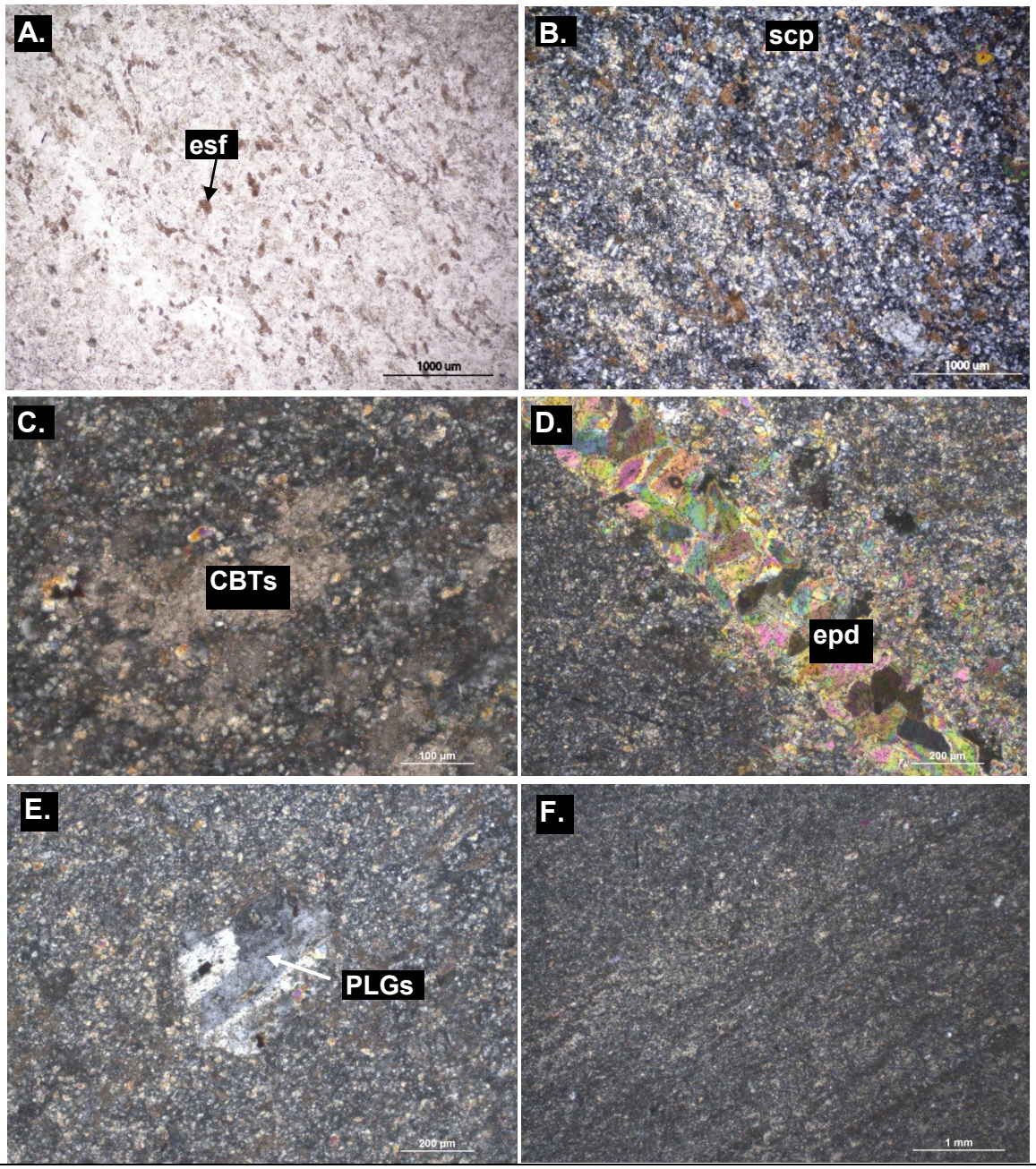
MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Plagioclasas:** subhedrales, tabulares con hábito prismático largo, maclados y zonados. Se encuentran alterados a cloritas, carbonatos, epidota, arcillas y sericita. Algunos presentan inclusiones de anfíboles constituyendo textura poiquilítica.	5.08	65
		Cuarzo: anhedrales con bordes subredondeados, presentes rellenando intersticios de cristales; presentan extinción ondulante..	1.76	18
		Anfíboles: anhedrales con bordes subredondeados, ocurren como inclusiones en algunas plagioclasas.	0.26	Traza
		Feldespato Potásico: anhedrales, alterados a arcillas, óxidos de hierro y epidota. Posee inclusiones de esfena y epidota; además de parches de plagioclasas y cloritas.	1.28	2
		Piroxenos: subhedrales a anhedrales, tabulares, algunas microfracturados, maclados. Alterados a epidota y cloritas, con inclusiones de feldespatos potásicos y esfena.	2.52	6
	ACCESORIOS	**Esfena:** anhedrales y euhedrales en sección rómbica, presentes como inclusiones en cristales de piroxenos.	0.41	1
		Zircón: euhedrales con bordes subredondeados, como inclusiones en cristales de plagioclasas.	0.17	Traza
		Minerales opacos: anhedrales y asociados con minerales ferromagnesianos.	0.04	Traza
SECUNDARIOS		**Carbonatos:** agregados microcristalinos, como producto de alteración de cristales de plagioclasas por sus centros y como relleno en venillas	0.23	2
		Arcillas: agregados criptocristalinos producto de alteración de las plagioclasas y feldespatos potásicos.	0.005	4
		Cuarzo II: agregados microcristalinos presentes como relleno de venillas menores a 0,05 mm de espesor, las que cortan plagioclasas, feldespatos potásicos y piroxenos.	0.03	1
		Epídota: cristales anhedrales, producto de alteración de plagioclasas y piroxenos, además en finas venillas con espesor aproximado de 0,04 mm.	0.10	1
		Sericita: agregados microescamosos producto de alteración de las plagioclasas.	0.04	Traza
		Cloritas: agregados microfibrosos, ocurren como alteración de plagioclasas y piroxenos en parches.	0.12	Traza



Fotomicrografías: A. Cristales de plagioclasas, piroxenos y escaso cuarzo, además fina venilla rellena por cuarzo secundario. **B.** Cristales maclados, se observa la venilla de cuarzo cortando algunos cristales. **C.** Plagioclasas alteradas a carbonatos, sericita y arcillas. **D.** Piroxenos alterados a anfíboles. **E.** Fotomicrografía anterior en nícoles paralelos. **F.** Fina venilla rellena por epídota cortando cristales de plagioclasas, cuarzo y feldespatos potásicos. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A. D. y F.**) y nicoles paralelos (**E.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; FdpK = Feldespato potásico; ANFs = anfíboles; Pox = piroxenos; epd = epídota; ser = sericita; arc = arcillas.

<table>
<tr><th rowspan="2">CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="3">COOORDENADAS WGS84</th><th rowspan="2">UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th rowspan="2">CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><th>ESTE</th><th>NORTE</th><th>ZONA</th></tr>
<tr><td>BRN-07</td><td>225489</td><td>8798694</td><td>18</td><td>Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa</td><td>Lava alterada</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca alterada hidrotermalmente, de coloración blanquecina. Se observa una ligera laminación del protolito. Presenta finos venilleos de epidota.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea de posible protolito volcánico de lava de composición andesítica. Se observa relictos de plagioclasas con orientación de flujo.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Silicificación, calcosódica, epidotización. Carbonatación y cloritización débil.</td></tr>
</table>

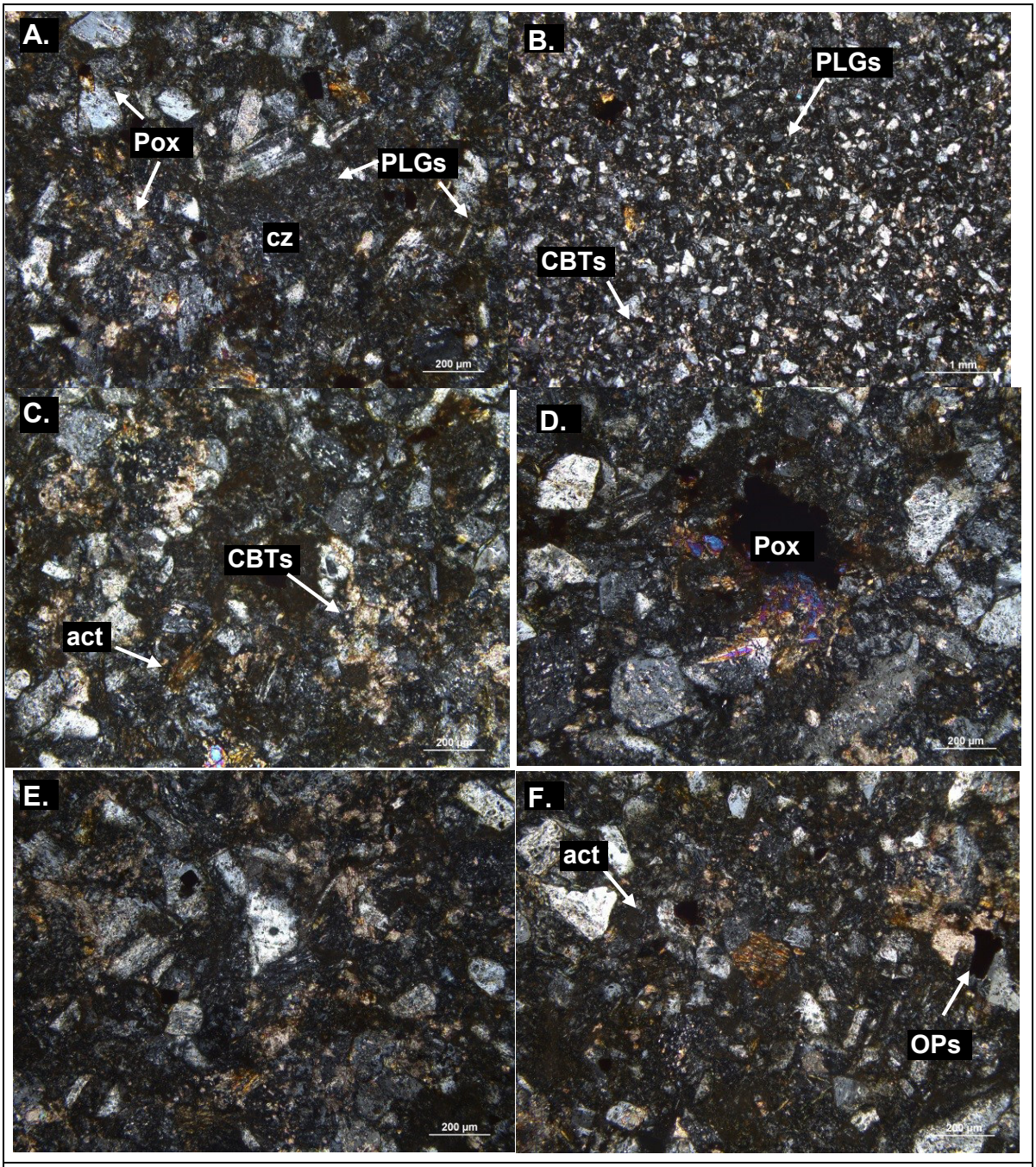
MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Plagioclasas:** Fenocristales subhedrales, tabulares con hábito prismático, maclados. Algunos se encuentran reemplazados por epídota. Presenta textura de flujo.	0.50	5
	ACCESORIOS	**Esfena:** agregados microgranulares concentrados en algunas laminaciones donde disminuye la concentración de piroxenos.	0.10	7
SECUNDARIOS		**Cuarzo II:** agregados anhedrales microgranulares con bordes irregulares, conformando la roca junto con escapolita y esfena.	0.04	55
		Escapolita: agregado microgranular asociado al cuarzo II reemplazando a las plagioclasas en la matriz.	0.05	24
		Carbonatos: agregados microcristalinos, se encuentran reemplazando la roca a modo de parches irregulares. Se encuentran concentrados en algunas bandas y asociados a cloritas.	0.74	3
		Epídota: cristales subhedrales, con hábito prismático, como relleno de venillas que cortan la laminación de la muestra, dichas venillas poseen un espesor menor a 0,56 mm.	0.56	5
		Cloritas: agregados microfibrosos, presentes rellenando intersticios en agregados de cuarzo y escapolita. Generalmente se encuentran en las bandas que presentan alteración a carbonatos	0.03	1



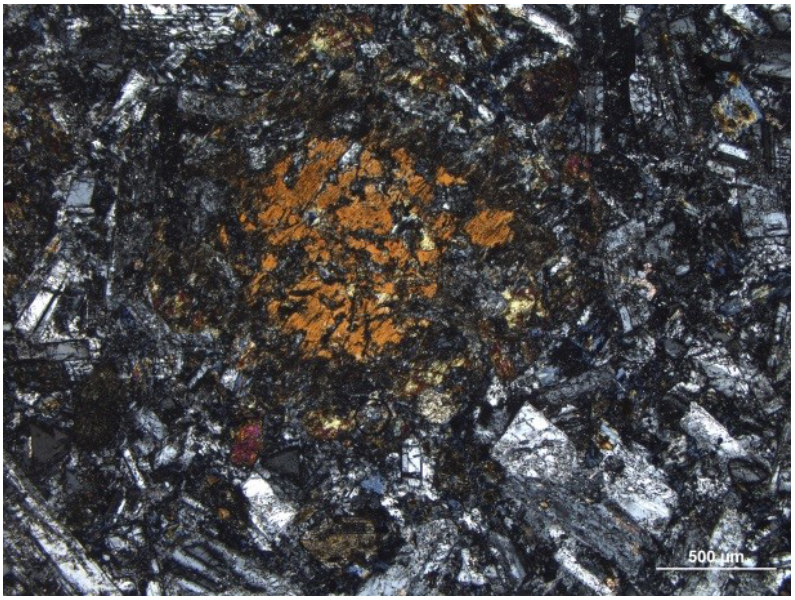
Fotomicrografías: A. Agregado microgranular de esfenas alineados a la laminación. **B.** Agregado microgranular de escapolita reemplazando a la Plagioclasa en la matriz. **C.** Zona donde hay mayor contenido de escapolita con alteración a carbonatos y escasas cloritas. **D.** Venilla rellenada por epídota. **E.** Fenocristal de plagioclasas en una matriz reemplazada por un agregado microgranular de cuarzo II-escapolita y parches de carbonatos. **F.** Fotomicrografía de la roca exhibiendo laminación debida a una característica previa del protolito de naturaleza lávica. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**B.** hasta **F.**) y nicoles paralelos (**A.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; Pox = piroxenos; esf = esfena; epd = epidotas; CBTs = carbonatos; scp = escapolita.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84			UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN
	ESTE	NORTE	ZONA		
BRN-08	223985	8800550	18	Formación Chilca	**Andesita porfirítica**
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
Roca ígnea subvolcánica de color gris marron. Presenta textura porfirítica de fino a medio. Se observa principalmente cristales de plagioclasas y algunos minerales máficos. Se encuentra ligeramente alterada por arcillas.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Roca ígnea subvolcánica con textura microcristalina hipidiomórfica. Presenta microlitos de Plagioclasa con orientación de flujo. Además, presenta diseminación de opacos alterados a hematita.					
ALTERACIÓN	Oxidación débil, carbonatación débil, cloritización débil, argilización				

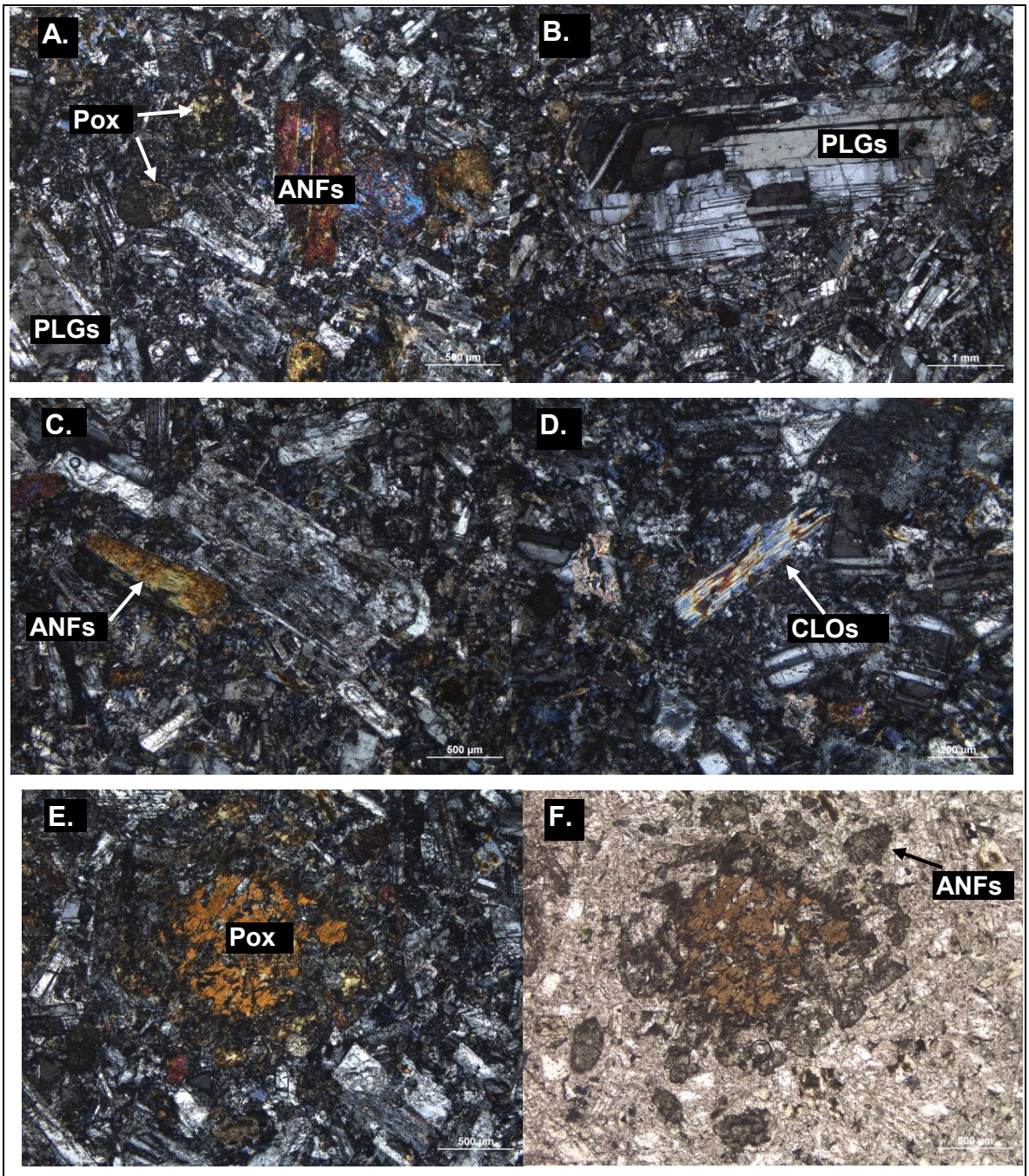
		MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Fenocristales**		
		Plagioclasas: subhedrales tabulares con hábito prismático, maclados y zonados, algunos microfracturados. Se encuentran alterados a epidota y arcillas. Algunos cristales presentan inclusiones de minerales opacos y anfíboles constituyendo textura poiquilítica.	0.45	55
		Cuarzo: granos monocristalinos con bordes subangulosos a subredondeados, de baja esfericidad, con extinción ondulante.	0.33	1
		Piroxenos: subangulosos a subredondeados, junto con escasos minerales opacos.	0.23	2
		Matriz		
		Plagioclasas: subhedrales, tabulares, maclados y ligeramente alterados a arcillas.	0.10	28
	ACCESORIOS	**Minerales Opacos:** anhedrales alterados a óxidos de hierro.	0.39	2
SECUNDARIOS		**Cloritas:** agregados microfibrosos productos de la alteración de los minerales ferromagnesianos	0.08	3
		Carbonatos: agregados microcristalinos presentes como parches en la matriz.	0.22	3
		Arcillas: agregados criptocristalinos como constituyente principal de la matriz, como impregnaciones en feldespatos y alteración de los mismos.	0.002	2
		Sericita: agregados microescamosos producto de alteración de las plagioclasas	0.005	2
		Actinolita: agregados microfibrosos, se encuentran diseminados, ocurren con impregnaciones de óxidos de hierro.	0.24	1
		Óxidos de Hierros: agregados criptocristalinos, presentes como impregnaciones en la muestra y alteración de los minerales opacos.	0.002	1



Fotomicrografías: A) Foto general de la muestra, se distinguen cristales anhedrales de feldespatos, escasos cuarzo, además de piroxenos. Con una matriz de arcillas, carbonatos y micas. **B)** Cristales de plagioclasas y parches de carbonatos. **C)** Actinolita en parches de carbonatos. **D)** Piroxenos junto con minerales opacos alterados a óxidos de hierro. **E)** Cristales anhedrales y escasos de cuarzo. **F)** En el centro de la foto, agregados de actinolita, además de minerales opacos.

<table>
<tr><th rowspan="2">CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="3">COOORDENADAS WGS84</th><th rowspan="2">UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th rowspan="2">CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><th>ESTE</th><th>NORTE</th><th>ZONA</th></tr>
<tr><td>BRN-09</td><td>224065</td><td>8800440</td><td>18</td><td>Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa</td><td>Diorita</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea intrusiva de color gris claro. Presenta textura fanerítica de grano medio. Está conformada principalmente por cristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles y biotita. Presenta una ligera alteración de epidota, con un magnetismo leve a moderado por algunas zonas.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea volcánica con textura microcristalina hipidiomórfica. Presenta microlitos de Plagioclasa con orientación de flujo. Además, presenta diseminación de opacos alterados a hematita.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Cloritización, argilización y carbonatación débiles; epidotización y oxidación incipientes.</td></tr>
</table>

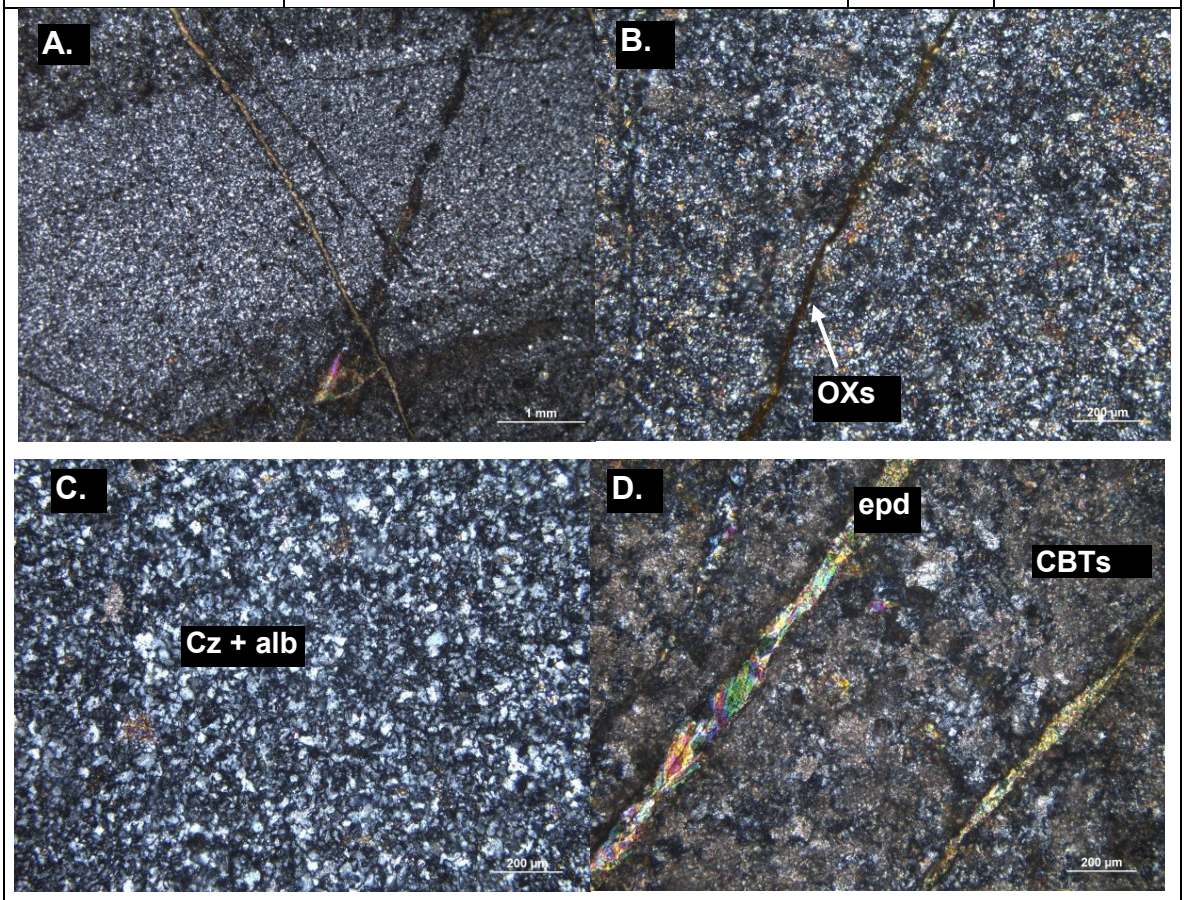
MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Plagioclasas**: fenocristales subhedrales seriada, tabulares, maclados y zonados, microfracturados. Se encuentran alterados a cloritas, arcillas, carbonatos y epidota.	4.10	74
		Anfíboles: subhedrales, maclados, tabulares, alterados a cloritas. Asociados con piroxenos que a su vez están siendo reemplazados por anfíboles.	0.96	3
		Piroxenos: subhedrales a anhedrales, se encuentran reemplazados parcialmente a anfíboles, maclados, algunos en sección basal; alterados por epidota en sus bordes y cloritas.	1.36	6
	ACCESORIOS	**Esfena:** subhedrales a anhedrales se encuentran asociados con minerales ferromagnesianos.	0.10	Traza
		Moldes de Ferromagnesianos: con formas subangulosas, ocurren reemplazados por cloritas y con impregnaciones de arcillas.	1.10	2
SECUNDARIOS		**Cloritas:** agregados microfibrosos, ocurren como alteración de anfíboles, plagioclasas, además como relleno de moldes de ferromagnesianos y en intersticios de cristales.	0.32	8
		Carbonatos: agregados microcristalinos, como producto de alteración de plagioclasas y en intersticios de cristales.	0.35	2
		Arcillas: agregados criptocristalinos producto de alteración de las plagioclasas y como impregnaciones en cloritas.	0.003	5
		Epídota: agregados microcristalinos, anhedrales, producto de alteración de plagioclasas.	0.06	Traza
		Óxidos de Hierros: agregados criptocristalinos, como impregnaciones en algunas cloritas y en piroxenos reemplazados por anfíboles.	0.005	Traza



Fotomicrografías: A) Plagioclasas, anfíboles y piroxenos como constituyente granular de la muestra. **B)** Plagioclasas algo microfracturada, maclada y zonada, alterada a arcillas. **C)** Plagioclasas tabulares junto con anfíboles maclados. **D)** Moldes tabulares de ferromagnesianos reemplazados por cloritas. **E)** Piroxenos reemplazados por anfíboles e impregnaciones de óxidos de hierro; con presencia de cristales de anfíboles ya conformados principalmente en sus bordes. **F)** Fotomicrografía anterior en nícoles paralelos. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A.** hasta **E.**) y nicoles paralelos (**F.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; Pox = piroxenos; ANFs = anfíboles; CLOs = cloritas.

<table>
<tr><th rowspan="2">CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="3">COOORDENADAS WGS84</th><th rowspan="2">UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th rowspan="2">CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><th>ESTE</th><th>NORTE</th><th>ZONA</th></tr>
<tr><td>BRN-10</td><td>224431</td><td>8798790</td><td>18</td><td>Grupo Casma</td><td>Hornfels</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="3">Roca silicificada, compacta, presenta laminaciones de colores intercalados que van desde el blanquecino, verdoso y gris. Se encuentra moderadamente deformada.</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="3">Roca metasomática de posible protolito volcánico, presenta relictos de plagioclasas reemplazados por un mosaico microgranular de cuarzo y piroxenos, epidotas y carbonatos en microfracturas. Además, presemta vetillas de cuarzo-albita y vetillas de epidota.
Conserva las laminaciones del protolito</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Silicificación intensa. Albitización, carbonatación y epidotización débiles.</td></tr>
</table>

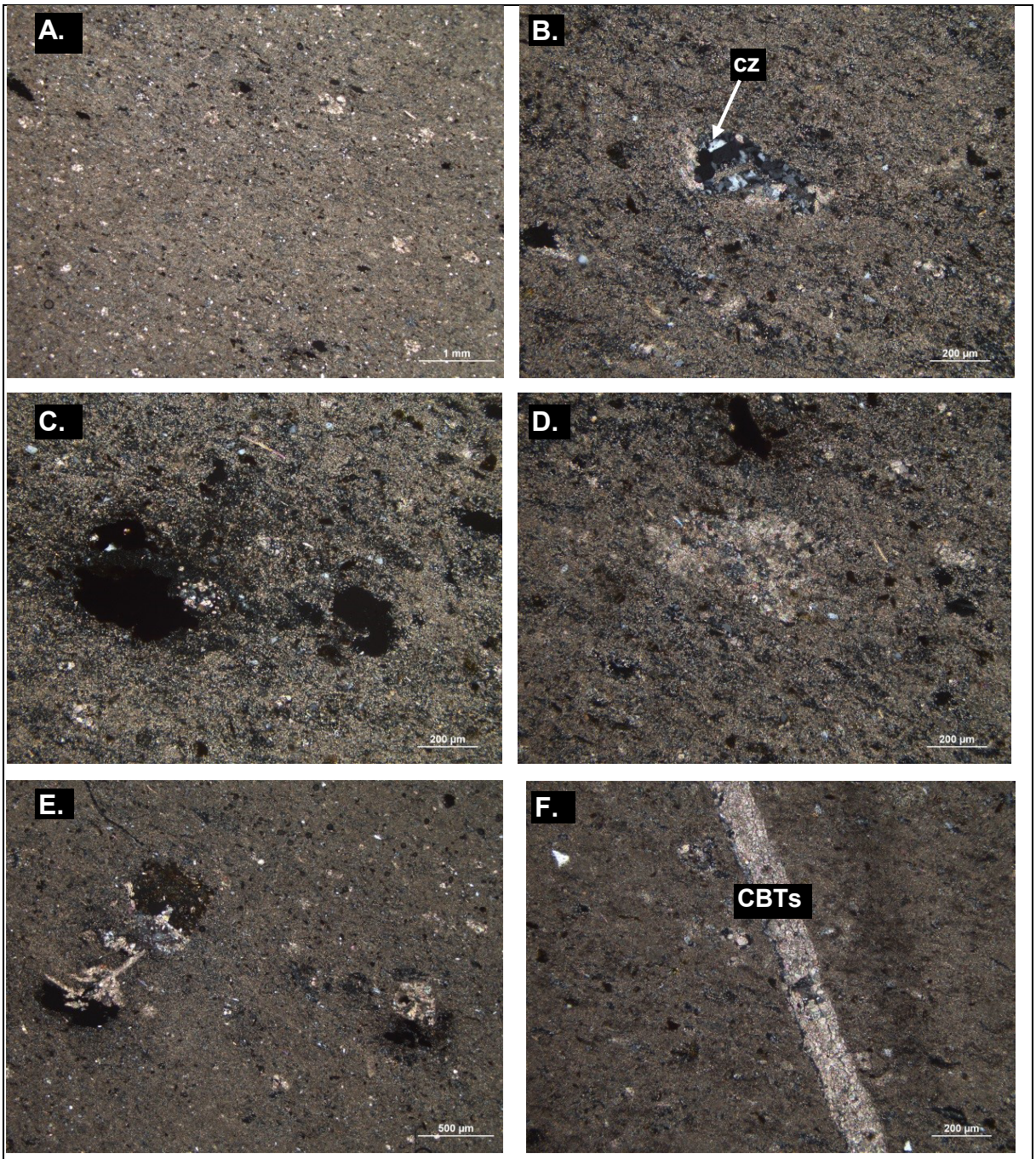
COMPOSICIÓN MINERAL		Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	**Plagioclasas:** Se presenta a modo relictos	0.03	5
SECUNDARIOS	**Cuarzo + Albita:** Agregado microcristalino aparentemente anhedral a subhedral.	0.04	70
	Piroxeno: cristales subhedrales a anhedrales. Reemplaza a las plagioclasas.	0.13	15
	Cuarzo II: agregado cristalino que se presenta a modo de venillas	0.12	3
	Carbonatos: agregados microcristalinos, se presenta a modo de parches con algunas impregnaciones de arcillas.	0.09	5
	Epidota: agregados microcristalinos, anhedrales, se presenta a modo de relleno de fracturas.	0.09	2



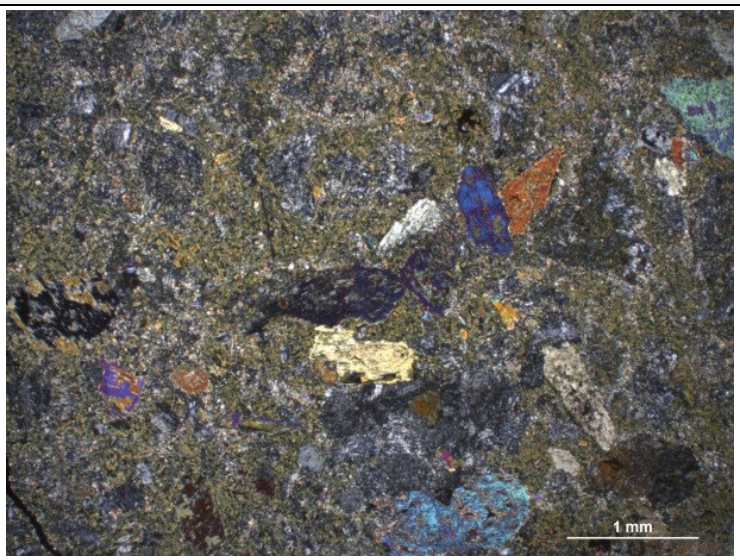
Fotomicrografías: A. laminación del protolito con venillas de epídota. **B.** Hornfels con finas venillas de óxidos. **C.** Agregados microcristalinos a criptocristalinos de cuarzo-albita, además con escasos parches de carbonatos y epídota**. D.** Venilla de epídota cortando hornfels con abundantes parches de carbonatos. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A.** hasta **D.** **Abreviación:** cz = cuarzo; CBTs = carbonatos; epd = epidotas; OXs = óxidos.

<table>
<tr><th rowspan="2">CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="3">COOORDENADAS WGS84</th><th rowspan="2">UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th rowspan="2">CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><th>ESTE</th><th>NORTE</th><th>ZONA</th></tr>
<tr><td>BRN-11</td><td>223985</td><td>8800550</td><td>18</td><td>Grupo Casma</td><td>Caliza</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca calcárea gris clara. Porosa. Reacciona moderadamente al ácido clorhídrico. Densidad media.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca No clástica, soportada de matriz calcárea y micrítica. Presenta algunos bioclastos reemplazados por sílice y calcita espática. Contiene oxidos de Fierro como impregnaciones en la matriz y alteración de minerales opacos.</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Silicificación, carbonatación y oxidación débiles; micácea incipiente.</td></tr>
</table>

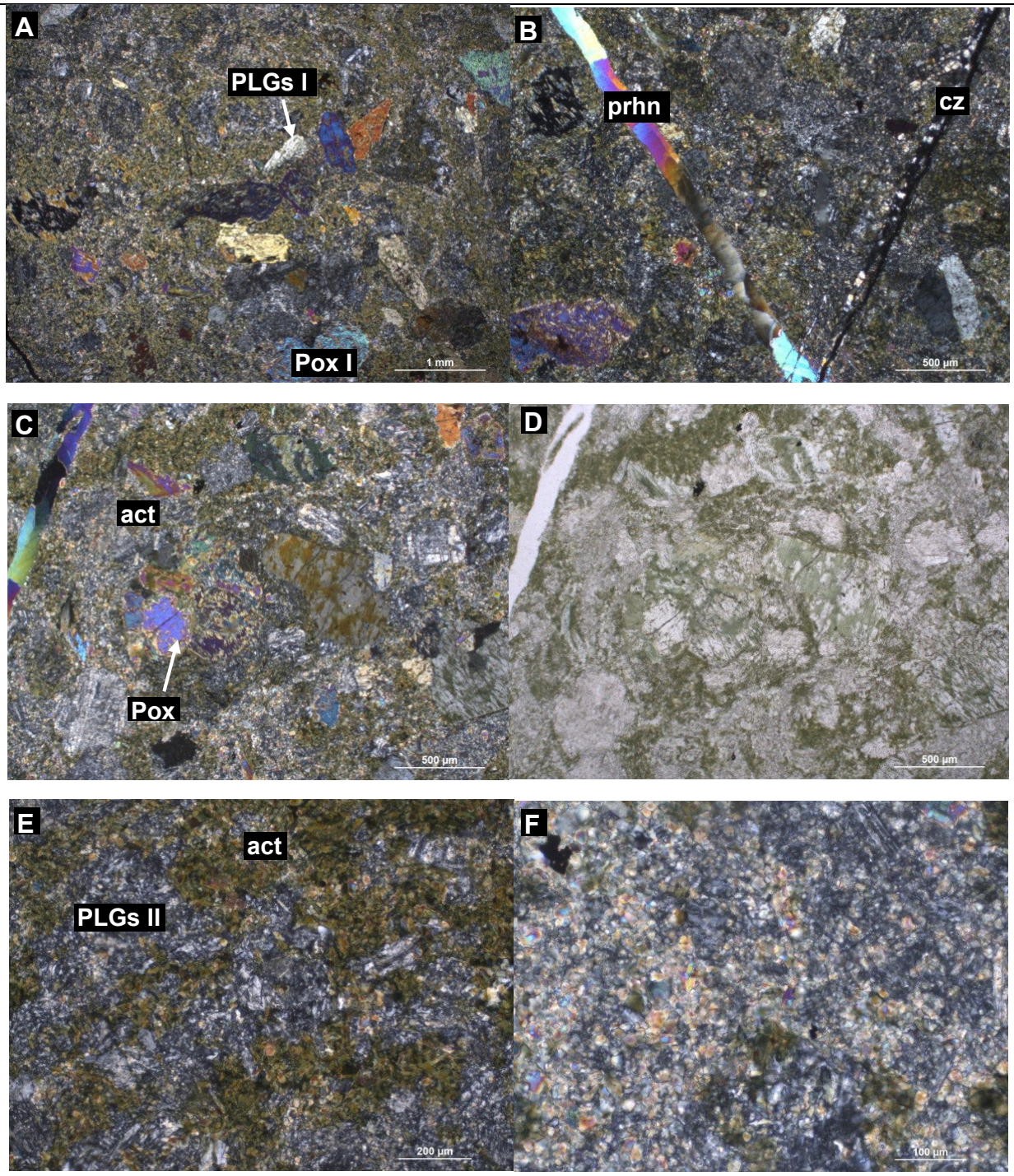
	COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
ALOGÉNICOS O DETRÍTICOS	**Cuarzo:** con formas subredondeadas a redondeadas con extinción ondulante.	0.07	2
	Bioclastos: con formas subredondeados a subangulosas, se encuentran reemplazadas por calcita espática y sílice	0.44	Traza
AUTÍGENOS	**Calcita espática:** se encuentra como relleno en algunos intersticios y en bioclastos, también como relleno en oquedades y como parches.	0.27	3
ACCESORIOS	**Minerales Opacos:** anhedrales a subhedrales, alterados a óxidos de hierro. Algunos alterados casi en su totalidad por óxidos de hierro, además de presentar sílice en fracturas.	0.64	4
MATRIZ	**Calcita micrítica:** agregados criptocristalinos, como constituyente principal de la matriz y con impregnaciones de óxidos de hierro.	0.01	79
ALTERACIÓN	**Sílice,** agregados criptocristalinos presentes como relleno de oquedades e intersticios en la matriz micrítica. Ocasionalmente conforman oolitos (estructuras concéntricas esféricas).	0.11	10
	Carbonatos, agregados microcristalinos, anhedrales, como relleno de venillas con espesor menor a 0,12 mm.	0.12	1
	Óxidos de hierro, agregados criptocristalinos, presentes como impregnaciones en la matriz y alteración de minerales opacos.	0.003	1
	Micas, agregados microescamosos, algunos deformados y tabulares, presentes en la matriz diseminados.	0.008	Traza



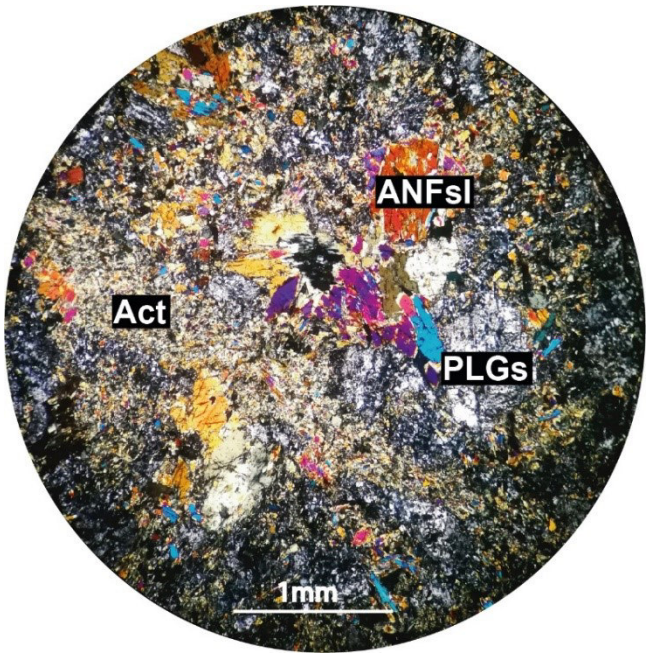
Fotomicrografías: A. Calcita micrítica como constituyente principal, con parches de calcita espática y sílice. **B.** Oquedades rellenas por sílice. **C.** Minerales opacos dispuestos en la matriz micrítica y alterada a óxidos de hierro. **D.** Calcita espática rellenando posibles bioclastos. **E.** Parches de calcita espática y micas en matriz micrítica. **F.** Venilla rellenada por carbonatos y sílice como finos halos. Observaciones con luz transmitida en nicoles cruzados (**A.** hasta **E.**) y nicoles paralelos (**F.**). **Abreviación:** cz = cuarzo; CBTs = carbonatos.

<table>
<tr><th>CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="2">COOORDENADAS WGS84</th><th>UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th>CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><td>BRN-12</td><td rowspan="2">ESTE</td><td rowspan="2">NORTE</td><td rowspan="2">Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa</td><td rowspan="2">Porfidodiorítico</td></tr>
<tr><td>ZONA</td></tr>
<tr><td>18</td><td>225309</td><td>8798371</td></tr>
<tr><td colspan="5">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea intrusiva color gris oscuro con ligero tono verdoso, por su índice de color es melanocrata, de textura fanerítica de grano medio. Con algunas fracturas con pátinas de óxidos. Presenta ligero magnetismo.</td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea hipabisal con textura porfirítica conformada por fenocristales plagioclasas y piroxenos I parcialmente uralitizados por actinolita. La matriz se encuentra como relictos conformada por plagioclasas subhedrales y que está siendo fuertemente reemplazada por un agregado microcristalino de piroxenos II, cloritas y cuarzo.</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="3">Uralitización, cloritización, Silicificación débil; sericitización débil, oxidación débil y alteración a prehnita incipiente.</td></tr>
</table>

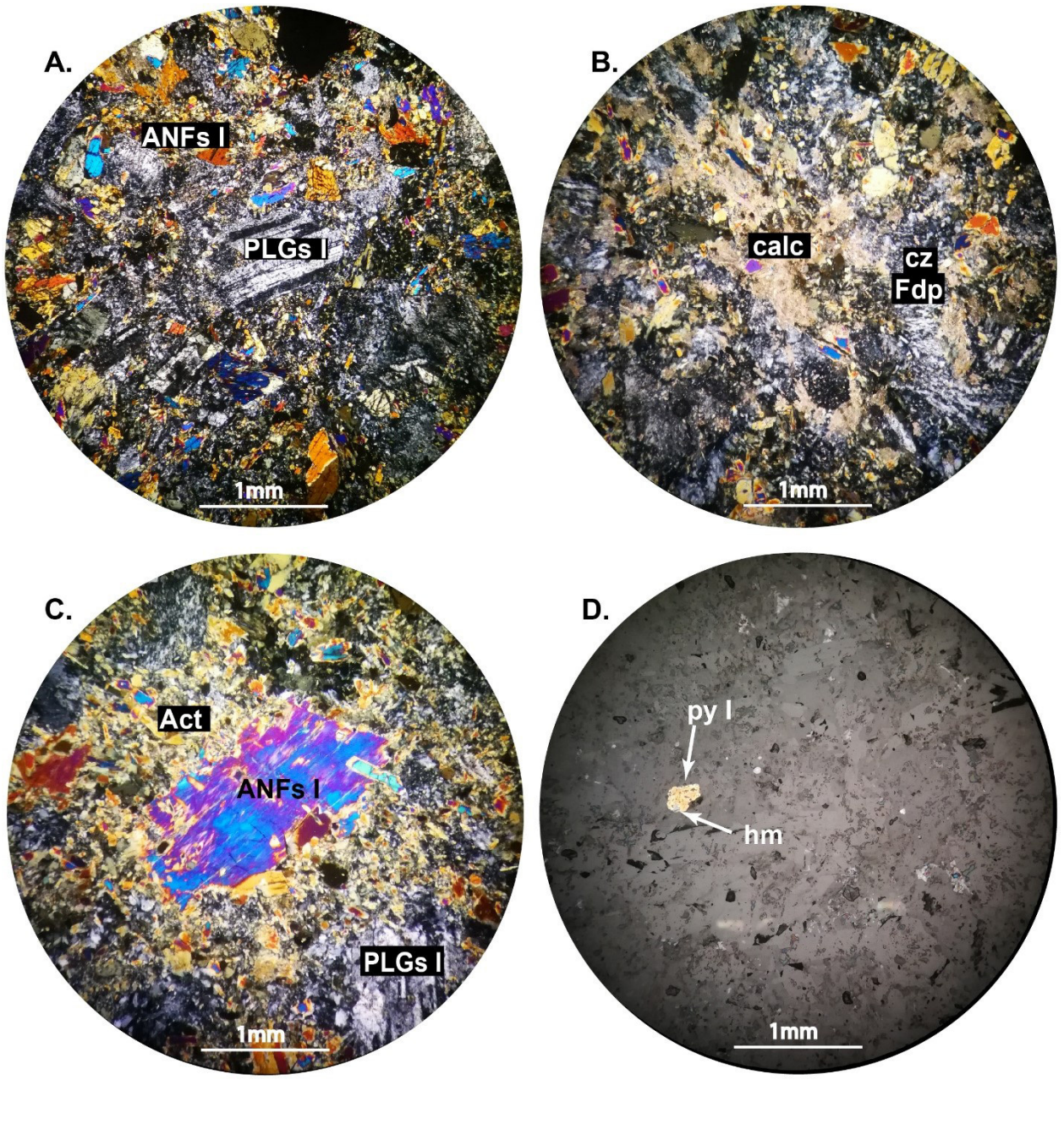
MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Fenocristales**		
		Piroxenos I: subhedrales, de hábito prismático corto, presentan finas inclusiones de minerales opacos cúbicos y están intensamente reemplazados por actinolita (Uralitización).	2.97	36
		Plagioclasas I: subhedrales tabulares de hábito prismático, maclados y con alteración a sericita a través de sus fracturas. Presentan bordes corroídos por los minerales que reemplazan a la matriz.	1.99	26
		Matriz		
		Plagioclasas II: microcristales subhedrales de hábito prismático, se encuentran conformando la matriz, solo se observan por algunos sectores pues la matriz está intensamente reemplazada por piroxenos II, actinolita y cuarzo.	0.22	6
	ACCESORIOS	**Minerales Opacos:** agregados granulares diseminados en la muestra y como pequeños cristales cúbicos incluidos en piroxenos.	0.06	1
SECUNDARIOS		**Actinolita:** cristales anhedrales, se encuentran reemplazando cristales de piroxenos (uralitización) desde sus bordes, oquedades y fracturas.	0.11	12
		Cuarzo: agregados microcristalinos, se encuentran reemplazando a la matriz junto a piroxenos II y actinolita. También se encuentran como relleno en finas venillas.	0.05	9
		Piroxenos II: agregados microgranulares presentes reemplazando a la matriz junto con cloritas y cuarzo.	0.05	10
		Sericita: agregados microescamosos, ocurren como alteración de plagioclasas a través de sus microfracturas.	0.02	Traza
		Óxido de Hierro: agregados criptocristalinos, en moldes de minerales opacos y alrededor de venillas de cuarzo.	0.003	Traza
		Phrenita: cristales anhedrales, se encuentran como relleno de venillas en la muestra.	0.14	Traza



Fotomicrografías: A. Fenocristales de piroxenos reemplazados parcialmente por actinolita. Plagioclasas (PLGs I) inmersas en la matriz de piroxenos II, cloritas y cuarzo. **B.** Venilla de prehnita y venilla de cuarzo. **C.** Piroxenos reemplazados por actinolitas y cloritas. **D.** Fotomicrografía anterior en nícoles paralelos. **E.** Detalle de la matriz de plagioclasas (PLGs II) reemplazada por agregados microgranulares de anfíboles (actinolita) y cloritas. **F.** Detalle de la matriz reemplazada por piroxenos II, actinolita y cuarzo. Observaciones con luz transmitida en nícoles cruzados (**A., B., C., E. y F.**) y en nícoles paralelos (**D.**) **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; Pox = Piroxenos; act = actinolita; prhn = prehnita.

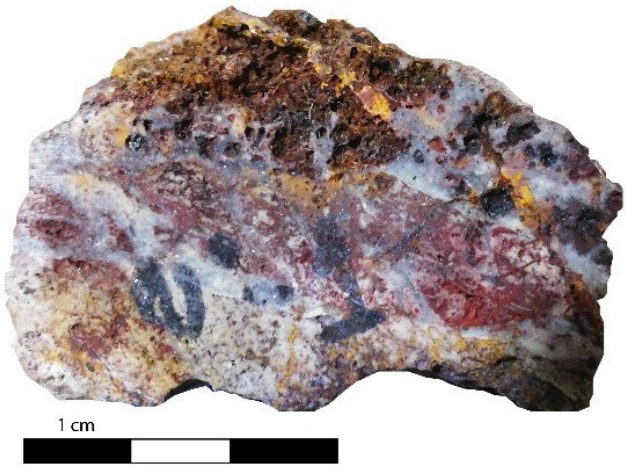
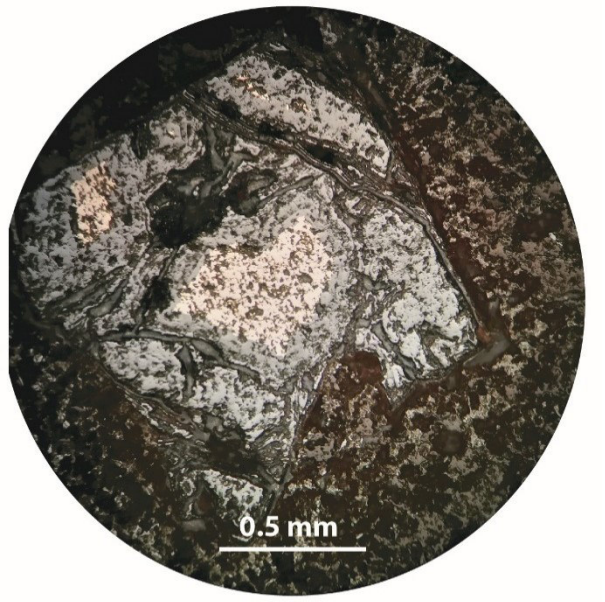
<table>
<tr><th>CODIGO DE MUESTRA</th><th colspan="2">COOORDENADAS WGS84</th><th>UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA</th><th>CLASIFICACIÓN</th></tr>
<tr><td>BRN-13</td><td rowspan="2">ESTE</td><td rowspan="2">NORTE</td><td rowspan="2">Complejo Purmacana, Unidad Santa Rosa</td><td rowspan="2">Porfidodiorítico</td></tr>
<tr><td>ZONA</td></tr>
<tr><td>18</td><td>225354</td><td>8798496</td></tr>
<tr><td colspan="5">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea intrusiva color gris oscuro con ligero tono verdoso, por su índice de color es melanocrata, de textura fanerítica de grano medio. Presenta magnetismo en intensidad leve a moderado.</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="5">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca ígnea sub volcánica alterada, presenta textura porfirítica compuesta por fenocristales de plagioclasas y anfíboles, dispuestos en una matriz microcristalina de composición cuarzo feldespática. La matriz está parcialmente reemplazada por finos agregados de actinolita. Se observa calcita tanto en venillas como en agregados irregulares. Presenta pirita diseminada reemplazada parcialmente por hematita.</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td>ALTERACIÓN</td><td colspan="4">Carbonatación, sericitización débil, oxidación débil</td></tr>
</table>

MINERAL			Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
PRIMARIOS	ESENCIALES	**Fenocristales**		
		Plagioclasas: Fenocristales con formas subhedrales, se encuentran ligeramente corroídos y con una débil alteración a sericita.	0.8	20
		Anfíboles I: Presenta formas subhedrales. Se encuentra formando cúmulos y están alterados por calcita.	0.8	10
		Matriz		
		Cuarzo Feldespato: Se presenta como un agregado microcristalino, reemplazada por finos agregados fibrosos de actinolita.	0.05	38
	ACCESORIOS	**Pirita**: Se encuentra de forma diseminada y reemplazada parcialmente por hematita.	0.01	Traza
SECUNDARIOS		**Actinolita:** Agregado fibroso reemplazando a la matriz. Se encuentran alterados por calcita	0.1	30
		Piroxenos II: agregados microgranulares presentes reemplazando a la matriz junto con actinolita.	0.05	10
		Sericita: Se presenta como alteración incipiente de las plagioclasas y feldespatos de la matriz.	0.05	Traza
		Hematita: Se presenta reemplazando a la pirita**.**	0.05	Traza
		Calcita: Se presenta como alteración emplazado en venillas y agregados irregulares	-	2



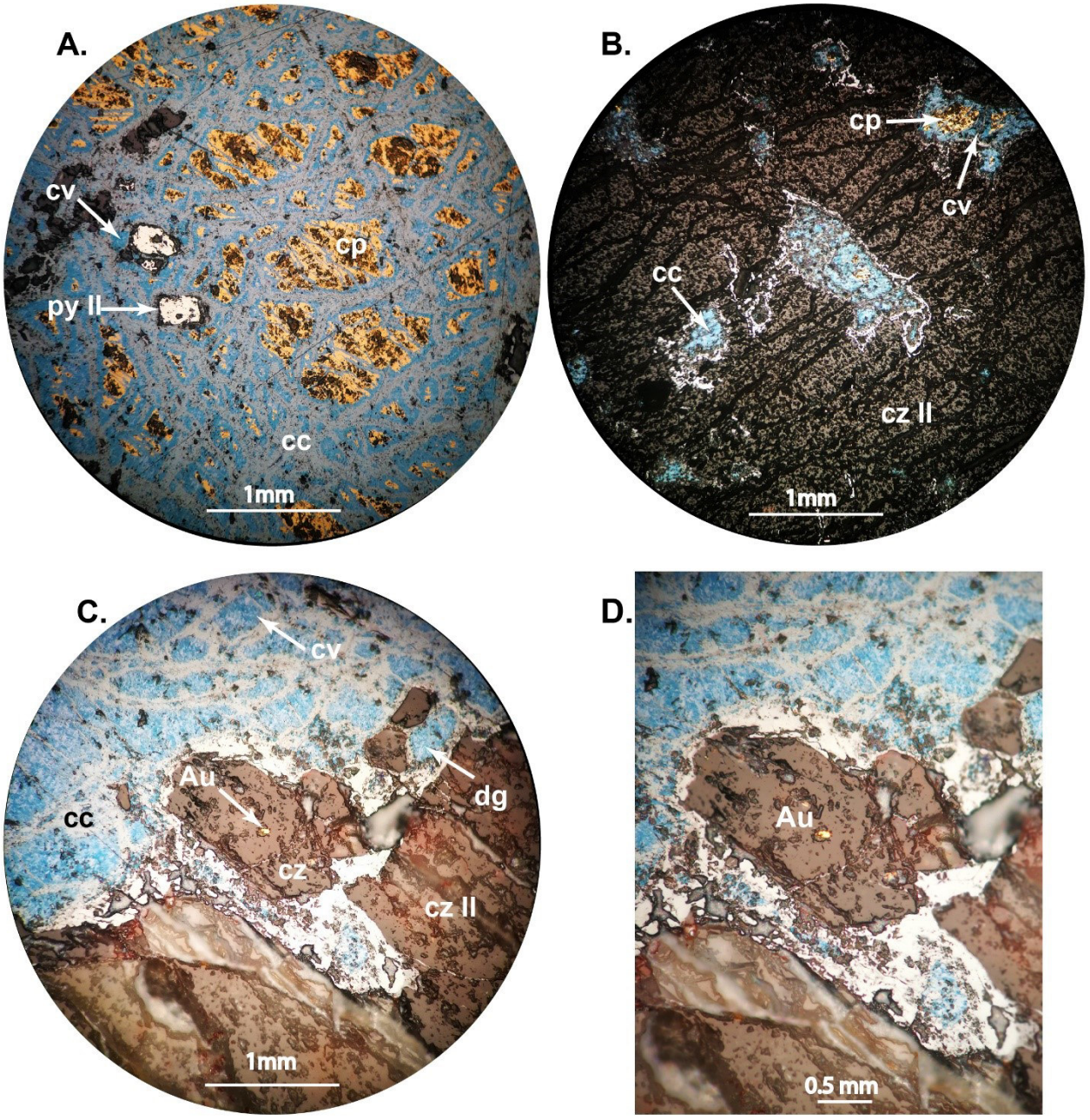
Fotomicrografías: A. Fenocristales de plagioclasas y anfíboles. **B.** Calcita remplazando a los anfíboles I de forma irregular. Se observa la matriz cuarzo feldespática. **C.** Anfíboles II alterando a los Anfíboles I, se observa sus bordes corroídos. **D.** Cristal de pirita con un leve reemplazamiento por parte de Hematita**.** Observaciones con luz transmitida en nícoles cruzados (**A., B.** y **C.**) y con luz reflejada en nicoles paralelos (**D.**). **Abreviación:** PLGs = plagioclasas; cz = cuarzo; Fdp = Feldespatos; ANFs = anfíboles; calc = calcita; py = pirita; hm = hematita.

<table>
<tr><td>CODIGO DE MUESTRA</td><td colspan="2">COOORDENADAS WGS84</td><td rowspan="3"><u>UBICACIÓN:</u>

Veta Cielo Norte
Galería Cielo Norte
Nivel 630
Cota 635 msnm</td></tr>
<tr><td>BRN-14</td><td rowspan="2">ESTE</td><td rowspan="2">NORTE</td></tr>
<tr><td>LABOR</td></tr>
<tr><td>Gal. CIN Nv.630</td><td>225385</td><td>8798570</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de roca mineralizada compuesto por boxwork rellenos de óxidos de Fe asociado a cuarzo ahumado. Presenta patinas de caolinita.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de relleno hidrotermal compuesto por cuarzo II. La mineralización está compuesta por calcopirita y pirita II. Además, se ha reconocido la presencia de oro incrustado en cuarzo II y hematita. La calcopirita presenta un reemplazamiento coronítico de covelita, calcosita y escasa digenita. En muchos casos, la calcopirita se muestra a modo de relictos. La pirita II presenta un reemplazamiento en sus bordes rodeado por hematita. Además, presenta limonitas terrosas rellenando cavidades.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACION</td><td colspan="2">Silicificación, Supérgeno</td></tr>
</table>

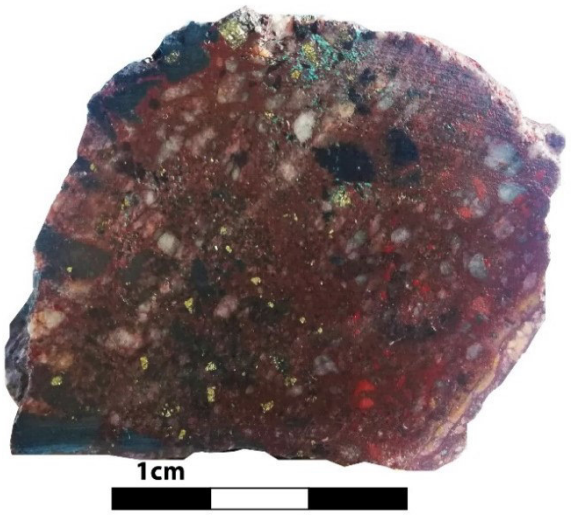
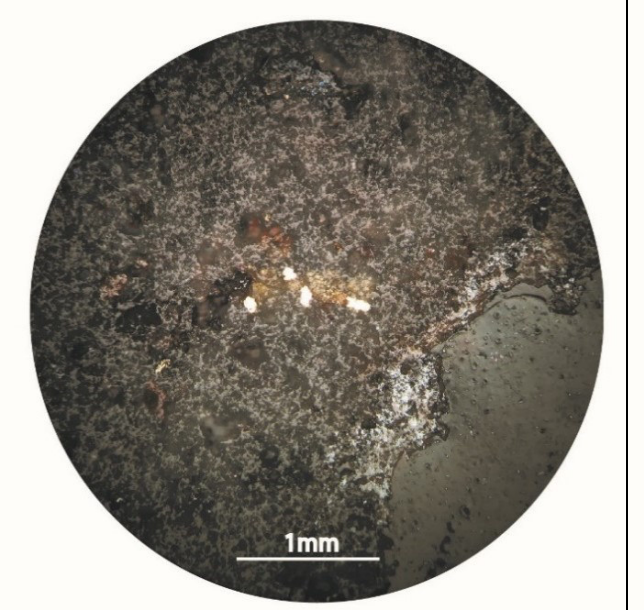
COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Cuarzo II: se muestra como un agregado de tamaño grueso	0.4	70
Oro: Se encuentra incrustado en cuarzo II y hematita.	0.06	Traza
Pirita II: Se encuentra reemplazada en sus bordes por hematita.	1.2	5
Calcopirita: Se encuentra reemplazada por covelita, calcosita y digenita de forma coronitica. En algunos casos se muestra como relictos	0.1	1
Covelita: Se encuentran reemplazando en sus bordes a la calcopirita	0.5	10
Calcosita: Se encuentran reemplazando en sus bordes a la calcopirita.	1.5	2
Hematita: Reemplaza en grado pervasivo a la pirita II	-	3
Limonitas: Se presenta a modo de impregnaciones terrosas rellenando cavidades	-	9

	Paragénesis	Alteración
1	Cuarzo II, +/- Au, Pirita II, Calcopirita	Mineralización
2	Covelita, Calcosita, Digenita	Supérgena
3	Hematita, Limonitas	Oxidación



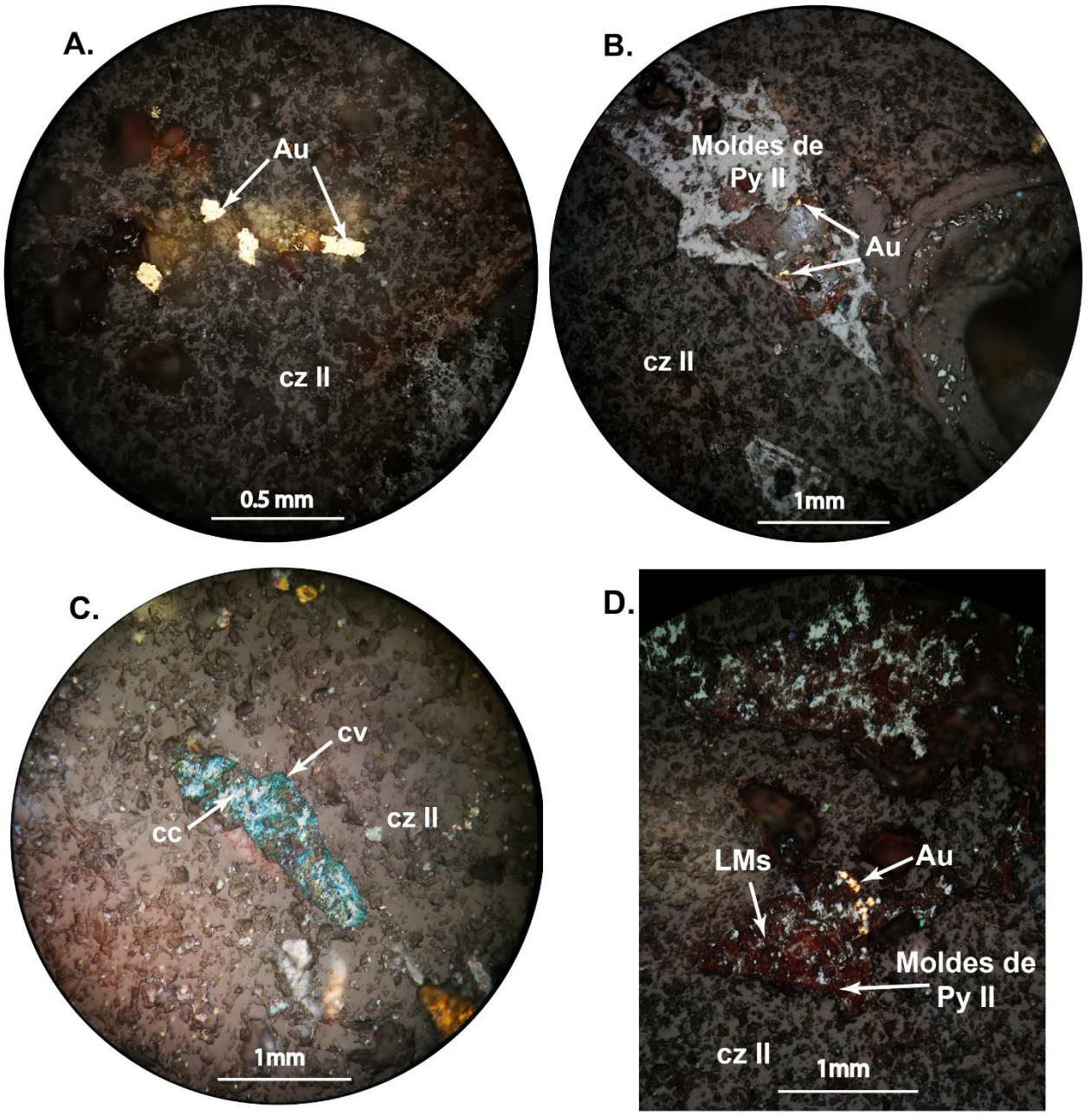
Fotomicrografías: A. Reemplazamiento supérgeno de la calcopirita en calcosita y covelita. Relictos de pirita II. **B.** Reemplazamiento supérgeno de la calcopirita por calcosita y covelita. en cuazo II. **C.** Traza de oro en estado libre incluido en cuarzo II. **D.** Vista anterior con más detalle 5x. Observaciones con luz reflejada en nícoles paralelos. **Abreviación:** Au = oro; cz = cuarzo; py = pirita; cc = calcosita; cv = covelita; dg= digenita.

<table>
<tr><td>CODIGO DE MUESTRA</td><td colspan="2">COOORDENADAS WGS84</td><td rowspan="3"><u>UBICACIÓN:</u>

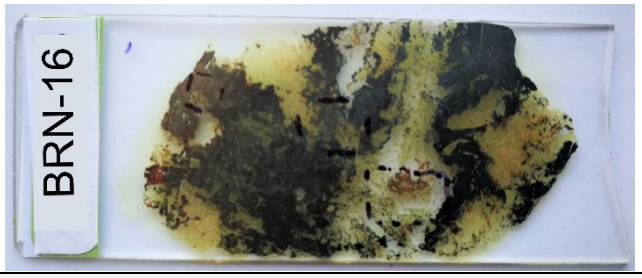
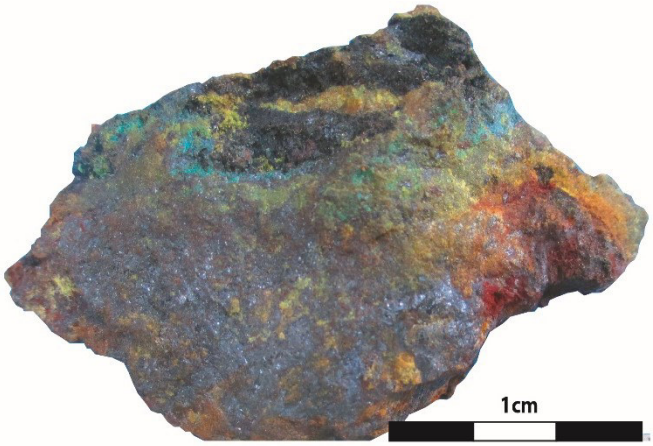
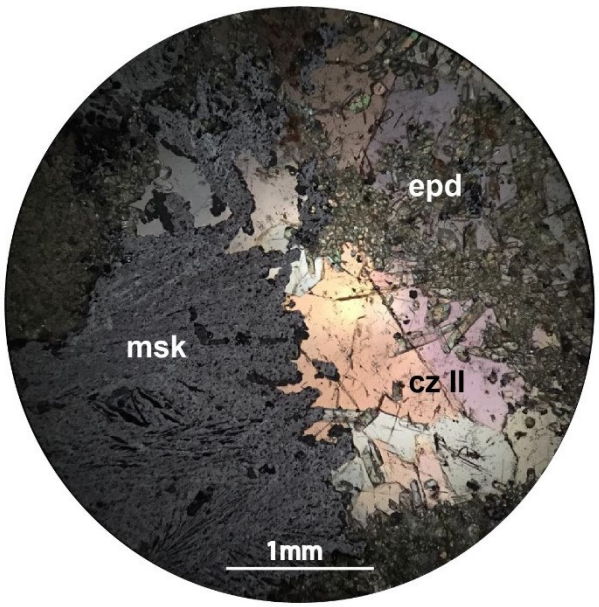
Veta Cielo Sur
Galería Cielo Sur
Nivel 640
Cota 638 msnm</td></tr>
<tr><td>BRN-15</td><td rowspan="2">ESTE</td><td rowspan="2">NORTE</td></tr>
<tr><td>LABOR</td></tr>
<tr><td>Gal. CIS Nv.640</td><td>225369</td><td>8798517</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de roca mineralizada compuesto por cuarzo hialino y ahumado de grano grueso, algunos con hábito prismático, se encuentra asociado con hematita y limonitas. Presenta pirita diseminada de forma aislada.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de relleno hidrotermal compuesto por cuarzo I, pirita en formas euhedrales y subhedrales las cuales se encuentran fuertemente reemplazadas por hematita, limonitas terrosas y goethita dejando moldes de los cristales. Se ha reconocido trazas de oro en estado libre dentro de las cavidades del cuarzo II y dentro de la pirita. Además, presenta trazas de calcopirita fuertemente reemplazada por covelita y calcosita.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACION</td><td colspan="2">Silicificación, supérgena, oxidación</td></tr>
</table>

COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Cuarzo II: Agregado con hábito prismático columnar. Los cristales son de tamaño grueso.	1.8	83
Pirita II: Formas subhedrales y euhedrales, están fuertemente reemplazados por hematita, limonitas y goethita.	0.7	2
Oro: Se presenta a modo de trazas de forma libre en las cavidades del cuarzo II y en relictos de pirita.	0.08	Traza
Calcopirita: Trazas de calcopirita reemplazados por covelita y calcosita.	0.1	Traza
Hematita: Se encuentra reemplazado fuertemente a la pirita.	-	5
Limonitas: Se presenta en aspecto terrosos	-	8
Goethita: Se presenta en delgadas bandas coloformes	-	2

	Paragénesis	Alteración
1	Cuarzo II, +/- pirita II, +/- Oro , +/- Calcopirita	Mineralización
2	+/- Covelita, +/- calcosita	Supérgena
3	Limonitas, Hematita, Goethita	Oxidación

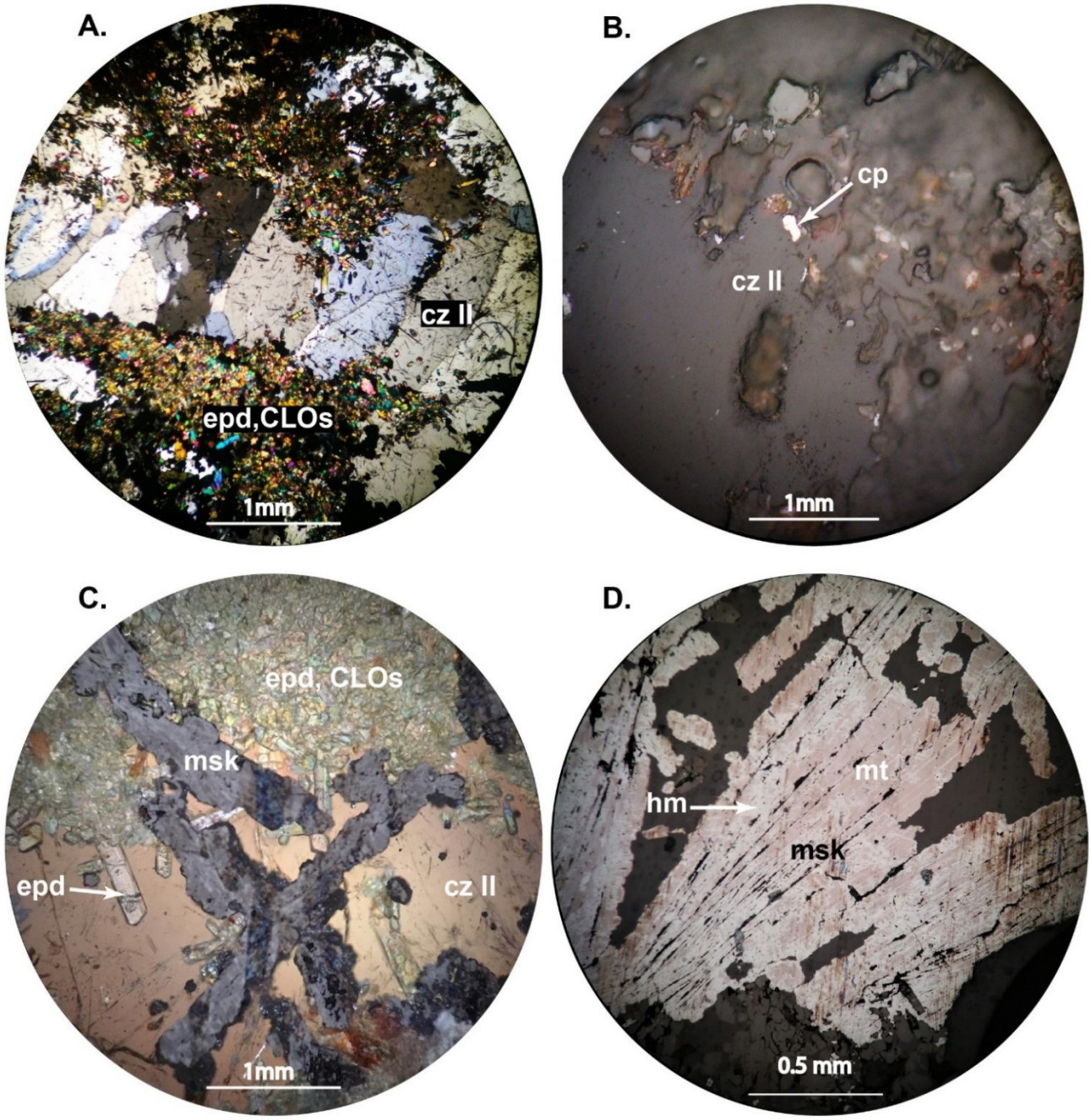


Fotomicrografías: A. Banda de chert con venillas de epídota. **B.** Hornfels con finas venillas de óxidos. **C.** Interior de la banda de chert, conformada por agregados microcristalinos a criptocristalinos de sílice, además con escasos parches de carbonatos y epídota. **D.** Venilla de epídota cortando hornfels con abundantes parches de carbonatos. Observaciones con luz reflejada (**A.**, **B. y D.**) en nicoles cruzados; **C.** en nicoles paralelos. **Abreviación:** Au = oro; cz = cuarzo; py = pirita; cc = calcosita; cv =covelita; hm = hematita; goe = goethita; LMs = limonitas.

<table>
<tr><td>CODIGO DE MUESTRA</td><td colspan="2">COOORDENADAS WGS84</td><td rowspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td>BRN-16</td><td rowspan="2">ESTE</td><td rowspan="2">NORTE</td></tr>
<tr><td>ZONA</td></tr>
<tr><td>18</td><td>225201</td><td>8798138</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roca alterada pervasivamente conformada por un agregado micáceo de oligisto con parches de calcopirita. Además, presenta patinas de limonitas y jarosita. Por sectores se observa cloritas y epidotas junto con malaquita.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Muestra de relleno hidrotermal compuesto por cuarzo II en venillas de hábito prismático. Además, presenta un agregado prismático de epidotas II y cloritas microfibrosa. La alteración hipógena corresponde a hematita reemplazados por magnetita (mushketovita). Por otro lado, la calcopirita se encuentra diseminada de forma aislada en el cuarzo II. Los intercrecimientos sugieren que la precipitación de epidotas II y cloritas es posterior al cuarzo II; y la mushketovita es posterior a la epidota II y cuarzo II. Así también, se muestra un evento de cuarzo III en delgadas venillas que cortan la mineralogía preexistente. Finalmente, la goethita se muestra en hábito coloforme y a modo de impregnaciones terrosas.</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALTERACIÓN</td><td colspan="2">Silicificación, Propilitización, oxidación</td></tr>
</table>

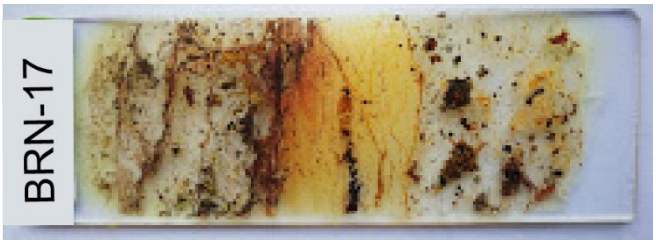
COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Cuarzo II: se muestra como un evento en venillas formando agregados con habito prismático columnar.	0.4	20
Calcopirita: Se presenta de forma diseminada de forma aislada en el cuarzo II.	0.03	Traza
Epidota II: Se presenta en formas prismáticas y muestran zonación. Se encuentra asociado a las cloritas y cortan al cuarzo II.	0.3	30
Cloritas: Ocurren a modo de agregados microfibrosos. Es posterior al cuarzo II.	<0.2	5
Mushketovita: Agregados fibrosos subradiados de hematita reemplazados por magnetita.	-	40
Cuarzo III: Se presenta como delgadas venillas menores a 1mm de espesor.	-	3
Goethita: Presentan aspectos coloformes e impregnaciones terrosas rellenando cavidades	-	Traza

	Paragénesis	Alteración
1	Epidota, Cloritas	Propilitización
2	Cuarzo II, calcopirita	Mineralización
3	Mushketovita	Mineralización (estéril)
4	Cuarzo III	Silicificación
5	Goetita	Oxidación



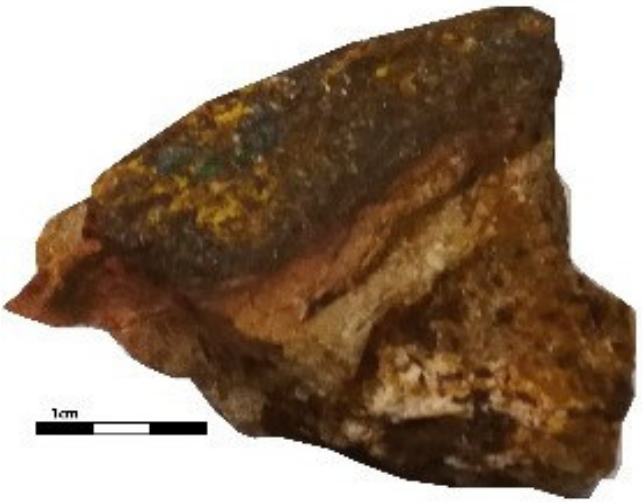
Fotomicrografías: A. Agregado de epidotas y cloritas cortando al cuarzo II. **B.** Traza de calcopirita diseminada e forma aislada dentro del cuarzo II. **C.** Mushketovita cortando al agregado de epidotas y cloritas, los cuales cortan al cuarzo II. **D.** Reemplazamiento de magnetita en hematita (muskhetovita). Observación con Luz transmitida en **A.** y **C.** en nicoles cruzados y paralelos respectivamente. Observación con luz reflejada en **B.** y **D.** en nicoles paralelos. **Abreviación:** epd = epidota; CLOs = cloritas; cz = cuarzo; cp = calcopirita; msk = mushketovita; hm = hematita; mt = magnetita.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84	
BRN-17	ESTE	NORTE
LABOR		
Gal. CIN Nv.630	225396	8798600



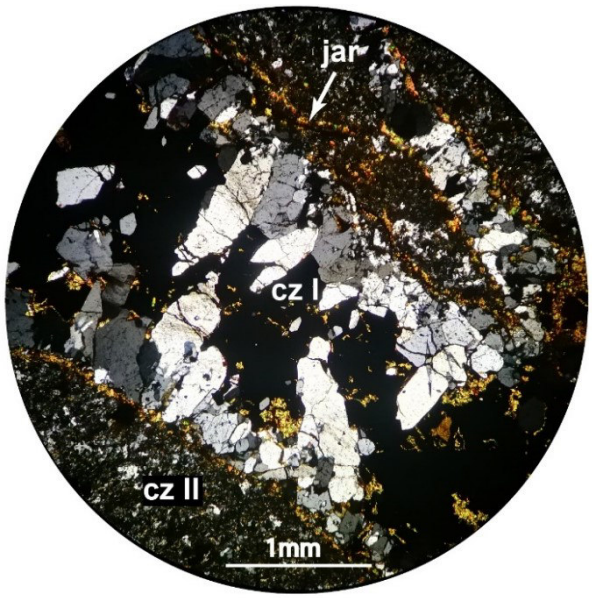
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca con alteración pervasiva. Se observa la roca caja totalmente argilizada de coloración blanquecino con patinas pardas de limonitas. Se encuentra cortado por una banda de cuarzo hialino, pirita, calcopirita en parches y hematita.



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

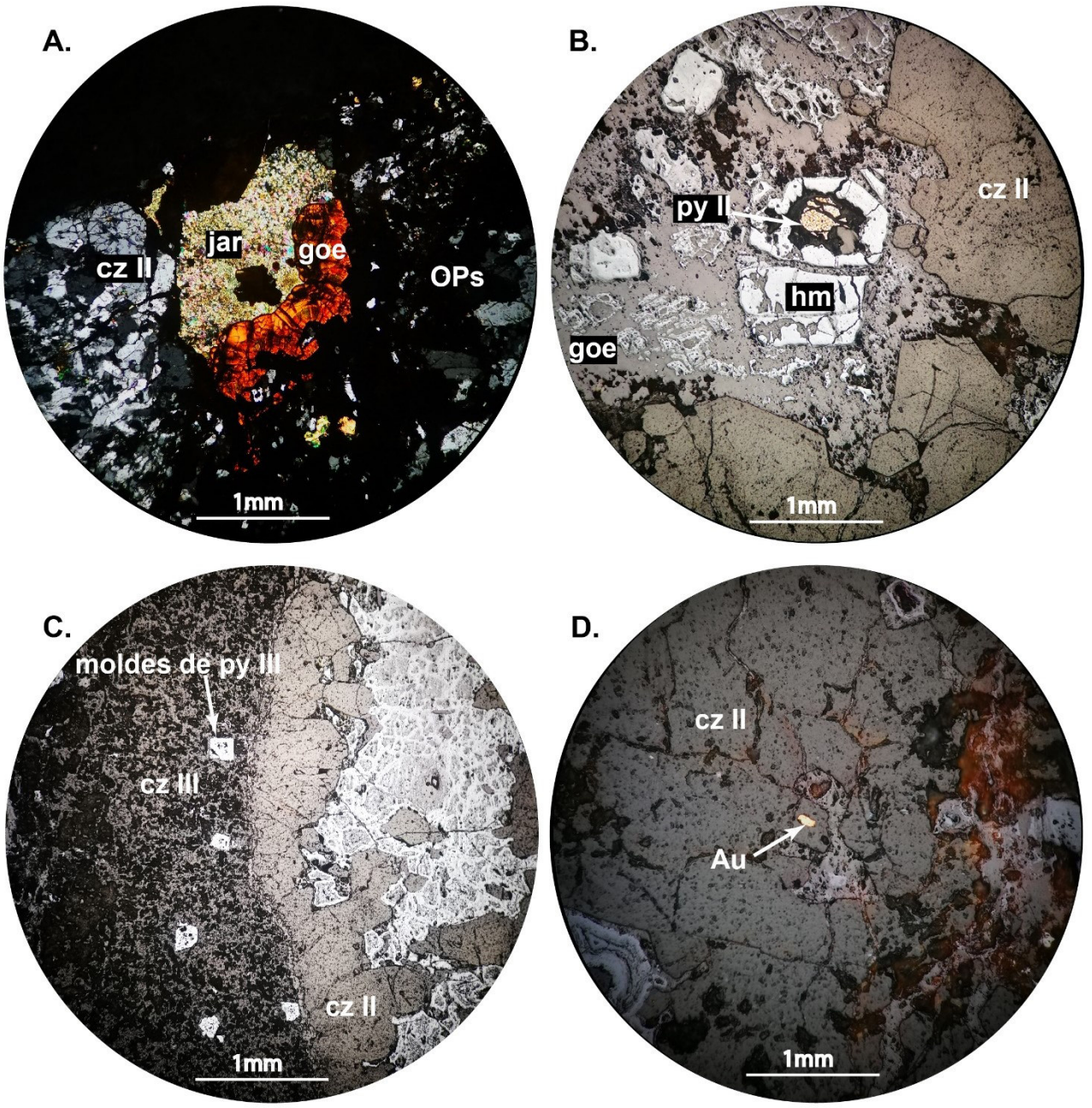
Muestra de relleno hidrotermal conformado por caolinita, sericita e illita que se presentan en agregados fibrosos y es cortado por venillas de cuarzo II, el cual se presenta como agregados columnares.
Además, se reconoce seudomorfos de pirita II en hematita y trazas de calcopirita diseminado de forma aislada dentro del cuarzo II. Por otro lado, presenta un evento de cuarzo III en agregados granulares asociados con relictos de pirita III euhedral fina. La jarosita se encuentra rellenando microfracturas y cortando al cuarzo II. En cuanto a la goethita, se encuentra asociada a la hematita.



ALTERACION	Argilización, Silicificación, Oxidación

COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Caolinita, illita, sericita: Predomina la caolinita sobre los demás, se presenta en agregados fibrosos.	-	10
Cuarzo II: Agregado de cristales de grano grueso con hábito prismático. Se presentan en venillas cortando a la asociación Caolinita,illita,sericita.	1.4	50
Cuarzo III: Agregado granular asociado con pirita II de cristales de tamaño fino.	0.05	10
Pirita II: Se presenta a modo de relictos reconociéndose sus formas euhedrales	0.5	Traza
Pirita III: Sus cristales son de menor tamaño que la pirita I. Se encuentra asociado al cuarzo III.	0.1	Traza
Calcopirita: Se presenta a modo de traza y de forma aislada dentro del cuarzo II.	0.01	Traza
Hematita: Se encuentra reemplazando fuertemente a la pirita II	-	16
Goethita: Se encuentran rellenando microfracturas y cavidades. Por sectores se presenta como delgadas bandas coloformes.	-	6
Jarosita: Se encuentran rellenando microfracturas y cavidades. En algunos sectores se observa cortando a una venilla de cuarzo II.	-	8

	Paragénesis	Alteración
1	Caolinita, illita, sericita	Argilización
2	Cuarzo II, pirita II, calcopirita	Mineralización
3	Cuarzo III, pirita III	Mineralización (estéril)
4	Hematita, Jarosita, Goethita	Oxidación



Fotomicrografías: A. Goethita en bandas coloforme. **B.** Roca caja argilizada (sericita, illita) cortada por una venilla de cuarzo II, el cual es cortado por una venilla de jarosita. **C.** Moldes de pirita (Py III) en cuarzo (cz III). **D.** Oro libre en cuarzo II junto con relictos de pirita II reemplazada por hematita. Observaciones con Luz transmitida (**A.** y **B.**) en nicoles cruzados; y luz reflejada (**C.** y **D.**) en nícoles paralelos. **Abreviación:** ill = illita; ser = sericita; cz = cuarzo; py = pirita; hm = hematita; goe = goethita; jar = jarosita; OPs= Opacos.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84	
BRN-18	ESTE	NORTE
LABOR		
Gal. CIN Nv.630	225380	8798569



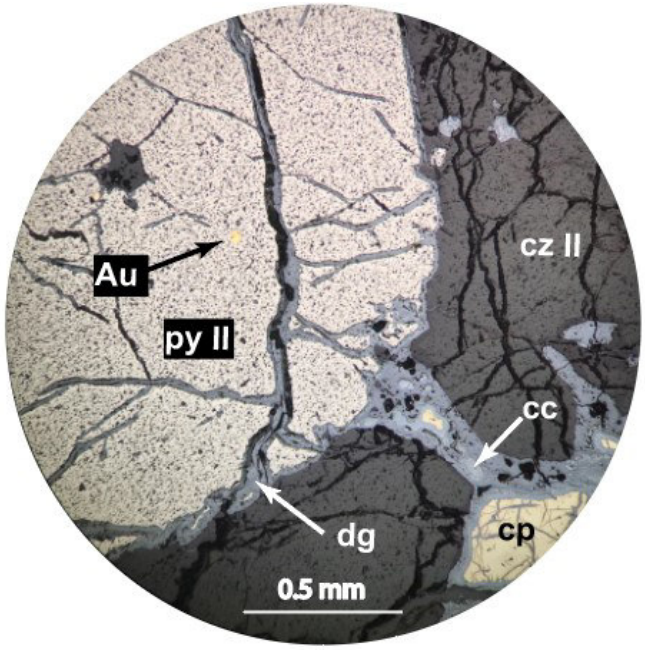
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Muestra de roca ígnea intrusiva de textura fanerítica de grano fino, color gris verdoso. Presenta una vetilla recta de 1.5 cm de cuarzo, óxidos de Fierro y pirita diseminada. Por su coloración, presenta una alteración por cloritas.



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

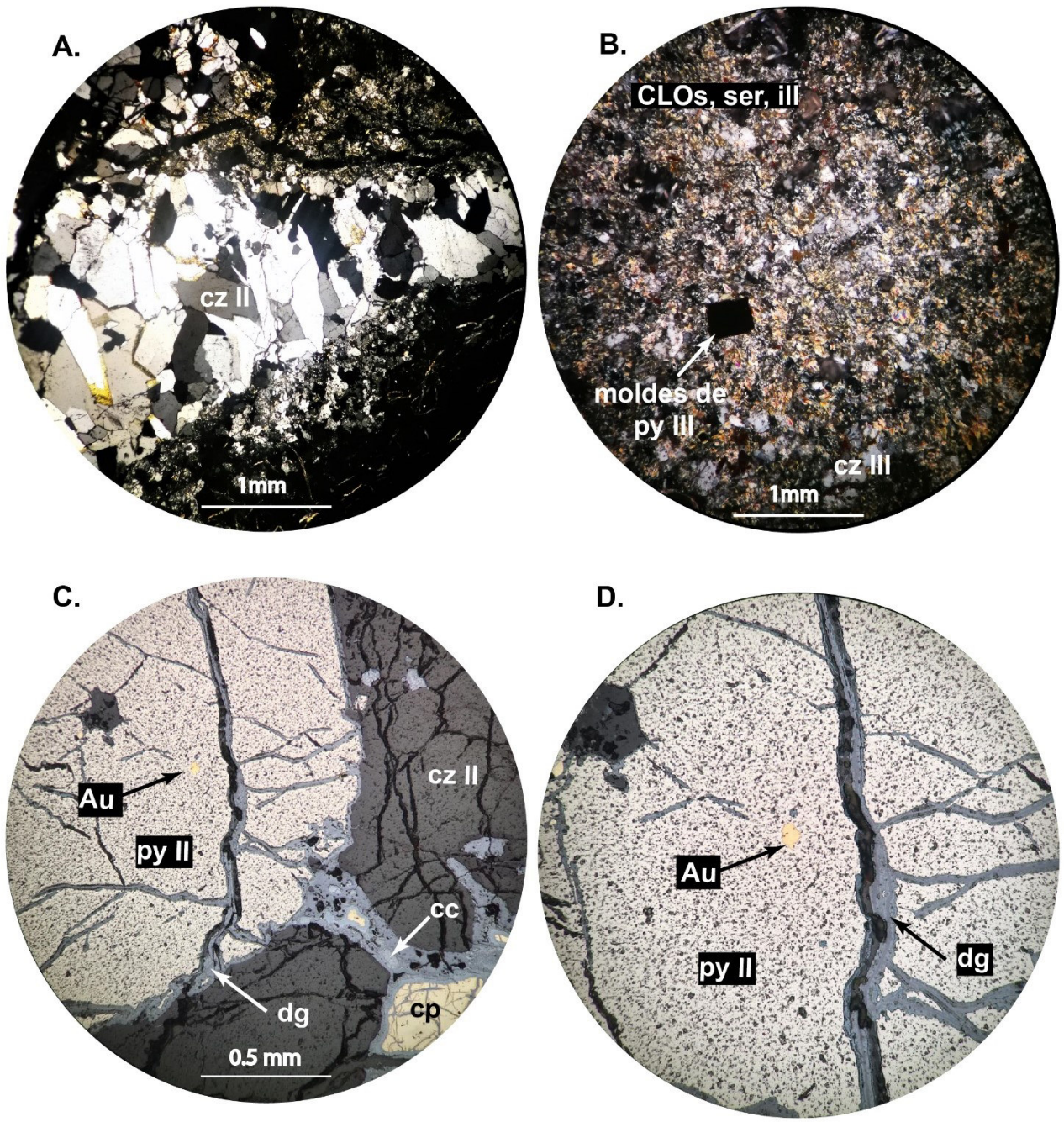
Muestra de roca con alteración pervasiva reemplazada totalmente por agregados fibrosos de cloritas, sericita e illita. Presenta una vetilla recta de 1.5. cm compuesta por un agregado grueso de habito prismático columnar de cuarzo II, el cual se encuentra asociado con cristales euhedrales y subhedrales de pirita II y calcopirita. La pirita II presenta trazas de oro. Además, se reconoce un segundo evento de alteración penetrativa de cuarzo III de textura granular fina junto con una diseminación de pirita III fina. La calcopirita se encuentra reemplazada por calcosita y digenita de forma coronitica. Además, se reconoce hematita, goethita y jarosita como lleno de microfracturas.



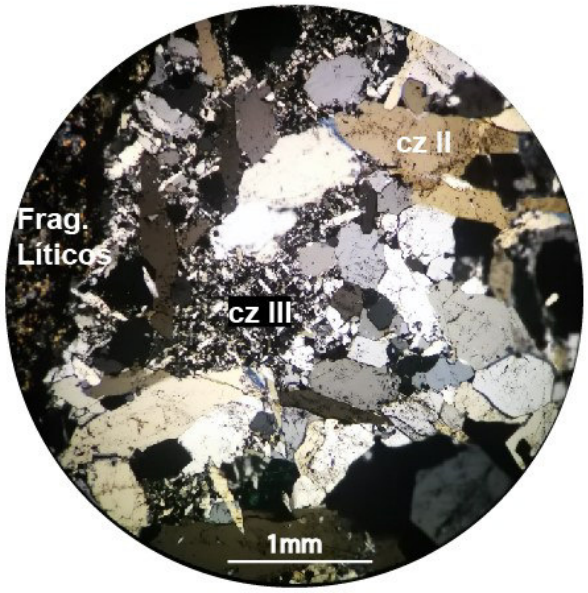
ALTERACIÓN	Silicificación, Cloritización, Argilización, Oxidación

COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Cloritas: Se encuentra como reemplazamiento de los ferromagnesianos de la roca caja. **Sericita, Illita: S**e presentan como agregados microfibrosos intercrecido con cloritas. Esta asociación se presenta como alteración sobre la roca caja.	-	45
Cuarzo II: Se muestra como un agregado grueso con habito prismático columnar.	2	28
Pirita II: Presenta inclusiones de trazas de oro.	10	10
Oro: Se encuentra dentro de la pirita I de forma libre.	0.03	Traza
Pirita III: Se observa relictos del mineral en forma euhedral	0.2	1
Cuarzo III: Agregado granular fino asociado a la diseminación de pirita III.	0.05	5
Calcopirita: Se encuentra reemplazado por calcosita y digenita en sus bordes. Además está asociado al cuarzo I	0.5	1
Hematita: Se presenta como relleno de microfracturas		2
Goethita: Se presenta como relleno de microfracturas	-	5
Jarosita: Se presenta como relleno de microfracturas	-	3

	Paragénesis	Alteración
1	Cloritas, sericita, illita	Cloritización, Argilización
2	Cuarzo II, pirita II, +/- oro, calcopirita	Mineralización (Vetilla)
3	cuarzo III, pirita III	Mineralización estéril
4	Calcosita, digenita	Supérgena
5	Goethita, jarosita, hematita	Oxidación

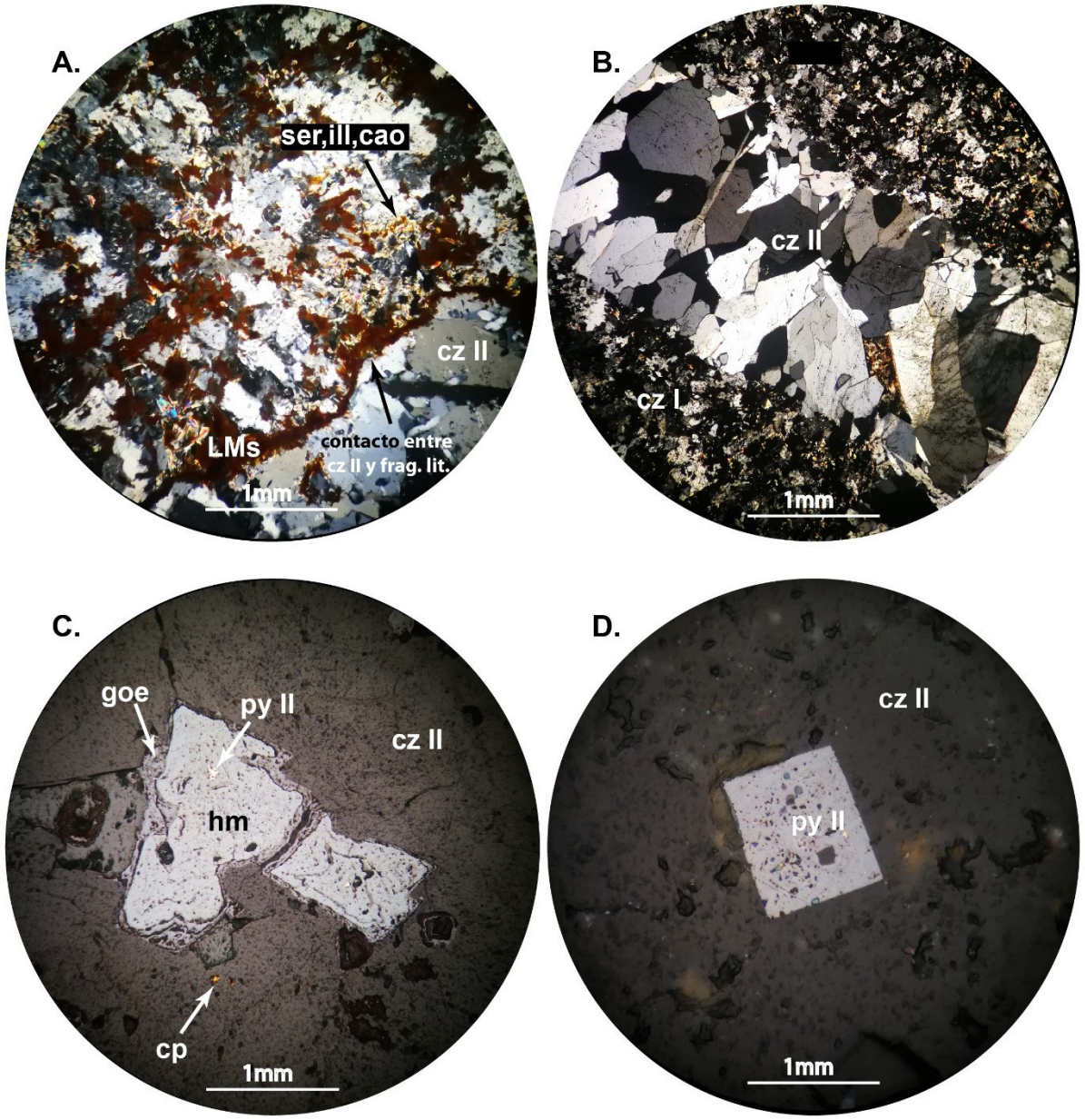


Fotomicrografías: A. Roca caja alterada por cloritas, sericita e illita. **B.** Se observa relicto de pirita euhedral asociado a cuarzo III. **C. Vetilla:** Traza de oro en estado libre dentro de la pirita II asociado con cuarzo II. Reemplazamiento supérgeno de la calcopirita a digenita y calcosita. **D.** Vista anterior con mayor detalle 10x. Observaciones con Luz transmitida (**A.** y **B.**) en nicoles cruzados; y luz reflejada (**C.** y **D.**) en nicoles paralelos. **Abreviación:** CLOs = cloritas; ser = sericita; ill = illita; Au = oro; cz = cuarzo; py = pirita; cp = calcopirita; cc = calcosita; dg = digenita.

CODIGO DE MUESTRA	COOORDENADAS WGS84		
BRN-19	ESTE	NORTE	
LABOR			
Gal. CIN Nv.630	225387	8798573	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA			
Brecha hidrotermal matriz soportada, está conformada por clastos monomicticos y angulosos con alteración pervasiva. La matriz está conformada por cuarzo hialino y escasas diseminaciones de pirita. Presenta patinas de limonitas.			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
Brecha hidrotermal con fragmentos angulosos y silicificados de 3 cm, presenta agregados microfibrosos de sericita, illita y caolinita junto con agregados de cloritas y epidota. Los fragmentos se encuentran soportados por cuarzo II, el cual se muestra como agregados prismáticos columnares junto con la pirita II, esta se encuentra reemplazada por hematita. Además, presenta trazas de calcopirita en cuarzo II. Asimismo, se reconoce finos agregados de cuarzo III reemplazando al cuarzo II. Finalmente, las limonitas terrosas se encuentran rellenando cavidades, fracturas; y la goethita en delgadas bandas coloformes.			
ALTERACION			Silicificación, propilitización, argilización y oxidación

COMPOSICIÓN MINERAL	Tamaño (mm)	Porcentaje (%)
Fragmentos		
Los fragmentos presentan formas angulosas de 3 cm de tamaño. Se encuentran silicificados y conformados por los siguientes minerales:	30	35
Sericita, illita, caolinita: Se presentan como un agregado microfibroso.	-	2
Cloritas, epidotas: Se presentan juntos como escasos agregados.	-	3
Matriz soportante		
Cuarzo II: se muestra como un agregado prismático columnar asociado a la pirita II	1.8	50
Pirita II: Se encuentra reemplazada totalmente por hematita. En algunos sectores se observa relictos.	0.9	Traza
Calcopirita: Se encuentra diseminada de forma aislada en el cuarzo II.	0.02	Traza
Cuarzo III: Agregado granular fino reemplazando al cuarzo II	0.025	2
Hematita: Se encuentra reemplazando a la pirita de manera pervasiva.	-	3
Limonitas: Se presenta como un agregado terroso rellenando microfracturas y cavidades	-	3
Goethita: Se presenta en delgadas bandas coloformes y rellenando microfracturas.	-	2

	Paragénesis	Alteración
1	Fragmentos (silicificación, epidota, cloritas, sericita, illita, caolinita)	Silicificación, propilitización, argilización
2	Cuarzo II +/-pirita II +/- calcopirita	Mineralización
3	Cuarzo III	Silicificación
4	Hematita, Limonitas, Goetita	Oxidación



Fotomicrografías: A. Agregado terroso de Limonitas rellenando fracturas. **B.** Fragmentos líticos silicificados soportados una matriz de cuarzo II. **C.** Relictos de pirita II reemplazado por hematita con bordes de goethita y traza de calcopirita en cuarzo II. **D.** Relicto de cristal euhedral de pirita II en cuarzo II. Observaciones con Luz transmitida (**A.** y **B.**) en nicoles cruzados; y luz reflejada (**C.** y **D.**) en nicoles paralelos. **Abreviación:** cao = caolinita; ser = sericita; ill = illita; cz = cuarzo; py = pirita; cp = calcopirita; hm = hematita; goe = goethita; LMs = limonitas.

ANEXO 2. DATOS ESTRUCTURALES

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
1	225223	8798386	diaclasa	166	76
2	224305	8798278	diaclasa	10	55
3	225300	8798645	diaclasa	294	71
4	225307	8798718	diaclasa	190	55
5	225267	8798717	diaclasa	175	80
6	225280	8798730	diaclasa	345	80
7	225138	8798872	diaclasa	227	80
8	225065	8798893	diaclasa	110	73
9	225028	8798855	diaclasa	340	70
10	225076	8798811	diaclasa	330	70
11	225070	8798451	diaclasa	90	80
12	225013	8798399	diaclasa	135	70
13	225324	8798471	diaclasa	163	74
14	225346	8798510	diaclasa	180	82
15	225398	8798651	diaclasa	205	70
16	225469	8798625	diaclasa	360	70
17	225370	8798575	diaclasa	16	60
18	225390	8798613	diaclasa	300	55
19	225411	8798606	diaclasa	340	86
20	225339	8798776	diaclasa	210	82
21	225348	8798801	diaclasa	195	80
22	224836	8798683	diaclasa	180	74
23	224970	8798760	diaclasa	215	80
24	224913	8798377	diaclasa	205	85
25	224932	8798393	diaclasa	200	60
26	224651	8798624	diaclasa	90	80
27	224978	8798763	diaclasa	343	40
28	224930	8798783	diaclasa	105	43
29	224841	8798762	diaclasa	240	50
30	224218	8797523	diaclasa	315	75
31	225207	8798810	dique	50	88
32	225200	8798819	dique	30	84
33	225303	8798767	dique	340	87
34	225543	8798682	dique	13	82
35	225157	8798855	dique	228	85
36	225391	8798688	dique	35	70

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
37	225296	8798719	dique	25	85
38	224842	8798389	dique	18	55
39	224656	8798617	dique	85	85
40	224400	8799204	estrato	164	41
41	224608	8798648	estrato	165	76
42	224839	8799129	estrato	114	43
43	225549	8798642	estrato	165	68
44	224462	8798804	estrato	165	60
45	224283	8798560	estrato	172	60
46	224379	8798668	estrato	168	55
47	224408	8798612	estrato	160	53
48	224438	8798486	estrato	158	44
49	224464	8798474	estrato	105	40
50	224525	8798498	estrato	95	75
51	224374	8798470	estrato	134	50
52	225522	8798682	estrato	150	62
53	224332	8799534	estrato	158	46
54	224065	8800440	estrato	195	40
55	226257	8798786	estrato	195	56
56	226099	8798809	estrato	195	65
57	225328	8798842	estrato	195	69
58	224324	8798804	estrato	165	46
59	223909	8799015	estrato	185	30
60	223980	8798996	estrato	165	41
61	224107	8799016	estrato	150	34
62	225723	8799118	estrato	18	48
63	225485	8798635	estrato	136	58
64	225467	8798708	estrato	164	70
65	225501	8798697	estrato	160	73
66	223994	8800569	estrato	150	50
67	224303	8799302	estrato	175	35
68	223943	8799412	estrato	170	30
69	224017	8800030	estrato	170	48
70	225482	8798692	estrato	165	75
71	224747	8799098	foliacion	104	44
72	225235	8798634	foliacion	180	43
73	225329	8798702	foliacion	166	69

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
74	224776	8799036	foliacion	115	40
75	225396	8798558	foliacion	155	68
76	225337	8798614	foliacion	165	68
77	225327	8798640	foliacion	165	75
78	225289	8798627	foliacion	230	80
79	225381	8798715	foliacion	164	66
80	225340	8798725	foliacion	150	85
81	225231	8798792	foliacion	325	70
82	225285	8798789	foliacion	160	87
83	225301	8798802	foliacion	180	70
84	225322	8798815	foliacion	190	60
85	225340	8798813	foliacion	165	75
86	225352	8798858	foliacion	145	45
87	225005	8798394	foliacion	245	76
88	225436	8798642	foliacion	45	62
89	225423	8798660	foliacion	50	64
90	225437	8798669	foliacion	38	60
91	225460	8798699	foliacion	45	85
92	225376	8798605	foliacion	5	85
93	224872	8798734	foliacion	75	80
94	225375	8798508	foliacion	20	65
95	225389	8798708	foliacion	160	70
96	225342	8798492	veta	18	63
97	225345	8798463	veta	22	78
98	225394	8798596	veta	28	83
99	224727	8799183	veta	15	82
100	224720	8799172	veta	15	80
101	225528	8798665	veta	34	85
102	225372	8798541	veta	25	70
103	225272	8798231	veta	15	70
104	225265	8798227	veta	12	82
105	225265	8798210	veta	13	78
106	225381	8798614	veta	35	50
107	226068	8796570	veta	10	54
108	225189	8798034	veta	14	83
109	225092	8799784	veta	35	78
110	225964	8797264	veta	0	75

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
111	225193	8799176	veta	17	85
112	225319	8798767	veta	38	77
113	225319	8798742	veta	41	52
114	225350	8798800	veta	37	88
115	225390	8798832	veta	65	89
116	225301	8798741	veta	35	76
117	225336	8798768	veta	48	80
118	225501	8798783	veta	32	83
119	225419	8798740	veta	36	89
120	225271	8798708	veta	17	71
121	225262	8798683	veta	52	64
122	225141	8798488	veta	13	80
123	225245	8798644	veta	30	55
124	225196	8798566	veta	17	86
125	225161	8798520	veta	40	87
126	225229	8798614	veta	40	70
127	225248	8798651	veta	5	78
128	225394	8798630	veta	50	66
129	225387	8798623	veta	35	50
130	225417	8798640	veta	20	75
131	225502	8798629	veta	20	74
132	225118	8798454	veta	40	85
133	225428	8798671	veta	15	78
134	225316	8798760	veta	33	85
135	225151	8799246	veta	38	75
136	225133	8799136	veta	215	80
137	225201	8798138	veta	320	84
138	225198	8798124	veta	12	80
139	225200	8798112	veta	14	85
140	225113	8797896	veta	10	78
141	224995	8798482	veta	28	80
142	224986	8798456	veta	25	75
143	225353	8798503	veta	348	85
144	225260	8798200	veta	5	85
145	226098	8796510	veta	16	81
146	225035	8799458	veta	170	62
147	225018	8799558	veta	5	70
148	225050	8799742	veta	28	80

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
149	224095	8797304	veta	145	80
150	224106	8797264	veta	12	78
151	224315	8797654	veta	15	85
152	225963	8797252	veta	15	85
153	225376	8798556	veta	5	80
154	225375	8798570	veta	315	85
155	225368	8798513	veta	28	78
156	224811	8798496	veta	20	80
157	225020	8799136	veta	30	85
158	225044	8799196	veta	20	78
159	225232	8799368	veta	3	85
160	225269	8799316	veta	10	79
161	225179	8799264	veta	30	80
162	225108	8799186	veta	50	85
163	225185	8799184	veta	20	82
164	225186	8799178	veta	35	80
165	225790	8799432	veta	10	85
166	225790	8799412	veta	16	80
167	225720	8799140	veta	35	85
168	225807	8798964	veta	30	85
169	225811	8798974	veta	20	80
170	225825	8798982	veta	30	78
171	225313	8798725	veta	20	52
172	225410	8798623	veta	20	64
173	225310	8798713	veta	18	85
174	225346	8798503	veta	20	80
175	225353	8798509	veta	25	60
176	225385	8798567	veta	24	83
177	225383	8798570	veta	335	75
178	225370	8798587	veta	360	65
179	225371	8798598	veta	10	75
180	225411	8798654	veta	21	70
181	225417	8798632	veta	42	72
182	225428	8798665	veta	38	60
183	225433	8798681	veta	34	74
184	225274	8798708	veta	40	80
185	225266	8798696	veta	20	75
186	225283	8798728	veta	25	80

ITEM	ESTE_84	NORTE_84	ESTRUCTURA	AZIMUT	DIP
187	225336	8798783	veta	40	80
188	225366	8798526	veta	30	77
189	225372	8798521	veta	19	80
190	224906	8798692	veta	190	77
191	224910	8798694	veta	185	85
192	225323	8798384	veta	22	85
193	225316	8798362	veta	22	80

ANEXO 2.1. DATOS ESTRUCTURALES DE LOS EVENTOS TECTÓNICOS

N°	AZIMUT	BUZAMIENTO	ESTRIA	CINEMÁTICA	FASE
1	171	76	12S	SxNx	FASE I
2	174	75	8S	Sx	FASE I
3	175	75	12S	SxNx	FASE I
4	168	76	5S	Sx	FASE I
5	170	80	27S	SxNx	FASE I
6	175	88	5S	Sx	FASE I
7	165	88	20S	SxNx	FASE I
8	167	87	5S	Sx	FASE I
9	158	80	9S	Sx	FASE I
10	162	70	33S	Sx	FASE I
11	165	55	85S	Nx	FASE I
12	202	80	5S	Sx	FASE I
13	212	65	5S	Sx	FASE I
14	215	77	26S	SxIx	FASE I
15	220	74	23S	SxIx	FASE I
16	218	74	19S	SxIx	FASE I
17	40	82	8N	Sx	FASE I
18	30	80	34N	SxIx	FASE I
19	28	85	37N	SxIx	FASE I
20	25	85	18N	SxIx	FASE I
21	18	68	14N	Sx	FASE I
22	194	84	15N	Sx	FASE I
23	200	70	15N	Sx	FASE I
24	202	88	23N	SxIx	FASE I
25	194	85	20N	SxIx	FASE I
26	27	80	29N	SxIx	FASE I
27	23	82	15N	Sx	FASE I
28	17	70	16N	SxIx	FASE I
29	12	85	15N	Sx	FASE I
30	17	72	10N	Sx	FASE I
31	11	78	12N	Sx	FASE I
32	20	85	16N	SxIx	FASE I
33	280	81	32N	DxNx	FASE I
34	272	78	27N	DxNx	FASE I
35	20	80	82N	Nx	FASE II
36	210	72	78S	NxSx	FASE II
37	215	84	75S	NxSx	FASE II
38	220	82	72S	NxSx	FASE II
39	35	78	80N	Nx	FASE II
40	0	88	78N	NxSx	FASE II
41	42	72	84S	Nx	FASE II

N°	AZIMUT	BUZAMIENTO	ESTRIA	CINEMÁTICA	FASE
42	30	77	81N	Nx	FASE II
43	38	40	60S	NxSx	FASE II
44	41	45	62S	NxSx	FASE II
45	41	70	22N	DxNx	FASE III
46	40	67	26N	DxNx	FASE III
47	33	74	15N	DxNx	FASE III
48	27	68	24N	DxNx	FASE III
49	40	84	31N	DxN	FASE III
50	44	77	15N	DxN	FASE III
51	40	85	20N	DxN	FASE III
52	36	65	5N	Dx	FASE III
53	36	71	8N	Dx	FASE III
54	35	59	5N	Dx	FASE III
55	43	75	10N	Dx	FASE III
56	15	70	35N	DxIx	FASE III
57	15	73	32N	DxIx	FASE III
58	95	87	20S	SxNx	FASE III
59	98	85	18S	SxNx	FASE III
60	105	88	20S	SxNx	FASE III
61	105	78	15N	SxNx	FASE III
62	102	80	18N	SxNx	FASE III
63	115	85	28N	SxNx	FASE III
64	108	83	35N	SxNx	FASE III
65	106	76	14N	SxNx	FASE III
66	345	86	9N	Dx	FASE III
67	336	81	25N	DxIx	FASE III
68	334	76	24N	DxIx	FASE III
69	176	87	73E	Ix	FASE III

ANEXO 3. RESULTADOS GEOQUÍMICOS

MUESTRA	ESTE WGS84	NORTE WGS84	COTA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Ba_ppm	Bi_ppm	Cu_%	Fe _%
43224	225309	8798710	598	5.75	3.51	129.3	37.32	<5	0.5153	10.84
43234	225369	8798529	645	0.37	0.66	<5	12.12	<5	0.0899	14.15
43235	225373	8798525	645	3.89	4.08	59.82	12.74	<5	1.82	12.13
43250	225320	8798372	674	0.03	5.91	179.18	3.49	<5	0.4715	15
43267	225354	8798807	601	0.02	2.3	8	12	<5	0.65	3.9
43268	225314	8798726	597	0.05	0.8	260	12	<5	0.12	15.32
43269	225384	8798555	645	0.04	3.1	23	20	20	2.077	7.29
43270	225378	8798560	642	0.28	2.8	139	10	625	1.175	8.63
43271	225346	8798498	645	26.8	3.7	42	<5	229	0.32	5.72
43273	225348	8798464	658	0.21	2.4	75	34	21	0.46	8.55
43274	225340	8798450	658	0.02	1.7	27	7	236	0.91	8.03
43275	225367	8798508	650	0.74	8	76	15	741	0.67	7.69
43276	225380	8798538	647	0.02	0.6	24	66	<5	0.21	8.22
43277	225394	8798593	641	0.65	0.2	52	63	30	0.05	3.81
43278	225324	8798387	671	0.23	3	129	10	272	2.976	15.43
43279	225316	8798363	676	0.03	1.9	30	8	54	1.001	8.52
43282	225371	8798593	634	11.5	1.8	156	69	61	0.04	6.15
43287	225371	8798588	633	0.15	0.1	49	72	<5	0.02	5.27
43288	225529	8798663	689	0.03	1.4	169	24	<5	0.53	12.01
43290	225375	8798544	643	4.61	1.9	68	18	178	0.38	5.29
43291	225387	8798566	644	2.97	5.8	94	21	699	0.42	12.3
43292	225500	8798622	677	0.18	2.8	588	22	24	1.237	20.07
43293	225327	8798416	662	0.2	0.3	54	29	24	0.28	11.56
43299	225269	8798228	649	0.63	2.2	309	12	1016	0.2	10.15
43302	225378	8798609	631	0.99	0.2	77	53	<5	0.007	5.44
43303	225411	8798626	635	0.03	1.3	105	37	<5	0.59	7.7
43307	225316	8798760	593	0.22	0.3	67	124	<5	0.48	5.95
43314	225274	8798706	591	0.1	0.4	41	52	13	0.03	11.95
43315	225272	8798703	591	0.048	0.1	119	94	29	0.2163	9

MUESTRA	Mn_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_ppm	Sb_ppm	Zn_ppm	Co_ppm	P_ppm	Ti_%	Cd_ppm
43224	1246.26	24.52	221.86	1400	<5	428.08	16.71	332.88	0.06	1.15
43234	3603.28	7.75	13.84	500	<5	835.62	13.57	339.63	0.02	0.13
43235	1491.84	12.58	40.51	800	<5	356.64	98.59	349.59	0.03	0.13
43250	360.5	12.03	44.52	1100	<5	34.1	0.13	348.27	0.01	1.72
43267	1241	3	5	600	<5	103	7.00	556.00	0.21	4.00
43268	287	51	9	1000	<5	78	86.00	245.00	<0.01	3.00
43269	1835	12	12	400	<5	412	13.00	345.00	0.04	8.00
43270	1019	17	63	500	<5	601	18.00	314.00	0.03	14.00
43271	1030	6	21	400	<5	294	16.00	121.00	<0.01	1.00
43273	1603	4	9	300	<5	316	18.00	208.00	0.02	0.50
43274	1723	5	31	300	<5	798	14.00	212.00	0.02	5.00
43275	557	5	39	1300	<5	193	10.00	161.00	<0.01	2.00
43276	3358	5	19	600	<5	472	30.00	389.00	0.01	4.00
43277	1288	12	11	500	<5	487	29.00	288.00	0.01	2.00
43278	1274	11	94	1400	<5	280	19.00	404.00	0.01	8.00
43279	1339	8	35	700	<5	165	25.00	263.00	<0.01	2.00
43282	905	8	14	900	<5	264	19.00	353.00	0.01	3.00
43287	1735	5	8	800	5	96	35.00	604.00	0.07	4.00
43288	2067	17	28	900	6	3827	49.00	457.00	0.05	9.00
43290	735	11	14	1000	<5	110	22.00	254.00	<0.01	1.00
43291	378	14	65	1400	<5	329	9.00	265.00	<0.01	1.00
43292	1159	50	44	3300	21	8416	141.00	479.00	0.01	26.00
43293	3516	2	12	300	<5	250	38.00	378.00	0.01	2.00
43299	264	23	72	700	<5	55	22.00	239.00	<0.01	2.00
43302	2465	3	11	700	<5	931	28.00	386.00	0.01	10.00
43303	3753	2	12	300	<5	10350	175.00	428.00	0.01	59.00
43307	2569	24	14	500	<5	113	34.00	532.00	<0.01	2.00
43314	132	6	17	1000	<5	36	13.00	353.00	<0.01	1.00
43315	1457	9	67	1100	<5	184	35.00	421.00	<0.01	2.00

ANEXO 3.1 RESULTADOS QUÍMICOS EN VETA ROSA

MUESTRA	ESTE WGS84	NORTE WGS84	COTA	Au g/t	ENSAYO	LABORATORIO
43267	225353	8798810	601	0.02	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43268	225314	8798726	597	0.05	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43307	225316	8798760	593	0.22	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43314	225274	8798706	591	0.10	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43320	225150	8798508	578	8.22	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43315	225274	8798706	591	0.05	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43328	225298	8798730	581	0.85	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43329	225320	8798752	581	0.96	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43330	225342	8798784	581	0.05	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43331	225263	8798678	611	0.15	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43332	225247	8798650	592	4.22	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43333	225196	8798566	606	3.55	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43334	225201	8798570	593	4.82	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43335	225160	8798522	529	0.52	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43336	225149	8798510	593	0.02	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI
43337	225138	8798486	599	1.50	FA + AAS	Laboratorio de procesamiento de minerales y Metalurgia extractiva - UNI

FA : Fire Assay (Ensayo al fuego); AAS : Espectrometría de Absorcion Atómica

ANEXO 4. TRATAMIENTO ESTADISTICO DESCRIPTIVO DE LOS ELEMENTOS

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL ORO

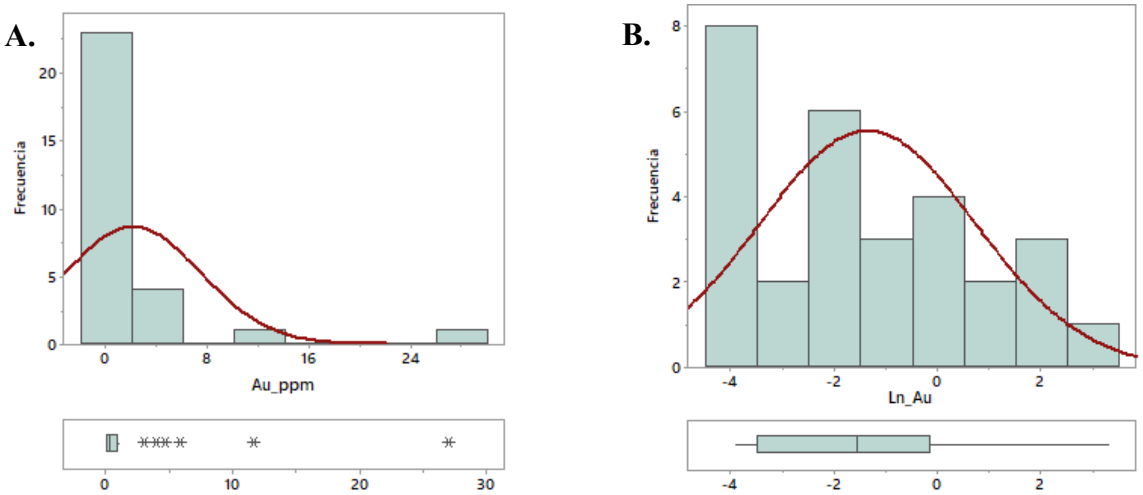


Figura 41. A. Histograma normal de Au. **B.** Histograma Log normal de Au.

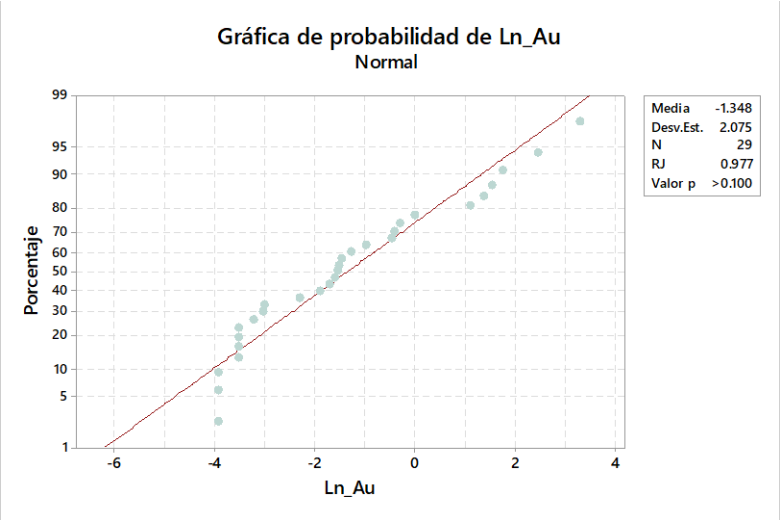


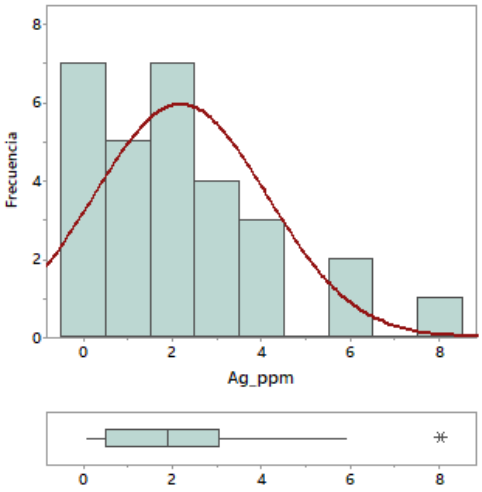
Figura 42. Prueba de normalidad de Ln Au.

Media	-1.3482
Desv.Est.	2.0750
Varianza	4.3058
Asimetría	0.598004
Curtosis	-0.559863
N	29
Mínimo	-3.9120
1er cuartil	-3.3627
Mediana	-1.5606
3er cuartil	-0.1556
Máximo	3.2884
Intervalo de confianza de 95% para la media	
-2.1375	-0.5589
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
-3.0025	-0.4569
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
1.6467	2.8064

Figura 43. Resumen de estadisticos descriptivos del Ln Au.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA PLATA

A.



B.

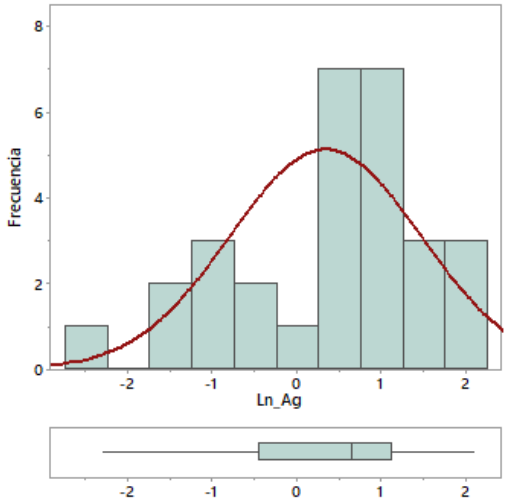


Figura 45. A. Histograma normal de la Ag. **B.** Histograma Log normal de la Ag

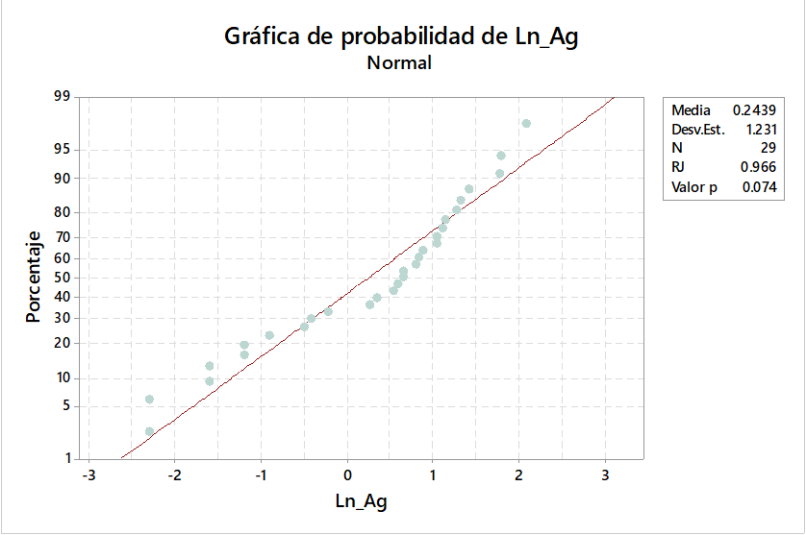


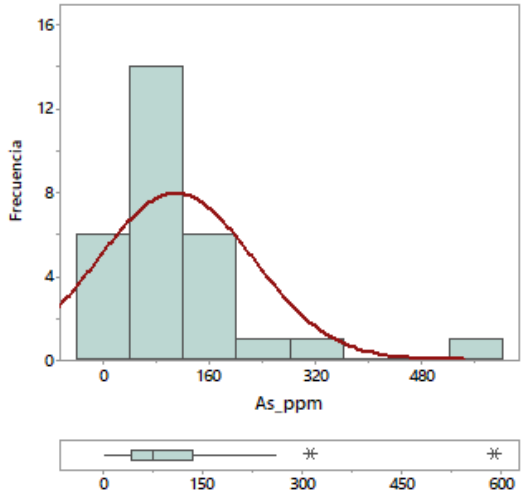
Figura 44. Prueba de normalidad de Ln Ag

Media	0.24391
Desv.Est.	1.23114
Varianza	1.51569
Asimetría	-0.699759
Curtosis	-0.508741
N	29
Mínimo	-2.30259
1er cuartil	-0.71356
Mediana	0.64185
3er cuartil	1.11501
Máximo	2.07944
Intervalo de confianza de 95% para la media	
-0.22439	0.71220
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
-0.25503	1.02962
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.97700	1.66505

Figura 46. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Ag.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL ARSÉNICO

A.



B.

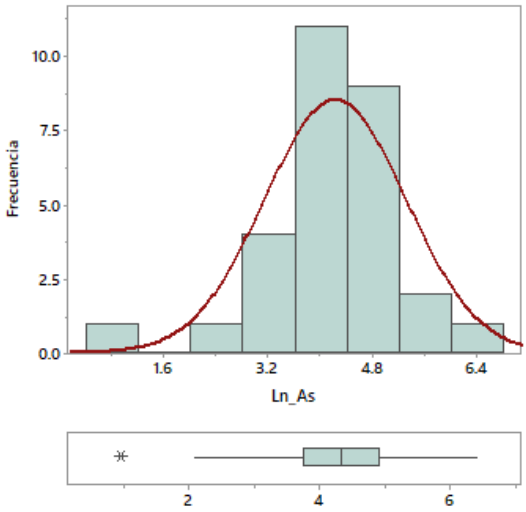


Figura 47. A. Histograma normal de As. **B.** Histograma Log normal de As.

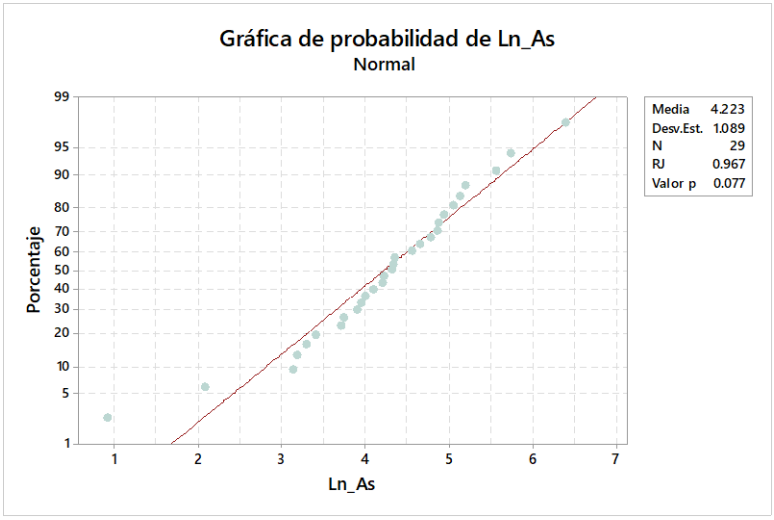


Figura 48. Prueba de normalidad de Ln As.

Media	4.2231
Desv.Est.	1.0887
Varianza	1.1854
Asimetría	-0.91850
Curtosis	2.23387
N	29
Mínimo	0.9163
1er cuartil	3.7256
Mediana	4.3175
3er cuartil	4.8983
Máximo	6.3767
Intervalo de confianza de 95% para la media	
3.8089	4.6372
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
3.9414	4.7925
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.8640	1.4725

Figura 49. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln As.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL BISMUTO

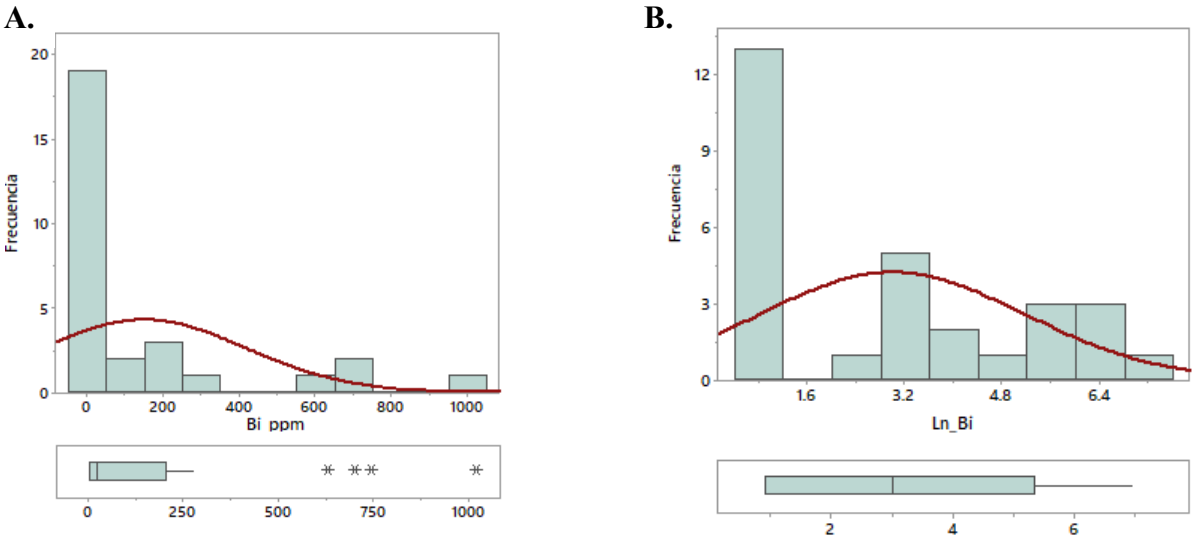


Figura 50. A. Histograma normal del bismuto. **B.** Histograma Log normal del bismuto.

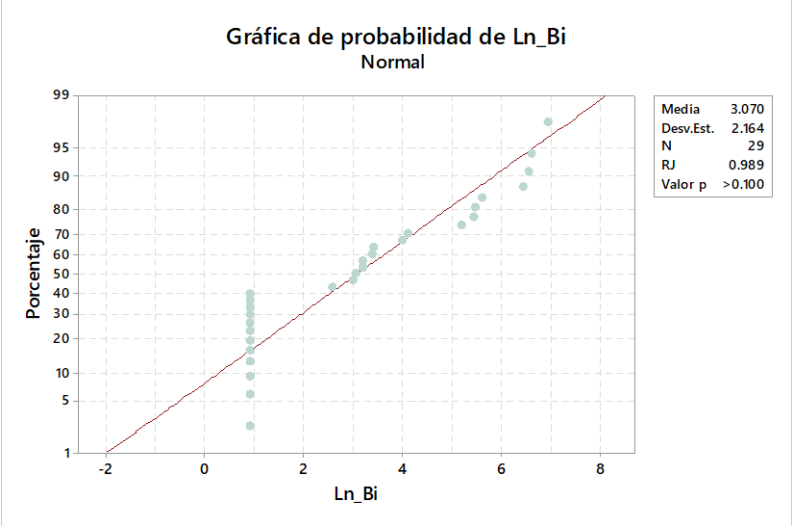


Figura 51. Prueba de normalidad de Ln Bi.

Media	3.0700
Desv.Est.	2.1638
Varianza	4.6820
Asimetría	0.44096
Curtosis	-1.25479
N	29
Mínimo	0.9163
1er cuartil	0.9163
Mediana	3.0445
3er cuartil	5.3078
Máximo	6.9236
Intervalo de confianza de 95% para la media	
2.2469	3.8930
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
0.9163	4.0092
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
1.7172	2.9264

Figura 52. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Bi.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL COBRE

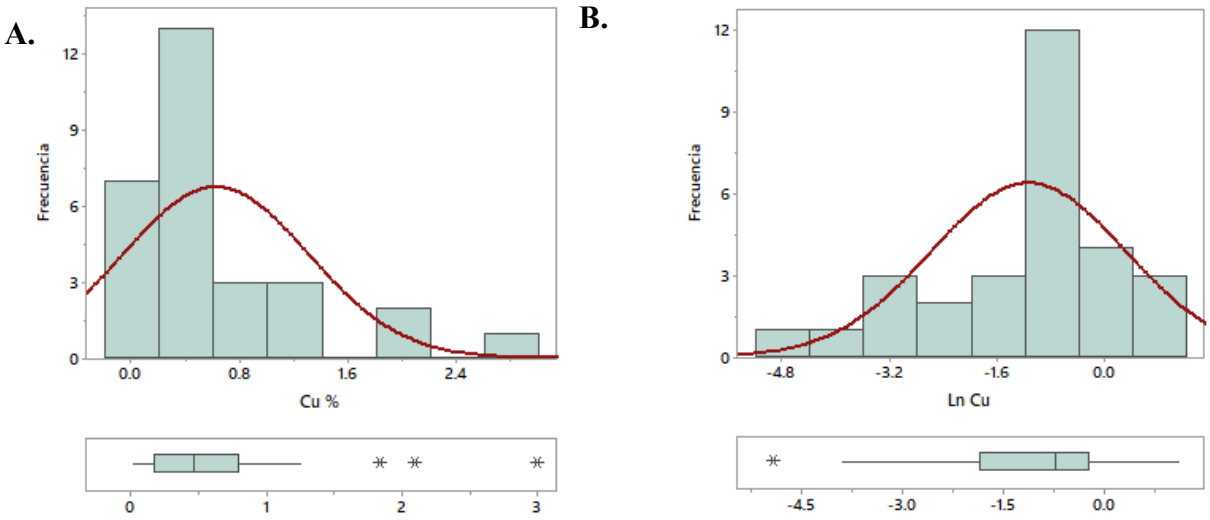


Figura 53. A. Histograma normal del Cu. **B.** Histograma Log normal del Cu.

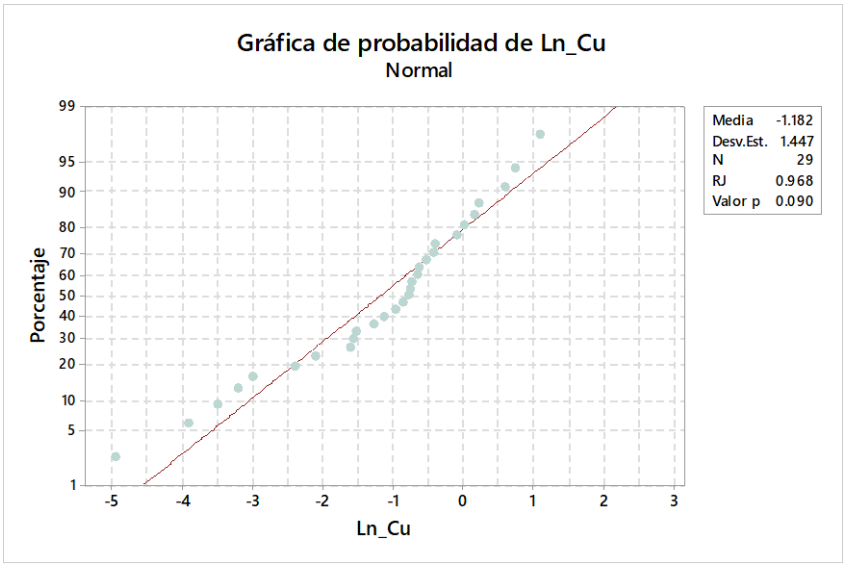


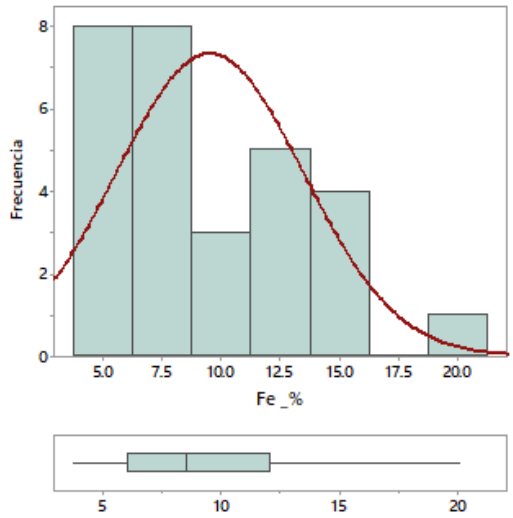
Figura 55. Prueba de normalidad de Ln Cu.

Media	-1.1825
Desv.Est.	1.4469
Varianza	2.0936
Asimetría	-0.884790
Curtosis	0.502575
N	29
Mínimo	-4.9618
1er cuartil	-1.8649
Mediana	-0.7765
3er cuartil	-0.2474
Máximo	1.0906
Intervalo de confianza de 95% para la media	
-1.7328	-0.6321
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
-1.5360	-0.5116
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
1.1483	1.9569

Figura 54. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Cu.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL FIERRO

A.



B.

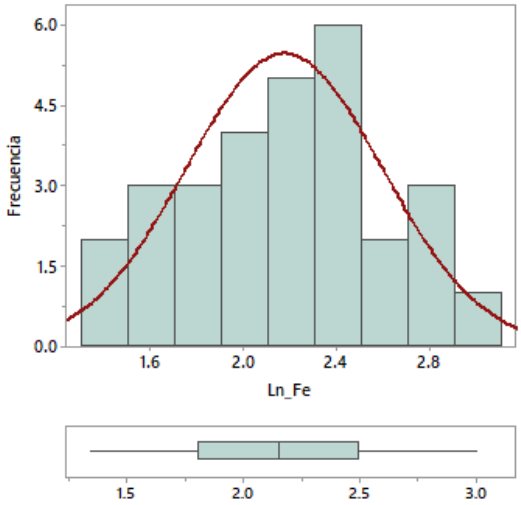


Figura 56. A. Histograma normal del Fe. **B.** Histograma Log normal del Fe.

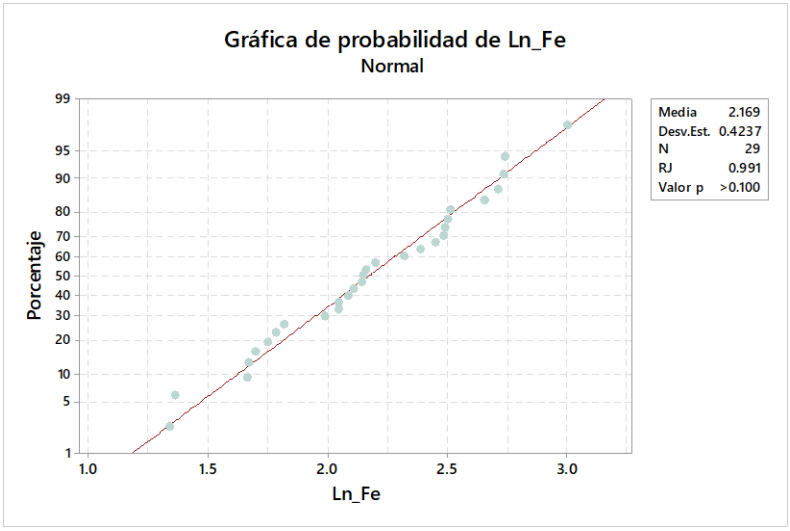


Figura 57. Prueba de normalidad de Ln Fe.

Media	2.1691
Desv.Est.	0.4237
Varianza	0.1795
Asimetría	-0.145679
Curtosis	-0.568261
N	29
Mínimo	1.3376
1er cuartil	1.7999
Mediana	2.1459
3er cuartil	2.4907
Máximo	2.9992
Intervalo de confianza de 95% para la media	
2.0080	2.3303
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
2.0311	2.4531
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.3362	0.5730

Figura 58. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Fe.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL MANGANESO

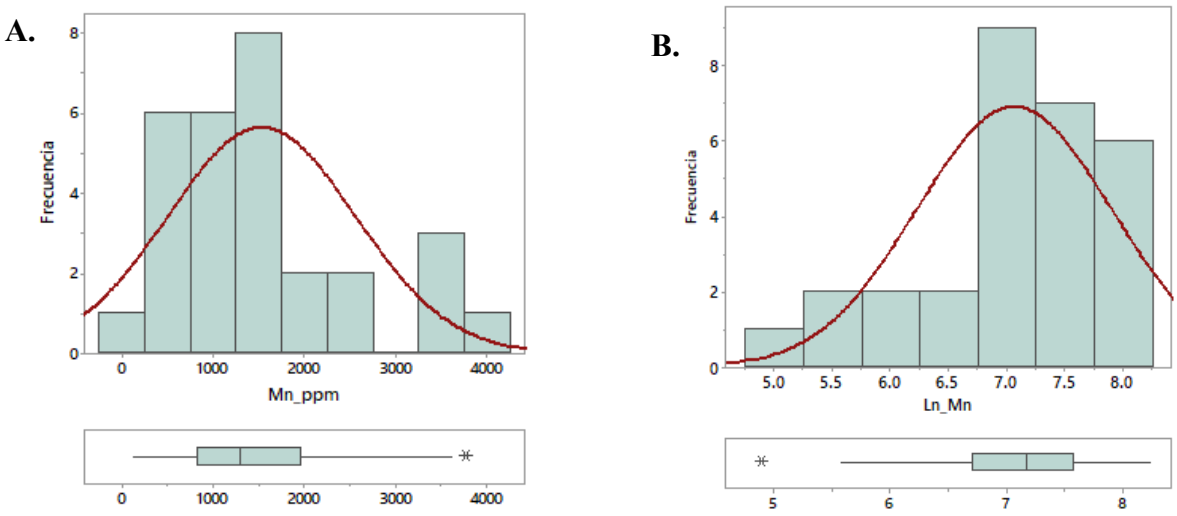


Figura 61. A. Histograma normal del Mn. **B.** Histograma Log normal del Mn

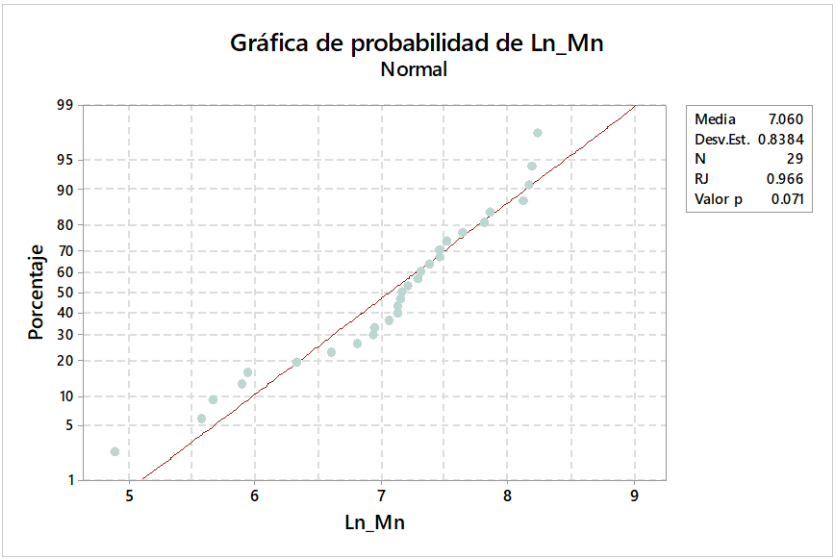


Figura 60. Gráfica de prueba de normalidad de Ln Mn.

Media	7.0603
Desv.Est.	0.8384
Varianza	0.7029
Asimetría	-0.842077
Curtosis	0.429449
N	29
Mínimo	4.8828
1er cuartil	6.7039
Mediana	7.1608
3er cuartil	7.5743
Máximo	8.2303
Intervalo de confianza de 95% para la media	
6.7414	7.3792
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
6.9355	7.4530
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.6654	1.1339

Figura 59. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Mn.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL MOLIBDENO

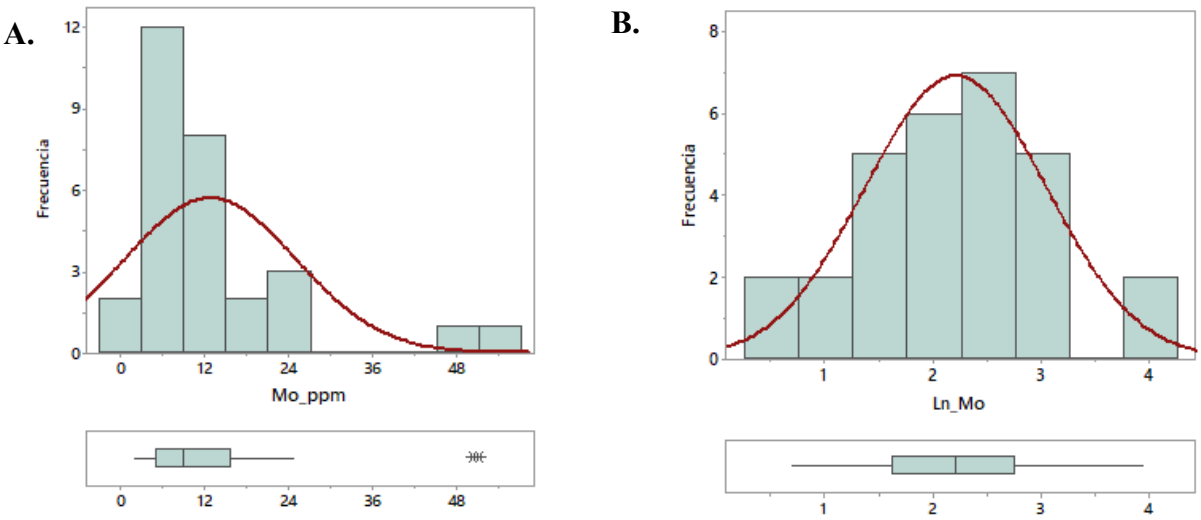


Figura 64. A. Histograma normal del Mo. **B.** Histograma Log normal del Mo.

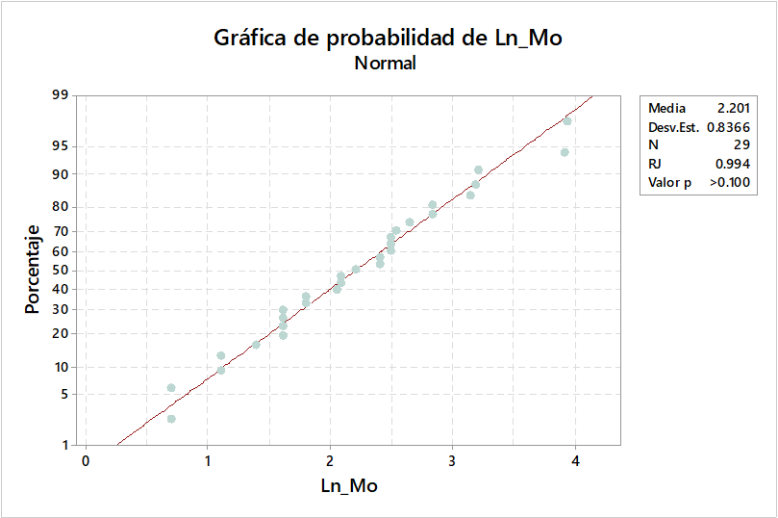


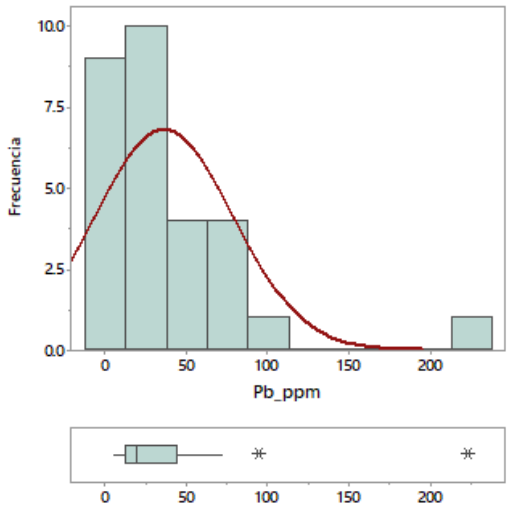
Figura 63. Prueba de normalidad de Ln Mo.

Media	2.2015
Desv.Est.	0.8366
Varianza	0.7000
Asimetría	0.168519
Curtosis	-0.199544
N	29
Mínimo	0.6931
1er cuartil	1.6094
Mediana	2.1972
3er cuartil	2.7361
Máximo	3.9318
Intervalo de confianza de 95% para la media	
1.8832	2.5197
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
1.7615	2.4948
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.6639	1.1315

Figura 62. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Mo.

COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL PLOMO

A.



B.

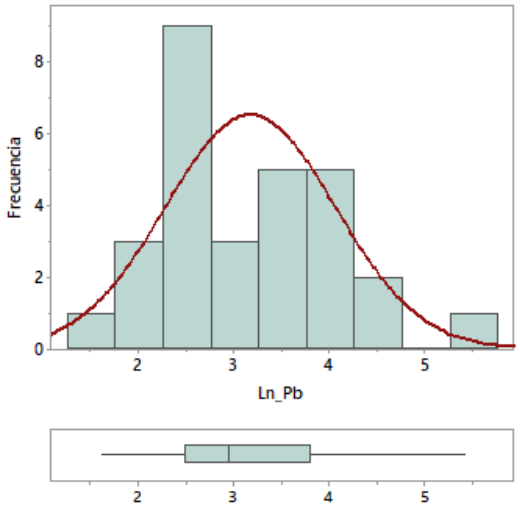


Figura 67. A. Histograma normal del Pb. **B.** Histograma Log normal del Pb.

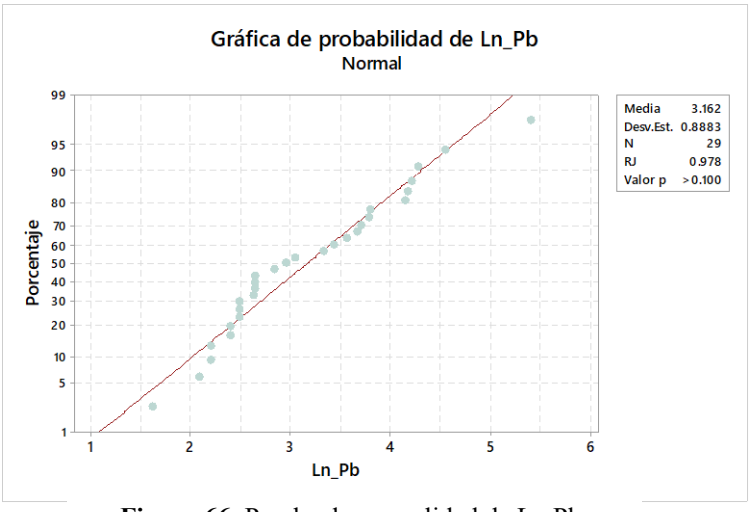


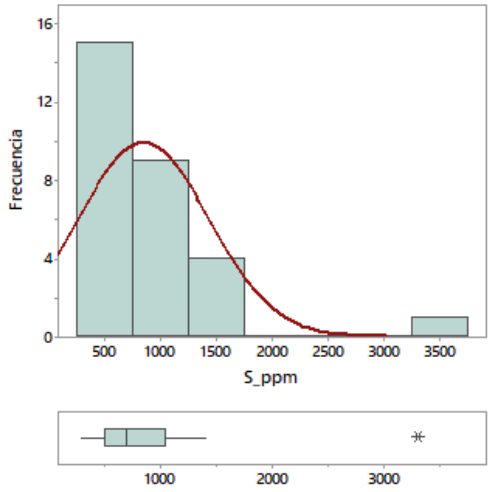
Figura 66. Prueba de normalidad de Ln Pb.

Media	3.1625
Desv.Est.	0.8883
Varianza	0.7891
Asimetría	0.544504
Curtosis	-0.184307
N	29
Mínimo	1.6094
1er cuartil	2.4849
Mediana	2.9444
3er cuartil	3.7901
Máximo	5.4020
Intervalo de confianza de 95% para la media	
2.8246	3.5004
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
2.6039	3.6699
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.7049	1.2014

Figura 65 . Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Pb.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL AZUFRE

A.



B.

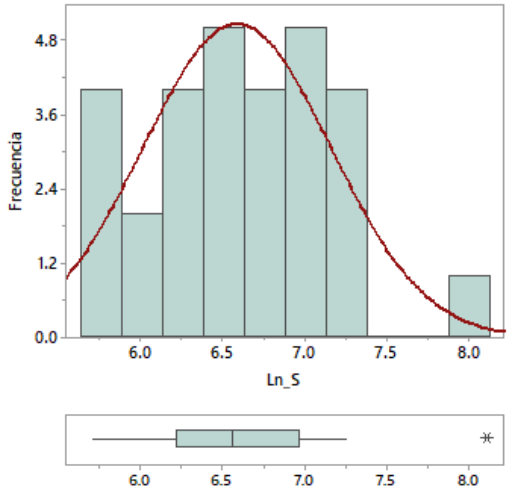


Figura 68. A. Histograma normal del S. **B.** Histograma Log normal del S.

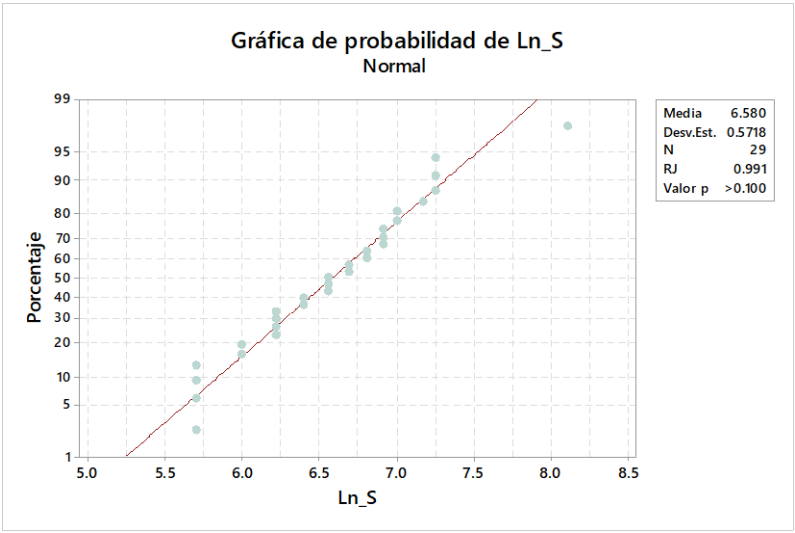


Figura 70. Prueba de normalidad de Ln S.

Media	6.5797
Desv.Est.	0.5718
Varianza	0.3270
Asimetría	0.326492
Curtosis	0.310502
N	29
Mínimo	5.7038
1er cuartil	6.2146
Mediana	6.5511
3er cuartil	6.9554
Máximo	8.1017
Intervalo de confianza de 95% para la media	
6.3622	6.7972
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
6.2146	6.9078
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.4538	0.7734

Figura 69. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln S.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL ZINC

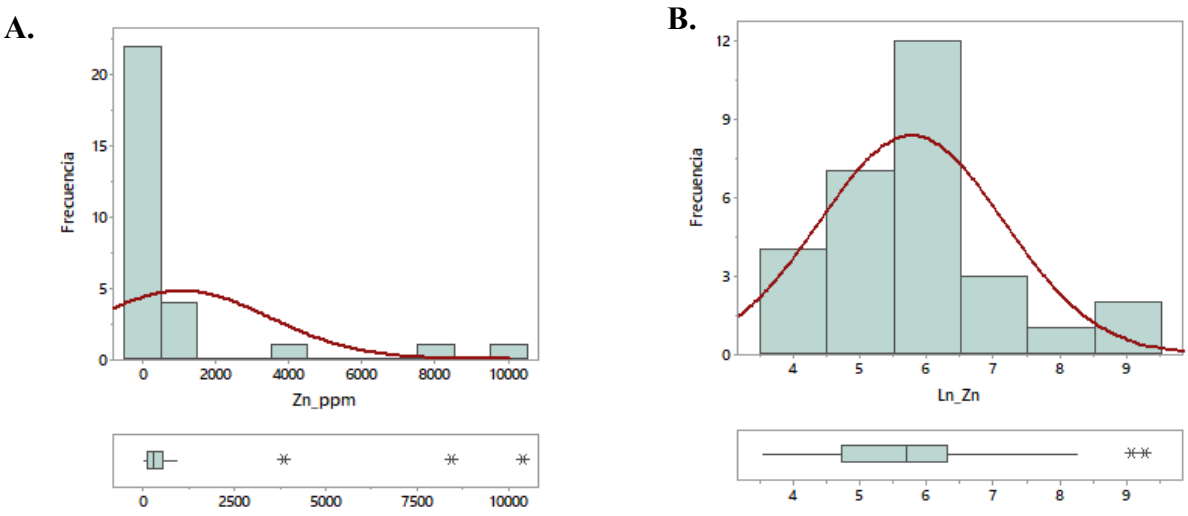


Figura 72. A. Histograma normal del Zn. **B.** Histograma Log normal del Zn.

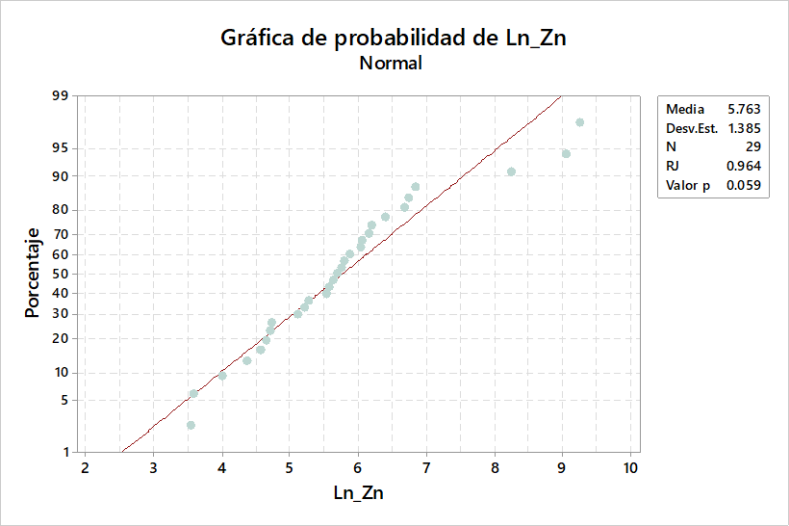


Figura 71. Prueba de normalidad de Ln Zn.

Media	5.7633
Desv.Est.	1.3846
Varianza	1.9171
Asimetría	0.87089
Curtosis	1.11318
N	29
Mínimo	3.5293
1er cuartil	4.7139
Mediana	5.6836
3er cuartil	6.2934
Máximo	9.2447
Intervalo de confianza de 95% para la media	
5.2366	6.2899
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
5.1969	6.0755
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
1.0988	1.8726

Figura 73. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Zn.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL BARIO

A. **B.**

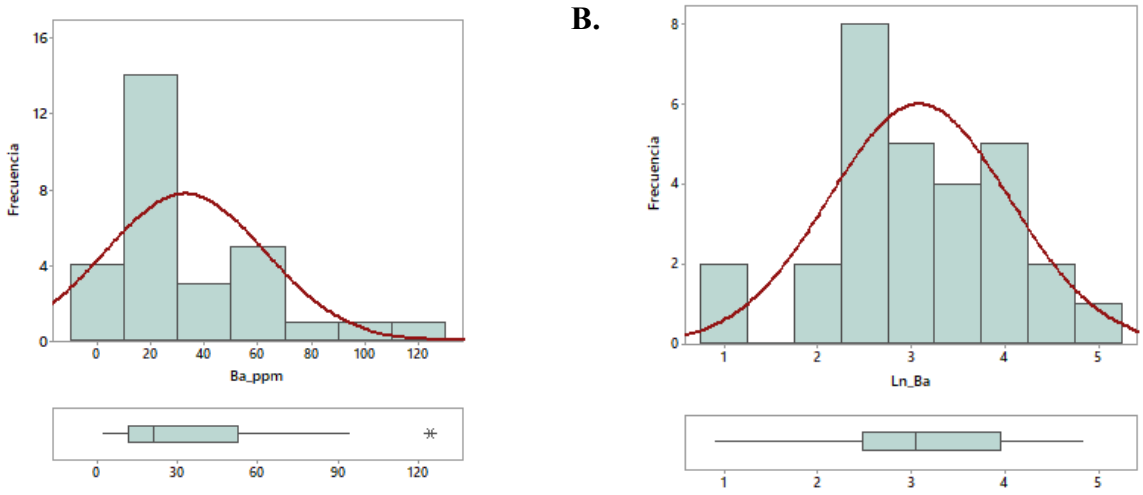


Figura 75. A. Histograma normal del Ba. **B.** Histograma Log normal del Ba.

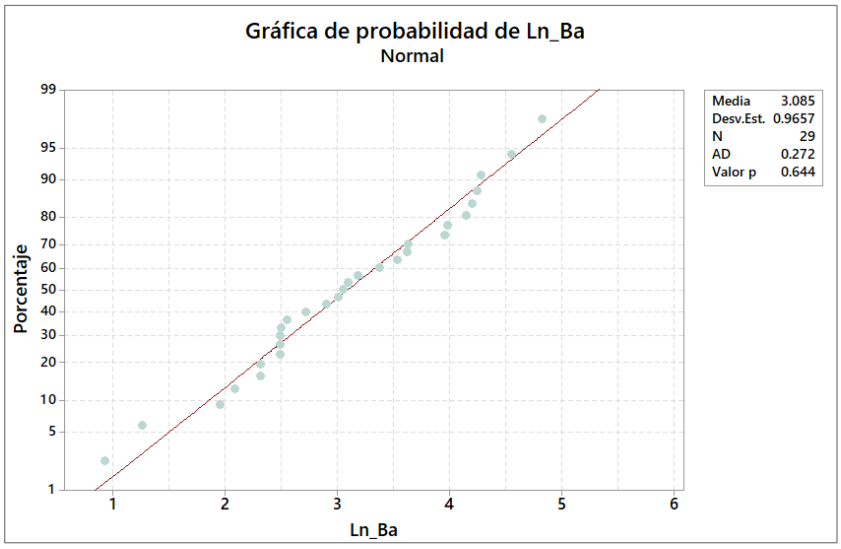


Figura 74. Prueba de normalidad de Ln Ba.

Media	3.0845
Desv.Est.	0.9657
Varianza	0.9326
Asimetría	-0.215084
Curtosis	-0.347813
N	29
Mínimo	0.9163
1er cuartil	2.4849
Mediana	3.0445
3er cuartil	3.9608
Máximo	4.8203
Intervalo de confianza de 95% para la media	
2.7172	3.4519
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
2.4932	3.6123
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.7664	1.3061

Figura 76. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Ba.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL COBALTO

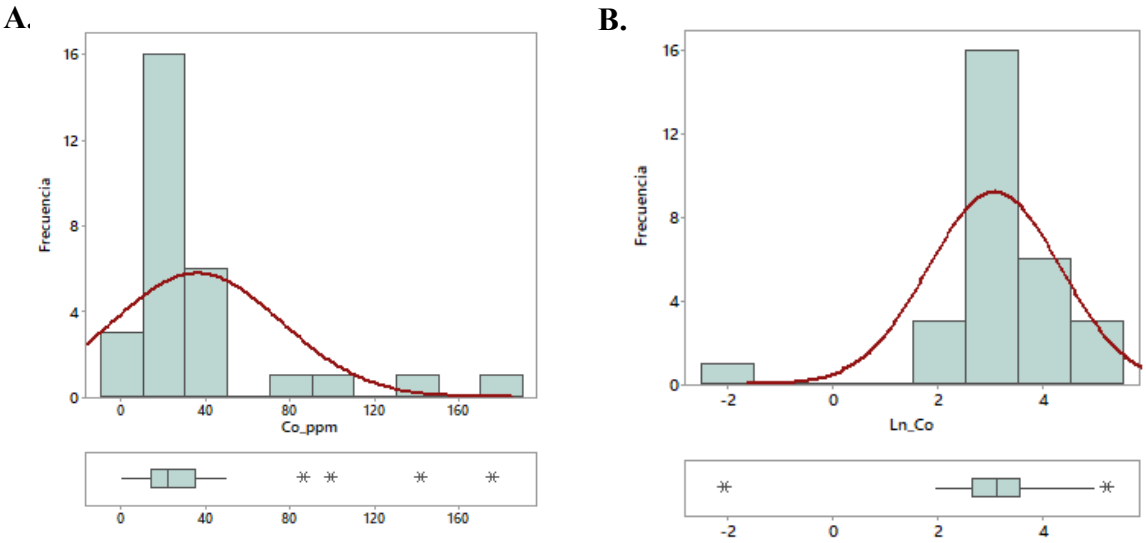


Figura 79. A. Histograma normal del Co. **B.** Histograma Log normal del Co.

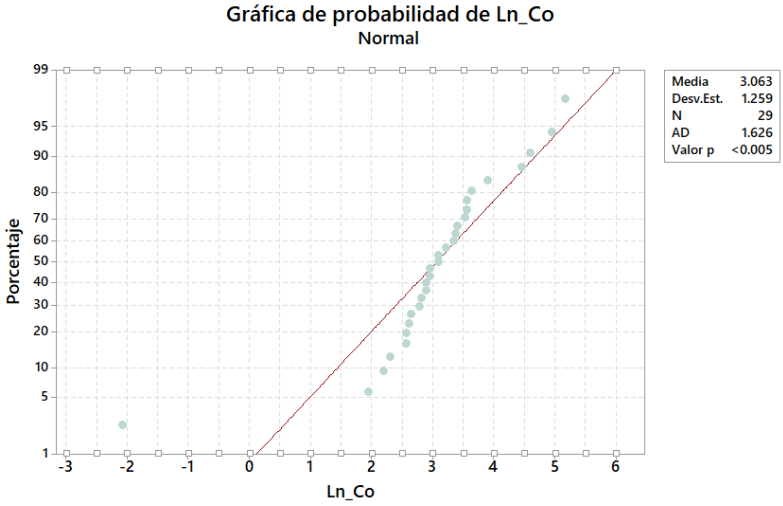


Figura 78. Prueba de normalidad de Ln Co.

Prueba de normalidad de Anderson-Darling	
A-cuadrado	1.63
Valor p	<0.005
Media	3.0630
Desv.Est.	1.2593
Varianza	1.5858
Asimetría	-2.21884
Curtosis	9.74679
N	29
Mínimo	-2.0794
1er cuartil	2.6235
Mediana	3.0910
3er cuartil	3.5553
Máximo	5.1648
Intervalo de confianza de 95% para la media	
2.5840	3.5421
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
2.8088	3.4219
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.9993	1.7031

Figura 77. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Co.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL FÓSFORO

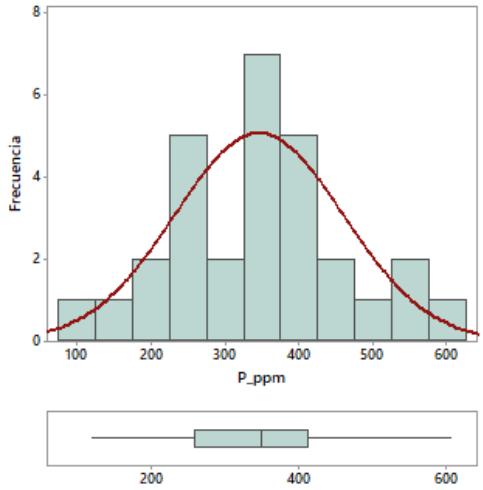


Figura 81. Histograma normal del P.

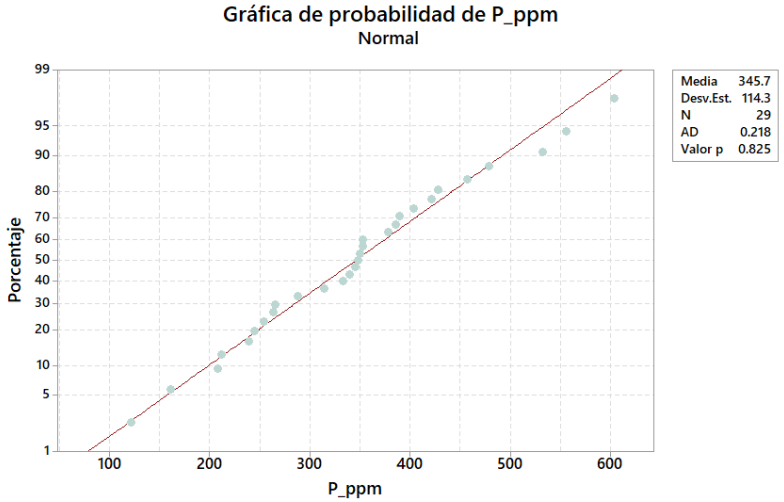


Figura 80. Prueba de normalidad de P.

Media	345.70
Desv.Est.	114.27
Varianza	13056.61
Asimetría	0.286356
Curtosis	0.018190
N	29
Mínimo	121.00
1er cuartil	258.50
Mediana	348.27
3er cuartil	412.50
Máximo	604.00
Intervalo de confianza de 95% para la media	
302.24	389.17
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
284.19	386.50
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
90.68	154.54

Figura 82. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln P.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL TITANIO

A. **B.**

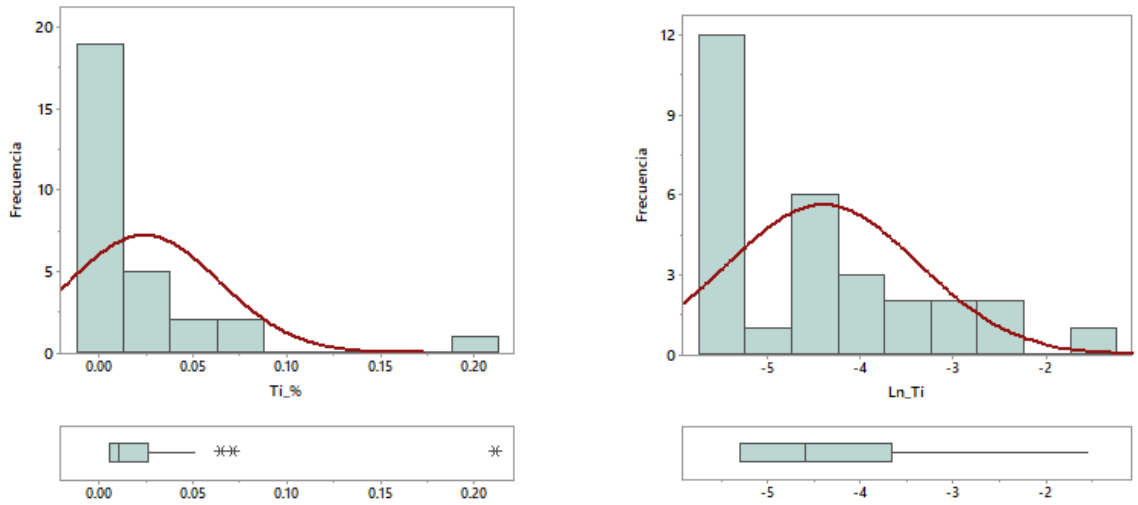


Figura 85. A. Histograma normal del Ti. **B.** Histograma Log normal del Ti.

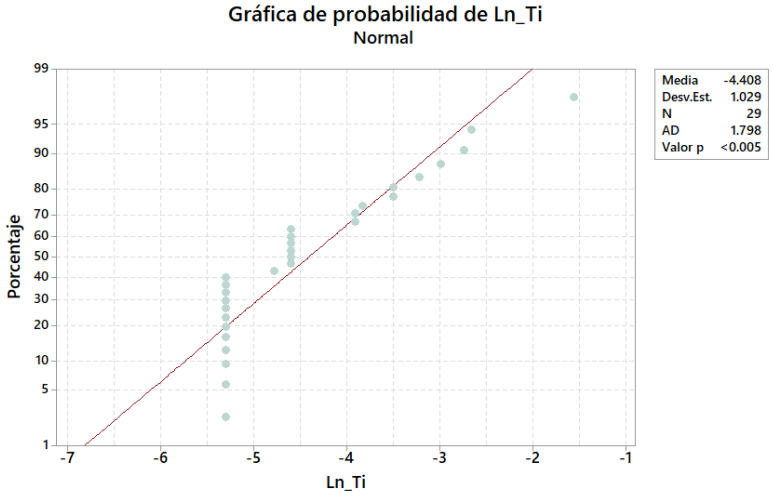


Figura 84. Prueba de normalidad de Ln Ti.

Media	-4.4083
Desv.Est.	1.0295
Varianza	1.0599
Asimetría	1.08581
Curtosis	0.50503
N	29
Mínimo	-5.2983
1er cuartil	-5.2983
Mediana	-4.6052
3er cuartil	-3.6702
Máximo	-1.5606
Intervalo de confianza de 95% para la media	
-4.7999	-4.0167
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
-5.2983	-3.9120
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
0.8170	1.3923

Figura 83. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Ti.

COMPORTAMIENTO ESTADISTICO DEL CADMIO

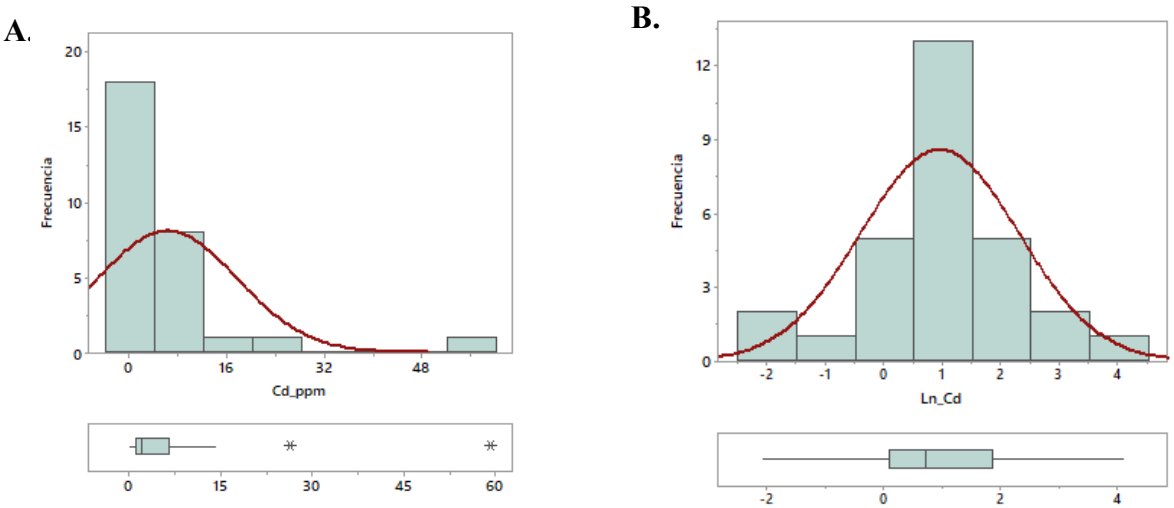


Figura 87. A. Histograma normal del Cd. **B.** Histograma Log normal del Cd.

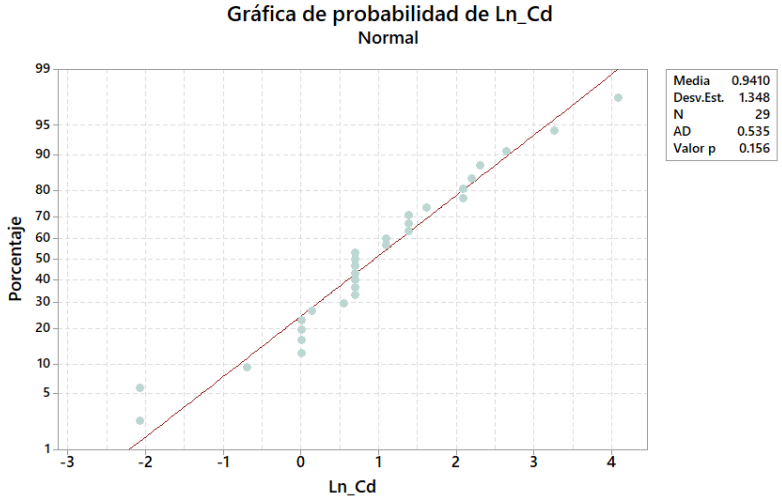


Figura 86. Prueba de normalidad de Ln Cd.

Media	0.94096
Desv.Est.	1.34810
Varianza	1.81736
Asimetría	-0.113597
Curtosis	0.947451
N	29
Mínimo	-2.07944
1er cuartil	0.07202
Mediana	0.69315
3er cuartil	1.84444
Máximo	4.07754
Intervalo de confianza de 95% para la media	
0.42818	1.45375
Intervalo de confianza de 95% para la mediana	
0.66859	1.38629
Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar	
1.06982	1.82323

Figura 88. Resumen de estadísticos descriptivos del Ln Cd.