

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL PÓRFIDO DE Cu-Au-Mo OCAÑA,  
CONDESUYOS-AREQUIPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**ORLANDO DÍAZ SILVA**

**ASESOR:**

**MCs. ING. JOSÉ ALFREDO SIVERONI MORALES**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca como Alma Mater, por habernos formado con responsabilidad y empeño durante la época universitaria; dentro de ello a nuestros docentes el Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado, Ing. José Siveroni Morales, Ing. Zenón Quispe Mamani, Ing. Alejandro Lagos Manrique y toda la plana docente de la EAPIG.*

*También el agradecimiento a la Empresa Indico Resources LTD, por haber brindado las facilidades para utilizar la información de la primera etapa del Proyecto Ocaña, de la misma manera agradezco al Ing. Daniel Marinov como Gerente de Indico para ese entonces, al Ing. William Espinoza y al Ing. Jhon Huamán por su apoyo en la realización de este trabajo.*

## DEDICATORIA

*A toda mi familia, a mis padres que con su sacrificio y esfuerzo me brindaron todo su apoyo para ser profesional, a mis hermanos con quienes siempre en unión, con sus consejos ayudaron a la realización y culminación de esta tesis.*

*Orlando*

## RESUMEN

El propósito de este estudio es el análisis y sistematización de la geoquímica de los elementos indicadores en el pórfido de Cu-Au-Mo Ocaña en base a trabajos iniciales de exploración, para lo cual se obtuvo información de mapeo geológico, de muestreo de suelos y de rocas, de campañas geofísicas magnéticas y de polarización inducida, además de una campaña de perforación diamantina. Se determinó zonas específicas de ubicación de los elementos indicadores de acuerdo a sus asociaciones con la etapa temprana de mineralización y alteraciones del pórfido o con asociaciones a eventos pos pórfido formando mineralizaciones de oro-metales base asociadas a vetas circundantes al pórfido Ocaña. El trabajo se inicia con la planificación mediante el uso de información existente como planos topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales, para posteriormente en campo recopilar información litológica, de alteraciones y estructuras mediante mapeo geológico, que permitió obtener planos base para muestreo geoquímico, aplicación de métodos geofísicos y finalmente realizar el proyecto de perforación diamantina orientado a las anomalías obtenidas. En la determinación y análisis de la información geoquímica se usó laboratorios con certificación en análisis de muestras, los datos obtenidos fueron usados en el análisis de poblaciones, aplicando el tratamiento log normal a los datos de muestras de suelos y rocas, y análisis directo para datos de muestras de sondajes diamantinos de la zona hipógena, con el análisis de estas poblaciones se determinó rangos de cada elemento que fueron usados en los planos geoquímicos por elementos.

Palabras clave: geoquímica, anomalía geoquímica, distribución de elementos, pórfido, brecha.

## ABSTRACT

The purpose of this study is the analysis and systematization of the geochemistry of the indicator elements in the Ocaña porphyry Cu-Au-Mo based on initial exploration work, for which information geological mapping, soil and rock sampling, geophysical magnetic and induced polarization campaigns, plus a diamond drilling campaign was obtained. Specific areas of location of the indicator elements were determined according to their associations with the early stage of porphyry mineralization and alterations or with associations to post porphyry events, forming gold-base metal mineralization associated with veins surrounding the Ocaña porphyry. The work begins with planning using existing information such as topographic maps, aerial photographs and satellite images, and later in the field to collect lithological information, alterations and structures through geological mapping, which allowed to obtain base maps for geochemical sampling, application of geophysical methods and finally carry out the project of diamond drilling oriented to the obtained anomalies. In the determination and analysis of the geochemical information was used laboratories with certification in the analysis of samples, the data obtained were used in the analysis of populations, applying the lognormal treatment to the soil and rock samples data, and direct analysis to the diamond drilling samples data of the hypogene zone, with the analysis of these populations were determined ranges of each elements that were used in the geochemical maps by elements.

Keywords: geochemistry, geochemical anomaly, distribution of elements, porphyry, breccia.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FOTOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE PLANOS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE SECCIONES.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 PÓRFIDO DE COBRE .....	4
2.2.2 AMBIENTES Y NIVELES DE EMPLAZAMIENTO .....	5
2.2.3 TEMPERATURA EN LOS PÓRFIDOS DE COBRE .....	6
2.2.4 ESTRUCTURA REGIONAL DE EMPLAZAMIENTO .....	6
2.2.5 ETAPAS DE FORMACIÓN DE UN PÓRFIDO DE COBRE .....	7
2.2.5.1 Etapa I Intrusión temprana .....	7
2.2.5.2 Etapa II Exsolución de fluidos magmáticos .....	7
2.2.5.3 Etapa III Enfriamiento tardío.....	7
2.2.5.4 Etapa IV Etapa pos mineral.....	7
2.2.6 ALTERACIONES EN UN PÓRFIDO DE COBRE .....	8
2.2.6.1 Alteraciones calco-sódicas.....	8
2.2.6.2 Alteración potásica.....	9
2.2.6.3 Alteración propilítica.....	9

	Pág.
2.2.6.4 Alteración clorita-sericita .....	9
2.2.6.5 Alteración sericítica .....	10
2.2.6.6 Alteración argílica avanzada .....	10
2.2.6.7 Silicificación .....	10
2.2.7 ESTRUCTURAS EN LOS PÓRFIDOS DE COBRE .....	11
2.2.7.1 Stockwork .....	11
2.2.7.2 Venillas en pórfidos de cobre .....	12
2.2.7.3 Venillas tipo A .....	12
2.2.7.4 Venillas tipo B .....	12
2.2.7.5 Venillas tipo M.....	13
2.2.7.6 Venillas tipo EB.....	13
2.2.7.7 Venillas tipo EDM.....	13
2.2.7.8 Venillas tipo D .....	14
2.2.7.9 Brechas en pórfidos de cobre .....	14
2.2.7.10 Brechas magmático hidrotermales .....	14
2.2.8 FORMA DEL CUERPO MINERALIZADO .....	15
2.2.9 DEPÓSITOS MINERALES RELACIONADOS.....	15
2.2.10 ZONAMIENTO DE METALES.....	16
2.2.11 TIPOS DE ZONAS MINERALIZADAS.....	17
2.2.11.1 Capa lixiviada.....	17
2.2.11.2 Capa de óxidos .....	17
2.2.11.3 Capa de mixtos .....	18
2.2.11.4 Capa de enriquecimiento .....	18
2.2.11.5 Zona de sulfuros hipógenos .....	18
2.2.12 GEOFÍSICA .....	19
2.2.12.1 Método magnético.....	19
2.2.12.2 Método de polarización inducida .....	20
<b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>21</b>
2.3.1 GEOQUÍMICA.....	21
2.3.2 MUESTRA GEOQUÍMICA .....	21
2.3.3 ANOMALÍA GEOQUÍMICA .....	22
2.3.4 DEPÓSITO MINERAL.....	22

	Pág.
2.3.5 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL .....	22
2.3.6 PERFORACIÓN DIAMANTINA .....	22
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>23</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 CLIMA Y VEGETACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
3.3.1 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO OCCIDENTAL DE LOS ANDES.26	
3.3.1.1 Subunidad geomorfológica laderas .....	27
3.3.1.2 Subunidad geomorfológica conos volcánicos.....	27
3.3.2 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA VALLES .....	27
3.3.3 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CONOS ALUVIALES.....	27
<b>3.4 PROPIEDAD.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>28</b>
3.5.1 GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA.....	31
3.5.1.1 Complejo Basal .....	31
3.5.1.2 Complejo Bella Unión.....	31
3.5.1.3 Batolito de la Costa .....	32
3.5.1.4 Volcánico Barroso .....	33
3.5.1.5 Depósitos Aluviales Recientes .....	33
3.5.2 ESTRUCTURA REGIONAL .....	35
3.5.3 MINERALIZACIONES REGIONALES.....	37
<b>3.6 ASPECTOS DE GEOLOGÍA LOCAL Y ANOMALÍAS LOCALES.....</b>	<b>39</b>
3.6.1 ANOMALÍAS LOCALES.....	39
3.6.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA .....	39
3.6.3 LITOLOGÍA LOCAL .....	42
3.6.3.1 Brecha magmático hidrotermal.....	44
3.6.3.2 Brechas tardías .....	45
3.6.3.3 Pórfido dacítico .....	46

	Pág.
3.6.3.4 Dacita porfirítica .....	48
3.6.3.5 Dique porfirítico dacítico .....	48
3.6.3.6 Granodiorita grano medio.....	49
3.6.3.7 Depósitos aluviales en valles y laderas .....	50
<b>3.7 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN.....</b>	<b>50</b>
3.7.1 ALTERACIONES LOCALES .....	50
3.7.1.1 Alteración silicificación .....	52
3.7.1.2 Alteración sericítica .....	54
3.7.1.3 Alteración clorita-sericita .....	54
3.7.1.4 Alteración potásica.....	55
3.7.1.5 Alteración clorítica.....	56
3.7.1.6 Alteración propilítica.....	56
3.7.2 TIPOS DE VENILLAS EN EL PÓRFIDO OCAÑA .....	57
3.7.2.1 Venillas tipo EB (Early Biotite).....	58
3.7.2.2 Venillas tipo M.....	59
3.7.2.3 Venillas tipo EDM (Early Dark Micaceous) .....	59
3.7.2.4 Venillas tipo A .....	60
3.7.2.5 Venillas tipo B .....	63
3.7.2.6 Venillas tipo D .....	63
3.7.2.7 Venillas con halo de plagioclasa .....	64
3.7.3 MINERALIZACIÓN EN EL PÓRFIDO OCAÑA.....	65
3.7.3.1 Mineralización hipógena.....	65
3.7.3.2 Mineralización supérgena .....	66
3.7.3.2.1 Capa lixiviada.....	66
3.7.3.2.2 Capa de óxidos .....	67
3.7.3.2.3 Capa de enriquecimiento supérgeno .....	68
<b>3.8 ASPECTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>69</b>
3.8.1 ESTRUCTURA LOCAL.....	69
3.8.2 TENDENCIAS DE LAS VENILLAS EN EL PÓRFIDO OCAÑA.....	72
3.8.3 MODELO LITOLÓGICO Y ESTRUCTURAL DEL PÓRFIDO OCAÑA .....	73
<b>3.9 ASPECTOS DE GEOFÍSICA.....</b>	<b>75</b>

	Pág.
3.9.1 CAMPO MAGNÉTICO TOTAL.....	75
3.9.2 SEÑAL ANALÍTICA MAGNÉTICA.....	75
3.9.3 SECCIONES GEOFÍSICAS IP.....	78
3.9.4 RESISTIVIDAD-CARGABILIDAD.....	82
<b>3.10 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS .....</b>	<b>84</b>
3.10.1 MAPEO GEOLÓGICO .....	84
3.10.2 MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS.....	84
3.10.3 PROGRAMA DE GEOFÍSICA.....	85
3.10.3.1 Diseño de malla para Magnetometría.....	85
3.10.3.2 Diseño de malla para Polarización Inducida.....	87
3.10.4 PROGRAMA DE PERFORACIÓN DIAMANTINA .....	87
3.10.4.1 Logueo de testigos.....	87
<b>3.11 PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>89</b>
3.11.1 ETAPA DE PLANEACIÓN .....	89
3.11.2 ETAPA DE CAMPO .....	90
3.11.3 ETAPA DE GABINETE .....	90
<b>3.12 TRATAMIENTO, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>91</b>
3.12.1 GEOQUÍMICA EN SUELOS .....	91
3.12.1.1 Cobre en suelos.....	93
3.12.1.2 Molibdeno en suelos .....	96
3.12.1.3 Oro en suelos.....	99
3.12.1.4 Plata en suelos .....	102
3.12.1.5 Plomo en suelos.....	105
3.12.1.6 Zinc en suelos .....	108
3.12.2 GEOQUÍMICA EN ROCAS .....	111
3.12.2.1 Cobre en rocas .....	113
3.12.2.2 Molibdeno en rocas.....	116
3.12.2.3 Oro en rocas .....	119
3.12.2.4 Plata en rocas .....	122
3.12.2.5 Plomo en rocas .....	125

	Pág.
3.12.2.6 Zinc en rocas .....	128
3.12.3 RAZONES DE ELEMENTOS .....	131
3.12.3.1 Razón Pb/Mo .....	131
3.12.3.2 Razón (Pb+Zn)/Cu .....	131
3.12.3.3 Razón Pb/Cu.....	134
3.12.4 ELEMENTOS EN NÚCLEOS DIAMANTINOS .....	136
3.12.4.1 Sondaje OKA11DH001 .....	138
3.12.4.2 Sondaje OKA11DH002 .....	141
3.12.4.3 Sondaje OKA11DH003 .....	144
3.12.4.4 Sondaje OKA11DH004 .....	147
3.12.4.5 Sondaje OKA11DH005 .....	148
3.12.5 DISTRIBUCIONES DE ELEMENTOS EN SONDAJES .....	152
3.12.5.1 Distribución de cobre primario en núcleos diamantinos .....	153
3.12.5.2 Distribución de molibdeno primario en núcleos diamantinos .....	154
3.12.5.3 Distribución de oro primario en núcleos diamantinos .....	155
3.12.5.4 Distribución de plata primaria en núcleos diamantinos .....	156
3.12.5.5 Distribución de plomo primario en núcleos diamantinos .....	158
3.12.5.6 Distribución de zinc primario en núcleos diamantinos .....	159
3.12.5.7 Cobre supérgeno en núcleos diamantinos .....	160
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>163</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>163</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>174</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>174</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>174</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>175</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>176</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de depósitos de pórfido de cobre según Sillitoe 2010. ....	5
Figura 2. Ascenso de intrusivos por la tectónica de placas según Richards 2003. .	6
Figura 3. Etapas de evolución de un pórfido según Rusk 2008. ....	8
Figura 4. Modelo de alteraciones en un pórfido según Sillitoe 2010. ....	11
Figura 5. Zonamiento mineralógico horizontal y vertical, Lowell y Guilbert 1970. ..	16
Figura 6. Zonas de mineralización en pórfidos según Quang 2003. ....	17
Figura 7. Campo geomagnético y sus componentes. ....	20
Figura 8. Método de polarización inducida IP. ....	21
Figura 9. Columna estratigráfica generalizada según INGEMMET 1994. ....	41
Figura 10. Direcciones de estructuras locales. ....	72
Figura 11. Direcciones de venillas en superficie. ....	73
Figura 12. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L0, Kunchev 2011. ....	80
Figura 13. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L400, Kunchev 2011. ....	81

## LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Clima y vegetación en el pórfido Ocaña. ....	26
Foto 2. Geoformas en el pórfido Ocaña. ....	27
Foto 3. Esquisto englobado dentro del pórfido, gneis. ....	31
Foto 4. Granodioritas del Batolito de la Costa. ....	32
Foto 5. Volcánico Barroso. ....	33
Foto 6. Tipos de brechas magmático hidrotermales, A y C polimícticas, B y D monomícticas. ....	45
Foto 7. Diques de brecha tardíos. ....	46
Foto 8. Porfidos dacíticos. ....	47
Foto 9. Dacita porfirítica. ....	48
Foto 10. Dique porfirítico dacítico. ....	49
Foto 11. Granodioritas en contacto con el pórfido Ocaña. ....	49
Foto 12. Alteración sericítica. ....	54
Foto 13. Alteración clorita-sercita. ....	55
Foto 14. Alteración potásica. ....	55
Foto 15. Alteración clorítica. ....	56
Foto 16. Alteración propilítica. ....	57
Foto 17. Stockwork de venillas de cuarzo. ....	58
Foto 18. Venillas de biotita temprana EB. ....	59
Foto 19. Venillas de magnetita M. ....	59
Foto 20. Venillas de mica gris EDM. ....	60
Foto 21. Venillas de cuarzo tipo A. ....	62
Foto 22. Venillas de cuarzo y molibdenita tipo B. ....	63
Foto 23. Venillas tipo D. ....	64
Foto 24. Venillas de plagioclasa. ....	64
Foto 25. Zona lixiviada. ....	67
Foto 26. Zona de óxidos de cobre. ....	68
Foto 27. Zona de enriquecimiento supérgeno. ....	69

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estados de las rutas Arequipa-Pórfido Ocaña.....	23
Tabla 2. Instrumentos utilizados.....	90

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Distribución de cobre en suelos. ....	94
Gráfico 2. Distribución de molibdeno en suelos.....	97
Gráfico 3. Distribución de oro en suelos.....	100
Gráfico 4. Distribución de plata en suelos. ....	103
Gráfico 5. Distribución de plomo en suelos. ....	106
Gráfico 6. Distribución de zinc en suelos.....	109
Gráfico 7. Distribución de cobre en rocas.....	114
Gráfico 8. Distribución de molibdeno en rocas. ....	117
Gráfico 9. Distribución de oro en rocas. ....	120
Gráfico 10. Distribución de plata en rocas.....	123
Gráfico 11. Distribución de plomo en rocas.....	126
Gráfico 12. Distribución de zinc en rocas. ....	129
Gráfico 13. Distribución de cobre en sondajes diamantinos, zona hipógena. ....	154
Gráfico 14. Distribución de molibdeno en sondajes diamantinos, zona hipógena. .....	155
Gráfico 15. Distribución de oro en sondajes diamantinos, zona hipógena.....	156
Gráfico 16. Distribución de plata en sondajes diamantinos, zona hipógena. ....	158
Gráfico 17. Distribución de plomo en sondajes diamantinos, zona hipógena. ....	159
Gráfico 18. Distribución de zinc en sondajes diamantinos, zona hipógena.....	160
Gráfico 19. Distribución de cobre en sondajes diamantinos, zona supérgena....	162

## LISTA DE PLANOS

	Pág.
Plano 1. Ubicación del pórfido Ocaña. ....	24
Plano 2. Concesiones del Proyecto Ocaña. ....	29
Plano 3. Rocas del Complejo Basal e Intrusivas en el Sur del Perú. ....	30
Plano 4. Geología distrital. ....	34
Plano 5. Estructura regional. ....	36
Plano 6. Pórfidos en el Sur del Perú según USGS e INGEMMET 2008. ....	38
Plano 7. Anomalías de color en el pórfido Ocaña. ....	40
Plano 8. Geología local. ....	43
Plano 9. Alteraciones. ....	51
Plano 10. Análisis TERRASPEC. ....	53
Plano 11. Estructuras locales en el pórfido Ocaña. ....	71
Plano 12. Secciones del modelo geológico del pórfido Ocaña. ....	74
Plano 13. Campo magnético total en el pórfido Ocaña. ....	76
Plano 14. Señal analítica magnética en el pórfido Ocaña. ....	77
Plano 15. Resistividad y Cargabilidad a profundidades de 100 y 250 m. ....	83
Plano 16. Líneas Magnéticas en el pórfido Ocaña. ....	86
Plano 17. Líneas de Polarización Inducida en el pórfido Ocaña. ....	88
Plano 18. Muestras de suelos en el pórfido Ocaña. ....	92
Plano 19. Geoquímica de cobre en suelos. ....	95
Plano 20. Geoquímica de molibdeno en suelos ....	98
Plano 21. Geoquímica de oro en suelos. ....	101
Plano 22. Geoquímica de plata en suelos. ....	104
Plano 23. Geoquímica de plomo en suelos. ....	107
Plano 24. Geoquímica de zinc en suelos. ....	110
Plano 25. Muestreo de rocas en el pórfido Ocaña. ....	112
Plano 26. Geoquímica de cobre en rocas. ....	115
Plano 27. Geoquímica de molibdeno en rocas. ....	118
Plano 28. Geoquímica de oro en rocas. ....	121
Plano 29. Geoquímica de plata en rocas. ....	124
Plano 30. Geoquímica de plomo en rocas. ....	127
Plano 31. Geoquímica de zinc en rocas. ....	130

	Pág.
Plano 32. Razón de Pb/Mo en rocas. ....	132
Plano 33. Razón de (Pb+Zn)/Cu en rocas. ....	133
Plano 34. Razón de Pb/Cu en rocas. ....	135
Plano 35. Sondajes diamantinos en el pórfido Ocaña. ....	137
Plano 36. Ubicación de altos de Cu y Mo. ....	166
Plano 37. Ubicación de altos de Au y Ag. ....	168
Plano 38. Ubicación de altos de Pb y Zn. ....	170
Plano 39. Ubicación de altos de Cu, Au, Mo, Pb y Zn y zonas mineras circundantes. .....	173

## LISTA DE SECCIONES

	Pág.
Sección 1. Plano de sección de los sondajes 1 y 4. ....	140
Sección 2. Plano de sección del sondaje 2. ....	143
Sección 3. Plano de sección del sondaje 3. ....	146
Sección 4. Plano de sección del sondaje 5. ....	150

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los elementos indicadores del pórfido Ocaña como el cobre, molibdeno, oro, plata, plomo y zinc cada uno tienen distribuciones y concentraciones específicas en determinadas zonas del sistema porfirítico; este yacimiento se encuentra dentro de un contexto de unidades litológicas diverso con unidades de rocas metamórficas del Precámbrico, rocas Mesozoicas del batolito de la costa y algunas rocas Cenozoicas del volcánico Barroso, que sirvieron como huésped de la mineralización del pórfido de cobre, así como para el emplazamiento de vetas de cuarzo-oro-metales base hacia los alrededores; las alteraciones están zonadas desde el centro porfirítico y han dado las condiciones para la presencia de determinados elementos en cada una de ellas; el contexto estructural está dado por la influencia del sistema de fallas Incapuquio que condiciona el emplazamiento del cinturón de pórfidos del Sur del Perú. En este marco se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Dónde se encuentran los mayores valores de los elementos indicadores del pórfido de Cu-Au-Mo Ocaña y cómo es su migración de estos elementos hacia las zonas aledañas al depósito? que es abordado con los objetivos de investigación.

En esta tesis se busca como objetivo principal: caracterizar la geoquímica del pórfido de Cu-Au-Mo Ocaña Condesuyos-Arequipa; para lo cual se planteó los siguientes objetivos específicos: Determinar en qué zonas del pórfido Ocaña encontramos los mayores valores de cobre y molibdeno; determinar el comportamiento del oro con respecto al cobre y al molibdeno; determinar la distribución de la plata, el plomo y el zinc en el pórfido y su migración hacia las vetas circundantes; y determinar la relación de los elementos con la litología, alteraciones y estructuras.

La hipótesis es que el stock porfirítico y las alteraciones del pórfido de cobre Ocaña controlan la presencia del cobre y molibdeno hacia la parte central del sistema, mientras que la plata, plomo y zinc migran con mayores concentraciones fuera del pórfido en función a la litología, estructuras y alteración.

El tema es importante para entender la geoquímica del pórfido Ocaña que ayudará a conocer de manera adecuada la ubicación y asociaciones de los elementos indicadores del pórfido, así como también determinar su relación con las características geológicas circundantes, permitiendo definir mejor la zonación de los elementos típicos desde el centro mineralizante hacia los contornos del depósito y mediante las anomalías encontradas poder sugerir blancos de perforación durante el desarrollo de las exploraciones del pórfido Ocaña.

En el presente trabajo se usó el método descriptivo, explicativo y correlacional de acuerdo al planteamiento del problema y los objetivos; el estudio se dio en el área que hospeda el pórfido de cobre Ocaña y sus zonas de influencia circundantes, que son parte de una concesión con una extensión de 11,800 hectáreas; el pórfido Ocaña está ubicado en la parte Noroeste de la Ciudad de Arequipa a unos 347 km aproximadamente, se puede ingresar por dos rutas ya sea por los pueblos costeros de Camaná y Ocoña o por los pueblos de Aplao y Chuquibamba, en ambas vías parte de las rutas son trochas carrozables usadas por los diferentes pueblos de la zona de influencia del pórfido Ocaña.

En el capítulo II: El marco teórico donde se aborda los antecedentes teóricos de la investigación; las bases teóricas relacionadas al modelo de formación y emplazamiento de los depósitos de pórfidos de cobre, sus alteraciones y sus estructuras resultantes, los métodos geofísicos usados en su búsqueda; y la definición de los términos básicos.

En el capítulo III: Se abordan los temas de ubicación, clima y vegetación, geomorfología, propiedad, aspectos de geología regional, alteración y mineralización, aspectos de geología estructural; las técnicas de recolección datos usadas; el procedimiento y además el tratamiento, análisis y presentación de resultados, donde se elaboraron planos horizontales por elementos para visualizar las zonas anómalas en superficie de los elementos indicadores del pórfido Ocaña y de sus zonas circundantes, se elaboraron planos horizontales de razones de elementos que nos permitió ver el zonamiento en superficie de los elementos que se ubican en el pórfido Ocaña y las zonas circunadantes; también el análisis del comportamiento de los elementos indicadores en secciones de perforaciones diamantina realizadas en el centro porfirítico junto al análisis estadístico por

elementos que nos permitió analizar poblaciones tanto para los datos de superficie así como también para los datos de perforación diamantina.

En el capítulo IV: Se aborda el análisis y discusión de resultados teniendo en cuenta los objetivos y la hipótesis planteada sobre los elementos indicadores de los depósitos de pórfidos de cobre.

En el capítulo V: Se plasma las conclusiones y recomendaciones del estudio relacionado a los objetivos planteados.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

(Sillitoe, 2010) nos habla de la formación de mineralización distal en sistemas de pórfidos de cobre, dentro de los halos propilíticos controlados por fallas y fracturas, como venas sub epitermales de Zn-Pb-Cu-Ag que actualmente son de importancia económica, también pueden formarse grandes cuerpos con contenido de oro donde existen rocas permeables.

(Theodore, 1998) habla de una transición aparente entre depósitos de pórfido de cobre-molibdeno con depósitos diseminados distales de Ag-Au de alto nivel que reflejan un contraste de paleo profundidades en cada depósito.

(Jones, 1992) muchos distritos de pórfidos enriquecidos en oro han sido explorados sistemáticamente por oro periférico a los depósitos de pórfido de cobre, además uso las relaciones Pb/Mo, (Pb+Zn)/Cu, Pb/Cu para aclarar el patrón de zonamiento de metales.

#### **2.2 BASES TEÓRICAS**

##### **2.2.1 PÓRFIDO DE COBRE**

Los pórfidos de cobre son grandes masas de roca alteradas hidrotermalmente (10 a  $>100 \text{ km}^3$ ) que contienen grandes cantidades de metales como cobre, oro y molibdeno, se han formado centrados en intrusivos porfiríticos; estos depósitos tienen diámetros que varían desde 100 m hasta unos pocos kilómetros (Sillitoe, 1996), ver figura 1.

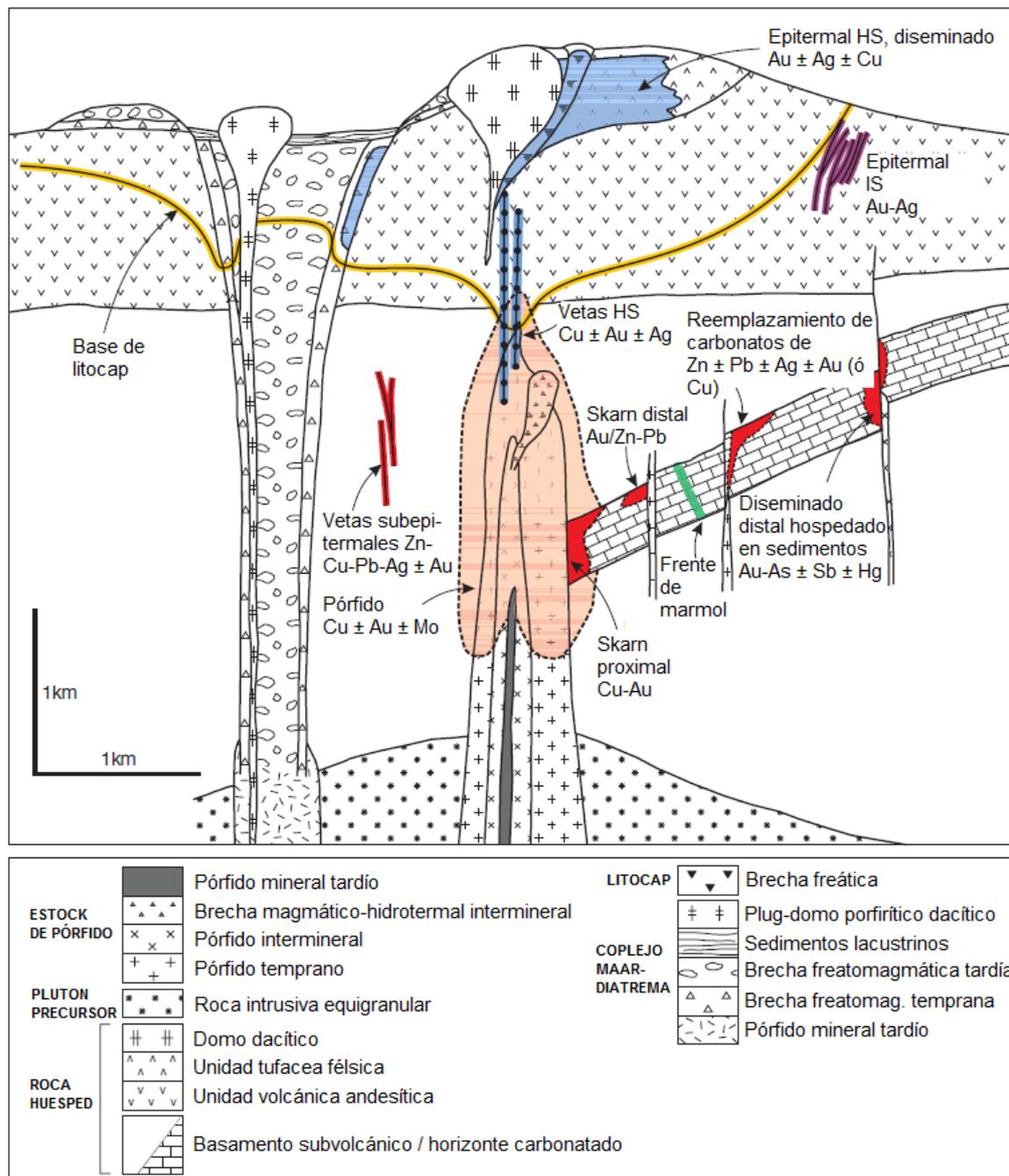


Figura 1. Modelo de depósitos de pórfido de cobre según Sillitoe 2010.

## 2.2.2 AMBIENTES Y NIVELES DE EMPLAZAMIENTO

Se encuentran en arcos volcano-plutónicos o simplemente arcos magmáticos relacionados a subducción, donde una placa de corteza oceánica subduce debajo de una placa continental (Nelson, 2005; Sillitoe, 1992) ver figura 2. Se relacionan a intrusivos de nivel alto, con profundidades generalmente mayores a 1 km, siendo cúpulas de plutones félsicos a intermedios más profundos de paleo profundidades de 5 a 10 km, que son la fuente de los magmas, fluidos y mineralización que

ascienden en forma de diques o enjambres de stocks alargados verticalmente (>3 km) (Sillitoe, 2010).

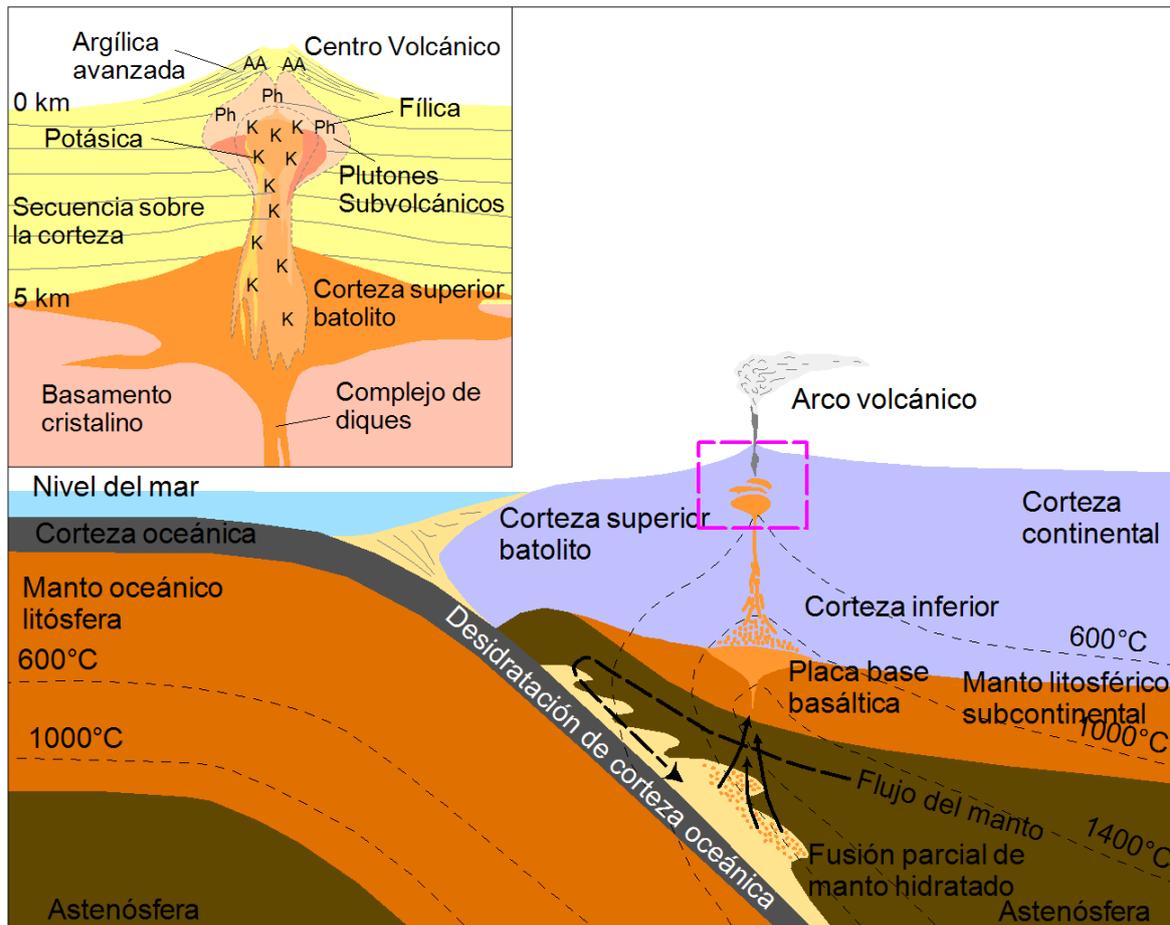


Figura 2. Ascenso de intrusivos por la tectónica de placas según Richards 2003.

### 2.2.3 TEMPERATURA EN LOS PÓRFIDOS DE COBRE

Las temperaturas donde se desarrollan los pórfidos están dentro del ambiente mesotermal >300 °C (Hayba et al. 1985), que son temperaturas y presiones intermedias (Lindgren, 1922). En las etapas iniciales de formación de un pórfido de cobre, las temperaturas para los fluidos de la alteración potásica se han calculado entre 500 y 600 °C consistente con la depositación de cobre durante el emplazamiento del pórfido; para las alteraciones más tardías como la alteración sericitica se han determinado temperaturas entre 100 a 250 °C (Einaudi, 1994).

### 2.2.4 ESTRUCTURA REGIONAL DE EMPLAZAMIENTO

Generalmente se encuentran formando cinturones lineales, a veces paralelos al arco magmático que van desde unos cientos a varios miles de kilómetros de longitud (Sillitoe y Perelló, 2005); a escala distrital los pórfidos de cobre y los depósitos relacionados, están agrupados o alineados con diámetros que alcanzan

de 5 a 30 km (Sillitoe, 2010). Las fallas e intersecciones de fallas juegan un papel importante en la ubicación de sitios favorables para su emplazamiento (Sillitoe y Perelló, 2005).

## **2.2.5 ETAPAS DE FORMACIÓN DE UN PÓRFIDO DE COBRE**

### **2.2.5.1 Etapa I Intrusión temprana**

En esta primera etapa se produce el emplazamiento y cristalización del pórfido de cobre hacia niveles sub volcánicos (4 km de profundidad), acompañado de alteración potásica en el centro del stock y propilitica en los márgenes de la intrusión; estos magmas son liberados debido a la cristalización del magma fuente más profundo de 5 a 15 km que da origen a los stocks de pórfidos enriquecidos en agua (Sillitoe, 2010; Shinohara y Hedenquist, 1997).

### **2.2.5.2 Etapa II Exsolución de fluidos magmáticos**

El enfriamiento y la cristalización del magma produce fracturamiento alrededor de la cúpula de la intrusión, originada por la exolución de fluidos magmáticos (Henley y McNabb, 1978), el intenso fracturamiento hidráulico se da cuando la roca aún está en estado dúctil en ratios de esfuerzo elevado que genera un stockwork pervasivo de venillas (Burnham, 1979).

### **2.2.5.3 Etapa III Enfriamiento tardío**

Al avanzar la solidificación del magma subyacente y por lo tanto el cese de la convección del magma, hay una marcada reducción tanto del flujo de calor como del suministro de fluido acuoso al sistema de pórfido de cobre sobre yacente (Dilles, 1987; Shinohara y Hedenquist, 1997), el fluido acuoso está en temperaturas bajas de 350 a 250°C, y su ascenso es controlado por el stockwork pre-existente de cuarzo, fallas sin mineral, diferencias de permeabilidad y por contactos de enfriamiento; este líquido origina la formación progresiva de clorita-sericita y alteración sericítica, seguida de alteración argílica avanzada (Hedenquist et al., 1998; Rusk et al., 2008b).

### **2.2.5.4 Etapa IV Etapa pos mineral**

En esta etapa ascienden fases minerales porfíricas tardías como stocks de pórfidos y enjambres de diques, cesa el fluido ascendente de la cámara magmática fuente, el potasio y los metales disponibles están muy limitados para generar alteración potásica y mineralización apreciable. El fluido presente solamente es de

origen externo y produce alteración propilítica similar a los halos propilíticos que se formaron en las etapas más tempranas. Las brechas de diatrema son emplazadas principalmente en esta etapa debido al acceso de agua externa a los cuerpos de magma tardíos (Rimstidt, 1997; Sillitoe, 2010).

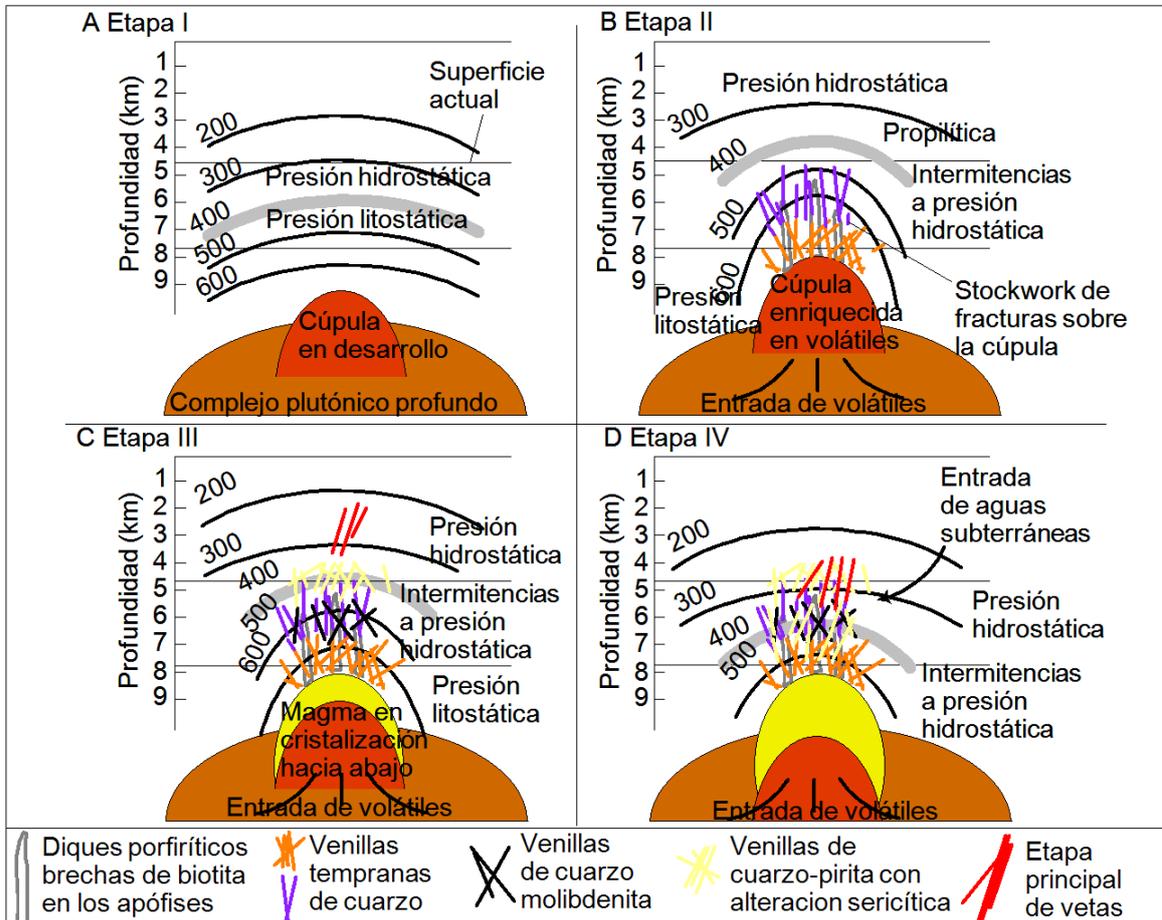


Figura 3. Etapas de evolución de un pórfido según Rusk 2008.

## 2.2.6 ALTERACIONES EN UN PÓRFIDO DE COBRE

### 2.2.6.1 Alteraciones calco-sódicas

La alteración calco-sódica (silicato calcosódico) portadora de magnetita (Sillitoe, 2010), se designa así por los ensambles que contienen anfíbol (actinolita horbléndica u horblenda), albita u oligoclasa y magnetita, se encuentran como reemplazamientos pervasivos y en venillas, esta alteración se origina de uno o más eventos tempranos en las partes profundas de los sistemas de pórfidos ricos en oro (Cox, 1985), también puede ocurrir en algunos pórfidos relativamente pobres en oro (Gustafson y Quiroga, 1995).

### **2.2.6.2 Alteración potásica**

Sus ensamblajes son característicos de alteración y mineralización temprana, el feldespato potásico y la biotita son los minerales esenciales en esta alteración, siempre está presente el cuarzo y usualmente es muy abundante, la anhidrita también es ubicua donde no ha sido removida por acción supérgena, la plagioclasa (Na), clorita y menor sericita son asociaciones comunes (Gustafson y Hunt, 1975). La biotita secundaria se encuentra predominantemente en intrusiones porfíricas y rocas huésped relativamente máficas, mientras que el feldespato potásico es más abundante en ambientes más félsicos con rocas granodioríticas a cuarzo-monzoníticas. La alteración potásica afecta a las generaciones de pórfidos tempranos e interminerales y muchas brechas magmático-hidrotermales, así como también a sus rocas huésped, generalmente en las fases más jóvenes es menos intensa, las intrusiones tardíminerales poseen esta alteración (Sillitoe, 2010).

### **2.2.6.3 Alteración propilítica**

Los constituyentes característicos de un ensamble propilítico son, epidota, clorita, calcita, cuarzo, albita, actinolita, magnetita, estos minerales se presentan como alteración pervasiva y también están controlados por estructuras (Gustafson y Hunt, 1975). La pirita es el sulfuro dominante en cantidad, se presenta en venillas y diseminado que con o sin alteración sericítica constituye halos de pirita y grada hacia adentro a zonas de cobre-oro, menores cantidades de calcopirita, esfalerita y galena son comunes en zonas propilíticas, concentradas localmente en zonas de falla o fracturas como venas de cuarzo-carbonato. Muchos cientos de partes por millón de zinc y plomo, en algunos lugares están acompañados por contenidos de plata y manganeso, forman halos característicos a las zonas de cobre (Sillitoe, 2000).

### **2.2.6.4 Alteración clorita-sericita**

Esta alteración se produce en las partes más superficiales de algunos depósitos de pórfidos de cobre y se caracteriza por el remplazamiento parcial o completo de los minerales máficos a clorita, la plagioclasa a sericita y/o illita, y parte de magnetita hidrotermal a hematita (martita y o specularita) (Sillitoe, 2000); donde la clorita es abundante y domina sobre la sericita, la roca se transforma totalmente a una masa verde oscura con texturas relictas del mineral original (Perelló et al., 2001). La calcopirita y pirita son constituyentes integrales de este ensamble y muchas de las

venillas de esta etapa son consideradas de tipo D (Gustafson y Hunt, 1975); algunos valores de cobre y/o oro de las zonas potásicas anteriores pueden experimentar pérdida durante la superposición de clorita-sericita (Perelló et al., 2004b), así como también puede ocurrir la introducción de metales que es reconocido ampliamente (Masterman et al., 2005).

#### **2.2.6.5 Alteración sericítica**

Se caracteriza por presentar rocas de color blanco a gris, desplegando ensambles de cuarzo-sericita-pirita (llamada alteración fílica) con rocas de textura parcial o completamente destruida, se localiza típicamente en las partes más altas de los stocks de pórfidos, comúnmente como una sobre imposición al feldespató potásico o a ensambles de alteración argílica intermedia y puede constituir mineral de cobre-oro (Shayakubov et al., 1999; Llosa et al. 2000). En muchos pórfidos ricos en oro falta la alteración sericítica o su desarrollo es incipiente, incluyendo las venillas tipo D cuarzo-pirita con halos de sericita que más comúnmente se presentan en pórfidos de cobre-molibdeno (Gustafson and Hunt, 1975; Sillitoe, 2000).

#### **2.2.6.6 Alteración argílica avanzada**

Contiene todos o algunos de los minerales como cuarzo calcedónico, alunita, pirofilita, diásporo, dickita y caolinita, estos minerales son abundantes en esta alteración y reflejan el control del ratio  $K^+/H^+$  (Burnham, 1979), el cuarzo calcedónico puede comprender masas residuales de reemplazamientos masivos o vuggys formados por la lixiviación base extrema, formando los litocaps que son capas lixiviadas en las partes más altas de los sistemas de pórfidos de cobre, mayormente en los niveles más superficiales de sus intrusiones con ensambles de alteración argílica avanzada pervasiva (Sillitoe, 2000; Gustafson y Hunt, 1975).

#### **2.2.6.7 Silicificación**

Esta alteración involucra un incremento de sílice, pudiendo alcanzar valores muy elevados de  $SiO_2$ , (Hamasaki, 2002; Zieremberg et al., 1984), que genera cuarzo secundario, jaspe, calcedonia, chert, ópalo u otras variedades silíceas en las rocas de caja de los depósitos minerales. En el proceso de silicificación hay una pérdida casi total de cationes como Al, Fe, Mn, Mg, Ca, su química de esta alteración es variada y depende esencialmente del tipo de roca afectada, en materiales carbonatados hay generalmente una introducción mayor de sílice y una gran

remoción de Ca, Mg, Fe, CO<sub>2</sub> entre otros constituyentes, en rocas silicatadas la sílice puede ser redistribuida entre las rocas de caja.

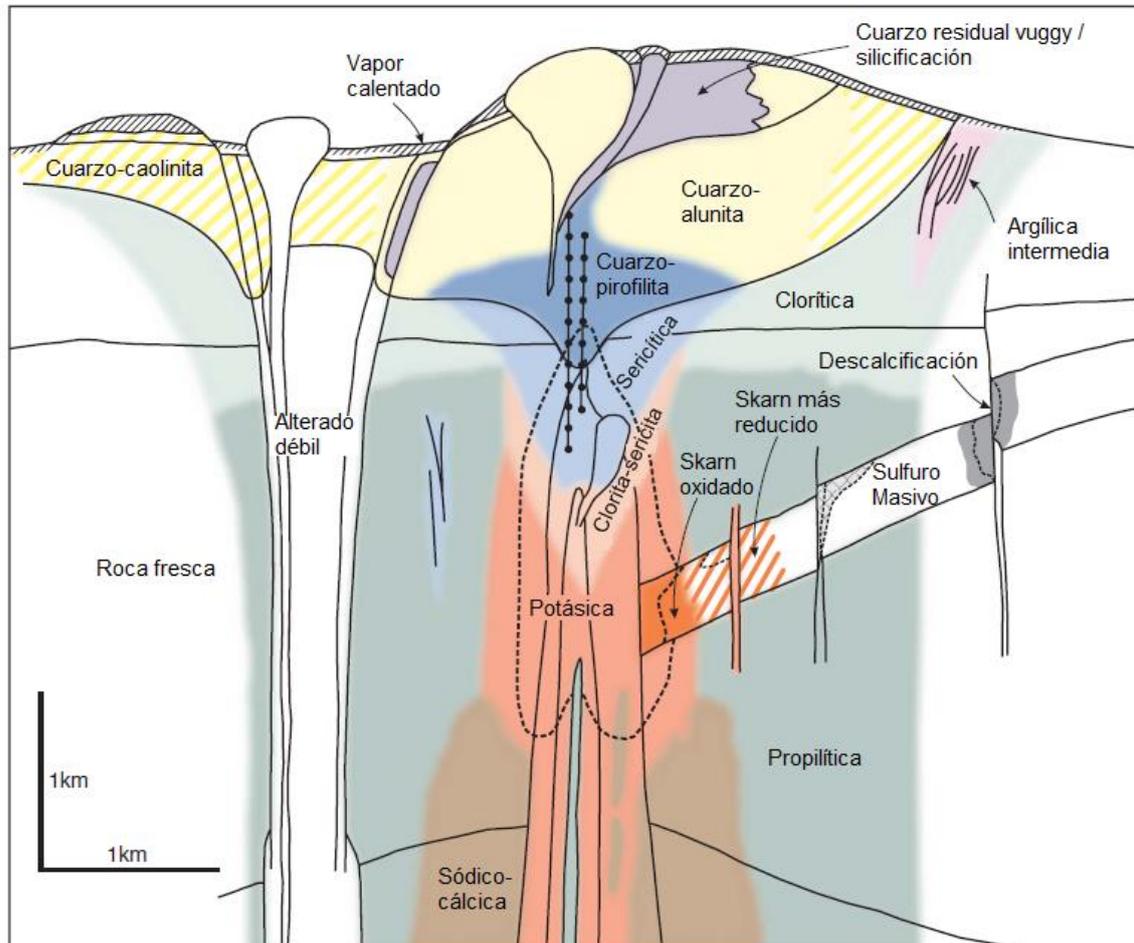


Figura 4. Modelo de alteraciones en un pórfido según Sillitoe 2010.

## 2.2.7 ESTRUCTURAS EN LOS PÓRFIDOS DE COBRE

### 2.2.7.1 Stockwork

La exsolución de una fase fluida acuosa por la reacción de segunda ebullición en el magma saturado en H<sub>2</sub>O origina cristales más fluido acuoso, produciendo un incremento en el volumen del cuerpo de magma, (Burnham y Ohmoto, 1980), la exsolución de H<sub>2</sub>O comienza en los bordes y tiende a acumularse hacia el techo de la cámara (Burnham, 1985), resultando los márgenes de los cuerpos de stocks de los pórfidos intensamente fracturados y así como también de su roca caja suprayacente; este proceso aumenta la permeabilidad en las fracturas o en la brechificación por donde pasan los fluidos hidrotermales y precipitan minerales tanto económicos como de ganga, resultando en la formación de diferentes grupos de vetillas (stockwork) orientadas aleatoriamente que son comúnmente verticales y

temporalmente distribuidas en el sistema porfirítico (Tosdal y Richards, 2001), el fuerte fracturamiento se considera como una manifestación de la energía mecánica liberada durante el emplazamiento y la solidificación de los magmas félsicos hidros en ambientes subvolcánicos (Burnham, 1979), esta energía se libera principalmente a través de dos procesos que son secuenciales y repetitivos: la segunda ebullición (exsolución de la fase volátil desde el magma saturado en H<sub>2</sub>O) y descompresión posterior del fluido exsuelto.

#### **2.2.7.2 Venillas en pórfidos de cobre**

Una de las principales características de los pórfidos de cobre es la presencia de diferentes tipos de venillas en forma de stockwork junto con brechas magmático hidrotermales.

#### **2.2.7.3 Venillas tipo A**

Son venillas de cuarzo de las etapas tempranas de emplazamiento del pórfido, las más antiguas son muy irregulares, discontinuas y segmentadas, muchas nunca se formaron con paredes paralelas, las fracturas fueron ocupadas por estas venillas antes de que la roca fuera capaz de sufrir fractura frágil continua; se truncan en los contactos con otros pórfidos y son cortadas por todas las venillas posteriores. Tienen ensambles de cuarzo granular, feldespatos, anhidrita, calcopirita y bornita en forma diseminada dentro de la venilla, el cuarzo es más abundante y de grano más grueso, los halos de alteración son prácticamente indistinguibles con silicato potásico (Gustafson y Hunt, 1975).

#### **2.2.7.4 Venillas tipo B**

Son venillas más jóvenes que las venillas tipo A y más antiguas que las venillas tardías de piritita, sus anchos son de hasta 10 cm, con paredes paralelas y continuas, buzamientos planares y algunas con bandeamiento interno, ocasionalmente muestran un centro vuggy relleno de anhidrita, su característica principal es que contienen molibdenita, también tienen cuarzo de grano grueso, muy poco o falta magnetita, feldespatos potásicos y anhidrita; la alteración hidrolítica está ausente ya sea en la vena o en los halos, donde hay halo hidrolítico es probable que sea debido a la reapertura y relleno con venillas más tardías, las venillas tipo B representan mineralización transicional (Gustafson y Hunt, 1975).

### **2.2.7.5 Venillas tipo M**

Son venas y venillas ricas en magnetita algunas con el grosor de un cabello, asignadas a etapas tempranas de mineralización, ocupan fracturas sinuosas y discontinuas, la mayoría con forma, longitud, ancho y márgenes irregulares o difusos debido a que se formaron cuando la roca todavía está en estado dúctil; algunas venillas cortan fenocristales de plagioclasa lo que indica que son venillas muy tempranas, están cortadas por venas de cuarzo estéril o venas de cuarzo-magnetita con halos estrechos de feldespato potásico (Ulrich y Heinrich, 2001). Hay diferentes ensambles para venillas que contienen magnetita pero no todas son de tipo M, magnetita±actinolita (tipo M), cuarzo-magnetita (tipo A), venas de anfibolita-magnetita-plagioclasa±cuarzo, venas de cuarzo-anfibol-magnetita-apatito, venas de anfibol-magnetita-cuarzo-biotita-calcopirita±oligoclasa (Arancibia y Clark, 1996).

### **2.2.7.6 Venillas tipo EB**

Son venillas tempranas compuestas de biotita, muchas no tienen halo de alteración, otras presentan halo albítico paralelo, en sus relaciones de corte con otras venillas algunas venillas EB están truncadas por venillas B más jóvenes, las venillas A más tardías cortan venas biotíticas, mientras que otras venillas A más tempranas son contemporáneas con las venillas biotíticas. Pueden ocurrir sin magnetita ni sulfuros, con diversas proporciones de albita, feldespato potásico, sericita verde, anhidrita, actinolita y raramente apatito, andalucita, corindón, cordierita, ilmenita y esfena; la textura de la biotita es de grano fino y diseminada dentro de feldespato alcalino, también hay rayas pobremente definidas de grano más grueso confinada a fracturas, por relaciones de corte las venillas con biotita de grano más grueso y pequeños granos de sulfuro son más tempranas que las venillas de biotita de grano más fino con cuarzo y sulfuros; la biotita de la matriz de brechas magmático-hidrotermales está probablemente relacionada a la etapa de venilleo EB (Gustafson y Quiroga, 1995).

### **2.2.7.7 Venillas tipo EDM**

Se caracterizan por ser fracturas sin relleno solamente con halos de alteración (Meyer, 1965), son continuas en muchos metros y tienen anchos de 5 a 40 mm, las venas EDM son cortadas por múltiples generaciones de venas de cuarzo tipo A (Redmond y Einaudi, 2010); la moscovita es la fase dominante y reemplaza a los feldespatos de la roca original, también presenta biotita fina de color marrón claro

y verde que da un color gris a olivo oscuro, esta reemplaza a horblenda y biotita marrón oscura; los halos EDM contienen bornita±digenita y calcopirita diseminada dentro de la biotita y el feldespato potásico, pero localmente en contacto con sericita. Las soluciones que fluyeron por las fracturas alteraron la roca pared con extracción base muy selectiva pero más débil que la lixiviación base de venas más tardías, en algunos lugares estas venillas han sido confundidas con venillas tipo D por su halo llamativo (Meyer, 1965).

#### **2.2.7.8 Venillas tipo D**

Son venillas de pirita-cuarzo o solamente pirita con halos de alteración conspicuos ya sea de sericita o sericita-clorita, estas venillas ocupan fracturas de orientación continua y sistemática, con anchos que oscilan de 1 a 20 cm, pertenecen a una etapa de mineralización tardía caracterizada por abundante pirita y fuerte alteración hidrolítica, cortan a todas las venillas tempranas y transicionales así como a las rocas mineralizadas con ensambles calcopirita-bornita. La pirita es el sulfuro dominante en las venillas D, en menores cantidades tenemos calcopirita, bornita, enargita, tenantita, esfalerita y galena, el cuarzo, la anhidrita y la calcita están presentes en muchas venillas y halos tipo D (Gustafson y Hunt, 1975; Gustafson y Quiroga, 1995).

#### **2.2.7.9 Brechas en pórfidos de cobre**

Las brechas son rocas constituidas por **fragmentos** de roca ligadas por una **matriz** y un **cemento**, la textura puede ser soportada por fragmentos, si los fragmentos están en contacto entre sí, o soportada por la matriz, si los fragmentos aparecen dispersos en un material de grano más fino. Su formación puede darse por: la liberación de fluidos magmático-hidrotermales de magmas fuente hidros de alto nivel, por el calor magmático y la expansión de fluidos meteóricos de poro, por la interacción de aguas subterráneas frías con magma sub superficial, por ruptura mecánica de la roca caja durante el movimiento sub superficial de magma; por el desplazamiento de fallas que originan brechas tectónicas (Sillitoe, 1985).

#### **2.2.7.10 Brechas magmático hidrotermales**

Son productos de fluidos magmático-hidrotermales juveniles (Sheppard et al., 1971) de etapas tempranas (silicato potásico) liberados violentamente de stocks en enfriamiento por segunda ebullición (Howard, 2010) con temperaturas y salinidades altas (Sheppard et al., 1971), seguido por una etapa de relleno de espacios abiertos

(Sillitoe, 1985); las brechas se localizan en las partes altas sobre los stocks o están distribuidas alrededor de los márgenes laterales, se emplazan en profundidades hipabisales de 1 a 3.6 km (So y Shelton, 1983; Sillitoe, 1985). La alteración potásica es la alteración principal, dominada por biotita, feldespato potásico o ambos y estos minerales se presentan como matriz (Leonardson et al., 1984), la sericitización es común y se sobre impone a ensambles de silicato potásico (Scherkenbach, 1982); la calcopirita, pirita y/o molibdenita están presentes como un componente de la matriz, la tourmalina tiende a ser un constituyente común en brechas sericitizadas (Sillitoe, 1985). La brechificación está asociada genéticamente con la mineralización, pueden ser las partes dominantes económicamente con mineralización más alta que los stockworks que lo rodean o simplemente el stockwork no tiene ley (Warnaars, 1983).

### **2.2.8 FORMA DEL CUERPO MINERALIZADO**

Muchos depósitos de pórfidos toman la forma de sus stocks huésped que son típicamente cilíndricos y verticales (Gustafson y Quiroga, 1995), mientras otros tienen forma de campana, copa (Ballantyne et al., 2003) o terminan abruptamente en forma de cuchillo por la truncación de intrusiones minerales tardías, su forma puede experimentar modificaciones por el emplazamiento de stocks pos minerales, como por ejemplo núcleos de baja ley.

### **2.2.9 DEPÓSITOS MINERALES RELACIONADOS**

En rocas encajonantes carbonatadas receptivas se forman diversos tipos de skarns (Meinert et al., 2005), cuerpos distales de remplazamientos de carbonato (chimenea-manto), cuerpos de sulfuro masivo dominados por Cu (Loader, 1999). La mineralización distal es poco común en rocas ígneas dentro de los halos propilíticos, donde se encuentran fallas y fracturas pueden formarse venas sub epitermales Zn-Pb-Cu-Ag±Au (Eidel et al., 1968); también se pueden formar cuerpos de oro de gran tonelaje si existen rocas caja permeables, el ambiente de litocap puede hospedar mineralización de Au, Ag y Cu de alta sulfuración sobre los depósitos de pórfido de cobre (Masterman et al., 2005), ver figura 1.

## 2.2.10 ZONAMIENTO DE METALES

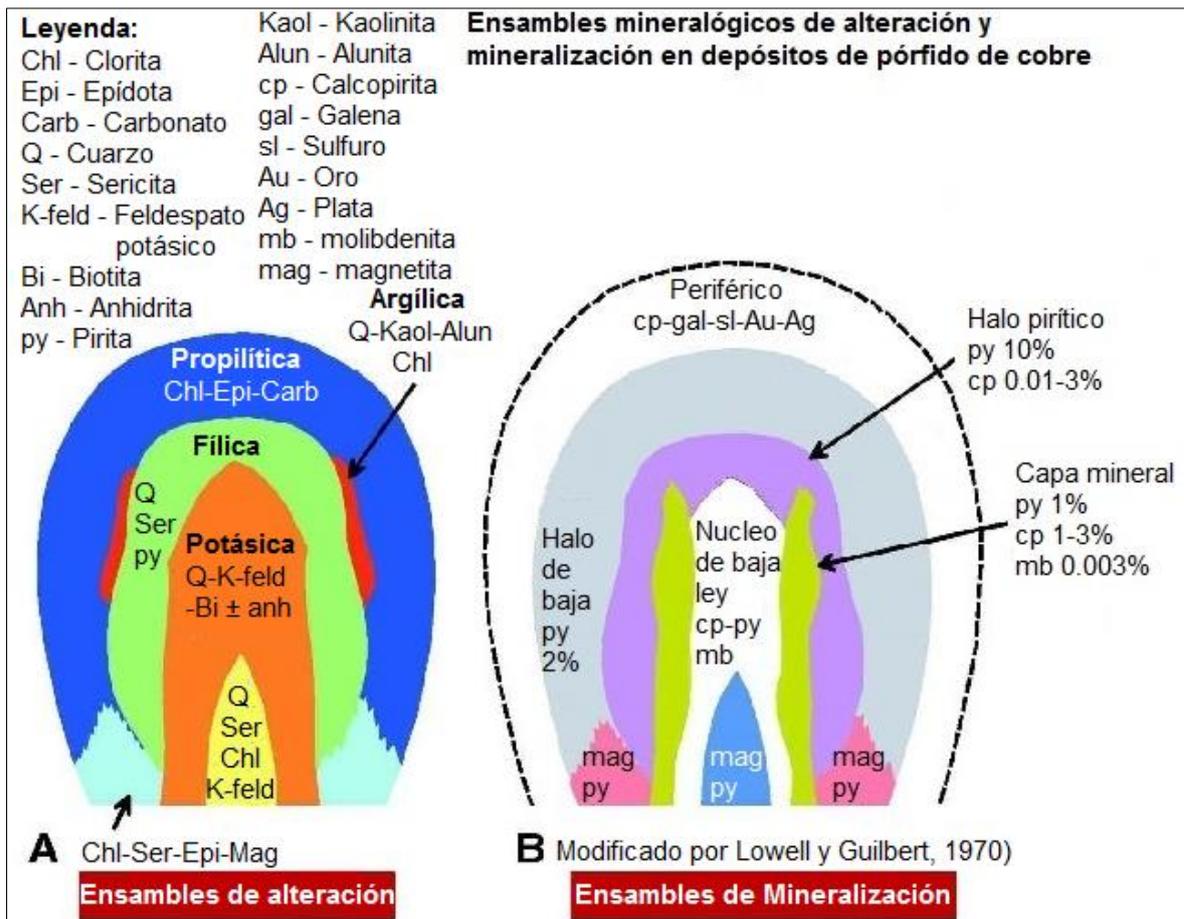


Figura 5. Zonamiento mineralógico horizontal y vertical, Lowell y Guilbert 1970.

El cobre, molibdeno y oro se localizan en las partes centrales de los núcleos potásicos, el oro está en forma nativa muy fina dentro de la bornita y en menor cantidad dentro de la calcopirita (Ulrich y Heinrich, 2001), en muchos pórfidos de cobre ricos en oro el molibdeno tiende a concentrarse como un anillo externo al núcleo de cobre-oro (Perelló et al., 2004b). Los núcleos de  $Cu \pm Mo \pm Au$  tienen halos de escala kilométrica con presencia de valores anómalos de Zn, Pb, Ag que indican temperaturas más bajas, en algunos sistemas también hay valores anómalos de Mn en las partes más externas de los halos, estos halos generalmente coinciden con zonas de alteración propilítica. En el zonamiento vertical, el cobre persiste en las partes más profundas, también sobre el depósito de pórfido subyacente (litocap) hay algo de Cu y Au ( $\pm Ag$ ), pero la mayor diferencia geoquímica entre la zona de Cu-Au y el litocap suprayacente son los valores elevados de As ( $\pm Sb$ ) del litocap, debido a la abundancia de sulfosales de Cu más tardías, también el litocap contiene cantidades trazas de Bi, W, Sn y/o Te (Einaudi, 1982), así como apreciable Mo. Los

ratios de Cu/Au del litocap en mineralizaciones de alta sulfuración decrecen hacia arriba debido a que el Au ( $\pm$ Ag) ocurre en las partes superficiales de los litocaps, donde la lixiviación supérgena enmascara la distribución original del Cu, en mineralizaciones de metales preciosos de intermedia sulfuración los litocaps tienen valores más altos de Zn, Pb, Ag, y Mn que los de alta sulfuración.

### 2.2.11 TIPOS DE ZONAS MINERALIZADAS

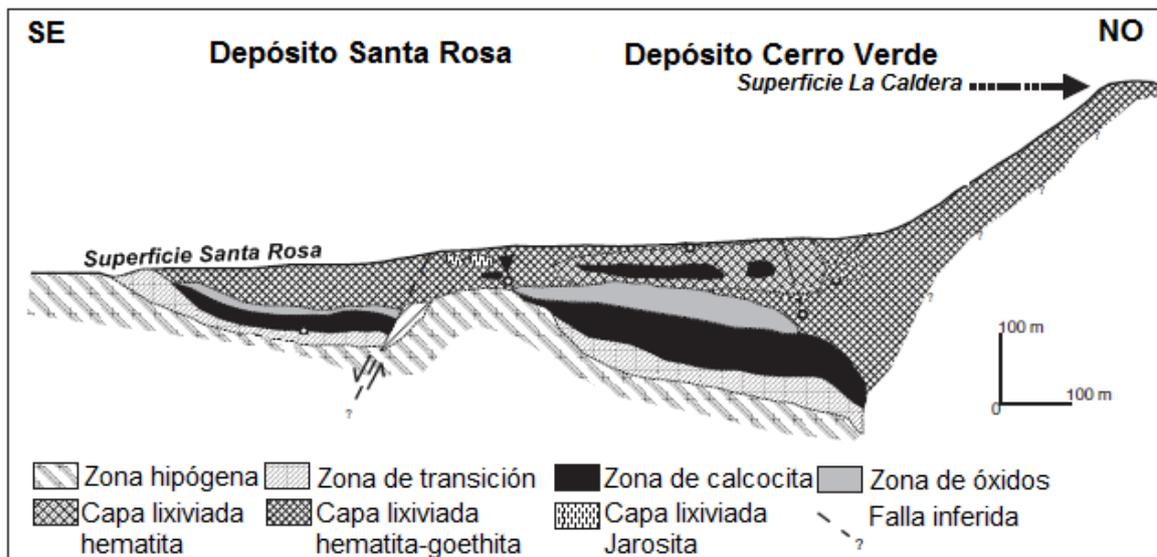


Figura 6. Zonas de mineralización en pórfidos según Quang 2003.

#### 2.2.11.1 Capa lixiviada

Son las capas situadas en las partes más altas de los pórfidos de cobre que han sido sometidas a oxidación y remoción de metales por procesos de oxidación supérgena, en donde la fuerte actividad del oxígeno desde la superficie hasta la zona capilar más la química de la roca descomponen los sulfuros hipógenos; los metales liberados son transportados y depositados en otras zonas como hidróxidos, óxidos, carbonatos, sulfatos, o silicatos. Las capas lixiviadas quedan con distintos minerales residuales de hierro y otros, con texturas limosas y floculantes, a pesar que la remoción de metales puede ser eficiente, quedan cantidades detectables de cobre y hierro residual que comprenden anomalías geoquímicas positivas o negativas (Chavez, 2000; Anderson, 1982).

#### 2.2.11.2 Capa de óxidos

Esta capa contiene minerales de cobre como aniones oxidados, principalmente como: sulfatos, fosfatos, carbonatos y arsenatos, la zona de óxidos se forma por adición de cobre de otro ambiente, que es mayormente transportado mediante

soluciones supérgenas ácidas o por oxidación insitu de sulfuros de cobre con transporte mínimo de cobre; los principales minerales que se presentan en la zona de óxidos son la crisocola, malaquita, calcantita, brocantita, cuprita, cobre nativo y tenorita; cuya ocurrencia se concentra principalmente en fallas, fracturas y en menor proporción en forma diseminada; en soluciones neutrales a alcalinas de pH alto no hay lixiviación de cobre y origina cantidades significantes de óxidos con presencia de tenorita, abundante malaquita o azurita, paramelaconita, y neotosita que son volumétricamente menores (Chavez, 2000; Anderson, 1982).

### **2.2.11.3 Capa de mixtos**

Esta zona representa un ambiente transicional entre las condiciones oxidadas presentes en las capas de lixiviación y las condiciones reducidas que caracteriza la zona de sulfuro supérgeno, combinándose los minerales de estas dos zonas, la calcantita es común en la zona mixta de óxido-sulfuro de muchos depósitos de cobre junto con calcocita y covelita.

### **2.2.11.4 Capa de enriquecimiento**

Los sulfuros secundarios se encuentran debajo de la capa de óxidos o de la zona lixiviada, se forman debajo del nivel freático donde la presión parcial del oxígeno decrece y prevalece las condiciones de reducción; esta zona está representada principalmente por calcocita, bornita, digenita y covelita, estos minerales han remplazado parcial o totalmente a la calcopirita y en parte a la pirita, generalmente como un revestimiento de los cristales; debido a los ciclos repetidos de oxidación, lixiviación y enriquecimiento el cobre se incrementa en sus sucesivas zonas de enriquecimiento, este incremento culmina con el remplazamiento completo de sulfuros hipógenos por calcocita; la zona supérgena pasa de manera transicional a la zona de sulfuros hipógenos como una zona amplia caracterizada por la presencia de pirita-calcopirita y en menor proporción la presencia de calcocita y bornita (Anderson, 1982; Concha y Bernabé, 1999).

### **2.2.11.5 Zona de sulfuros hipógenos**

La mineralización hipógena en los pórfidos de cobre ocurre en diseminaciones a través de la roca porfirítica, en venillas de relleno formando el stockwork de cuarzo, y como matriz en brechas magmático hidrotermales; las cantidades están en proporciones variables de sulfuro diseminado a venillas de acuerdo al tipo de pórfido mineralizado; los minerales hipógenos conocidos en orden de abundancia

son calcopirita, pirita, bornita, molibdenita, con menores proporciones de magnetita, specularita, enargita, y venas locales de galena y esfalerita, (Ambrus, 1977).

## **2.2.12 GEOFÍSICA**

### **2.2.12.1 Método magnético**

El método magnético se basa en la medición precisa de las anomalías locales del campo geomagnético total **F** producidas por variaciones en la intensidad de imanación de las rocas; cualquier punto del campo geomagnético total queda completamente definido por las componentes horizontal **H** y vertical **Z** de la densidad de flujo y por la declinación **D** al Este o al Oeste; puede ser elegido las variaciones de cualquiera de las componentes para la medición de las anomalías respectivas, la interpretación de  $\Delta F$  es algo complicada y se aplica frecuentemente en trabajos desde avión y al interior de perforaciones, pero la mayoría de instrumentos solamente miden el campo total. La medición más conveniente es la determinación relativa de algunas de las componentes del campo magnético con respecto a un punto base elegido (Parasnis, 1970).

Se han desarrollado una variedad de métodos para la interpretación de datos magnéticos basados en la derivativa del campo magnético, que ayudan a estimar la estructura fuente que causa la anomalía, sus propiedades físicas, su profundidad, y para ubicar contactos magnéticos; la primera derivativa vertical enfatiza características cerca de la superficie; la segunda derivada vertical enfatiza la vista en planta de contactos de zonas objetivo, especialmente fuentes anómalas del basamento (Parasnis, 1970).

La señal analítica o gradiente total está formada por la combinación de los gradientes horizontales y verticales de la anomalía magnética, el método de la señal analítica es muy usado para delinear posiciones de las fuentes magnéticas, sin embargo también puede ser usado para ubicar contactos magnéticos horizontales y en profundidad. La señal analítica puede reforzar y mejorar la definición de la estructura regional y los bordes de las anomalías en una grilla.

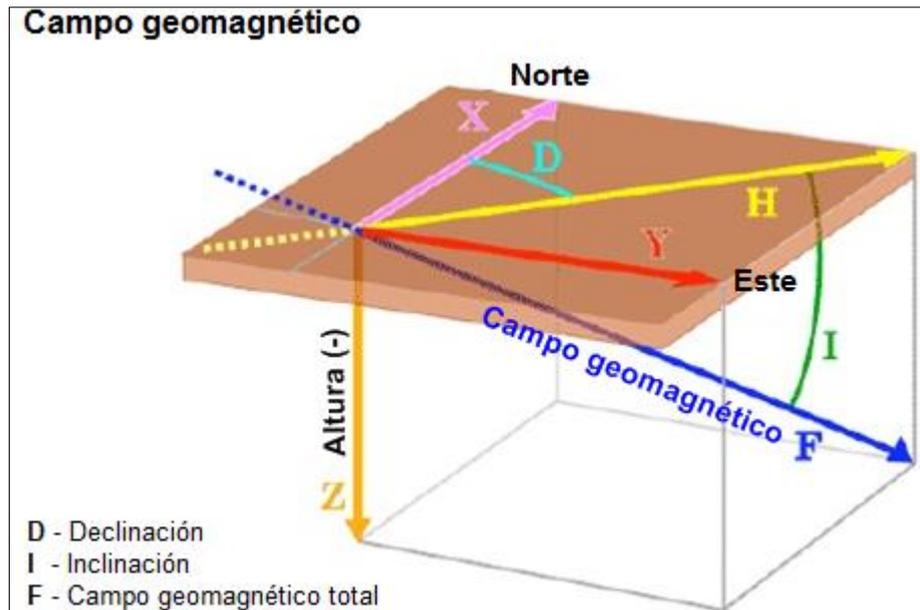


Figura 7. Campo geomagnético y sus componentes.

### 2.2.12.2 Método de polarización inducida

En este método hay que introducir un campo de corriente artificial en el terreno, ya sea corriente alterna o continua mediante dos electrodos en contacto con el suelo y suficientemente alejados entre sí, creándose así un campo eléctrico entre ellos, la polarización inducida se observa cuando se corta la corriente que pasa a través del suelo, el voltaje no retorna instantáneamente a cero sino que decae lentamente, dicho efecto puede ser medido en el dominio del tiempo mediante la observación de la tasa de decaimiento del voltaje, o en el dominio de la frecuencia; todo esto indica que las rocas han sido cargadas, esta carga se acumula principalmente entre las interfaces de minerales de arcilla, sulfuros metálicos y carbón, que son los responsables para su identificación, por esta razón este método se emplea ampliamente en la exploración de sulfuros minerales; el método IP puede penetrar miles de metros debajo de la superficie, cabe mencionar que los cuerpos diseminados son pobremente conductivos (Cantos, 1987).

La presencia de sulfuros en yacimientos diseminados se interpreta por valores anómalos altos de cargabilidad, también el grafito puede dar valores anómalos altos de cargabilidad, por lo que es importante la interpretación geológica (Concha y Bernabé, 1999). En base al modelo de pórfido, se presenta cargabilidad moderada en la parte central que puede aumentar de acuerdo al desarrollo del stockwork y el tipo de minerales presentes en las venillas, dicho centro está rodeado por una zona

de cargabilidad alta del halo pirítico, por lo tanto el cambio de cargabilidad moderada a alta es una buena señal para la búsqueda de blancos de pórfidos de cobre (Kunchev, 2011).

La resistividad en los yacimientos diseminados está mayormente determinada por la humedad y la litología, las formaciones silicatadas presentan resistividades muy altas (Concha y Bernabé, 1999); en el núcleo del pórfido puede ser variable, siendo más resistivo que la roca caja cuando es masivo y poco fracturado, los cuerpos mineralizados con calcopirita tienen una resistividad baja que es una señal positiva (Cunchev, 2011).

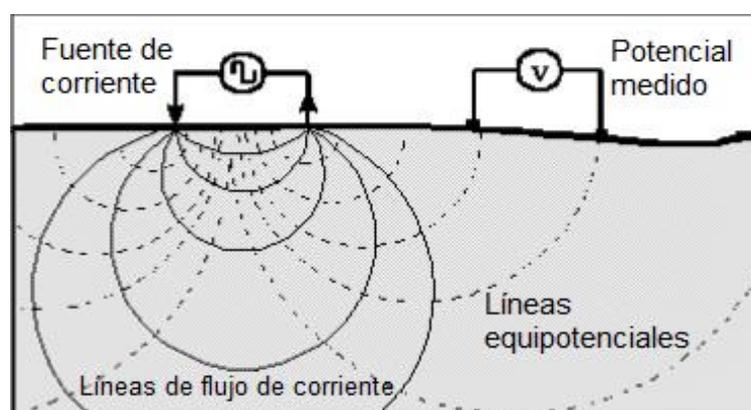


Figura 8. Método de polarización inducida IP.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 2.3.1 GEOQUÍMICA

Es la ciencia que estudia la distribución y abundancia de los elementos químicos en minerales, rocas, suelos, agua, y en la atmosfera, así como el movimiento de los elementos en el ciclo geológico, en base a sus propiedades atómicas e iónicas (Goldschmidt, 1954).

### 2.3.2 MUESTRA GEOQUÍMICA

Recolección de una parte de roca, suelo, agua, tomadas por algún método de muestreo, generalmente en una cantidad de 1 a 3 kg, toda muestra debe cumplir con tres características como representatividad, proporcionalidad y no contaminada, muchas muestras son un compuesto de submuestras que representan una zona o afloramiento determinado (Marjoribanks R., 2010).

### **2.3.3 ANOMALÍA GEOQUÍMICA**

Son acumulaciones geoquímicas de elementos, diferente de lo que se considera normal por el resultado de algún proceso geológico que concentra elementos particulares. En exploración de minerales interesa generalmente las anomalías positivas, sin embargo también pueden ser importantes las anomalías negativas (McQueen K.G., 2000).

### **2.3.4 DEPÓSITO MINERAL**

Parte o fracción de la corteza terrestre que por procesos geológicos acumulan sustancias minerales útiles, que pueden ser explotadas con beneficio económico, con los medios y técnicas disponibles.

### **2.3.5 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL**

Es el intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca, provocando cambios químicos y mineralógicos en las rocas afectadas (Shanks W.C., 2012).

### **2.3.6 PERFORACIÓN DIAMANTINA**

Corte tubular lineal del subsuelo con un elemento anular impregnado de diamantes colocado en una cadena de rotación de barras huecas de acero, que produce el corte de un sólido cilíndrico de roca (núcleo) que pasa por el interior de las barras de perforación (Marjoribanks R., 2010).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El pórvido Ocaña se encuentra ubicado en la Región Arequipa en la Provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua, entre la comunidades de Arirahua e Ispacas, en el Sur del Perú, ver plano 1, centrado aproximadamente en las coordenadas UTM (PSAD56, 18L 713806, 8267538); el centro poblado más cercano al Proyecto es el pueblo llamado la Barrera que está a lo largo del Río Ocaña, a unos 28 km al Suroeste del pórvido Ocaña, además al Sureste del Proyecto encontramos poblaciones de mineros artesanales, llamados San Cristóbal y Quebrada Soledad.

Tabla 1. Estados de las rutas Arequipa-Pórvido Ocaña.

Ruta	Distancia (km)	Estado
Arequipa - Ocaña	235	Asfaltada
Ocaña - La Barrera	85	Trocha
La Barrera - Proyecto Ocaña	28	Trocha
Total	<b>347</b>	

Arequipa - Chquibamba	227	Asfaltada
Chuquibamba - La Barrera	114	Trocha
La Barrera - Proyecto	28	Trocha
Total	<b>369</b>	



Plano 1. Ubicación del pórfido Ocaña.

### 3.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

El lugar está dentro de los desiertos de la parte Oeste del Sur del Perú, el clima es seco y templado con temperaturas que dependen de la estación del año, en el día oscilan entre 15° a 30°C y en la noche entre 0° a 25°C, año 2010 (Klipfel, 2010), en los meses de Diciembre a Abril hay escasas lloviznas con abundante nubosidad, en estos meses aumenta las aguas de los ríos que bajan de la sierra y es evidenciado por las marcas de agua dejadas como capas secas en los cauces de las quebradas producto de las inundaciones repentinas. La vegetación es mínima, tiene entre 10 a 20 años de edad que sugiere muy pocas inundaciones repentinas, en los valles donde hay humedad se componen de arbustos típicos de zona desértica, en las partes bajas de las laderas encontramos diferentes tipos de cactus y arbustos espinosos más resistentes al clima seco, hacia las partes más altas de las laderas la vegetación cambia a puyas y huanarpos (*Jatropha macrantha*) y hacia la planicie andina >3000 msnm encontramos abundante ichu (*Stipa ichu*), yaretas (*Azorella compacta*) como las plantas más visibles. La fauna no es abundante encontrándose algunas aves y pequeños mamíferos como ardillas, zorros y otros. En la zona de operaciones del Proyecto no hay agua, esta tiene que ser transportada en una cisterna desde el Río Ocoña (Klipfel, 2010). En la foto 1 se muestra características relacionadas al clima y la vegetación de la zona del pórvido Ocoña: (A) pequeños arbustos en la quebradas más bajas del valle; (B) diversos tipos de vegetación en valles estrechos con altitudes promedio de 1500 msnm; (C) vegetación muy escasa en las partes bajas de las laderas; (D) mayor vegetación de clima seco en las partes altas de las laderas con altitudes de 3000 msnm.

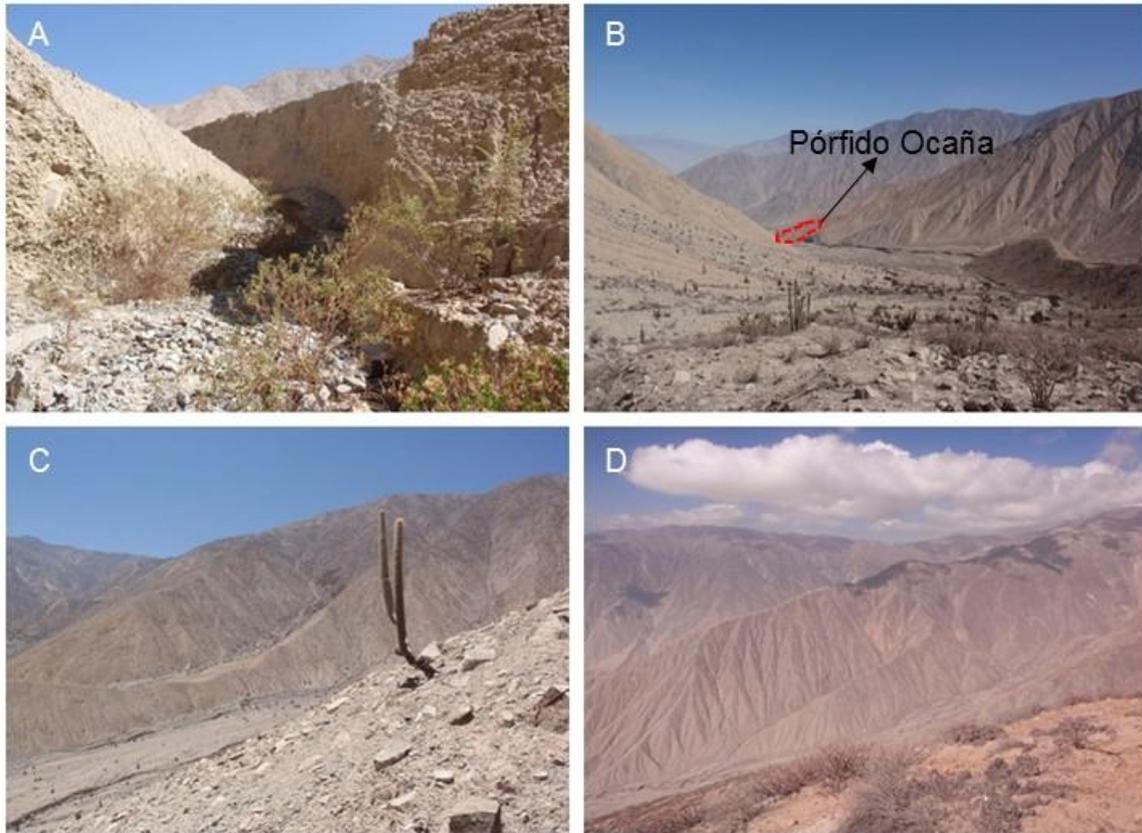


Foto 1. Clima y vegetación en el pórfido Ocaña.

### 3.3 GEOMORFOLOGÍA

En el lugar se observa una relación fuerte entre la morfología y el desarrollo tectónico junto a una elevada erosión y un clima semiárido que configuraron el relieve actual; los valles profundos siguen la orientación de estructuras regionales, algunos tienen decenas de kilómetros como el cañón del valle del río Ocaña y los valles secundarios de menor longitud siguen similarmente estructuras preexistentes, ver foto 2. Además dichas estructuras y zonas de debilidad también sirvieron para el emplazamiento del batolito de la costa en las postrimerías del Cretáceo e inicios del Terciario, así mismo como zona de debilidad para el ascenso de numerosos volcanes como los volcanes Solimana, Coropuna y Andahua (Caldas, 1993). Las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio son las siguientes:

#### 3.3.1 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO OCCIDENTAL DE LOS ANDES

Son un conjunto de estribaciones que conforman la cordillera occidental con dirección NO-SE, regionalmente están limitadas por la plataforma costanera y

alcanzan altitudes entre 2500 a 5000 msnm, sus flancos son abruptos y terminan generalmente en valles profundos.

### 3.3.1.1 Subunidad geomorfológica laderas

Las laderas en la zona de estudio son generalmente empinadas con pendientes entre 45° a 70° cubriendo terreno escarpado, sus partes bajas tienen altitudes en promedio de 800 msnm y sus partes altas bordean los 4000 msnm, donde se inicia la llanura alto andina.

### 3.3.1.2 Subunidad geomorfológica conos volcánicos

Más alejado de la zona de estudio tenemos conos volcánicos de los volcanes Solimana y Coropuna, que conforman el cinturón activo de volcanes del Sur del Perú con altitudes que sobrepasan los 5000 msnm.

### 3.3.2 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA VALLES

Los valles son secos y estrechos con anchos en promedio de 1 km, sus gradientes son suaves, hospedan gruesas capas de material cuaternario; los tributarios son muy angostos, empinados, secos e inundados de grava aluvial con tamaño variable desde flujos de barro hasta grandes bloques de roca.

### 3.3.3 UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CONOS ALUVIALES

Se encuentran en las quebradas que confluyen hacia los valles principales, que debido al cambio brusco de pendiente forman depósitos cuaternarios característicos en forma cono.



Foto 2. Geformas en el pórfido Ocaña.

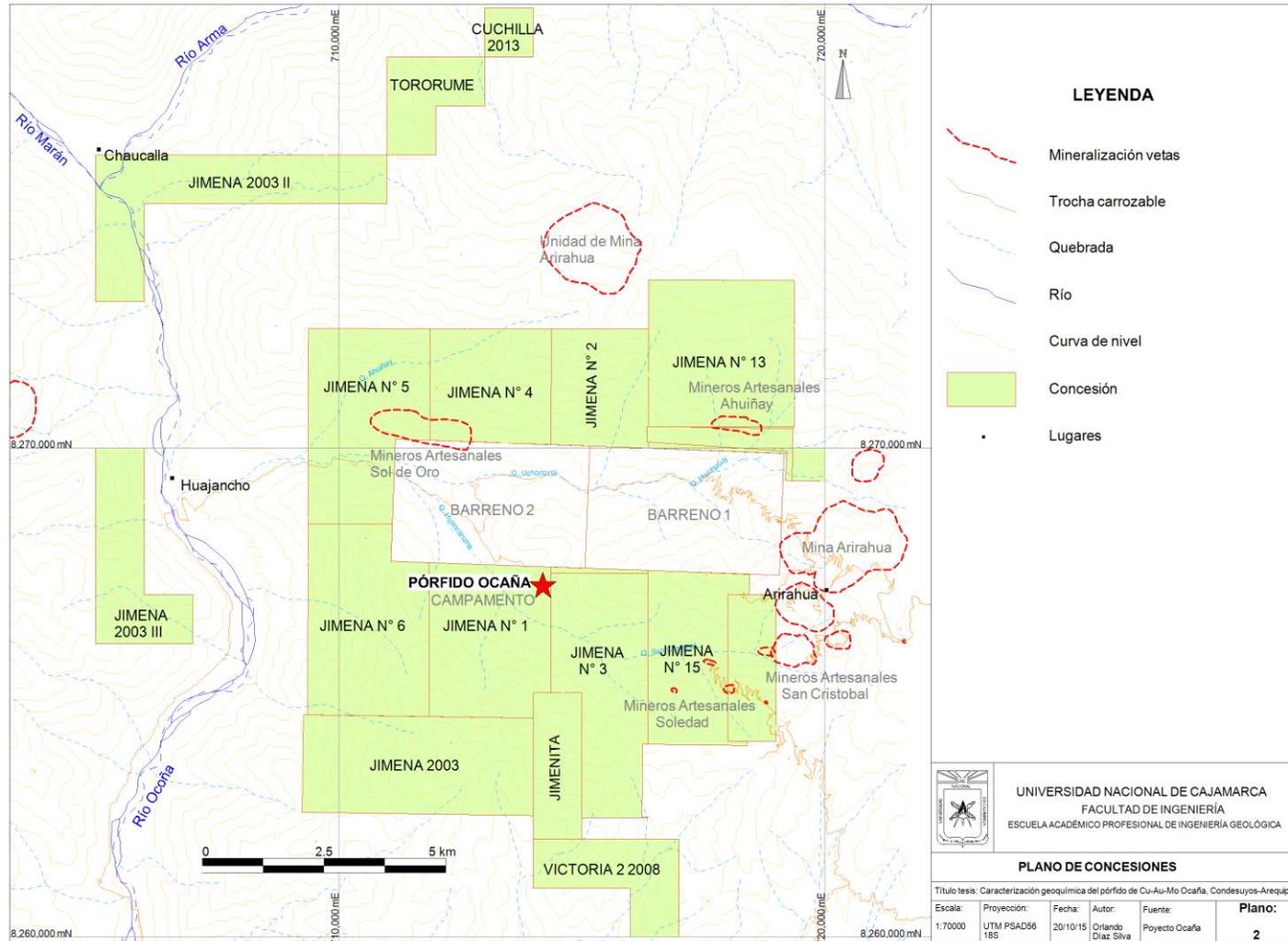
## 3.4 PROPIEDAD

El denunció está formado por un total de 22 concesiones con un área 11,800 ha, de las cuales dos de ellas son las que hospedan el pórfido de Cu-Au±Mo Ocaña,

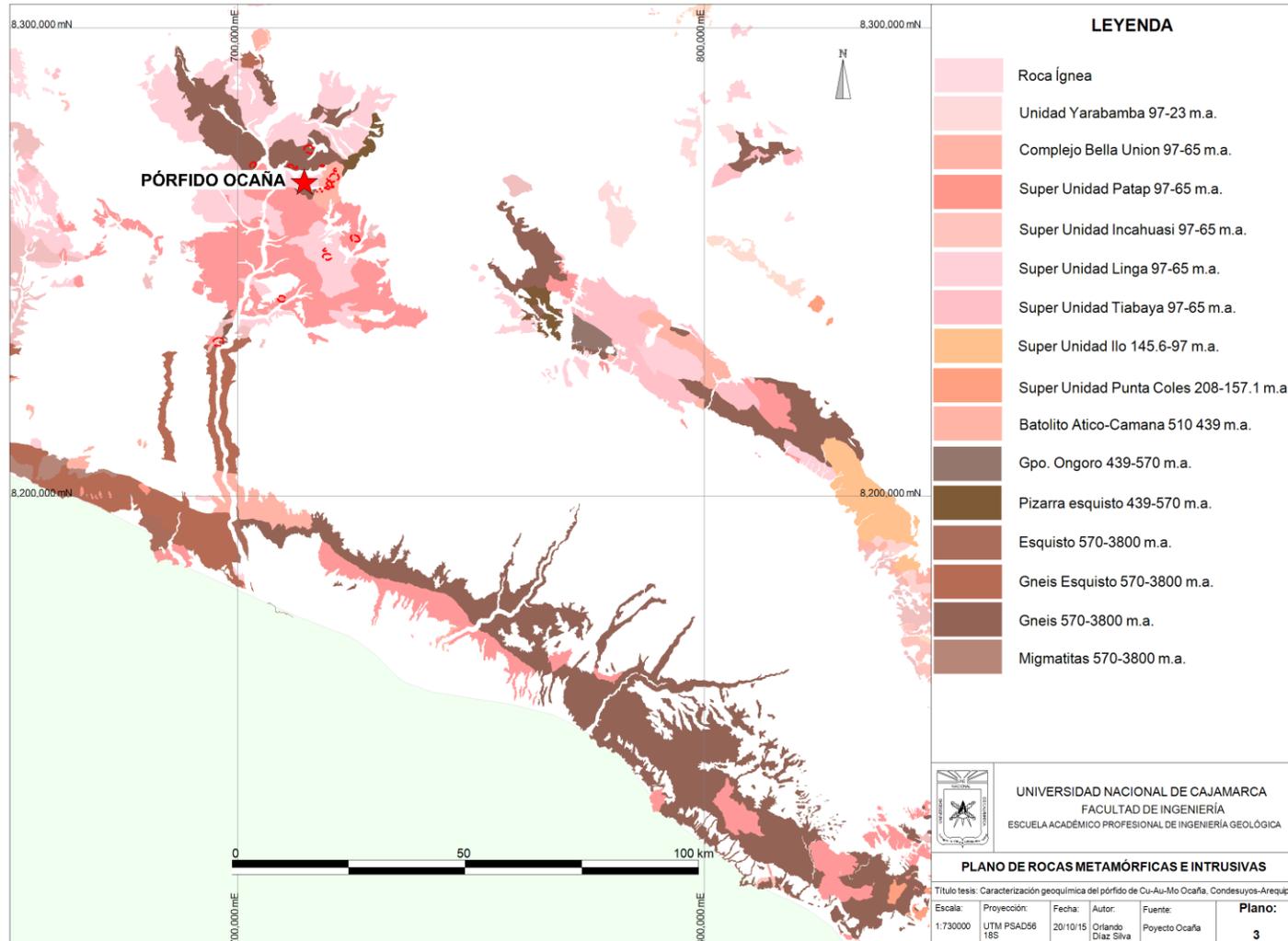
las concesiones JIMENA N° 1 y JIMENA N° 3 con un área de 1,622 ha, en el resto de concesiones se tiene anomalías de color que serán evaluadas conforme avanza las exploraciones, donde se tiene evidencia que hospedan estructuras con mineralización de oro en vetas. También existen dos concesiones adyacentes llamadas BARRENO 1 y BARRENO 2 propiedad de Berteus Resources Perú S.A. que forman parte del Proyecto de Pórfido Pecoy explorado en años pasados y en la actualidad (Catastro, 2011), ver plano 2.

### **3.5 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL**

Regionalmente encontramos diversas secuencias de litologías pertenecientes a rocas del Precámbrico que forman el basamento metamórfico con afloramientos en dos franjas bien marcadas una hacia el océano Pacífico y la otra al Este, que fueron cortadas por intrusivos del Cretáceo tardío al Paleoceno formando el batolito de la costa e intrusivos posteriores, ver plano 3, con actividad volcánica posterior perteneciente al Grupo Barroso y zonas de cuaternario que cubren los diferentes valles y laderas como depósitos aluviales.



Plano 2. Concesiones del Proyecto Ocaña.



Plano 3. Rocas del Complejo Basal e Intrusivas en el Sur del Perú.

### 3.5.1 GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

#### 3.5.1.1 Complejo Basal

Constituido por una gruesa secuencia de rocas metamórficas en gran parte de la Cadena Costanera del sur del Perú, ver plano 3, corresponden a esquistos, gneis y algunas rocas metamórficas estratificadas meta sedimentos probables hornfelds y pizarras, diversos cuerpos de rocas básicas de color gris oscuro con magnetita primaria, algunos como diques y otros como pequeños cuerpos de gabros de granos grueso, estas rocas se encuentran circundando hacia la parte Sur, Oeste y Norte del pórfido Ocaña; los gneis se encuentran alrededor del Proyecto y tienen bandas grises de ferro magnesianos como micas intercaladas con bandas blancas de hasta 2 cm de ancho de cuarzo, feldespatos y ortosa, con rumbo predominante N50°W, algunas bandas son de grano grueso y de composición granítica o granodiorítica, la mayoría de los gneises presentan estructuras lenticulares; estas rocas han sido cortadas por numerosos diques y pequeñas intrusiones compuestas por tonalita, granodiorita, granito y pegmatitas (Vela y Cárdenas, 1973). De acuerdo algunas isócronas Rb/Sr para el macizo de Arequipa (Cobbing et. al., 1977), establecieron una edad precámbrica de 600 a 2000 m.a. En la foto 3 se observa las rocas metamórficas del complejo Basal: (A) esquisto englobado dentro del pórfido Ocaña; (B) gneis con bandeamientos de minerales oscuros como biotita y bandas claras de feldespatos y cuarzo.



Foto 3. Esquisto englobado dentro del pórfido, gneis.

#### 3.5.1.2 Complejo Bella Unión

Estas rocas se encuentran al Este del Proyecto en los terrenos de la mina Arirahua, están constituidas por una serie de pequeños cuerpos de composición andesítica a

dacítica, que afloran discontinuamente a lo largo de un eje con rumbo comprendido entre N30° a 40°O. Se presentan de color gris oscuro a gris verde, de grano fino a afanítico con gran dureza, textura porfirítica, así mismo se encuentran cortadas por diques ácidos fácilmente distinguibles. Para este complejo no se cuenta con dataciones radiométricas, pero por relaciones estratigráficas se infiere que la edad de intrusión está entre el Cretáceo medio y el Cretáceo superior temprano (Caldas, 1978; Vela y Cárdenas, 1973).

### 3.5.1.3 Batolito de la Costa

En la influencia del Pórfido Ocaña encontramos la Super Unidades Incahuasi y Tiabaya, ver plano 3, que intruyen a rocas metamórficas del Complejo Basal, algunas de las cuales están cubiertas por formaciones Terciarias; estas super unidades presentan notable uniformidad en grandes distancias en su composición mineralógica, estructura y textura; están formadas por una asociación de granodiorita y tonalita de grano medio que pueden ser diferenciadas en su textura, tamaño de grano, contenido de xenolitos, además han sido cortadas por rocas hipabisales de naturaleza sub volcánica en forma de diques y pequeños apófisis (INGEMMET, 1983). El batolito de la costa ha sido datado en el Cretácio tardío a Paleoceno temprano, en un rango de edades que varían entre 62 m.a. a 102±26 m.a. (Stewart y Snelling, 1971). En la foto 4 se observan las granodioritas del batolito de la costa: (A) granodiorita de grano medio a 2 km al SE del pórfido Ocaña, con débil alteración de ferro magnesianos; (B) granodiorita grano medio sin alteración al Norte del pórfido Ocaña.

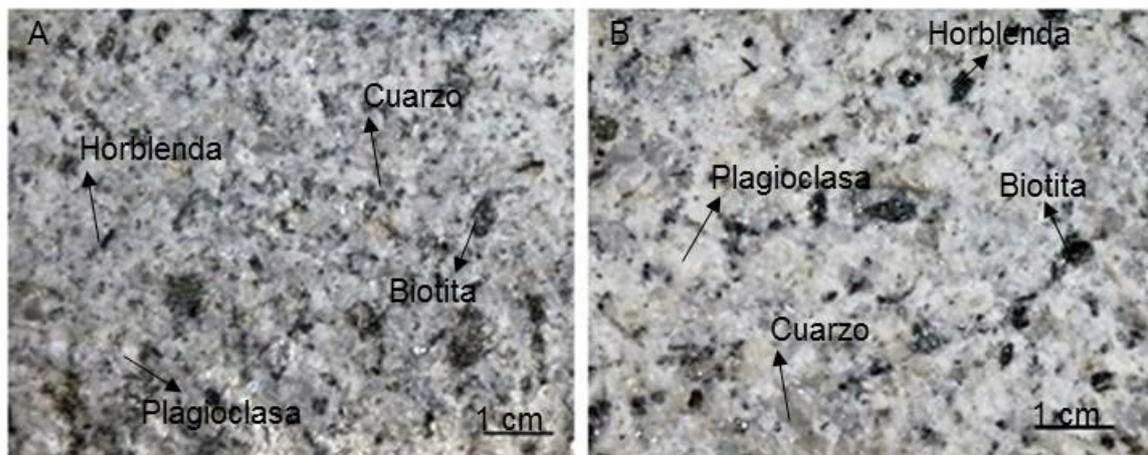


Foto 4. Granodioritas del Batolito de la Costa.

#### 3.5.1.4 Volcánico Barroso

Estos volcánicos son de gran propagación en el Sur del Perú, pero en el pórfido Ocaña sólo se encuentra en una zona aislada al Suroeste del campamento donde se observa pseudo estratificaciones sub horizontales que siguen la superficie de erosión en forma lenticular sobre el batolito de la costa o el complejo basal, con una coloración rojiza de fuerte oxidación; están formados principalmente por andesitas, traquitas y traquiandesitas, depositados sobre la superficie de erosión llamada Capillune, algunas dataciones en el área de Cotahuasi (INGEMMET y Misión Japonesa, 1986), obtuvieron una edad K-Ar en hornblendas de  $1.30 \pm 0.11$  m.a. en una muestra de andesita horbléndica. En la foto 5 se observa el Volcánico Barroso en la cumbre del flanco izquierdo del valle de la quebrada huancarume, mostrando pseudo estratificación sobre rocas del batolito de la costa.

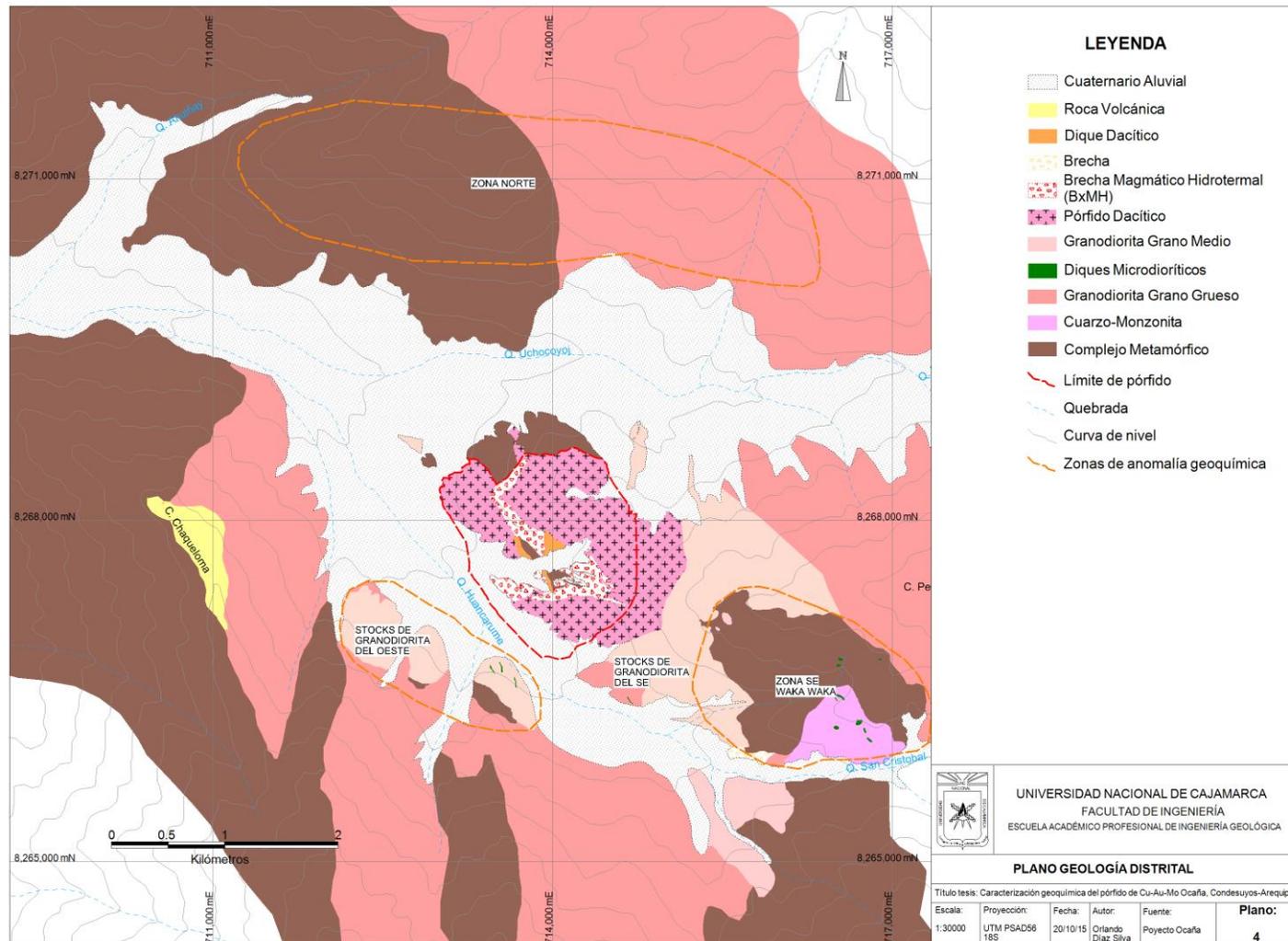


Foto 5. Volcánico Barroso.

#### 3.5.1.5 Depósitos Aluviales Recientes

Formados por depósitos de conos aluviales y fluviales debido a la meteorización y erosión actual, se encuentran cubriendo planicies, laderas, quebradas y valles (INGEMMET, 1983); con un grosor de 50 m en el área del pórfido Ocaña, su composición es variada con presencia de arcillas, fragmentos de gneises, fragmentos de rocas intrusivas, fragmentos de rocas volcánicas, fragmentos de vetas mineralizadas, que han sido transportados de las zonas circundantes; su superficie es de color gris rojizo y su topografía es de relieve suave en los valles y moderado a fuerte en las laderas (Vela y Cárdenas, 1973; INGEMMET, 1994).

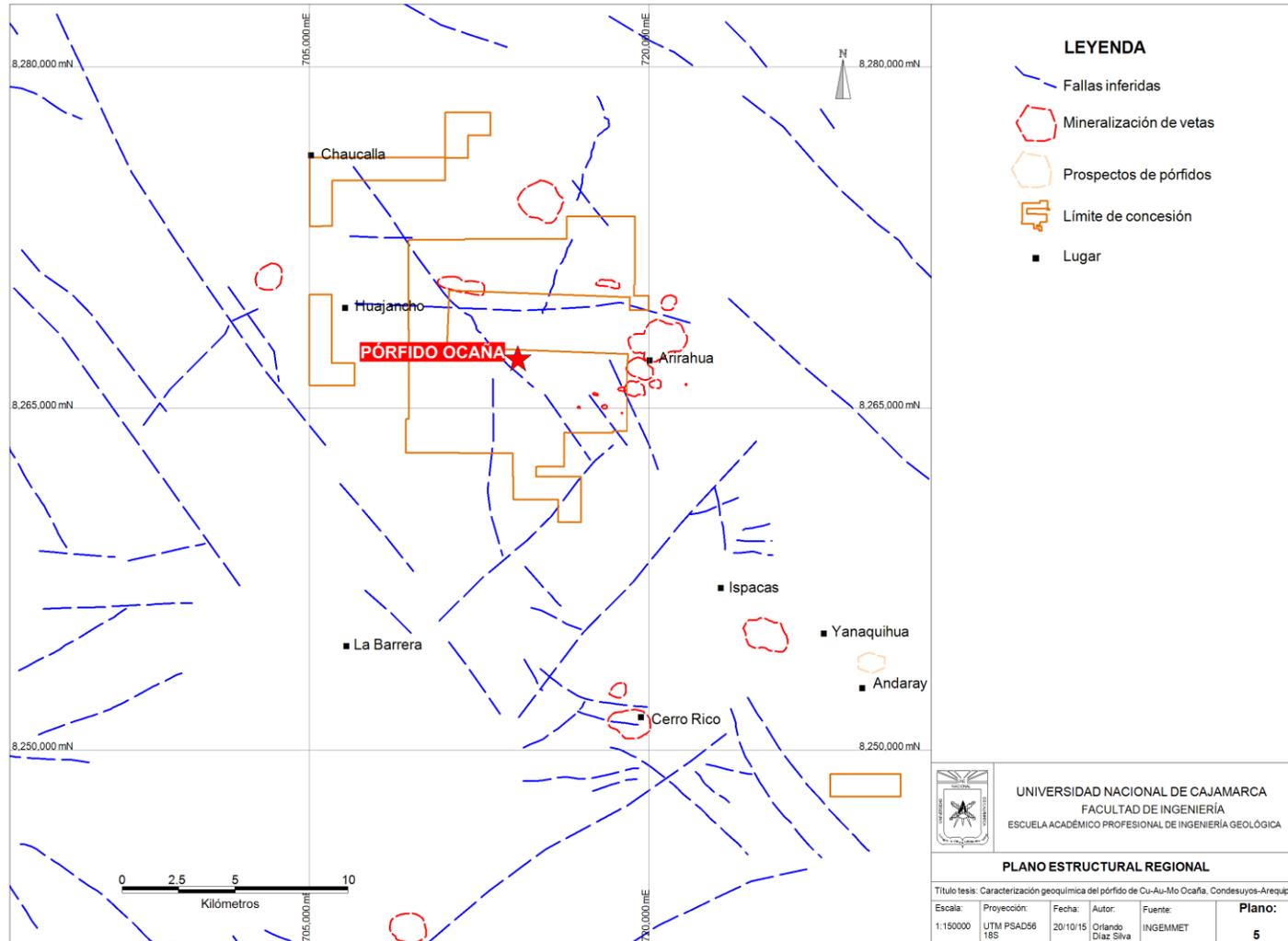
En el plano 4 se observa la geología distrital de la zona con afloramientos del batolito de la costa, junto a rocas metamórficas del complejo basal, muy escasas rocas volcánicas en las cumbres, y valles cubiertos por depósitos cuaternarios.



Plano 4. Geología distrital.

### **3.5.2 ESTRUCTURA REGIONAL**

Desde Tacna a Chuquibamba las estructuras tienen dirección NO, pero a partir de Chuquibamba a Caravelí toma dirección E-O, todo este sistema de fallas son llamadas sistema de fallas Incapuquio (Manfrino, 2010); también encontramos fallas transversales al sistema Incapuquio con direcciones ENE-OSO y NE-SO cuyas intersecciones crearon zonas favorables para el emplazamiento de diferentes depósitos. Es importante mencionar el lineamiento estructural Ocoña-Cotahuasi de dirección N20°E, donde se interseca con los lineamientos de dirección N20° a 4°W y E-O, ubican una serie de depósitos con mineralizaciones económicas como: Mina Ocoña, Mina Arirahua, Mina Selene, Mina Santo Domingo, Mina Santa Rosa, y más lejano al Este, los pórfidos Los Chancas, Las Bambas. El pórfido Ocaña se ubica también dentro de los lineamientos de dirección andina, E-O y NE; más al SE las intersecciones de estos lineamientos ubican depósitos como: Cerro Rico, Yanaquihua, Andaray y San Juan de Churunga, etc., ver plano 5. La mayoría de estos lineamientos son fallas verticales a sub verticales, muchas de las cuales están rellenas por diques de naturaleza básica (INGEMMET, 1983).



Plano 5. Estructura regional.

### 3.5.3 MINERALIZACIONES REGIONALES

Al Sureste del pórfido Ocaña encontramos grandes depósitos de pórfido de cobre como Cuajone, Toquepala, Cerro Verde y Quellaveco los cuales se emplazaron a inicios del Paleoceno al Oligoceno temprano, más al Noroeste encontramos pórfidos más antiguos como el pórfido Cu-Au±Mo Zafranal, Pecoy y el pórfido Ocaña de finales del Cretáceo, ver plano 6; estos depósitos se formaron en intrusivos hipabisales como apófisis finales de la formación del batolito de la costa; también encontramos mineralizaciones en vetas cercanos a los sistemas porfiríticos como la mina Arirahua que tiene mineralización de Au, Ag, electrum, galena, esfalerita, así como muchas vetas explotadas por mineros artesanales; al Sur se observa también mineralizaciones de vetas relacionadas al basamento metamórfico y al emplazamiento del batolito de la costa como venas de cuarzo con pirita aurífera en San Juan, Cecocha, Yanaquihua, Cerro Rico. También al Noreste y hacia Norte en la deflexión de Abancay encontramos depósitos más alejados de vetas de alta sulfuración como Arcata, Orcopampa, Ares que probablemente pueden estar relacionados a los pórfidos de cobre de flanco Oeste de la cordillera de los andes (Vela y Cárdenas, 1973; INGEMMET, 1994; Cardozo, 2006).

Los pórfidos más grandes en explotación por más 30 años y nuevos descubrimientos en el Sur del Perú se encuentran con edades entre 50 y 81 m.a. como se menciona a continuación:

**Zafranal**, el pórfido de cobre-oro-molibdeno con edad de 81 m.a. (Manfrino, 2010).

**Toquepala**, con edad para la mineralización hipógena 57 m.a. correspondiente al Eoceno (Clark et. al., 1990).

**Quellaveco**, con una edad en K-Ar de 56.2 m.a correspondiente al Eoceno, para sericita hidrotermal cerca de la zona mineralizada central rica en cobre-molibdeno (Estrada, 1975).

**Cuajone**, tiene una mineralogía simple y está relacionada principalmente a la intrusión de latita porfirítica de edad entre 50 y 60 m.a. (Concha y Bernabé, 1999).

**Cerro Verde**, la datación en la mineralización hipógena en el distrito de Cerro Verde-Santa Rosa fue de 62 m.a. (Quang et. al., 2003).



Plano 6. Pórfidos en el Sur del Perú según USGS e INGEMMET 2008.

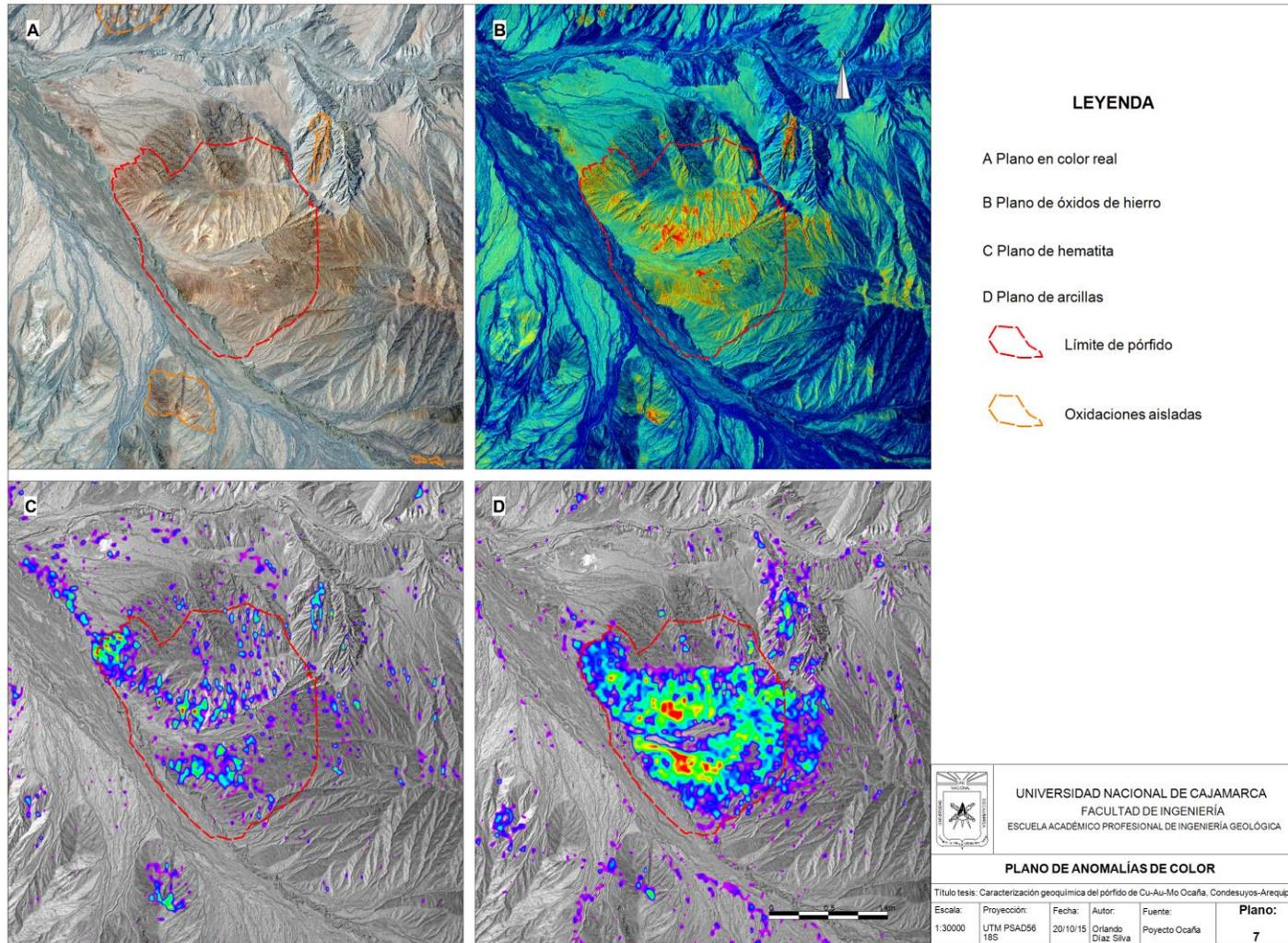
### **3.6 ASPECTOS DE GEOLOGÍA LOCAL Y ANOMALÍAS LOCALES**

#### **3.6.1 ANOMALÍAS LOCALES**

En la imagen ASTER, ver plano 7, se muestra una anomalía de color en toda la zona del pórfido Ocaña y el pórfido Pecoy principalmente en un área de 3x2 km, que es causada por la abundancia en superficie de arcillas, óxidos y sulfatos de hierro como: jarosita, hematita, además sulfatos y carbonatos de cobre; estos componentes del suelo dan una coloración pardo amarillenta al lugar; también se observa zonas aisladas con coloraciones similares circundando al área del pórfido Ocaña.

#### **3.6.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

De la columna generalizada de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, en la zona de ubicación del pórfido Ocaña encontramos las unidades más antiguas del Precámbrico que corresponden al Complejo Basal formado por gneis, anfibolitas, esquistos y meta sedimentos; seguidos por las super unidades del batolito de la costa como la tonalita-granodiorita Taibaya y la granodiorita-tonalita-monzogranito Incahuasi; como unidades más jóvenes solamente se encuentran escasas rocas volcánicas en las partes superiores de las cumbres pertenecientes al Grupo Barroso del Pleistoceno, y muchos depósitos aluviales del Cuaternario reciente como el tope de la columna estratigráfica. En la zona están ausentes las unidades del Jurásico al Plioceno que corresponde a una gruesa secuencia de rocas carbonatadas, areniscas-limo arcillitas y conglomerados, también están ausentes las rocas volcánicas del Neógeno. En la figura 9 se observa la columna estratigráfica generalizada de los cuadrángulos Chuquibamba y Cotahuasi, según (INGEMMET, 1994) Boletín 50A; solamente las unidades enmarcadas en los cuadrángulos punteados se encuentran en el área del pórfido Ocaña.



Plano 7. Anomalías de color en el pórfido Ocaña.

ERA	SISTEMA	SERIES	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Gpo. Andahua			Lavas basálticas-andesíticas.		
			Dep. Fluviales			Gravas polimícticas y cubierta vegetal.		
			Dep. Glaciofluviales			Gravas en matriz arenosa.		
		PLEISTOCENO	Dep. Morrénicos			Gravas en matriz limo-lítica.		
			Cpa. Barroso	Secuencia Superior Barroso 2	400		Lavas andesíticas, grises o negras.	
				DISCORDANCIA				
			Secuencia Inferior Barroso 1	800		Lavas andesíticas, dacíticas y basálticas grises o negras.		
			NEÓGENO	PLIOCENO	Fm. Sencca	150		DISCORDANCIA
					Fm. Hayllillas	500		Tobas grises, blancas, amarillas, rosadas. Tobas dacíticas, riolíticas.
					Fm. Alapabamba	1500		Tobas brechoides, riolíticas dacíticas.
	MIOCENO	DISCORDANCIA						
		Gpo. Tacaza		1500		Ignimbritas, aglomerados y brechas volcánicas, lavas.		
		OLIGOCENO						
	PALEÓGENO	EOCENO	Fm. Paracas	200		DISCORDANCIA		
			Fm. Caraveli	500		Lutitas, areniscas calcáreas amarillas. DISCORDANCIA		
			Fm. Sotillo	250		Conglomerados y areniscas.		
		PALEOCENO				Areniscas finas y limoarcillitas rojas.		
			Fm. Huanca	1000		Areniscas microconglomerádicas, grauwaca gris, conglomerados. Intrusivos menores.		
	MESOZOICO	CRETÁCICO	CENOMANIANO			DISCORDANCIA		
ALBIANO			Fm. Arcuquina	300		Calizas grises. Complejo Bella Unión.		
APTIANO			Fm. Murco	250		Areniscas, grises, blancas a rojizas. Limolitas verdes.		
NEOCOMIANO						Super Unidad Tiabaya Tonalita-Granodiorita.		
			Gpo. Yura	1500		Areniscas, grises blanquecinas. Lutitas y calizas grises. Cuarzitas, limolitas calcáreas. Super Unidad Incahuasi Granodiorita-Tonalita-Monzogranito.		
TITONIANO								
JURÁSICO		MEDIO	Fm. Socosani	500		Calizas, limoarcillitas, areniscas.		
						DISCORDANCIA		
PALEOZOICO		INFERIOR	Gpo. Ongoro	1000		Pizarras, negras. Esquistos grises claros a verdes.		
PRECÁMBRICO			Complejo Basal	1500		DISCORDANCIA		
						Gneis Anfibolitas Metasedimentos		

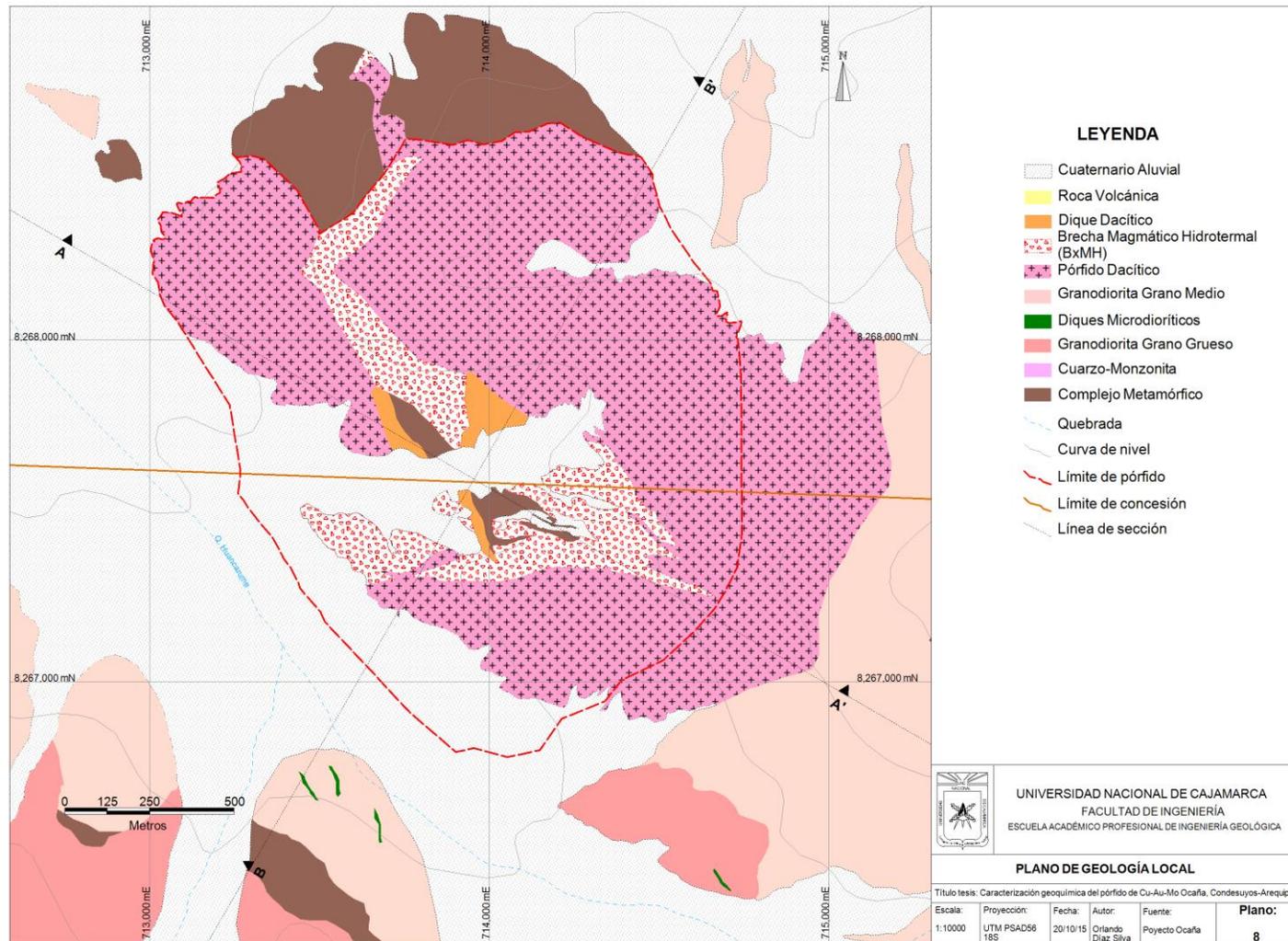
Figura 9. Columna estratigráfica generalizada según INGEMMET 1994.

Figura 9. Columna estratigráfica generalizada según INGEMMET 1994.

### **3.6.3 LITOLOGÍA LOCAL**

En superficie se observa una brecha magmático hidrotermal, pórfidos y diques dacíticos, afloramientos discontinuos del complejo basal dentro y fuera del pórfido, diferentes stocks del batolito de la costa y abundante cobertura aluvial, los afloramientos son visibles solamente en las partes altas y en donde las laderas fueron cortadas por quebradas; con la perforación diamantina se definió mejor la litología y alteraciones en profundidad dentro del pórfido Ocaña.

El pórfido Ocaña se encuentra emplazado en un pórfido dacítico y a la parte central una brecha magmático hidrotermal que tiene características multi fase, esta brecha en profundidad grada a un pórfido dacítico con abundantes fenocristales de cuarzo; dentro del pórfido Ocaña encontramos algunos bloques suspendidos del complejo basal como esquistos y gneis, todo el sistema de pórfido está cortado por algunas dacitas porfiríticas tardías como diques; en gran parte de todo su contorno el pórfido Ocaña está rodeado de depósitos aluviales que hacia la quebrada huancarume en la parte Oeste está a una profundidad >50 m. Se puede observar claramente que las rocas encajonantes son las granodioritas-tonalitas del batolito de la costa en sus diferentes fases y algunas de las cuales presentan anomalías de color, a la parte exterior del pórfido el complejo basal se encuentra suspendido como colgados sobre el batolito de la costa. En el plano 8 de la geología local se muestra las unidades que forman el pórfido Ocaña y las rocas encajonantes correspondientes al batolito de la costa y el complejo basal.



Plano 8. Geología local.

### **3.6.3.1 Brecha magmático hidrotermal**

Se ubica en la parte central del pórfido Ocaña cuyo cuerpo principal debido a la erosión formó una depresión con laderas empinadas, gran parte se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios aluviales, se proyecta hacia las laderas empinadas y se ve claramente en los lechos de las quebradas; en superficie se observa con clastos angulosos a sub redondeados, algunos con fuerte silicificación con rastros de pirita y calcopirita, muy poca matriz con presencia de trazas de calcopirita y rastros de biotita secundaria, está cortada por finas venillas de cuarzo. Más al Este al contacto con el pórfido dacítico, es polimíctica con fragmentos angulosos a sub redondeados de pórfido dacítico, esquistos y gneis en algunas zonas con calcopirita diseminada, la matriz es fina, silicificada con pirita diseminada, también se ha encontrado matriz intrusiva en algunas partes localizadas al contacto con el pórfido dacítico; a unas decenas de metros al Este del campamento la brecha tiene un color verde oscuro con fragmentos angulosos y matriz fina con contenido de turmalina y rastros de biotita secundaria, hay partes donde se observa abundante matriz con apariencia de harina de roca. En profundidad en los núcleos de sondajes diamantinos está con abundantes clastos y matriz, los clastos son redondeados a angulosos, biotita secundaria y calcopirita, pirita en la matriz, cortada por venillas de cuarzo, hacia los bordes del pórfido grada a una brecha clasto soportado con muy poca matriz hasta confundirse sólo como una roca fracturada, los clastos son polimícticos de diferentes pórfidos principalmente hacia los bordes, en la matriz en algunas zonas se observa magnetita.

También en los núcleos de perforación diamantina a la parte Este la brecha se observa con abundantes clastos redondeados y matriz fina con calcopirita, magnetita y venillas de cuarzo como fragmentos, tiene buenos valores de oro, la mayoría de los clastos son de pórfido diorítico, otros clastos son de pórfido dacítico con alteración potásica, su afloramiento en superficie se observa con un color verdoso y abundante harina de roca, la matriz con trazas de biotita secundaria y tourmalina; no se llegó a impactar en profundidad el pórfido diorítico con la perforación diamantina, pero esta brecha está relacionada con la etapa de alteración potásica por encontrarse biotita secundaria en la matriz y cortada por algunas venillas de cuarzo tipo A.

Es importante mencionar que por la diversidad de características de la brecha magmático hidrotermal, todo el cuerpo de brecha pertenece a varias fases de brecha formadas durante la evolución del pórfido Ocaña, la cual será mejor clasificada con un buen estudio de petrografía. En la foto 6 se observa la brecha magmático hidrotermal: (A) brecha con fragmentos polimícticos sub redondeados de roca metamórfica y dacita, con matriz de biotita secundaria cloritizada; (B) brecha monomíctica con fragmentos angulosos de pórfido dacítico y matriz de anhidrita; (C) brecha polimíctica con fragmentos de pórfido dacítico y roca metamórfica de diferentes tamaños, matriz color gris con biotita secundaria y magnetita; (D) brecha monomíctica con fragmentos sub redondeados de pórfido dacítico y matriz exclusivamente de biotita secundaria, además está cortada por venillas de cuarzo.

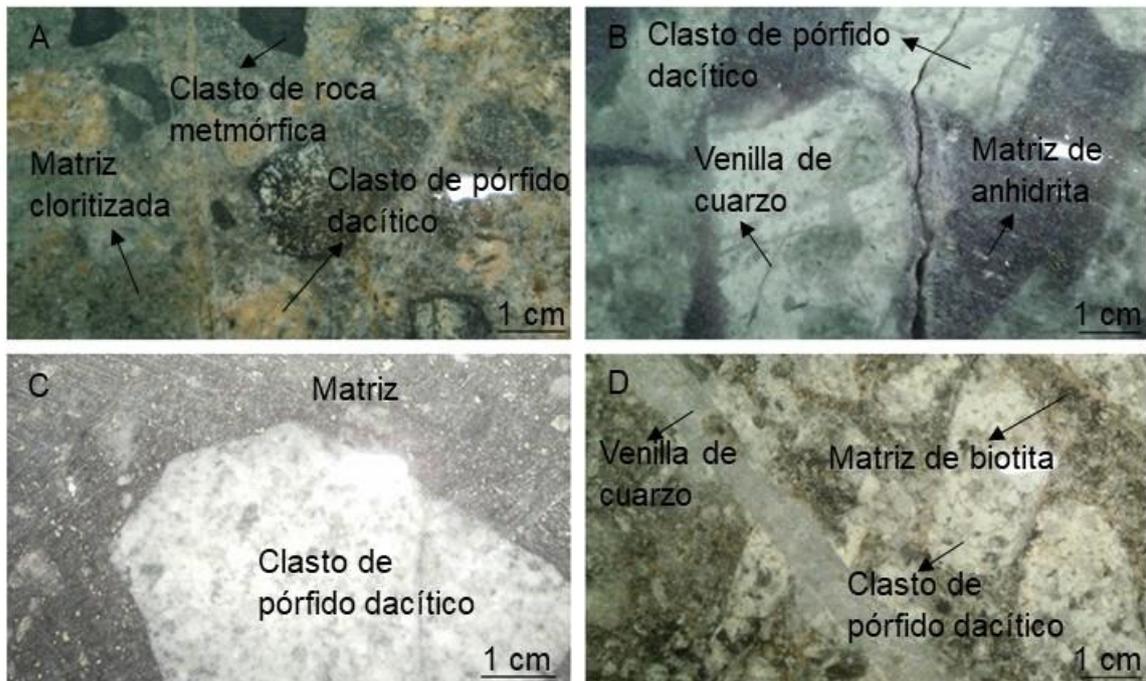


Foto 6. Tipos de brechas magmático hidrotermales, A y C polimícticas, B y D monomícticas.

### 3.6.3.2 Brechas tardías

Se observan como diques de anchos centimétricos que cortan a la brecha magmático hidrotermal y al pórfido dacítico con stockwork de venillas de cuarzo, sólo se han encontrado en los sondajes diamantinos, presentan color gris oscuro con abundante matriz muy fina, los clastos son de pórfido dacítico y/o fragmentos

de venillas de cuarzo muy pequeños menores a 1 cm, fuertemente redondeados, la mineralización es de pirita diseminada en la matriz.

Por las relaciones de corte y la presencia solamente de pirita en su matriz estos diques son tardíos no relacionados con las etapas de mineralización, producto solamente del vapor de aguas calientes, las venillas de cuarzo del stockwork se truncan en sus contactos, no llegando a ser cortados por dichas venillas. En la foto 7 se muestran los diques de brecha tardíos: (A) brecha con el porcentaje de matriz mayor al 80% con pocos fragmentos pequeños de pórfido dacítico y fragmentos de venillas de cuarzo; (B) contacto del pórfido dacítico con el dique de brecha, se observa que las venillas de cuarzo no pasan al dique de brecha.

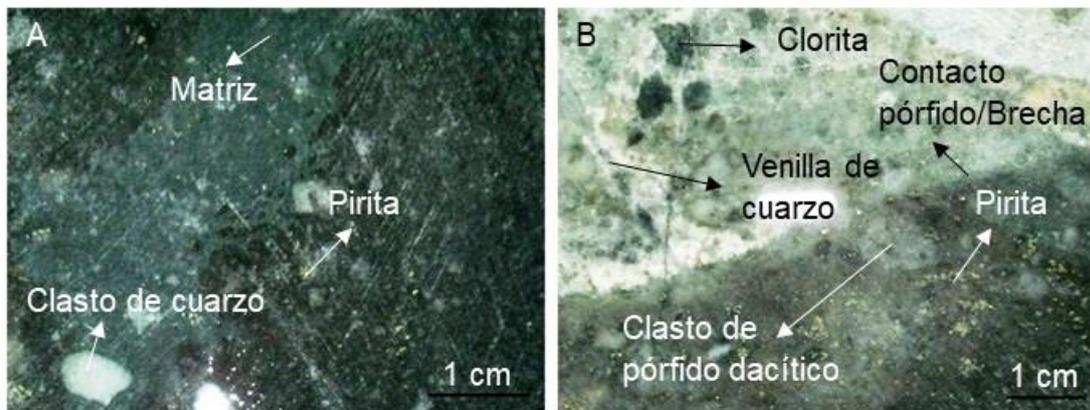


Foto 7. Diques de brecha tardíos.

### 3.6.3.3 Pórfido dacítico

En superficie se encuentra rodeando a la brecha magmático hidrotermal con fuerte silicificación localizada, sericitización, y oxidación, en su interior se nota fenocristales de cuarzo con un débil stockwork de venillas de cuarzo y rastros de calcopirita, también se observa con abundantes venillas de pirita y cuarzo fuertemente oxidadas, hacia los contactos con la brecha magmático hidrotermal se observa clastos de gneis y esquistos; en superficie se extiende a la parte NO hacia la concesión Barreno de Trafigura (Enns, 2011).

En los núcleos de los sondajes diamantinos se observa que inmediatamente debajo de la brecha magmático hidrotermal, el pórfido dacítico tiene abundantes fenocristales de cuarzo en una matriz más fina de plagioclasa, con ferro magnesianos alterados a biotita secundaria, cortado por un denso stockwork de

venillas de cuarzo, feldespato potásico y venillas de anhidrita, en partes el pórfido dacítico grada paulatinamente de una zona fracturada a la brecha magmático hidrotermal. Hacia los bordes el pórfido dacítico cambia sus características, disminuyendo la cantidad de fenocristales de cuarzo, aumentando la matriz de plagioclasa fina, se incrementa la cantidad de ferro magnesianos todos alterados a biotita secundaria y clorita, también disminuye la cantidad de venillas de cuarzo.

Por relaciones de corte, la brecha magmático hidrotermal presenta fragmentos del pórfido dacítico y está cortada por el stockwork de venillas de cuarzo por lo tanto el pórfido es de edad anterior a la brecha magmático hidrotermal relacionado a las atapas tempranas de alteración potásica.

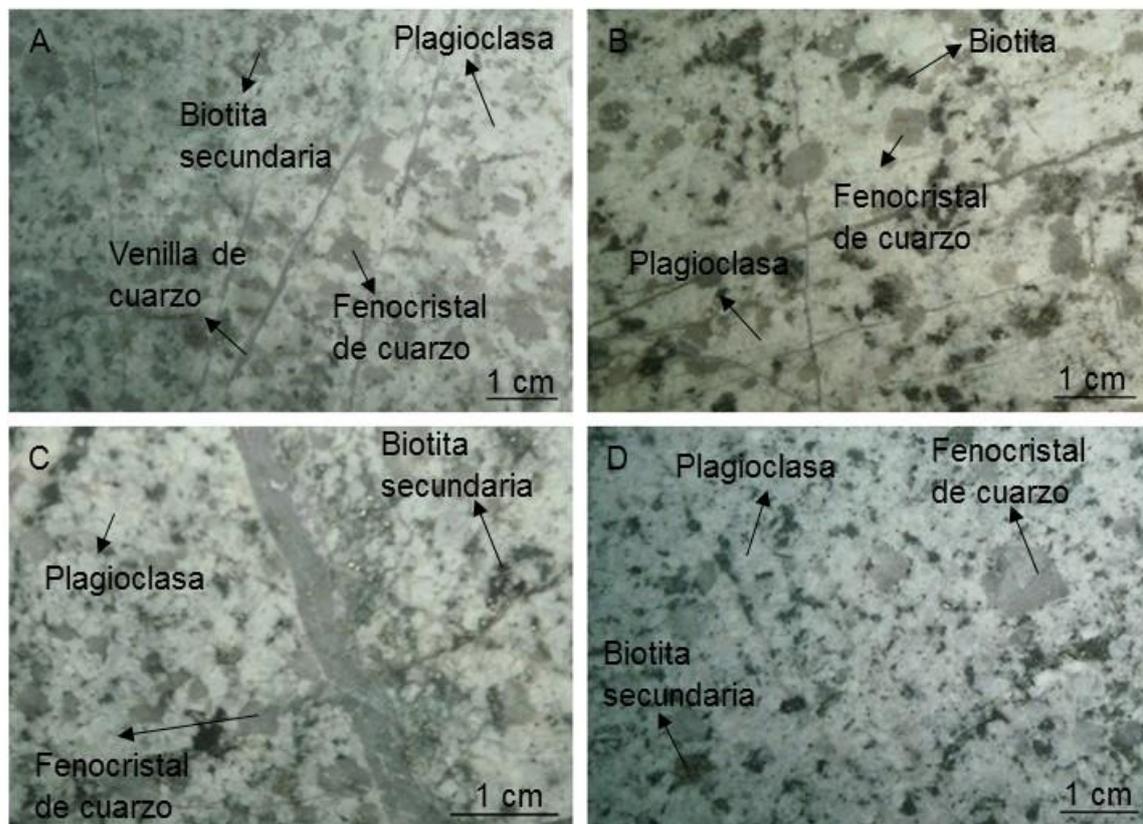


Foto 8. Porfidos dacíticos.

En la foto 8 se observa los pórfidos dacíticos: (A) presenta abundantes fenocristales de cuarzo con finas venillas de cuarzo en una matriz de plagioclasa blanca; (B) fenocristales de cuarzo más redondeados, incremento de ferro magnesianos alterados a biotita secundaria; (C) fenocristales de cuarzo en matriz de plagioclasa, incremento del grosor de venillas de cuarzo y pocos ferro magnesianos alterados a biotita secundaria; (D) pórfido dacítico a los bordes, con pocos fenocristales de

cuarzo, abundante matriz de plagioclasa, ferro magnesianos alterados a biotita secundaria y clorita, sin venillas de cuarzo.

#### 3.6.3.4 Dacita porfirítica

Se encuentra como diques que cortan a la brecha magmático hidrotermal y al pórfido dacítico, no se observan en superficie solamente en algunos tramos discontinuos de algunos núcleos de sondajes diamantinos, presenta fenocristales de plagioclasa blanca en una matriz apretada de plagioclasa más fina equigranular, se observa muy pocos fenocristales de cuarzo o están ausentes, los ferro magnesianos están cloritizados. Estos diques en partes están cortados por venillas de cuarzo lo que indica que son de edad más temprana o anterior a la alteración sericítica.

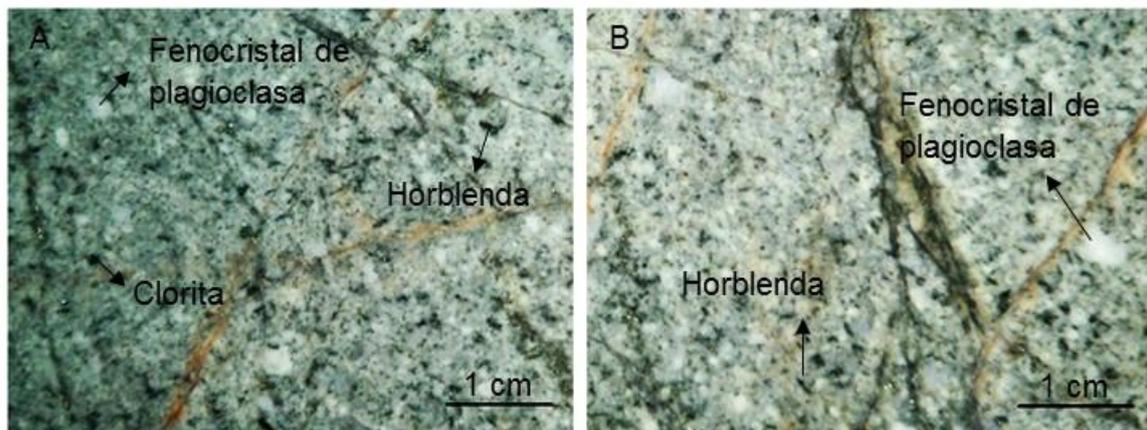


Foto 9. Dacita porfirítica.

#### 3.6.3.5 Dique porfirítico dacítico

Este dique aflora en superficie principalmente en forma tabular en una longitud de unos 400 m y un ancho de 30 m, con buzamiento casi vertical al Suroeste, está cortando a la brecha magmático hidrotermal y al pórfido dacítico, presenta fenocristales euhedrales de plagioclasa, cuarzo y biotita, se observa también rastros de biotita secundaria en ferro magnesianos, fue cortado por finas venillas de cuarzo y algunas venillas delgadas de feldespato potásico, en su interior se puede observar algunos fragmentos de pórfido dacítico más temprano.

Por las relaciones de corte este dique es posterior a la brecha magmático hidrotermal y al pórfido dacítico, probablemente se emplazó en la etapa final de la alteración potásica.

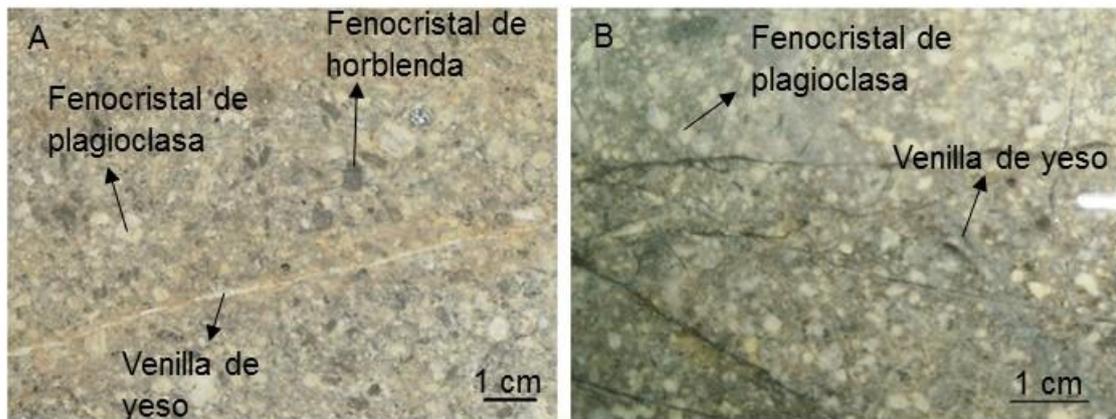


Foto 10. Dique porfirítico dacítico.

### 3.6.3.6 Granodiorita grano medio

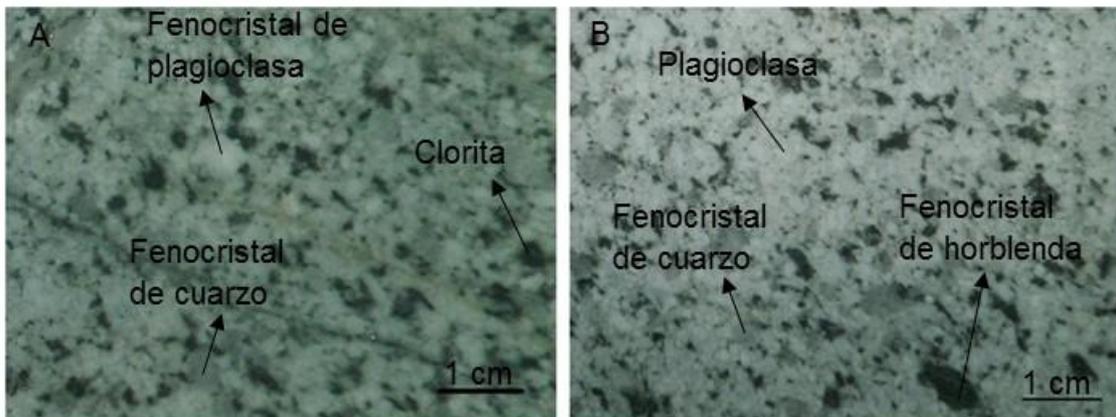


Foto 11. Granodioritas en contacto con el pórfido Ocaña.

Se observa en los alrededores del pórfido Ocaña como stocks de diferentes fases del batolito de la costa, algunas granodioritas contienen diferencias en la cantidad de ferro magnesianos, otras en el tamaño de grano, estas granodioritas probablemente son de las etapas finales del emplazamiento del batolito de la costa; a los contactos con el pórfido dacítico tiene débil stockwork de venillas de cuarzo, algunas de estas venillas de cuarzo y calcopirita se extienden hasta 2 km de distancia a partir del porfirítico dacítico; al Este y Sureste del pórfido la granodiorita está con fuerte oxidación y cortada por venillas tipo D paralelas, con dirección predominante Noreste, al Suroeste estos stocks están en contacto con rocas metamórficas del complejo basal y presentan débil alteración de clorita-epídota en ferro magnesianos. En la foto 11 se observan estas granodioritas: (A) y (B) granodioritas de grano medio con algunos fenocristales de cuarzo y plagioclasa, que están en contacto con el pórfido dacítico.

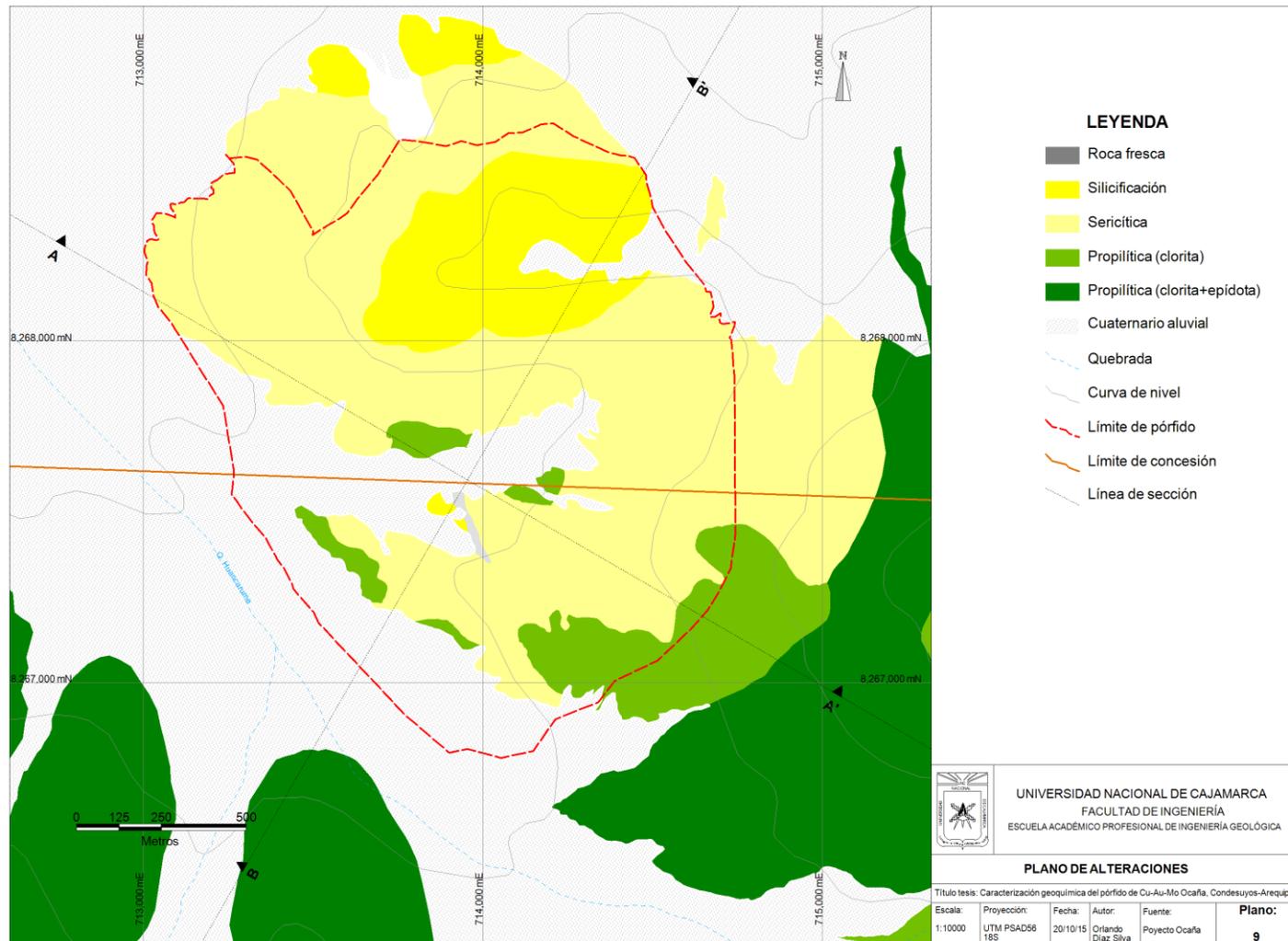
### **3.6.3.7 Depósitos aluviales en valles y laderas**

El pórfido Ocaña está rodeado de depósitos cuaternarios aluviales principalmente en las partes bajas de los valles donde tiene una profundidad >50 m, en las laderas las coberturas aluviales son <1 m de profundidad, muchos de estos depósitos bajan a los valles en forma de conos aluviales aumentando su espesor a las partes más bajas. Los depósitos aluviales están formados por abundante barro fuertemente compactado con bloques y fragmentos de litologías muy variadas como fragmentos de granodioritas, fragmentos de rocas metamórficas, fragmentos de vetas de cuarzo, fragmentos de magnetita, etc, ver foto 5.

## **3.7 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN**

### **3.7.1 ALTERACIONES LOCALES**

Las alteraciones en el pórfido Ocaña son típicas de pórfidos de cobre, en la parte superficial del pórfido hay principalmente una fuerte sericitización con destrucción total de feldespatos observándose solamente fenocristales de cuarzo residuales y una fuerte silicificación en zonas, además algunos rastros de alteración potásica acompañada de una fuerte oxidación de sulfuros, la sericitización gradúa inmediatamente hacia las partes más exteriores a clorita y más externamente a clorita-epídota, ver plano 9; hay alteraciones puntuales lejos del centro porfirítico que se evidencian por la coloración y el mapeo de superficie como en el lugar denominado Waka Waka donde se observa algunos diques dacíticos con alteración potásica muy incipiente presentando biotita secundaria en ferro magnesianos, dichos diques se encuentran rodeados de rocas metamórficas con fuerte propilitización con presencia de clorita-epídota, y no encontrándose mayores indicios de pórfido de cobre, estas anomalías quedan para trabajos futuros de más detalle, también hay otras zonas más puntualizadas con fuerte oxidación donde se observa silicificación, trazas de sericita y argilización.

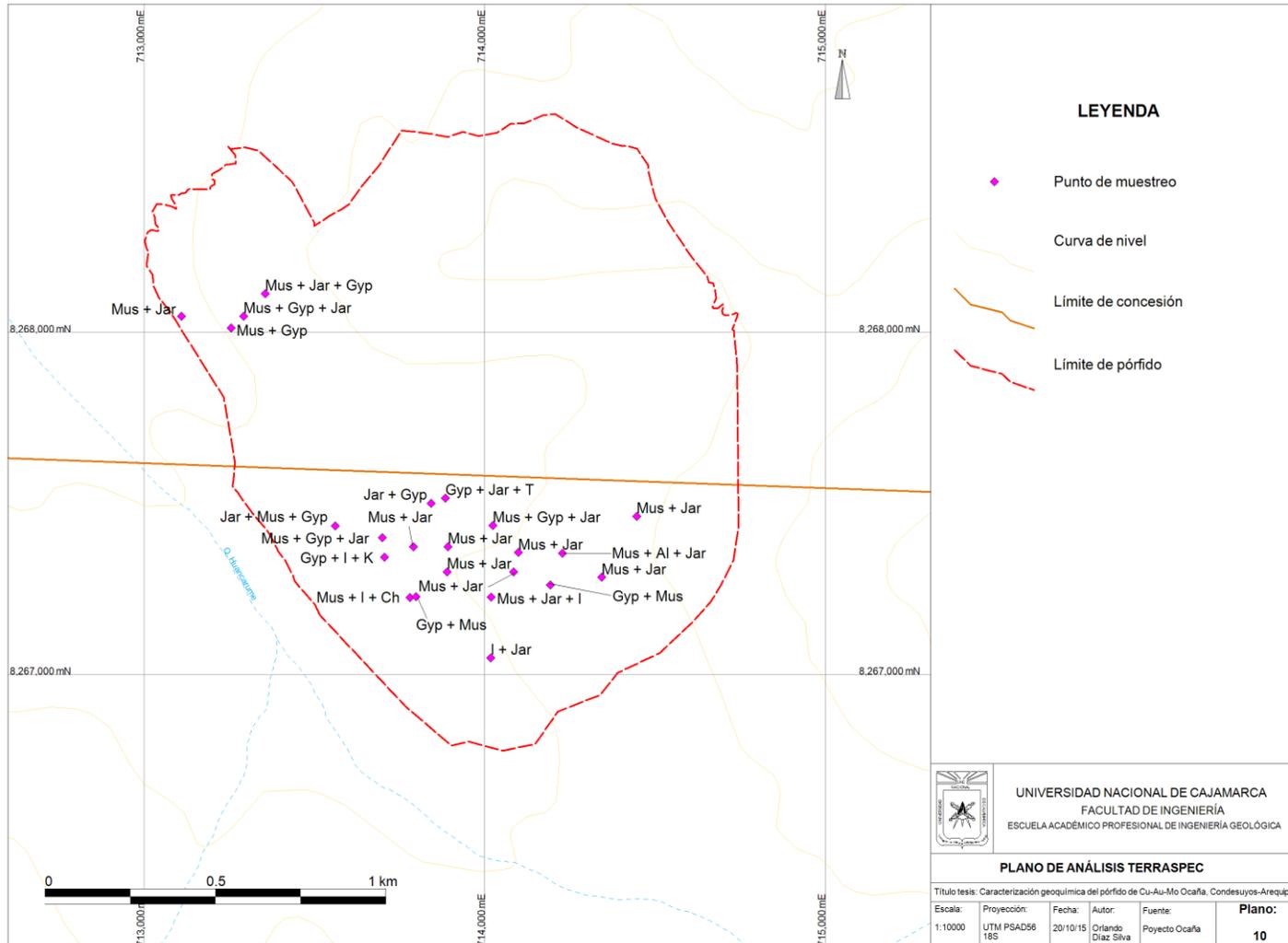


Plano 9. Alteraciones.

En los núcleos de sondajes diamantinos inmediatamente debajo de la alteración sericítica hay zonas de fuerte alteración clorita-sericita que reemplaza totalmente a la plagioclasa y a la biotita secundaria de la alteración potásica; hacia los bordes en los núcleos de los sondajes diamantinos se observa que la alteración potásica en ferro magnesianos va gradando a alteración clorítica en ferro magnesianos con algunos reemplazamientos de epidota. En el plano 4 se observa en superficie a la parte central la alteración sericítica y silicificación puntual, que en profundidad continúa metros abajo con la alteración sericítica y más abajo gradando a zonas de alteración clorita-sericita sobre imponiendo a la alteración potásica; hacia los bordes de la parte central se encuentra la alteración clorítica y más externo la alteración propilítica

### **3.7.1.1 Alteración silicificación**

En la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico en superficie se observa una fuerte silicificación caracterizada por el alto contenido de cuarzo de reemplazamiento pervasivo, sólo observándose algunos relictos de fenocristales de cuarzo del pórfido dacítico y algunos huecos dejados en la roca, junto hay sericita por reemplazamiento de feldespatos; se seleccionó un grupo de 23 muestras de la zona silicificada para análisis PIMA, no evidenciándose ensambles de alteración argílica avanzada, las muestras analizadas no presentan pirofilita, ni alunita, solamente se observó estos minerales en una muestra puntual, ver plano 10, por lo que quedó descartado la alteración argílica avanzada en dicha zona superficial. En el plano 10 se muestra el plano con ensambles de arcillas en la parte superficial de la alteración sericítica y silicificación, la mayoría son ensambles de sericita y óxidos de hierro, no se observa pirofilita que es típica de alteración argílica avanzada. Al=alunita, Gyp=Yeso, I=Illita, Jar=Jarosita, K=Caolinita, T=Tourmalina, Ch=clorita, Mus=moscovita.



Plano 10. Análisis TERRASPEC.

### 3.7.1.2 Alteración sericítica

La alteración sericítica en superficie está extendida junto a la silicificación con una mezcla de sericita hidrotermal y arcillas de intemperismo de los feldespatos dando superficialmente a todo el pórfido un color blanco anaranjado, en los núcleos de sondajes diamantinos se observa la alteración sericítica en las partes más superficiales sobre imponiendo a la alteración potásica con la destrucción total de los feldespatos a sericita color blanco, también sobre impone al feldespato potásico que le da un color blanco rosáceo, en algunas zonas se encuentra junto con clorita dando una tonalidad de color blanco verdoso, esta alteración está junto a venillas tipo D con centro de cuarzo-pirita y halo de sericita. En la foto 12 se observa la alteración sericítica: (A) reemplazamiento total de los feldespatos a sericita, anterior fue feldespato potásico del pórfido; (B) sericita verde que reemplazó feldespatos del pórfido.



Foto 12. Alteración sericítica.

### 3.7.1.3 Alteración clorita-sericita

Se observa solamente en los núcleos de sondajes diamantinos generalmente más por debajo de la alteración sericítica, se encuentra como sobre imposiciones a la alteración potásica, la sericita reemplaza a los feldespatos, la clorita está reemplazando a los ferro magnesianos del pórfido dacítico y así como también a la biotita secundaria, dando un color blanco verdoso con una apariencia de manchas alrededor de la alteración potásica, se encuentra también en zonas como intercalaciones con la alteración sericítica, hay buenos valores de cobre-oro en este tipo de alteración. En la foto 13 se observa la alteración corita-sericita: (A) brecha magmático hidrotermal con sericita reemplazando al feldespato potásico y la clorita

reemplazando ferro magnesianos; (B) pórfido dacítico con sericita y parches de clorita.

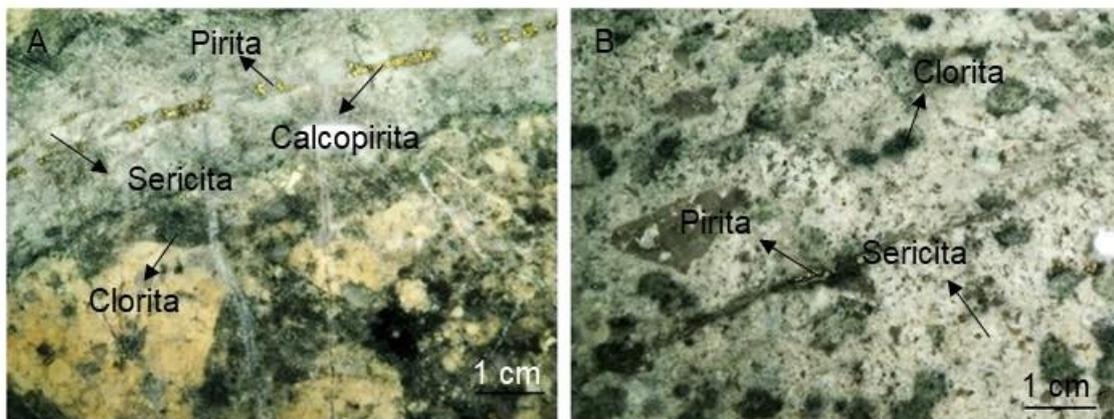


Foto 13. Alteración clorita-sercita.

### 3.7.1.4 Alteración potásica

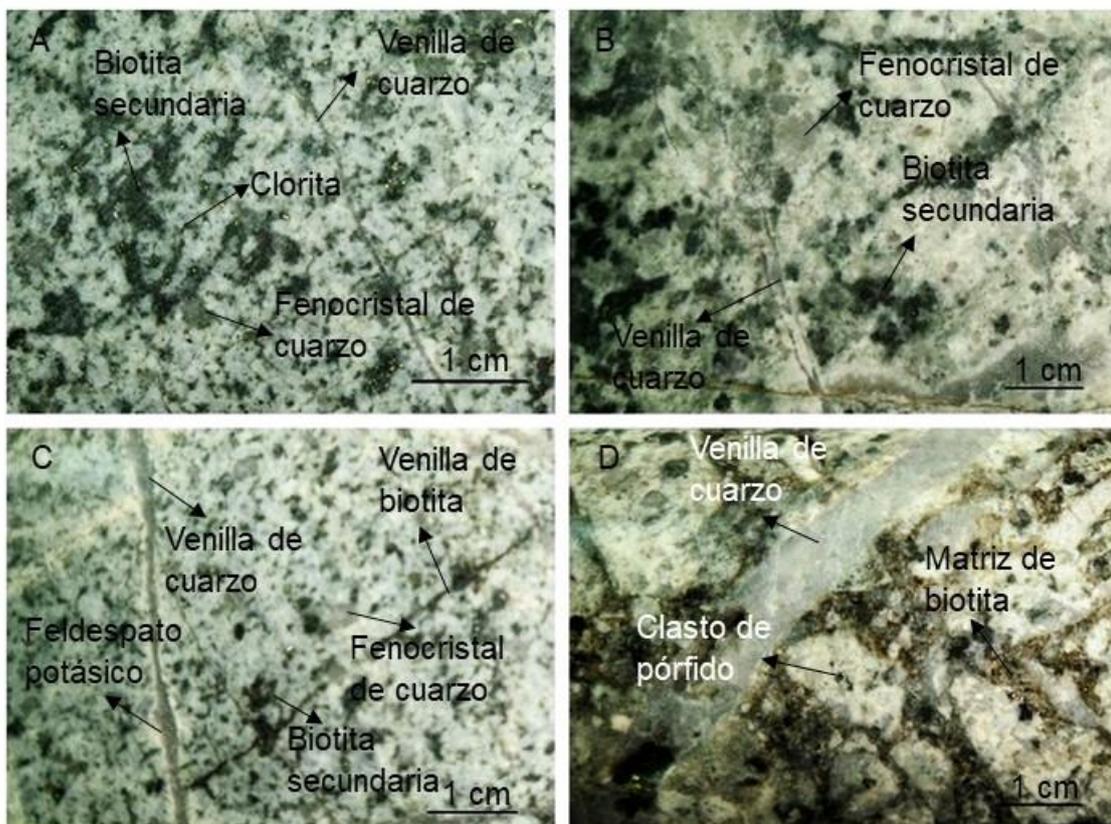


Foto 14. Alteración potásica.

En la brecha magmático hidrotermal superficialmente sólo se observa algunas trazas de biotita secundaria, rastros de magnetita hidrotermal y rastros de feldespato potásico, en profundidad sobre los núcleos de sondajes diamantinos se observa la brecha magmático hidrotermal con abundante biotita hidrotermal en la

matriz; el pórfido dacítico tiene finas venillas de biotita con los ferro magnesianos alterados a biotita secundaria, en partes hay feldespato potásico en venillas o como halos reemplazando fenocristales de plagioclasa, también hay finas venillas de anhidrita y de magnetita; en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita tenemos abundante magnetita como clastos y como venillas junto a calcopirita, además hay biotita secundaria, en esta brecha hay muy poco feldespato potásico y anhidrita. En la foto 14 se observa la alteración potásica: (A), (B) y (C) biotita secundaria reemplazando a ferro magnesianos del pórfido dacítico; (D) biotita secundaria en la matriz de la brecha magmático hidrotermal.

#### 3.7.1.5 Alteración clorítica

Más alejado y rodeando a la alteración sericítica o potásica está la alteración clorítica en los ferro magnesianos del pórfido dacítico o la granodiorita, dando una tonalidad verde oscuro a la roca; la alteración clorítica fue mapeada fuera del pórfido hacia el Este y Sureste del núcleo de sericita y silicificado, lo que sugiere condiciones de alteración hidrotermal periférica que esencialmente delimita el pórfido Ocaña (Enns, 2011). De una forma similar que en superficie, en los núcleos de sondajes diamantinos la alteración potásica en ferro magnesianos va pasando gradualmente a alteración clorítica. En la foto 15 se observa la alteración clorítica: (A) y (B) clorita reemplazando a ferro magnesianos de la granodiorita, que le da una tonalidad verde oscura a los cristales.

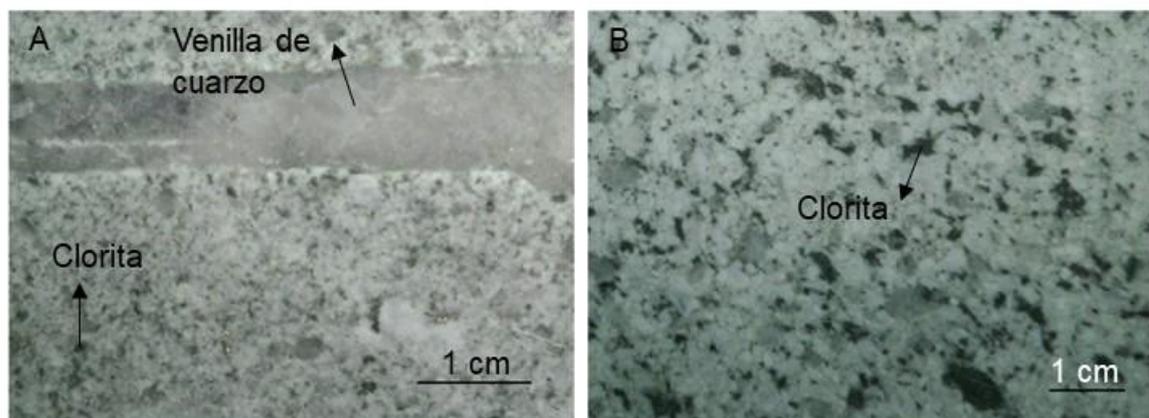


Foto 15. Alteración clorítica.

#### 3.7.1.6 Alteración propilítica

Al Sureste y al Suroeste como una alteración más exterior al halo clorítico está la alteración propilítica, con presencia de epidota y clorita tanto en venillas así como

diseminado en la granodiorita, la clorita está reemplazando a los ferro magnesianos como biotitas y hornblendas, la epidota se observa principalmente en venillas algunas con halo de feldespato dentro de la granodiorita, en la zona propilítica todavía se encuentran venillas muy aisladas de cuarzo con calcopirita lo que indica la gran extensión del venilleo de cuarzo. También es importante mencionar que parte de las rocas metamórficas presentan abundante epidota que corresponden a la alteración regional de facies de esquisto verde no relacionada al pórfido de cobre, por lo que no se debe confundir con epidota de alteración hidrotermal. En la foto 16 se observa la alteración propilítica: (A) epidota diseminada con clorita reemplazando ferro magnesianos en la granodiorita; (B) venilla de epidota con halo de plagioclasas; (C) plano de venilla de epidota; (D) fina venilla de epidota en la granodiorita.

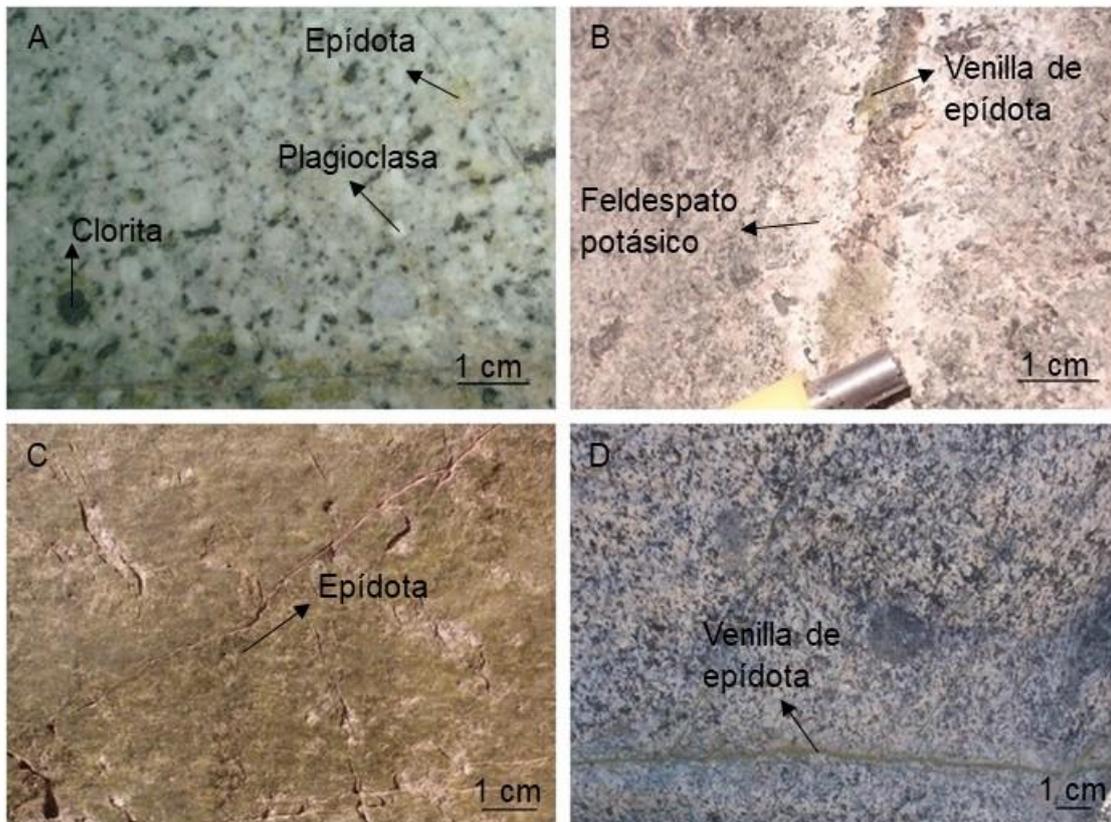


Foto 16. Alteración propilítica.

### 3.7.2 TIPOS DE VENILLAS EN EL PÓRFIDO OCAÑA

El stockwork en superficie es débil, solamente se observa finas venillas de cuarzo con algunas trazas de molibdenita, en profundidad el stockwork se hace más intenso con abundantes venillas de diferentes tipos, desde venillas asociadas a

etapas tempranas de alteración potásica hasta venillas tardías de la etapa de sobre imposición de alteraciones como venillas de cuarzo-pirita con halo de sericita. En la foto 17 se observa el stockwork de venillas de cuarzo, con diversos números indicando las secuencias de edades, desde el número 1 que representa la venilla más antigua hasta el número mayor que representa la venilla más joven: (A) venillas de cuarzo entrecruzadas en el pórfido dacítico; (B) finas venillas de cuarzo en un dique aplítico antiguo.

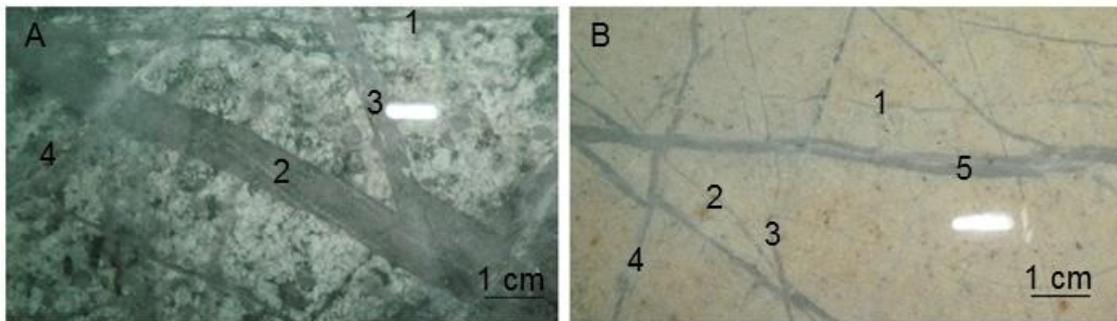


Foto 17. Stockwork de venillas de cuarzo.

### 3.7.2.1 Venillas tipo EB (Early Biotite)

Están en las partes más profundas del pórfido dacítico, son finas venillas de biotita, con bordes y continuidad irregular, no tienen calcopirita, en algunas la biotita se encuentra cloritizada, por sus relaciones de corte las venillas EB son más antiguas que las venillas tipo A. En la foto 18 se observan las venillas de biotita: (A) fina venilla de biotita cortada por delgadas venillas de cuarzo; (B) venilla de biotita discontinua cortada por una venilla de feldespato.

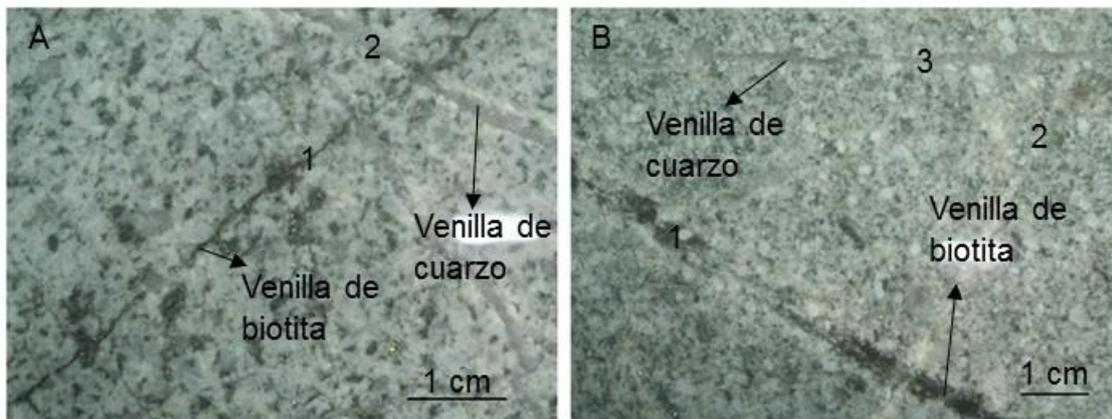


Foto 18. Venillas de biotita temprana EB.

### 3.7.2.2 Venillas tipo M

Son venillas tempranas, se encuentran en la alteración potásica junto a las venillas de biotita y las venillas tipo A en el pórfido dacítico, son finas y discontinuas en longitud, con bordes irregulares, no presentan calcopirita, están asociadas a las partes más profundas de la alteración potásica, fueron cortadas por las venillas de cuarzo tipo A y posteriores; se observa venillas de magnetita asociadas con cuarzo y calcopirita en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita, pero estas venillas son posteriores a las tipo M y probablemente asociadas a venillas tipo A. En la foto 19 se observa venillas tipo M: (A) y (B) finas venillas de magnetita discontinuas en la alteración potásica.

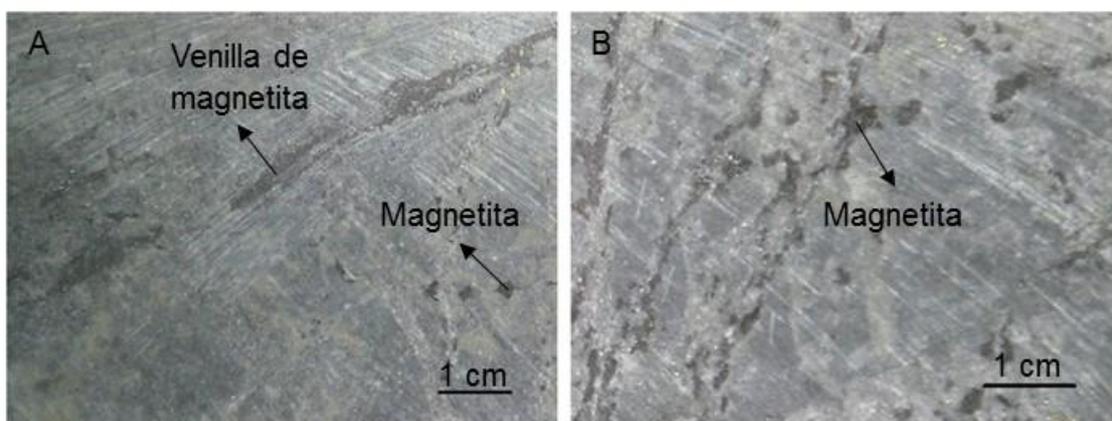


Foto 19. Venillas de magnetita M.

### 3.7.2.3 Venillas tipo EDM (Early Dark Micaceous)

En el pórfido dacítico se observa algunas venillas centimétricas con centro milimétrico de pirita con calcopirita y halo de sericita, el halo de sericita contiene pirita, calcopirita diseminada, biotita secundaria, clorita, en estas venillas el halo es

lo más resaltante y se puede confundir con venillas tipo D pero por sus relaciones de corte se determina que son venillas más antiguas que las tipo D ya que son cortadas por venillas tipo A y B. En la foto 20 se observa venillas tempranas de mica gris EDM: (A) y (B) venilla EDM con sutura central de pirita, calcopirita, halo de sericita gris con calcopirita diseminada, pirita diseminada y clorita; en sus relaciones de corte la venilla de plagioclasa está cortada por fina venilla de cuarzo tipo A, la venilla B de cuarzo con bordes de molibdenita corta a la venilla EDM y a la venilla de cuarzo con halo de feldespato tipo A; se puede ver que las venillas tipo EDM son contemporáneas a las tipo A o más antiguas, estas venillas tienen un parecido a las venillas tardías tipo D, pero por las relaciones de corte son venillas más antiguas que indican que hubo fluidos ácidos en la etapa temprana.

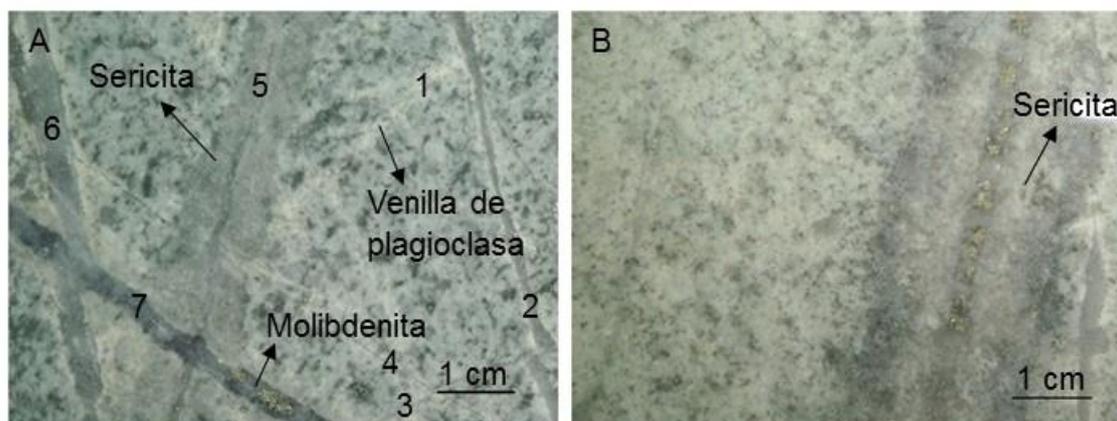
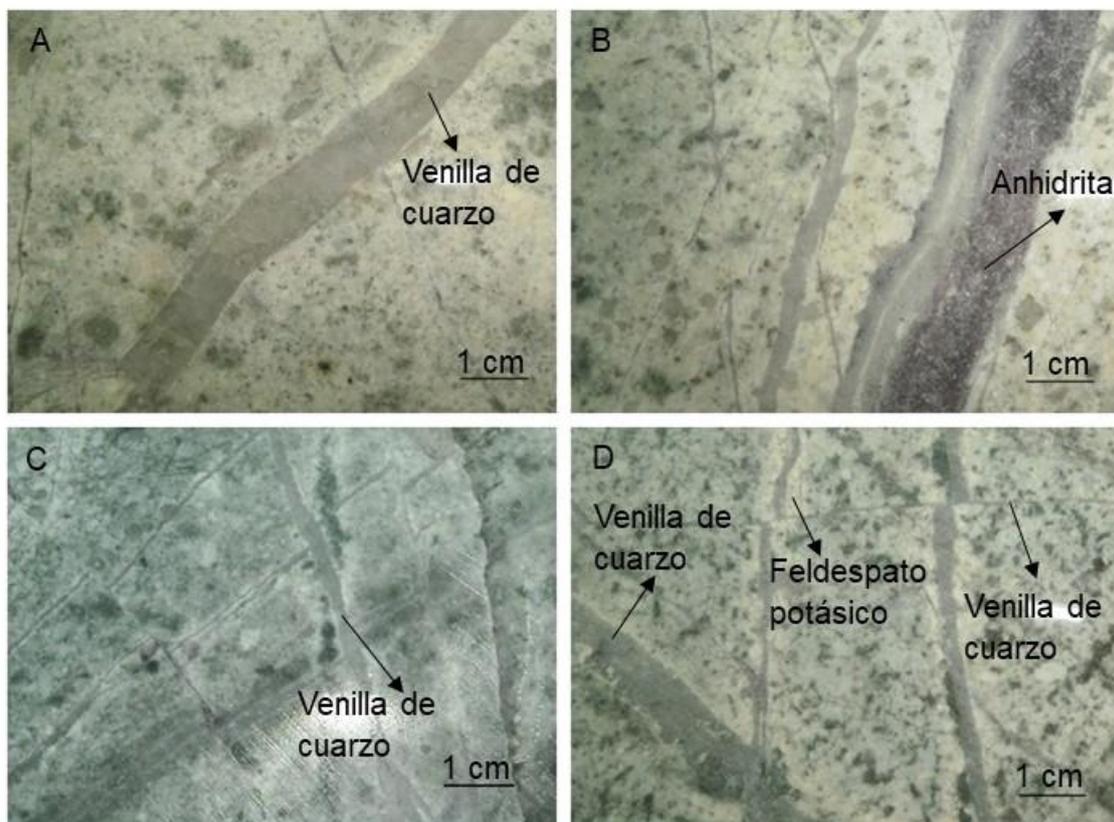


Foto 20. Venillas de mica gris EDM.

### 3.7.2.4 Venillas tipo A

Se presentan en varias generaciones en la etapa temprana de alteración potásica, las venillas A más antiguas tienen forma sinuosa con anchos variables y se cortan abruptamente; las venillas tipo A más tardías son más continuas en su longitud pero su borde continúa sinuoso, están acompañadas de anhidrita, algunas presentan borde de feldespato potásico, o el feldespato está dentro de la venilla, la calcopirita generalmente está de forma diseminada en las venillas A; algunas venillas tipo A tempranas tienen poca calcopirita, se observan con cuarzo solamente y escasos sulfuros, pero en las venillas A más tardías la calcopirita aumenta. Las diferentes generaciones de venillas tipo A se pueden determinar por sus relaciones de corte entre venillas tipo A, todas las generaciones de venillas A cortan a la brecha magmático hidrotermal y al pórfido dacítico. En la foto 21 se observa venillas de cuarzo tipo A: (A) venilla centimétrica de cuarzo con borde sinuoso, que se corta

abruptamente; (B) venilla de cuarzo con anhidrita y bordes sinuosos junto a finas venillas de cuarzo discontinuas; (C) finas venillas de cuarzo con halo de plagioclasa, cortadas por venillas de cuarzo posteriores; (D) venillas tipo A con halo de feldespato potásico cortadas por fina venilla de cuarzo; (E) venillas centimétricas tipo A con ancho variable y borde sinuoso; (F) venilla de ancho variable que en parte se hace milimétrica junto a una venilla de cuarzo-anhidrita más regular; (G) venillas de cuarzo A cortando a una venilla tipo EDM; (H) stockwork de finas venillas de cuarzo con feldespato; (I) brecha magmático hidrotermal con matriz de biotita y calcopirita diseminada en la matriz, cortada por una venilla de yeso, en otras se encuentra cortadas por venillas de cuarzo ver foto 6 B; (J) brecha magmático hidrotermal con matriz de anhidrita cortada por fina venilla de cuarzo tipo A; (K) dique de brecha con matriz de biotita secundaria y anhidrita, clastos de pórfido dacítico con algunos rastros de venillas de cuarzo en su interior; (L) dique de brecha con matriz de biotita, clastos de pórfido dacítico, cortado por una venilla de cuarzo tipo A; (M) dique de brecha con abundante matriz >80%, clastos dispersos y milimétricos, no fue cortado por venillas de cuarzo tipo A; (N) contacto de dique de brecha con el pórfido dacítico, se observa que las venillas A del pórfido se truncan en el contacto.



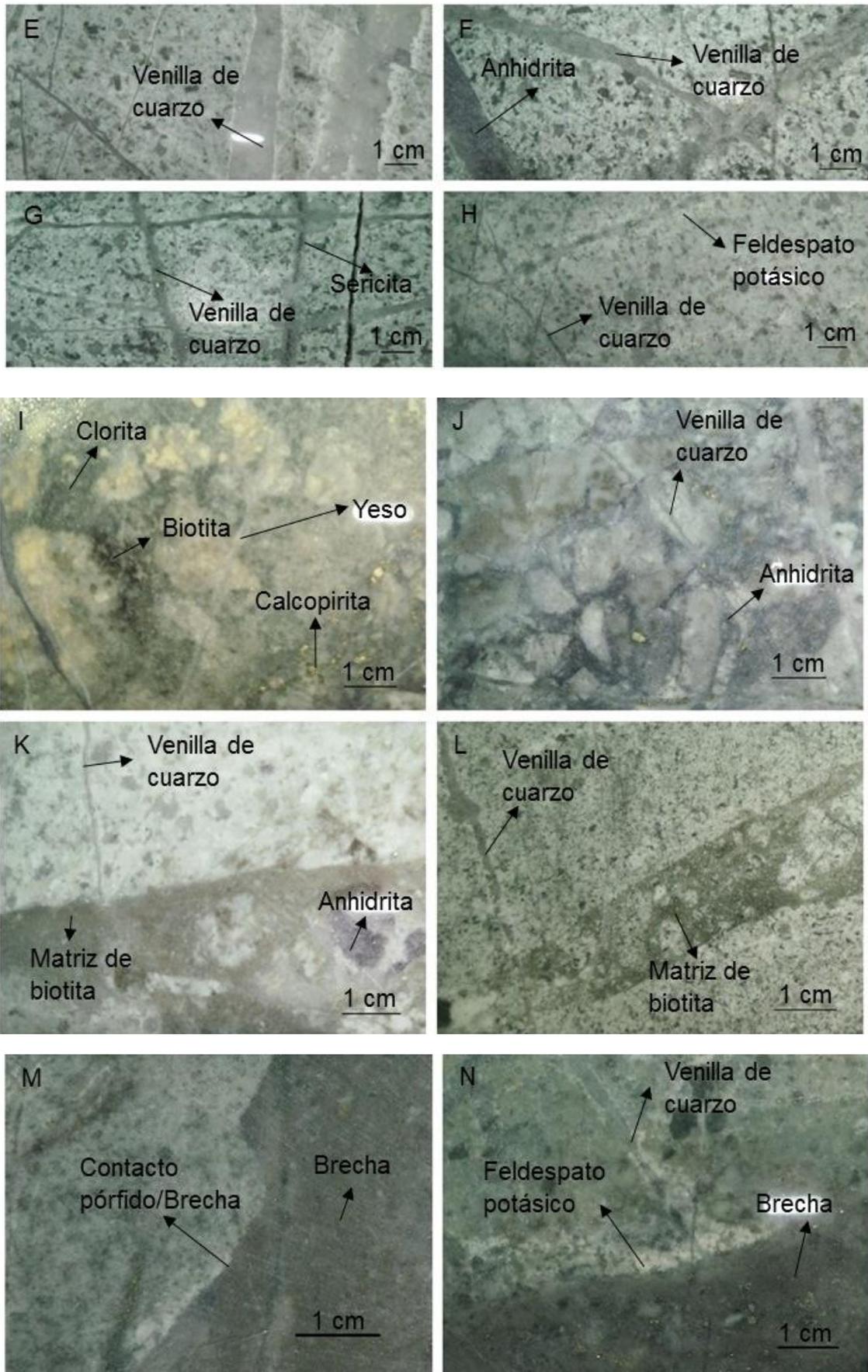


Foto 21. Venillas de cuarzo tipo A.

### 3.7.2.5 Venillas tipo B

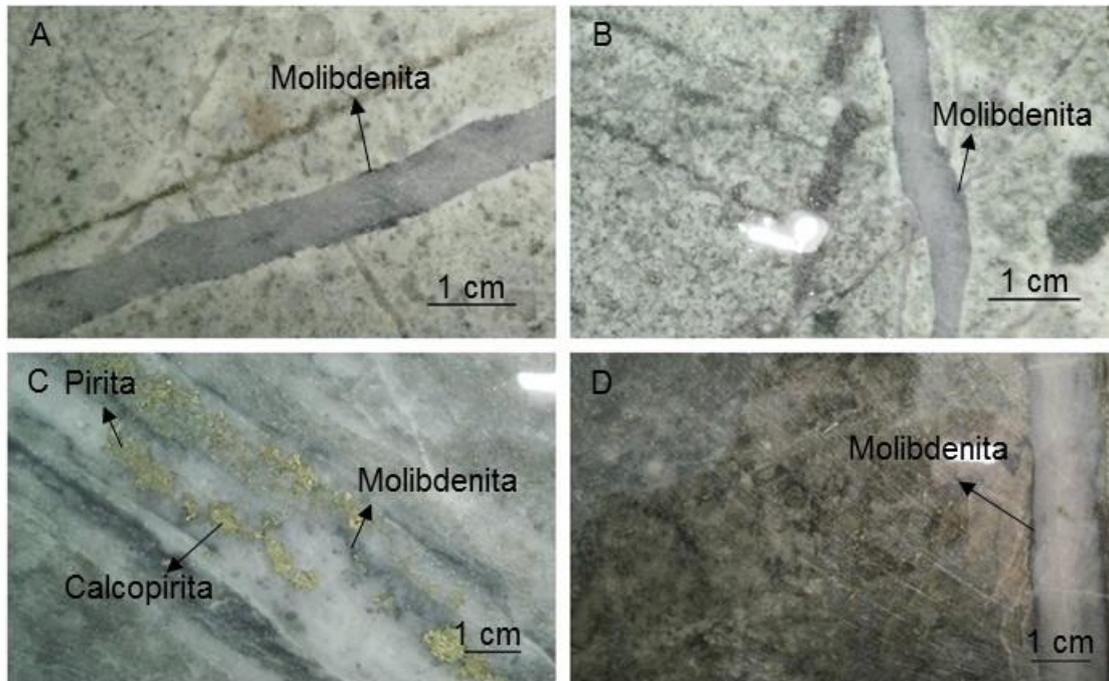


Foto 22. Venillas de cuarzo y molibdenita tipo B.

Son venillas posteriores a las tipo A, debido a que siempre se encuentran cortando a cualquier generación de venillas tipo A, el cuarzo es el mineral principal, también hay anhidrita, pero su característica principal es la presencia de molibdenita generalmente hacia los bordes de la venilla, se observan en el pórfido dacítico y en la brecha magmático hidrotermal. En la foto 22 se observa venillas tipo B de cuarzo con bordes de molibdenita: (A) venilla de cuarzo con borde discontinuo de molibdenita cortando a fina venilla de cuarzo; (B) venilla de cuarzo con borde sinuoso de molibdenita cortando a finas venillas de biotita y cuarzo; (C) venilla de cuarzo, pirita, calcopirita con borde de molibdenita; (D) venilla de cuarzo con borde continuo de molibdenita que corta zona de biotita secundaria.

### 3.7.2.6 Venillas tipo D

Están formadas por cuarzo-pirita con halo de sericita o solamente por pirita con halo de sericita, cortan a todas las venillas más antiguas, se formaron en una etapa caracterizada por el ataque ácido a los feldespatos, donde se observa estas venillas hay alteración sericítica con abundante pirita diseminada y una roca resultante de color blanco. En la foto 23 se observa venillas tipo D: (A) y (B) venillas con centro de pirita, halo de sericita con pirita diseminada.

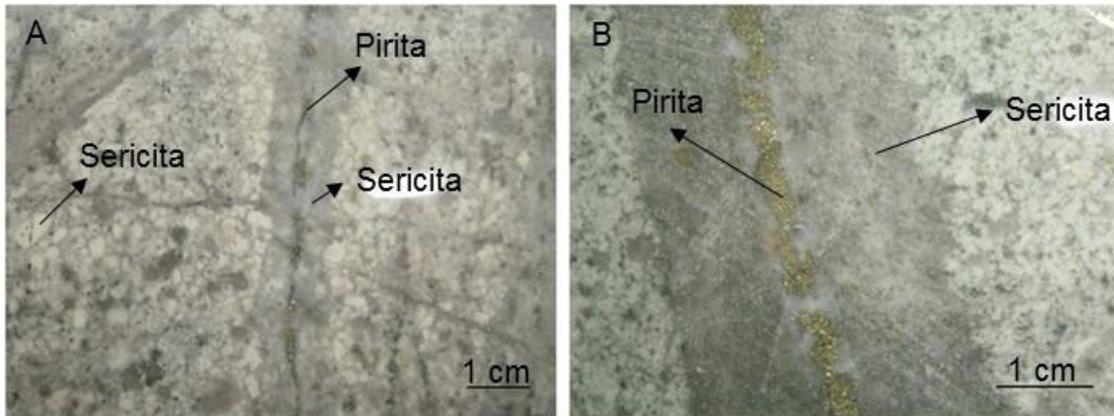


Foto 23. Venillas tipo D.

### 3.7.2.7 Venillas con halo de plagioclasa

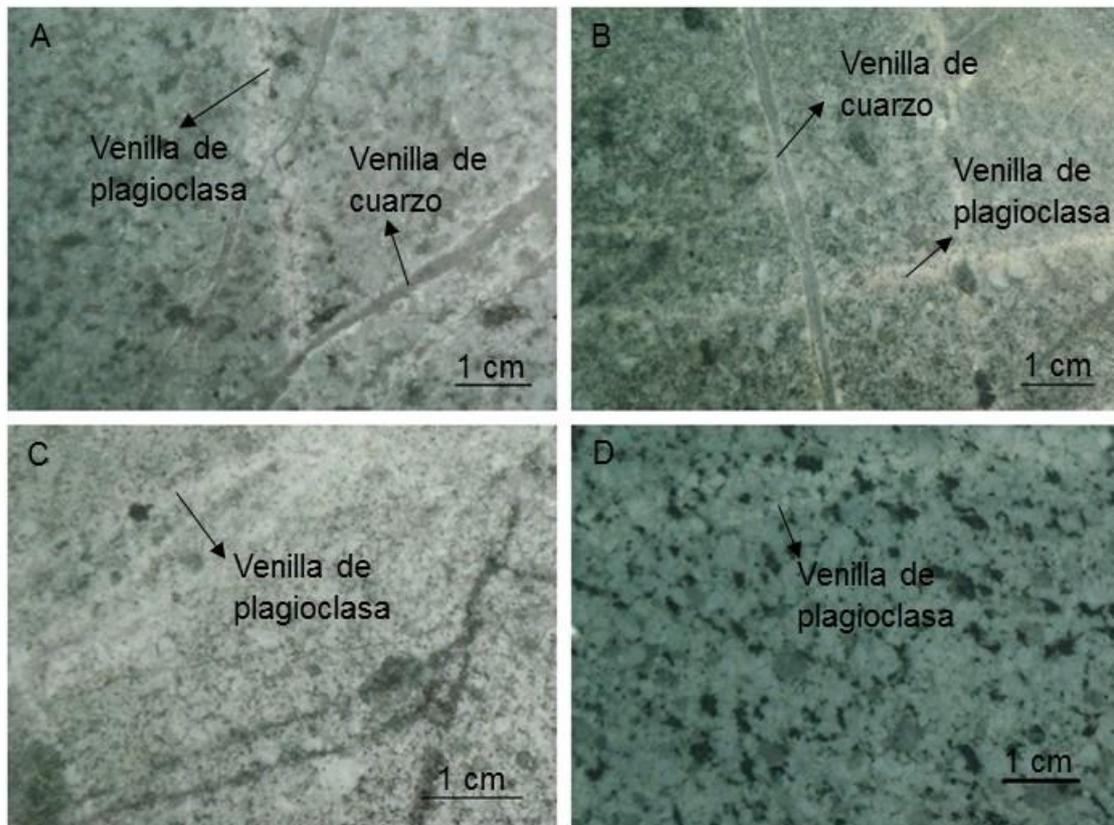


Foto 24. Venillas de plagioclasa.

En las partes más profundas de los núcleos de sondajes diamantinos en el pórfido dacítico se han encontrado algunas venillas formadas solamente por halos de plagioclasa, se observan que fueron cortadas por todas las venillas, lo que indica que son muy tempranas de las etapas iniciales del emplazamiento del pórfido. En la foto 24 se observa venillas tempranas de plagioclasa: (A) y (B) venillas de plagioclasa color blanco cortada por venillas de cuarzo A; (C) venillas de color

blanco cortadas por venillas de biotita esto indica que son venillas muy tempranas; (D) venilla de plagioclasa color blanco en la granodiorita cerca del contacto con el pórfido dacítico.

### **3.7.3 MINERALIZACIÓN EN EL PÓRFIDO OCAÑA**

Los indicios de la mineralización en superficie son óxidos de cobre como malaquita en pátinas, abundante cantidad de óxidos de hierro, algunas trazas de calcopirita en la brecha magmático hidrotermal y molibdenita en venillas de cuarzo, así como también abundante pirita diseminada y en venillas en toda el área; además se observa óxidos de cobre en rodados de materiales aluviales que han sido arrastrados unos kilómetros aguas abajo en dirección de los drenajes. También se observa un débil stockwork que se extiende varios cientos de metros alrededor, en la parte central está una depresión cuya roca es una brecha que se extiende hacia los laterales y hacia el pórfido Pecoy, esta brecha muestra rastros de magnetita, biotita secundaria, y calcopirita.

#### **3.7.3.1 Mineralización hipógena**

La mineralización hipógena en los núcleos de los sondajes diamantinos está en forma diseminada y en venillas, se observa pirita, calcopirita en la brecha magmático hidrotermal, la calcopirita se encuentra principalmente en la matriz en forma diseminada asociada a la biotita secundaria, los clastos de pórfido dacítico también tienen calcopirita diseminada; el pórfido dacítico presenta pirita, calcopirita diseminada asociada a la alteración potásica junto con biotita hidrotermal y feldespatos potásicos, también la calcopirita está asociada a los diferentes tipos de venillas tempranas encontrándose diseminada dentro de las venillas; en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita existe una fuerte asociación de magnetita con abundante calcopirita y altos valores de oro; las sobre imposiciones de clorita-sericita también se asocia con calcopirita-pirita diseminada y valores de oro; fuera de la alteración potásica la calcopirita disminuye aumentando la pirita diseminada y en venillas; también dentro de la alteración potásica hay zonas de superposición de alteración sericítica color blanco la cual solamente contiene pirita diseminada y en venillas con ausencia de calcopirita, que sugiere re movilización del cobre.

### **3.7.3.2 Mineralización supérgena**

La mineralización supérgena en superficie está evidenciada por abundante oxidación, compuesta por limonitas como hematita, goethita y abundantes sulfatos como jarosita, también cantidades moderadas de óxidos de cobre que se encuentran como pátinas junto a los minerales residuales producto de la oxidación, este ambiente superficial nos indica que hubo una fuerte oxidación de los sulfuros principalmente pirita; en toda la zona lixiviada superficial hay valores económicos de cobre en óxidos por la abundancia de malaquita y otros óxidos de cobre.

#### **3.7.3.2.1 Capa lixiviada**

Sobre el pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal se dio una fuerte lixiviación de sulfuros, lo que se evidencia por los huecos dejados que fueron ocupados por sulfuros anteriores, y la abundante cantidad de óxidos de hierro, además de ocurrencias de óxidos de cobre, en la brecha magmático hidrotermal hay presencia de hematita color rojo de vino que indica que en estos lugares hubo presencia de calcocita; la cantidad de óxidos de hierro en superficie es fuerte, predominando la jarosita y sulfatos como yeso que son indicativos de condiciones supérgenas ácidas y en otros lugares hay hematita-goethita indicativo de condiciones de acidez intermedias y por ende poca lixiviación de cobre supérgeno. En la foto 25 se observa la brecha magmático hidrotermal en la capa lixiviada: (A) brecha magmático hidrotermal con clastos blancos sericitizados sin sulfuros ni óxidos de hierro, matriz lixiviada con óxidos remanentes y oquedades; (B) brecha magmático hidrotermal con clastos blanquecinos lixiviados, matriz de hematitas y limonitas con oquedades, venillas con remanentes de óxidos de hierro.

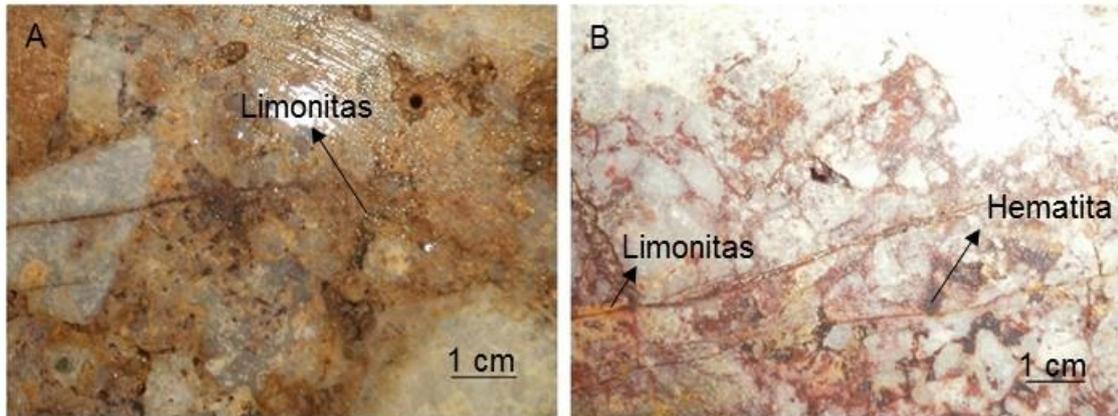


Foto 25. Zona lixiviada.

### 3.7.3.2.2 Capa de óxidos

Los óxidos de cobre van apareciendo en los núcleos de sondajes diamantinos a pocos metros de iniciado los sondajes y se observa principalmente malaquita, azurita en fracturas, los espesores de esta capa no son muy prominentes como de los grandes pórfidos, en promedio tiene espesor de 18 m lo que se hace atractivo para la extracción de cobre oxidado, en algunas fracturas casi al contacto con la zona de enriquecimiento se encuentra cobre nativo, algo de azurita ingresa por fracturas hasta la zona de enriquecimiento supérgeno. En la foto 26 se observa la zona de óxidos de cobre: (A) malaquita relleno de fracturas junto a yeso; (B) azurita relleno de fracturas de manera puntual; (C) malaquita en un plano de una fractura; (D) malaquita con neotocita en superficie.

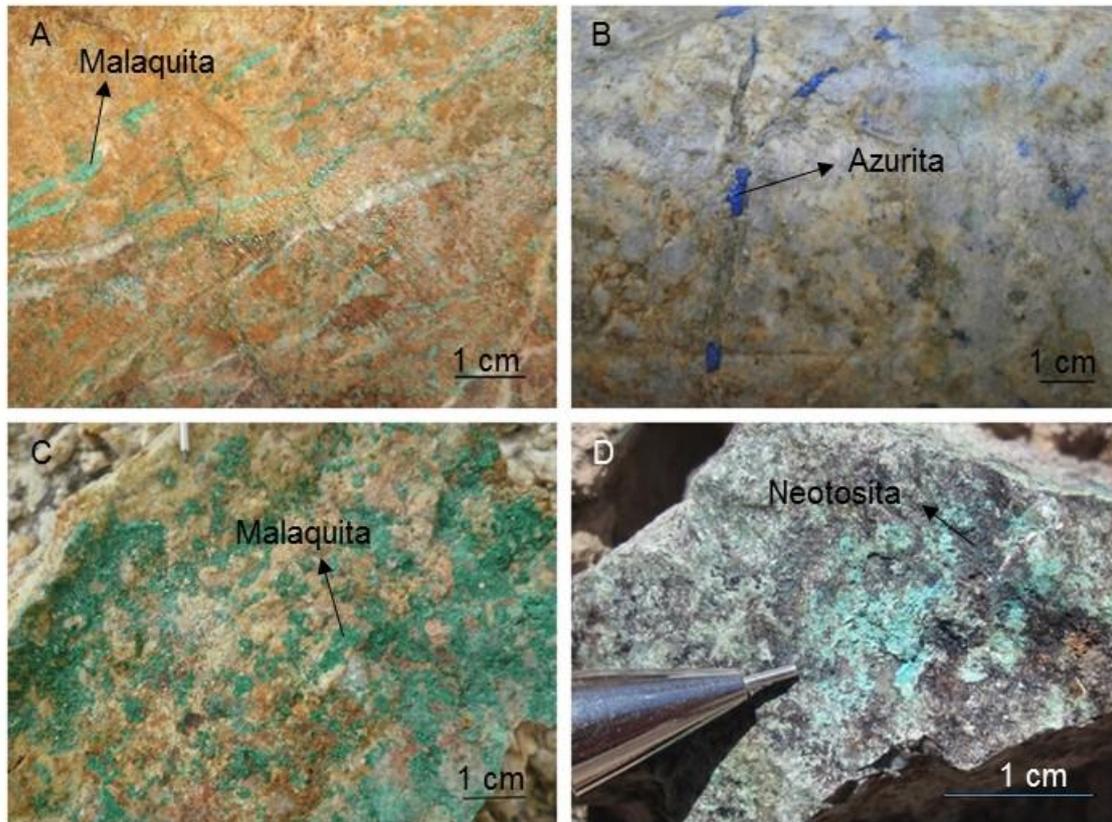


Foto 26. Zona de óxidos de cobre.

### 3.7.3.2.3 Capa de enriquecimiento supérgeno

La capa de sulfuros supérgenos desarrollada en el pórfido Ocaña tampoco presenta un ancho considerable, en promedio es de 11 m la que se desarrolló debajo el nivel freático generando calcocita, el contacto con la zona de óxidos no es brusco, sino es mediante una superposición de calcocita con óxidos de cobre posiblemente por subidas y bajadas del nivel freático. La calcocita está de manera diseminada, en algunos sondajes como revestimiento sobre cristales de pirita, hay un buen desarrollo de calcocita observada en los núcleos de sondajes diamantinos dirigidos hacia el Este con leyes de hasta 2% de cobre, de la misma manera a la parte Oeste hacia la dirección de la quebrada huancarume donde se tiene un ancho de unos 30 m de la capa de enriquecimiento supérgeno; el paso a la zona de sulfuros primarios tiene un contacto también transicional con superposición de calcocita y minerales primarios como pirita y calcopirita. Dada la dirección del movimiento de aguas subterráneas hacia el Oeste, hay una posibilidad adicional para el desarrollo de minerales supérgenos a esta zona, e incluso mineralización de cobre exótico debajo de la cobertura aluvial; un argumento parecido puede ser aplicado también al área de cobertura aluvial inmediatamente al Oeste de la quebrada huancarume, debido

a que en los niveles más bajos dentro del target Jimena, hay indicios de migración de cobre dentro de soluciones meteóricas (Enns, 2011). En la foto 27 se observa la zona de enriquecimiento supérgeno con valores de cobre entre 1 y 2%: (A) abundante calcocita diseminada de color gris; (B) puntos de calcocita como pátinas sobre pirita en la brecha magmático hidrotermal; (C) cobre nativo en oquedades y fracturas; (D) calcocita relleno de fracturas en la brecha magmático hidrotermal, reemplazando superficies de pirita.

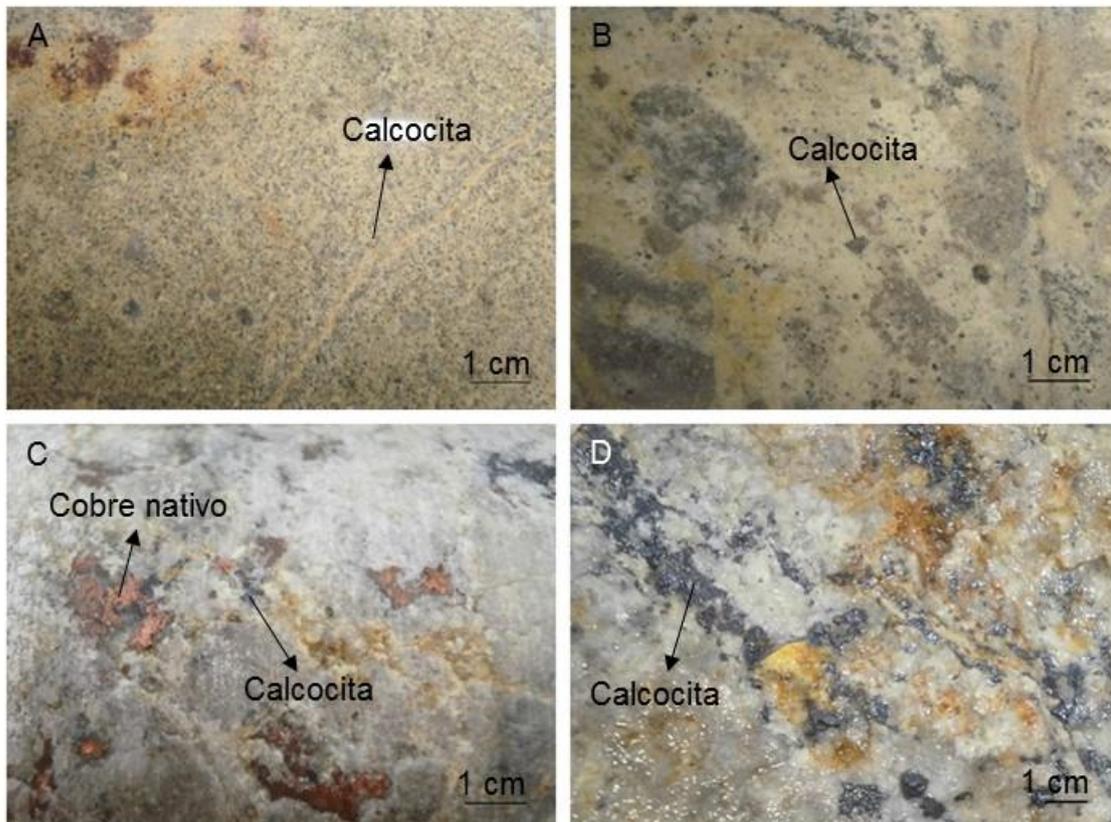


Foto 27. Zona de enriquecimiento supérgeno.

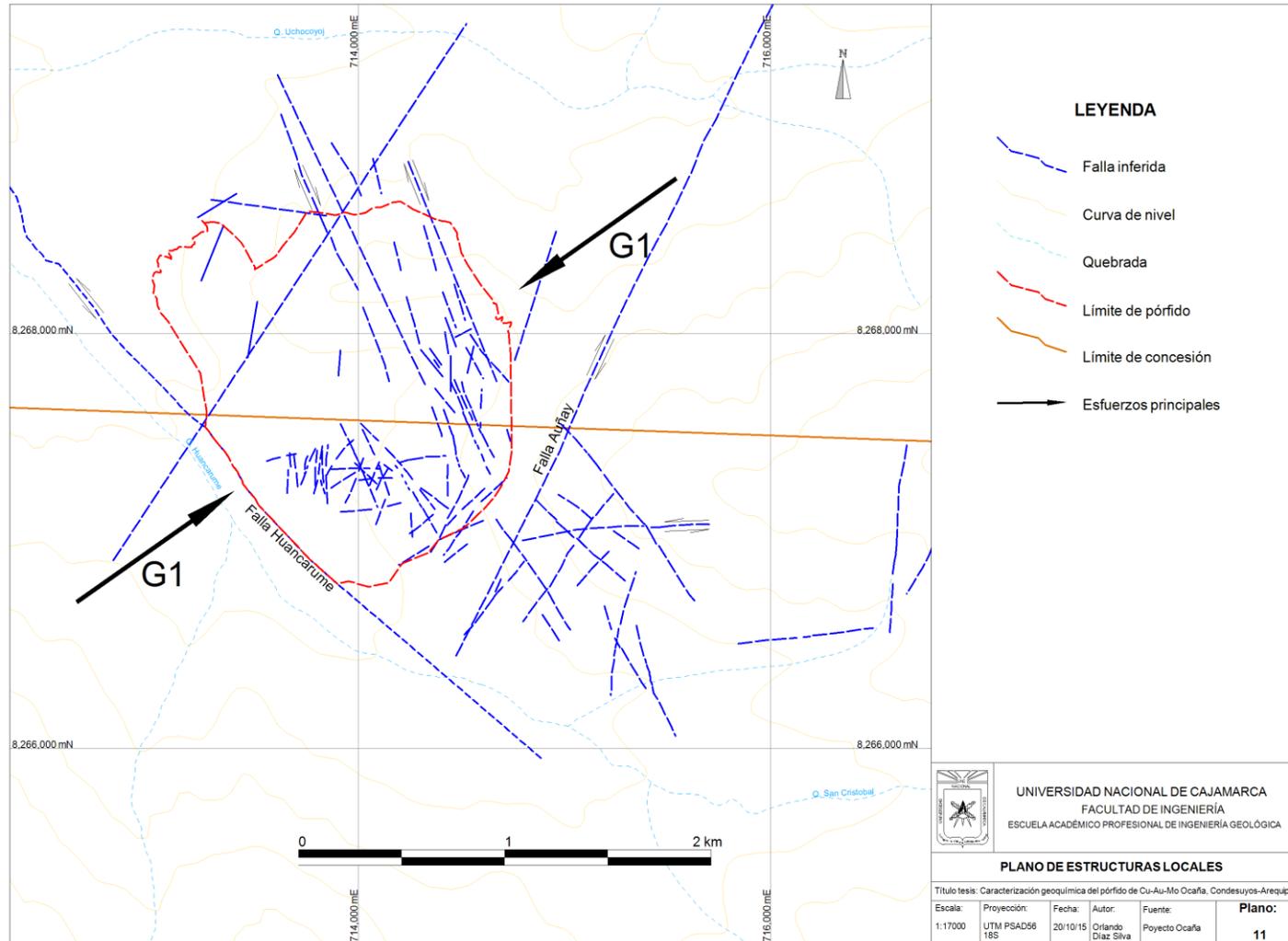
### 3.8 ASPECTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

#### 3.8.1 ESTRUCTURA LOCAL

El pórfido Ocaña se encuentra entre dos sistemas de fallas principales, ver plano 11, al Suroeste está la falla huancarume que se alinea con la quebrada del mismo nombre y con un sistema de fallas sub paralelas a esta con dirección  $N15^{\circ}O$ , esta falla es importante en el emplazamiento del pórfido ya que separa a éste con el batolito de la costa, más al Este se encuentra la falla auñay con dirección  $N20^{\circ}E$  que al igual que la falla huancarume creó una zona de debilidad que se evidencia por fracturamiento paralelo y posterior relleno como venillas tipo D en esta

dirección, además un sistema formado por fallas paralelas a esta también con dirección N20°E; por el análisis de movimiento de las estructuras, los esfuerzos principales tienen una dirección N55°E. Se observó también fallamientos secundarios enmarcados dentro de las fallas principales, algunas estructuras se muestran con fuerte deformación de rocas, otras con brechas de falla y panizo, en este grupo se determinó dos direcciones principales, la primera con fallas E-O con movimientos sinestrales que correlacionan con estructuras más regionales como el sistema de fallas Iquipi, la segunda con dirección N-S. De las dos fallas principales la falla huancarume fue cortada en el sondaje OKA11DH005 dirigido en dirección Oeste, la falla auñay sólo se observó por lineamientos.

La falla huancarume observada en los núcleos de sondajes diamantinos se muestra como una falla grande con una apreciable zona de deformación >2 m, además de roca molida de color negro y brecha de falla, con buzamiento de 80° al Este, se encuentra a una profundidad de 30 m debajo de la cobertura aluvial, esta falla en superficie sólo está inferida por la morfología de la quebrada; en el núcleo del sondaje la falla huancarume separa el pórfido dacítico al Este con un stock de granodiorita al Oeste que contiene solamente pirita diseminada y clorita junto a puntos de epidota. En la figura 10 se observa la proyección estereográfica de las estructuras del pórfido Ocaña mostradas en el plano 11, correspondientes a las fallas principales y sus sistemas paralelos a estas, junto a las estructuras secundarias E-O y N-S.



Plano 11. Estructuras locales en el pórfido Ocaña.

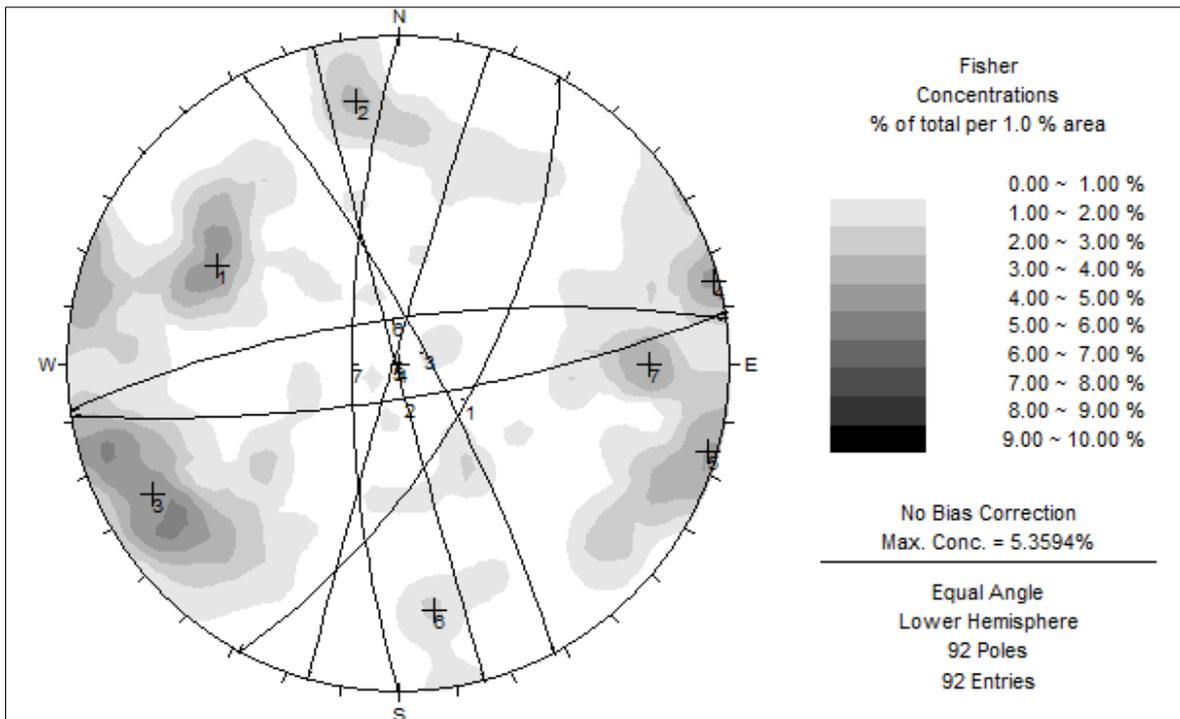


Figura 10. Direcciones de estructuras locales.

### 3.8.2 TENDENCIAS DE LAS VENILLAS EN EL PÓRFIDO OCAÑA

El stockwork tiene muchas venillas en todas direcciones, pero del análisis de algunas direcciones tomadas en el mapeo de superficie se determinó un grupo con rumbo aproximado de N15°E que correlacionan con la dirección del sistema de fallas auñay, estas son mayormente venillas tardías de limonita-cuarzo y otras solamente de pirita, en este grupo se observa venillas tipo D con halo de sericita; un segundo grupo con dirección N15°O que correlacionan con la falla huancarume, que corresponden a venillas de cuarzo solamente o cuarzo con algo de pirita, muy escasas venillas de pirita solamente, por lo que se infiere que la falla huancarume se asocia con las venillas más tempranas del pórfido Ocaña y posiblemente está relacionada al emplazamiento del pórfido. En la figura 11 se observa la proyección estereográfica con las orientaciones en superficie de los diferentes tipos de venillas, como venillas de cuarzo, venillas de pirita con halo de sericita y venillas de pirita solamente.

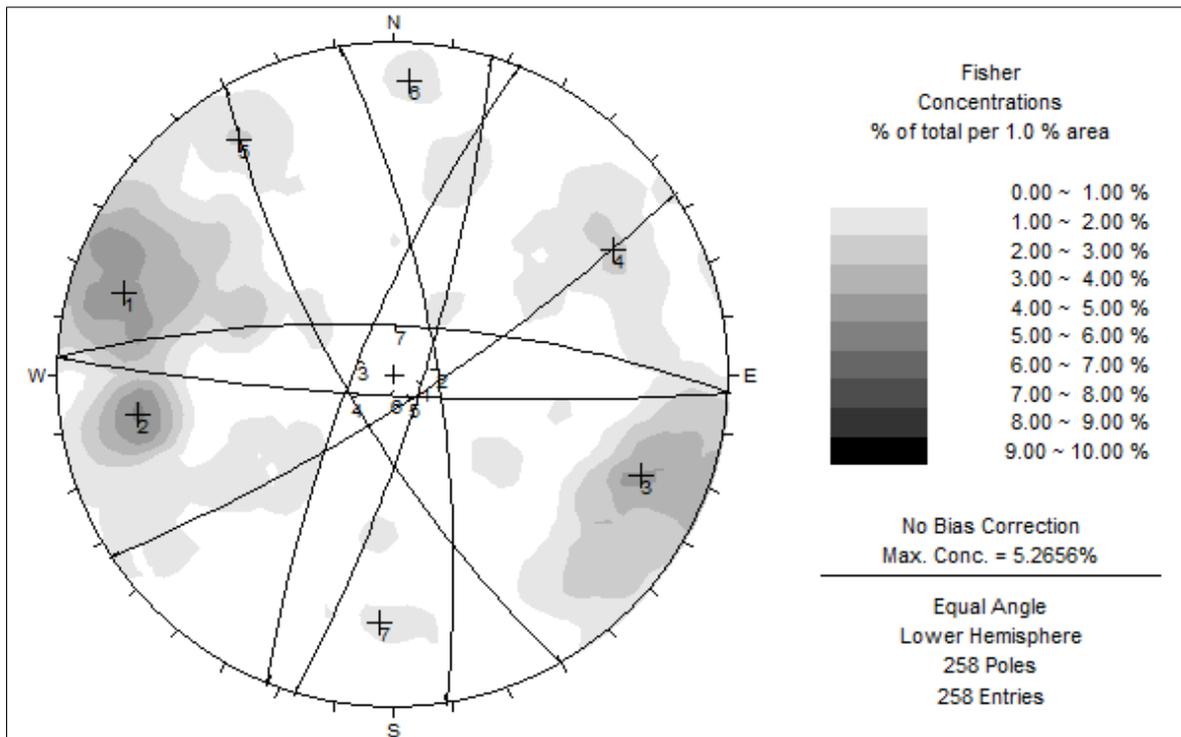
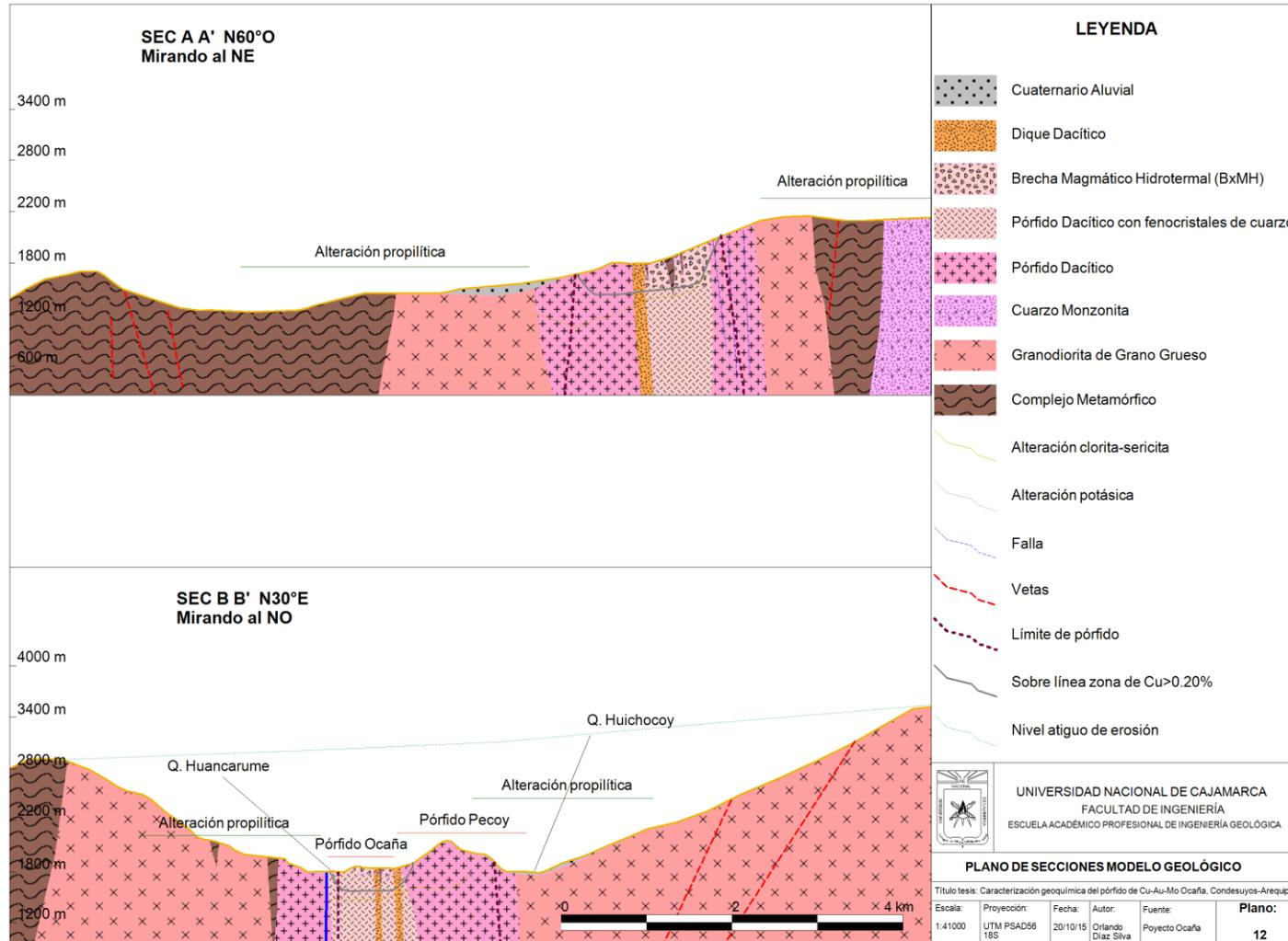


Figura 11. Direcciones de venillas en superficie.

### 3.8.3 MODELO LITOLÓGICO Y ESTRUCTURAL DEL PÓRFIDO OCAÑA

En las secciones A y B del plano 12 se observa que el pórfido corta las rocas del batolito y las rocas metamórficas del complejo basal, el zonamiento de las alteraciones es al centro la alteraciones potásica, clorita-sericita, sericitica, y silicificación en la parte superior, hacia las partes más externas la alteración grada a clorita y clorita-epídota como propilitización.

La mineralización hipógena es buena dentro de la brecha magmático hidrotermal lo que profundiza hasta unos 350 m aproximadamente, la mineralización continúa debajo de la brecha magmático hidrotermal en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, pero con valores más bajos. Todo el sistema porfirítico queda al descubierto, ver plano 12 sección B-B', por la gran erosión de unos 1500 m desde la llanura alto andina hasta el nivel actual que originó el valle de la quebrada huancarume y el valle de la quebrada huchocoyoj en dirección NO y E-O respectivamente, dejando al descubierto el pórfido Ocaña y Pecoy.



Plano 12. Secciones del modelo geológico del pórfido Ocaña.

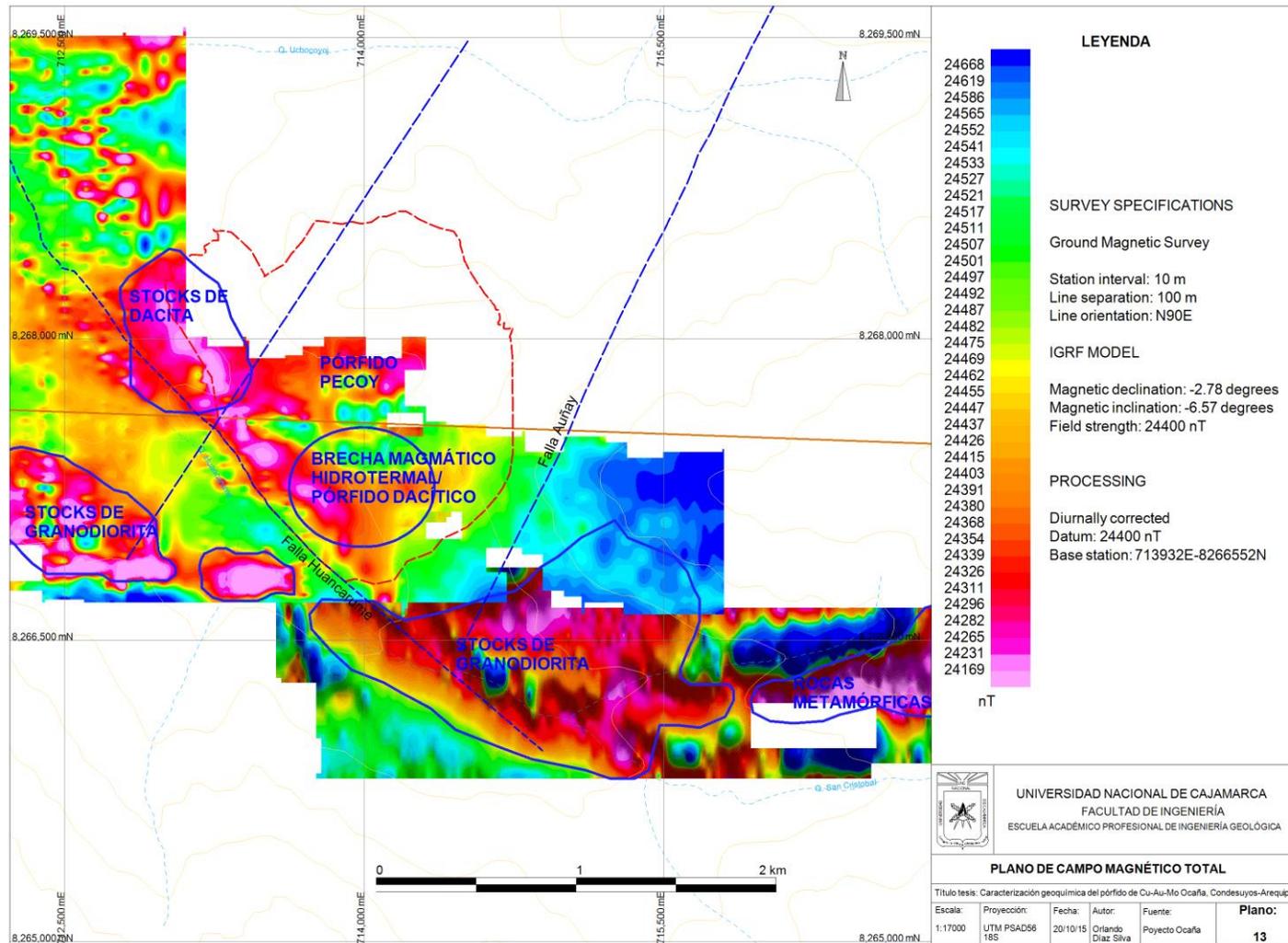
### **3.9 ASPECTOS DE GEOFÍSICA**

#### **3.9.1 CAMPO MAGNÉTICO TOTAL**

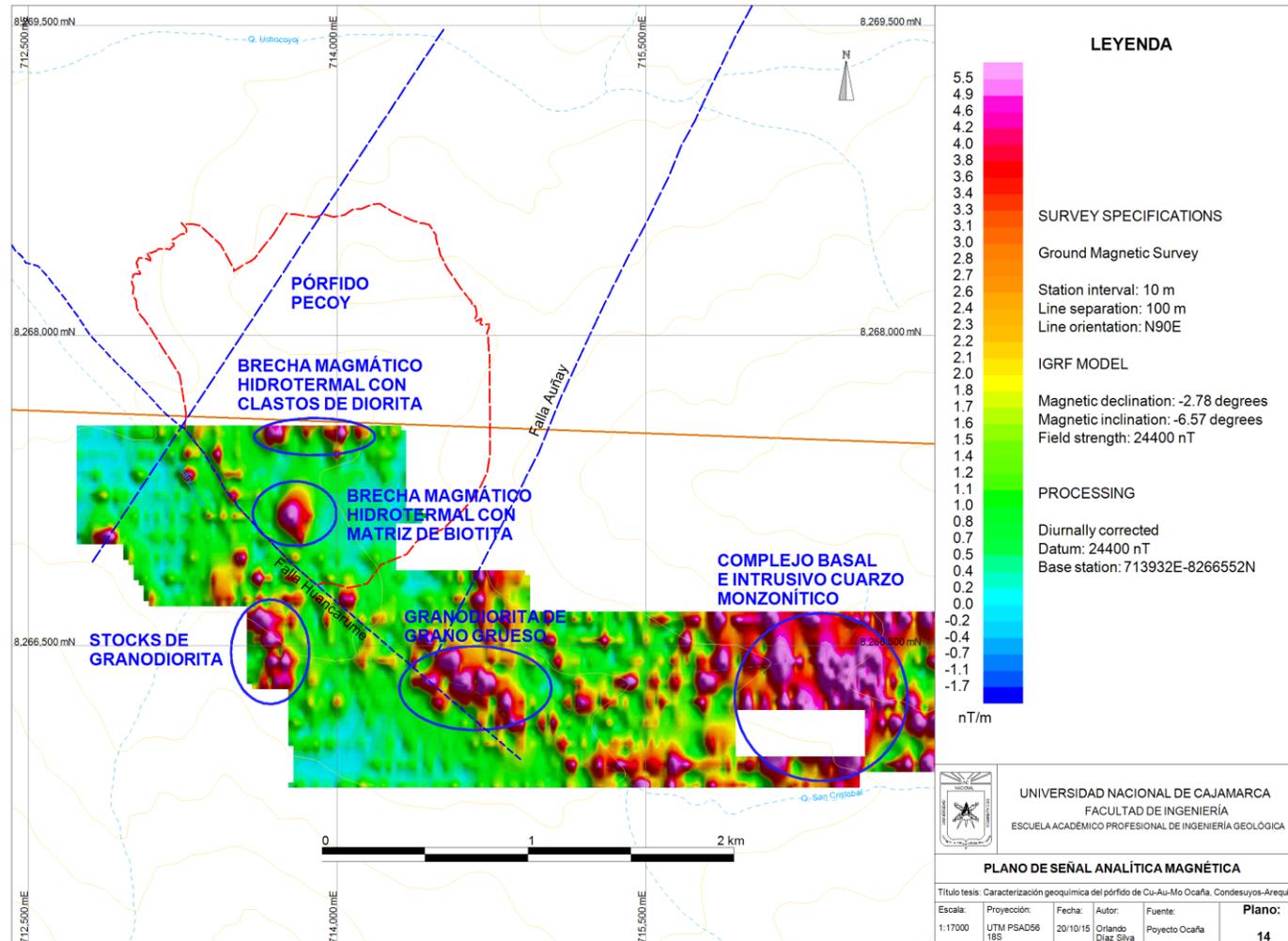
El plano magnético de campo total refleja principalmente el alineamiento de la falla huancarume que se dirige de Noroeste a Sureste con dirección del valle de la quebrada huancarume; se observa varias zonas de altos magnéticos al Oeste asociadas a magnetita primaria de intrusivos del batolito de la costa como stocks granodioríticos y dacíticos con diferencias texturales y mineralógicas, al Sureste hay altos magnéticos asociados a magnetita en el complejo basal dentro de cuerpos ultrabásicos como diques de gabros y en el batolito de la costa; en el pórfido Ocaña al borde Oeste hay un alto magnético que se alinea con la quebrada huancarume por la magnetita en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico con magnetismo medio a alto. Este plano no discrimina contactos ni formas de los stocks, sino muestra la anomalía magnética general, mezclando toda la magnetita del complejo, intrusivos, incluyendo muchos rodados con abundante magnetita que se encuentran en el valle aluvial de la quebrada huancarume, ver plano 13.

#### **3.9.2 SEÑAL ANALÍTICA MAGNÉTICA**

En el plano 14 se puede observar fuentes puntuales de magnetometría, a la parte Sureste existe una fuerte anomalía que corresponde a cuerpos con abundante magnetita del complejo metamórfico y a un intrusivo cuarzo-monzonítico en la zona; dentro del pórfido Ocaña a la parte Norte hacia el límite con el pórfido Pecoy, la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita se muestra como anomalías puntuales principalmente por la magnetita en venillas dentro de la alteración potásica, la brecha magmático hidrotermal con matriz de biotita secundaria al borde SO del pórfido se muestra como alto magnético por la magnetita dentro de la matriz; también se muestra fuentes magnéticas altas al Sur fuera del pórfido que corresponden a magnetita diseminada dentro de granodioritas de diferentes texturas y diferencias en su composición mineralógica.



Plano 13. Campo magnético total en el pórfido Ocaña.



Plano 14. Señal analítica magnética en el pórfido Ocaña.

### **3.9.3 SECCIONES GEOFÍSICAS IP**

A la anomalía de factor metálico en la sección L0, ver figura 12 sección C, a la parte Este se dirigieron los sondajes OKA11DH001, OKA11DH002 y OKA11DH003, impactando la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico con alteración potásica, con pirita-calcopirita diseminada y fuerte stockwork de venillas de cuarzo que correlaciona con resistividades bajas, con cargabilidad alta y leyes en promedio de 0.20% de cobre, ver figura 12 secciones A, B y C, la zona de factor metálico medio a alto y baja resistividad al Este correlaciona con alteración potásica, abundante magnetita, pirita-calcopirita y valores de oro en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita, verificándose así que el elevado factor metálico con baja resistividad ubica perfectamente las zonas de mayores leyes en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita. También al Oeste, ver figura 12 secciones A, B y C, cerca de la falla huancarume hay una zona de factor metálico medio a alto que correlaciona con baja resistividad y alta cargabilidad que puede significar mineralización, estas anomalías no se corroboraron con perforación diamantina, ya que para esta parte se proyecta el pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal verificada en el sondaje OKA11DH005. En el valle debajo del cuaternario aluvial, ver figura 12 sección B, antes de la falla huancarume los valores de resistividad son bajos, el factor metálico y cargabilidad están con valores medios puntuales que indican la presencia de agua influenciada por la falla huancarume.

En la sección L400 en la parte Oeste cerca a la falla huancarume, ver figura 13 sección A, se observa una zona de cargabilidad baja que corresponde al cuaternario aluvial con una profundidad mayor a 50 m en la parte central del valle, en profundidad inmediatamente adyacente al Este de la falla huancarume hay una zona de factor metálico alto, ver figura 13 sección C, que correlaciona con valores bajos de resistividad, ver figura 13 sección B, además valores medios de cargabilidad, ver figura 13 sección A, esta anomalía es corroborada por la mineralización interceptada con el sondaje OKA11DH005 y corresponde a la brecha magmático hidrotermal con biotita secundaria en la matriz dentro de la alteración potásica, con buenos valores de cobre, oro y molibdeno, que llega hasta la falla huancarume, cruzando la falla encontramos un stock de granodiorita con pirita diseminada, muy pocas venillas de cuarzo, con valores menores a 0.10% de

cobre. Más al Este en el segundo valle a la zona de la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico debajo de la depresión se observa un cuerpo de elevado factor metálico que profundiza a más de 200 m y correlaciona con valores de resistividad baja, cargabilidad alta, dicha anomalía también se verificó con mineralización en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita, fuerte alteración potásica, venillas de cuarzo y valores de cobre en promedio de 0.20% en las partes más bajas de la anomalía, pero en la parte superior donde las cargabilidades son medias, resistividades bajas y factores metálicos elevados, corresponde a zonas de alteración clorita-sericita sobre impuesto a alteración potásica con altos valores de cobre, oro y molibdeno, verificándose en el sondaje OKA11DH003, ver sección 3. También más al Este a la ladera del pórfido Pecoy hay una buena anomalía de factor metálico alto, baja resistividad y alta cargabilidad que da un buen indicio de mineralización de cobre, oro y molibdeno.

Las zonas de sulfuros supérgenos no se observan en las secciones de IP porque su desarrollo fue deficiente en capas delgadas, haciéndose más representativo a la parte baja del valle., solamente se observa la mineralización en las brechas magmático hidrotermales con altas leyes de cobre, oro, molibdeno y la mineralización en el pórfido dacítico con leyes intermedias a bajas de cobre. También se distingue la granodiorita del batolito de la costa y stocks estériles posteriores al pórfido dacítico.

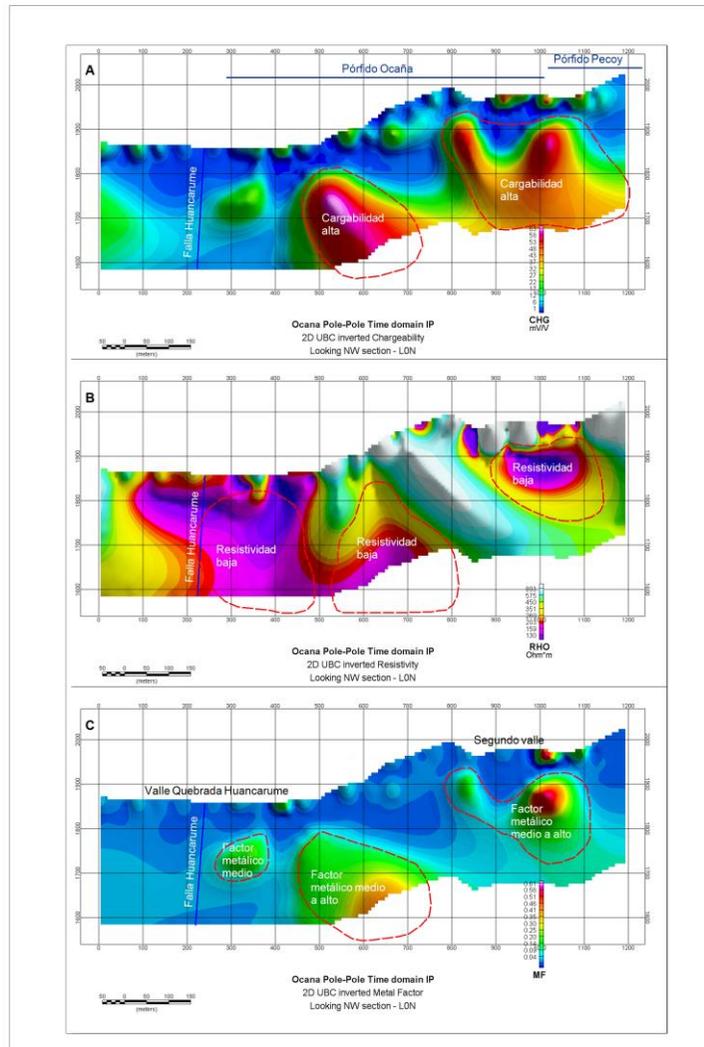


Figura 12. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L0, Kunchev 2011.

Figura 12. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L0, Kunchev 2011.

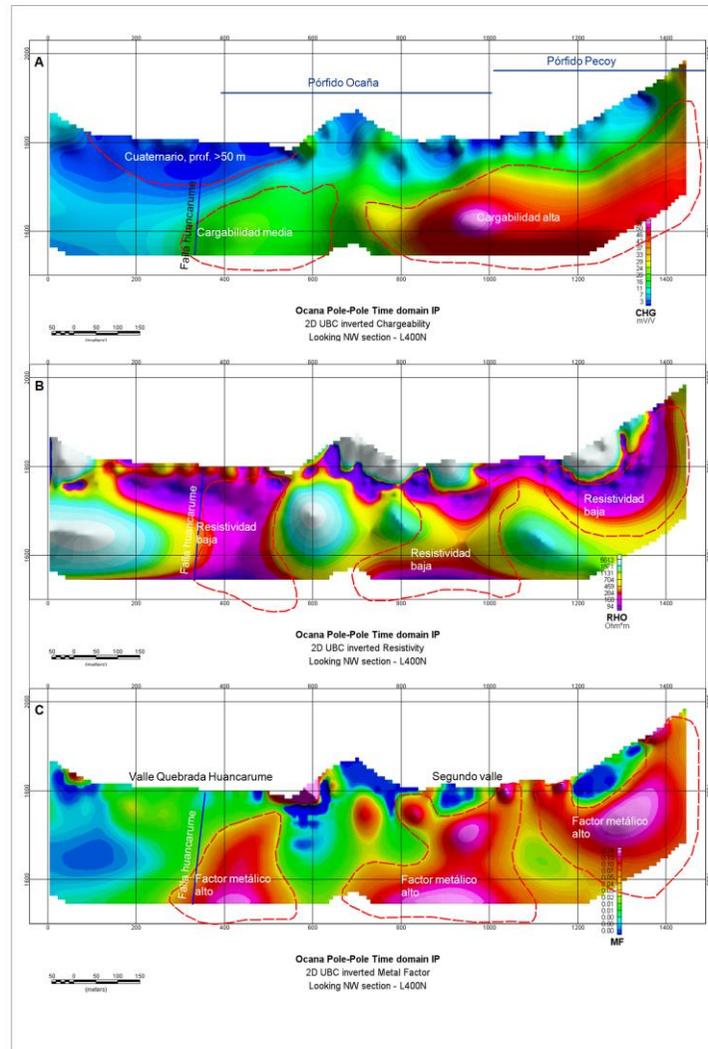


Figura 13. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L400, Kunchev 2011.

Figura 13. Secciones de cargabilidad, resistividad y factor metálico en la línea L400, Kunchev 2011.

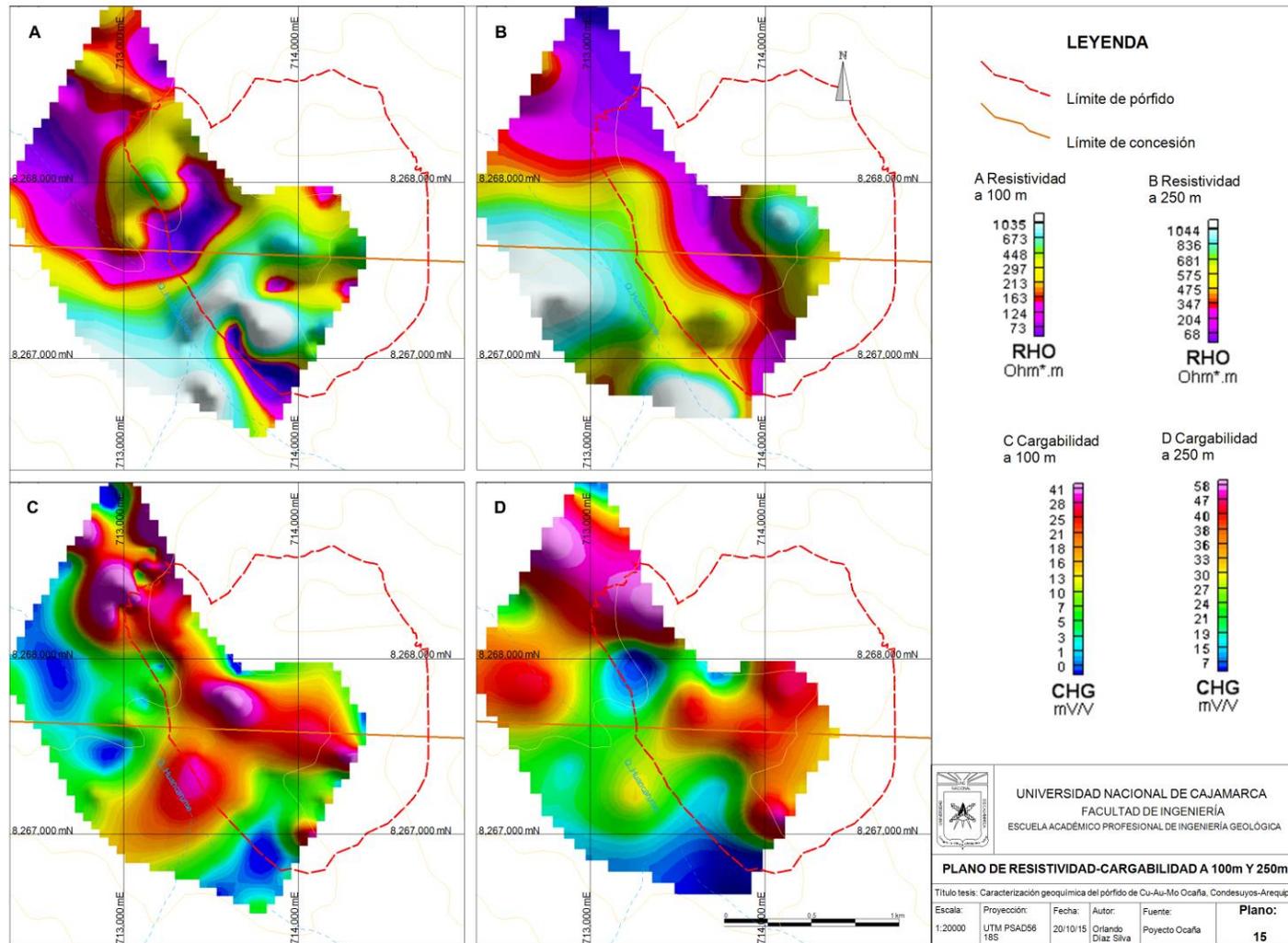
### **3.9.4 RESISTIVIDAD-CARGABILIDAD**

En la parte superior en el plano a 100 m, ver plano 15 A, se puede observar resistividades altas por el desarrollo del stockwork de cuarzo y la alteración sericítica o clorita-sericita a este nivel. En la alteración sericítica ocurre una removilización de los sulfuros, más no es así en las zonas de alteración clorita-sericita que contiene mayormente calcopirita diseminada en la matriz de la brecha magmático hidrotermal, por lo tanto buenos valores cobre, oro, molibdeno.

A 250 m, ver plano 15 B, la resistividad es baja a media por la presencia de la alteración potásica a este nivel y mayores cantidades de sulfuros diseminados y en venillas, también a este nivel tiene buenos valores de cobre, oro, molibdeno en la brecha magmático hidrotermal.

La cargabilidad a 100 m, ver plano 15 C, es alta por la presencia de sericita, arcillas en la alteración sericítica y en la alteración clorita-sericita, lo que se verifica como un cuerpo continuo que incluso sale fuera del límite del pórfido Ocaña posiblemente debido a que los stocks granodioríticos contienen pirita diseminada.

A 250 m, ver plano 15 D, el cuerpo de alta cargabilidad se aleja al Este hacia la parte central y el límite con el pórfido Pecoy, debido a que a esta zona la brecha magmático hidrotermal profundiza a más de 250 m con alteración potásica y sulfuros en la matriz y en los clastos. Al borde Suroeste la cargabilidad es baja porque la brecha magmático hidrotermal a esta parte pasa al pórfido dacítico con poco contenido de venillas de cuarzo y sulfuros diseminados en menor cantidad que en la brecha magmático hidrotermal en la parte superior.



Plano 15. Resistividad y Cargabilidad a profundidades de 100 y 250 m.

### **3.10 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS**

#### **3.10.1 MAPEO GEOLÓGICO**

Fue el primero y más importante trabajo que se realizó junto al muestreo geoquímico, se hizo a dos escalas diferentes, inicialmente a la escala 1:500 que es un mapeo detallado para la parte donde se ubica el pórfido Ocaña con un área de 2x3 km aproximadamente, ver plano 8, y a la escala 1:10000 que es un mapeo de un área más grande 5x5 km aproximadamente que abarca las zonas circundantes al pórfido de donde fue importante obtener información de la geología del entorno al pórfido Ocaña, ver plano 4; en ambas escalas de mapeo se recogió información de tipos de rocas, tipos de alteraciones, estructuras como fallas y cantidad de venillas.

#### **3.10.2 MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS**

Para el muestreo de suelos se diseñó dos tipos de líneas de muestreo, primero con líneas paralelas a las curvas de nivel, y luego un segundo tipo siguiendo la dirección de las crestas de los cerros que cruzan aproximadamente perpendicular a las primeras; la muestra de suelos consistió en la recolección de una muestra compósito de 1 kg sobre un intervalo de distancia lineal de 200 m, siguiendo las líneas diseñadas se tomó sub muestras individuales cada 20 m, acumulándose para el compósito de los 200 m 10 sub muestras, la toma de este tipo de muestras se realizó en todas las zonas donde el suelo no tuvo mucho movimiento y se puede considerar insitu, se obvió sacar muestras en los valles y quebradas donde el movimiento del aluvión es grande, ver plano 18. El análisis de muestras consistió de 53 elementos que fue realizado por el laboratorio ACME, en el presente trabajo se usó solamente los elementos cobre, oro, molibdeno, plata, plomo y zinc.

El muestreo de rocas se hizo mediante una malla de muestreo en las zonas más cercanas al pórfido y un muestreo más puntualizado para las zonas más alejadas; se tomaron muestras de rocas con diferentes métodos de muestreo, como de astillas de rocas, canales y selectivos, el análisis geoquímico consistió de 43 y 34 elementos con el laboratorio ACME y el laboratorio ALS CHEMEX respectivamente, de los cuales en este trabajo al igual que en el muestreo de suelos sólo se usaron los elementos cobre, oro, molibdeno, plata, plomo y zinc, las muestras tipo astillas de rocas y de canales son las de mayor importancia para los depósitos de pórfido

de cobre, y las muestras de selectivos para algunas vetas de las partes circundantes al pórfido de cobre, ver plano 25.

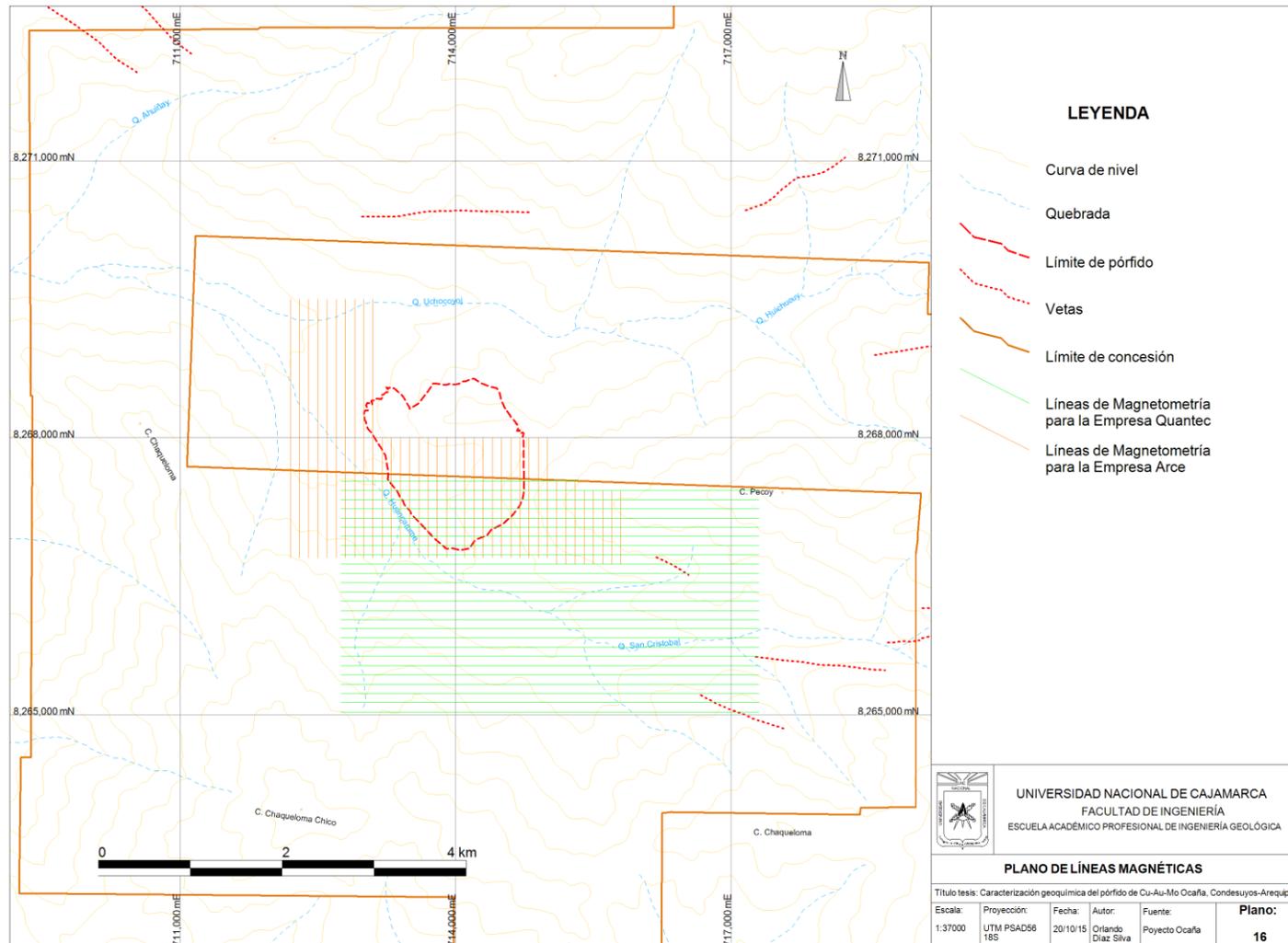
### **3.10.3 PROGRAMA DE GEOFÍSICA**

Se realizó dos campañas de geofísica, la primera de magnetometría con las empresas Quantec y Arce Geofysics, y una campaña de polarización inducida “IP” también con la empresa Arce Geofysics, con las que se determinaron anomalías concordantes con mineralización de tipo pórfido de cobre en profundidad, además se observó anomalías de la posible existencia de cobre exótico debajo de los depósitos aluviales de la parte baja del valle de la quebrada huancarume.

#### **3.10.3.1 Diseño de malla para Magnetometría**

Para la realización de la Magnetometría con la empresa Quantec se diseñó 26 líneas de dirección Este-Oeste con una separación de 100 m cada una, y una longitud total acumulada de 4.5 km aproximadamente, ver plano 16, esta primera campaña cubrió la parte Sur del pórfido Ocaña, con la que se obtuvo un plano del campo magnético total “Total Magnetic Field”, y planos derivados como: plano de la derivada magnética vertical “Vertical Derivative Magnetic” y de señal analítica magnética “Analytic Signal Magnetic”. En la toma de datos se usó las configuraciones siguientes: intervalo de estación 10 m, declinación magnética -2.78°, inclinación magnética -6.57°, field strength 24400 nT (nT=Nanotesla), datum 2400 nT, estación base 713932E-8266552N.

En la campaña final de magnetometría con la empresa Arce Geofysics, se cambió la orientación de las líneas a Norte-Sur cubriendo la zona donde se encuentra el pórfido de cobre y sus inmediaciones, en un área de aproximadamente 6 km<sup>2</sup> con una separación entre líneas de 100 m, ver plano 16, se usó el equipo Scintrex cesium-vapor magnetometer con GPS integrado portátil; debido al alto nivel de ruido la campaña fue completada con el equipo proton-precision magnetometer, en donde se obtuvo un plano de campo magnético total.



Plano 16. Líneas Magnéticas en el pórfido Ocaña.

### **3.10.3.2 Diseño de malla para Polarización Inducida**

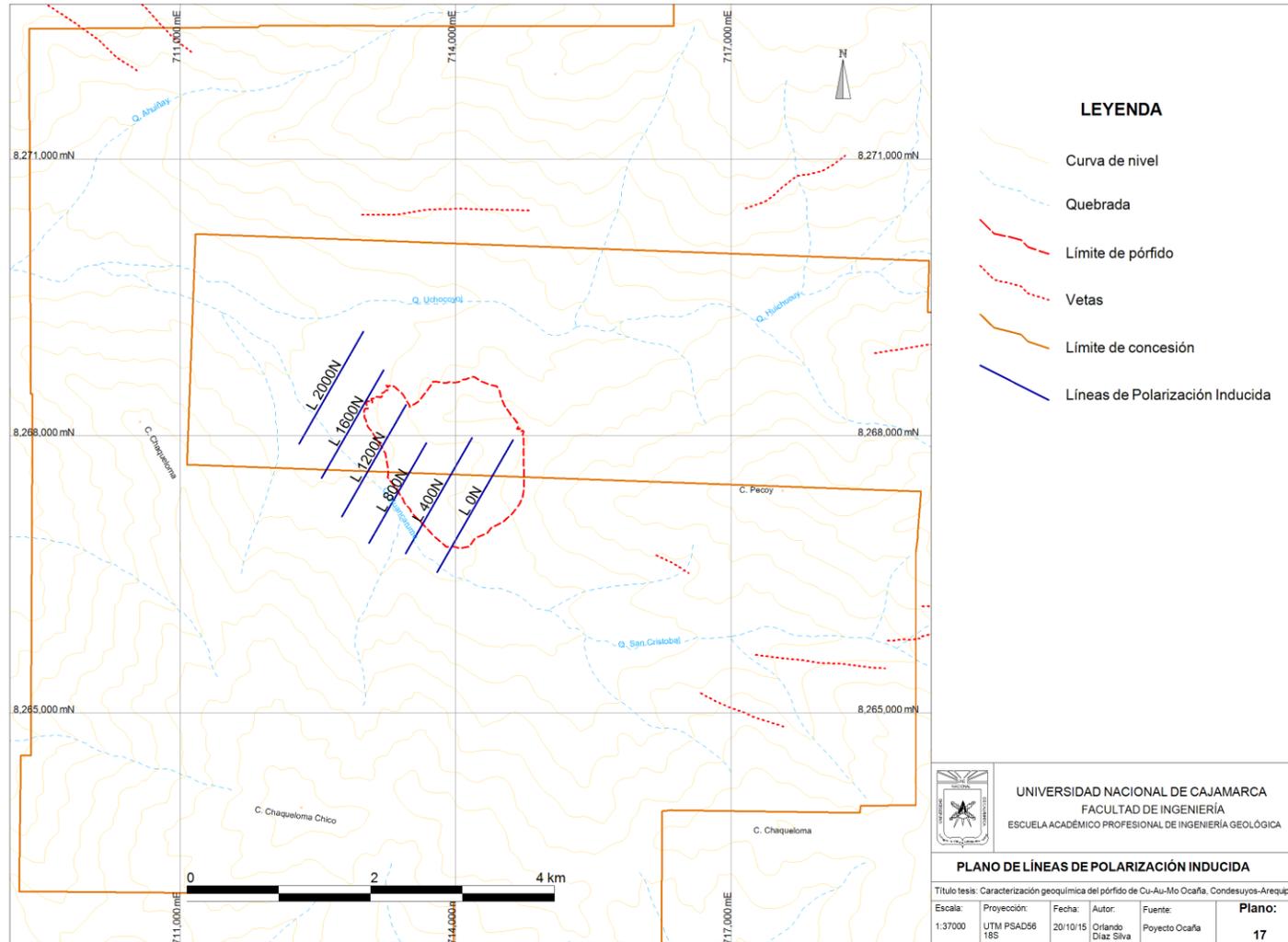
Se definieron 6 líneas con dirección N30°E y una longitud total acumulada de 7.95 km, estas líneas cubrieron la parte Sur y Oeste del pórfido Ocaña, además la zona de la quebrada huancarume adyacente al pórfido Ocaña cubierta por una gruesa capa de cuaternario aluvial, ver plano 17; la campaña fue realizada por Arce Geofisics donde se usaron los equipos “state of the art multichannel IRIS ELREC PRO como receptor” e “IRIS VIP 4000” como transmisor; se decidió usar una variante modificada de la configuración Polo-Polo (PP) para investigar la distribución de parámetros de resistividad y cargabilidad debajo de la superficie del pórfido Ocaña.

### **3.10.4 PROGRAMA DE PERFORACIÓN DIAMANTINA**

La campaña de perforación diamantina se realizó en base a 2194.80 m distribuido en cinco sondajes, ver plano 35, con el objetivo de determinar la continuidad de la mineralización en profundidad y a los contornos del pórfido de cobre, que alteraciones hay en profundidad, así como determinar los límites de la intrusión del pórfido; las direcciones e inclinaciones de los sondajes se hicieron hacia los targets definidos con los trabajos previos de geología, geoquímica de superficie e información geofísica.

#### **3.10.4.1 Logueo de testigos**

El logueo a detalle de los núcleos obtenidos en la perforación diamantina se realizó en formatos de papel tamaño A3 adecuados con las características de depósitos de pórfido de cobre, donde se anotó y graficó la información en profundidad como tipos de litologías, alteraciones como ensambles característicos de alteraciones específicas, mineralización como cantidad de calcopirita versus pirita, características de la zona supérgena e hipógena, tipos y cantidad de venillas, estructuras y susceptibilidad magnética.



Plano 17. Líneas de Polarización Inducida en el pórfido Ocaña.

### **3.11 PROCEDIMIENTO**

La recolección de datos de campo y de laboratorio se dividió en tres etapas principales:

#### **3.11.1 ETAPA DE PLANEACIÓN**

Comienza por el análisis de la información que dispuso la Empresa como información general, planos topográficos, imágenes satelitales y aéreas, básicas para el inicio de la exploración del pórfido Ocaña, también se contó con información de INGEMMET como planos geológicos, informes de litologías y mineralizaciones, se sabe que hay informaciones de trabajos de exploraciones aledañas, pero estos son privados y no están accesibles.

En la planeación del mapeo geológico se eligió las escalas de trabajo a detalle para el pórfido y además la escala para áreas más grandes de la zona circundante, las que nos permitieron armar un plano mosaico de cada área con la ergonomía para el trabajo en campo, seguido se planeó el muestreo de suelos y de rocas decidiéndose realizar primeramente el muestreo de suelos para reducir el área de exploración con las anomalías obtenidas, para lo cual se preparó los planos de líneas paralelas a las curvas de nivel y de las líneas que siguen las crestas de los cerros, posteriormente se planeó realizar el muestreo de rocas aplicando los métodos de astillas de rocas y canales en la zona del pórfido de cobre y zonas localizadas circundantes previa preparación de planos con mallas de muestreo, también antes de realizar cualquier muestreo se acordó la inserción de muestras para QAQC definiendo el intervalo de inserción de blancos, estándares y duplicados que nos asegurarán hacer un muestreo de calidad tanto en campo como en laboratorio.

Conforme avanzó la obtención de información se planificó la realización de la geofísica previo diseño de las líneas de prospección, primeramente para el método magnético y luego para el método eléctrico IP, teniendo en cuenta las características geológicas encontradas en el mapeo.

Finalmente el planeamiento de la perforación diamantina orientada a los targets respectivos, que nos permitieron definir la cantidad de sondajes y el metraje total, para luego realizar el diseño del proyecto de perforación diamantina, previo análisis de secciones y planos en planta de los resultados geológicos, geoquímicos y

geofísicos obtenidos, que permiten determinar inclinaciones y longitud de cada sondaje.

### 3.11.2 ETAPA DE CAMPO

Se inició con el mapeo geológico a escala 1:500 de la zona del pórfido de cobre y sus alrededores para disponer de mapas de litología, alteraciones y estructuras, paralelamente al mapeo se realizó el muestreo de suelos y rocas, también se realizó el mapeo a escala 1:10000 para las zonas circundantes alejadas al depósito; posterior a estos trabajos se continúa con prospección geofísica magnética y de polarización inducida; con toda esta información disponible se procede a la perforación diamantina de acuerdo a las zonas anómalas encontradas. Toda la información se trabajó en el sistema de coordenadas UTM con el Datum PSAD56 para la zona M 18S tomadas con un GPS navegatorio; la geofísica y la perforación diamantina estuvo a cargo de empresas especializadas con las directrices de los geólogos del Proyecto, así como también el análisis multi-elementos de las muestras fueron realizadas por el laboratorio ACME y el laboratorio ALS CHEMEX; los siguientes instrumentos fueron necesarios para la recolección de esta información.

Tabla 2. Instrumentos utilizados.

TIPO	INSTRUMENTOS
Análisis de muestras de Suelos	Digestion en agua regia, ultratrace ICP-MS analysis
Análisis de muestras de Rocas	ME-ICP61 Multi elementos el cual incluye digestión en 4 ácidos e ICP-ES  Para Oro se usó Fire assays fusion Au by ICP-ES (Au-AA23)  Para lixiviación de Cobre en la zona supérgena Cu-PKG06LI
Geofísica - Magnetometría	Magnetómetro Scintrex cesium-vapor con GPS integrado en modo caminante
Geofísica - Polarización Inducida	Equipo IRIS ELREC PRO multichannel y transmitter IRIS VIP 4000
Perforación Diamantina	Máquina de Perforación Diamantina PE7-66

### 3.11.3 ETAPA DE GABINETE

En la etapa de gabinete se procede al análisis y trabajo de la información recepcionada de laboratorio y de las empresas que realizaron la geofísica, aquí se

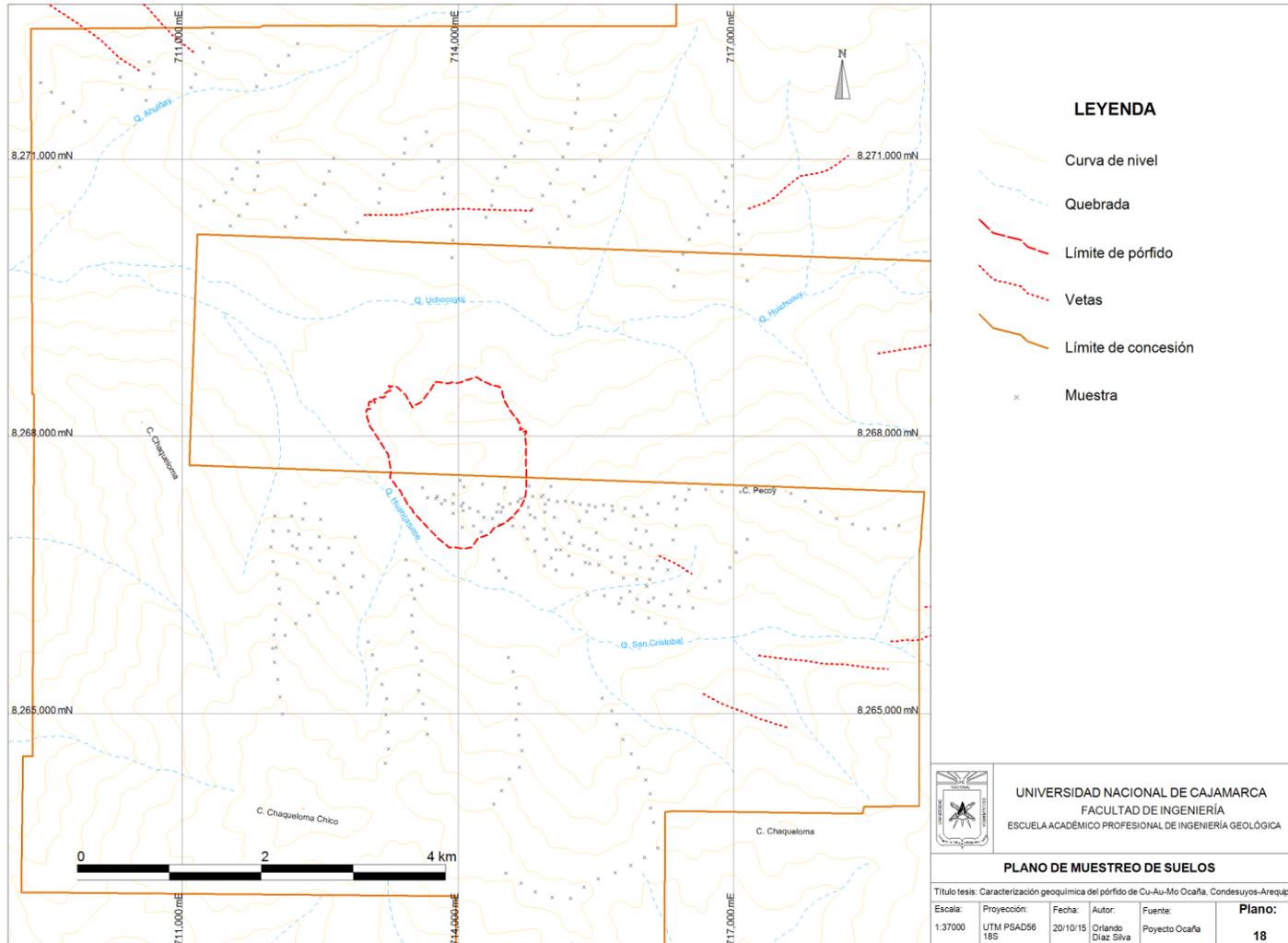
realiza la unión de la información de campo con la información de laboratorio con su codificación respectiva usando los softwares Excel y Mapinfo-Discover, en lo que respecta a los datos de muestreo de suelos y de rocas estos fueron tratados con el método log normal para sus distribuciones, los datos de muestreo de perforación diamantina se realizó con distribuciones estadísticas simples; con las obtenciones de las distribuciones de los elementos cobre, molibdeno, oro, plata, plomo y zinc para muestras de suelos y para las muestras de rocas se obtuvo los rangos respectivos de cada elemento que fueron ploteados en su respectivo plano geoquímico; también el tratamiento de las razones de elementos se realizó con la división respectiva de los elementos sin ningún otro tratamiento adicional a los datos.

### **3.12 TRATAMIENTO, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.12.1 GEOQUÍMICA EN SUELOS**

En los suelos hay algunos elementos que no se mueven de su lugar de origen y son indicadores de las rocas fuente, así como otros que son fácilmente solubles y que tienen una dispersión rápida quedando sólo anomalías positivas o negativas en sus suelos, para los pórfidos de cobre los elementos como el Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn son indicadores y su presencia de cada uno en los suelos depende de sus propiedades geoquímicas respectivas y de las condiciones del medio ambiente; con el muestreo de suelos, ver plano 18 se obtuvo anomalías de estos elementos en el depósito y en las partes circundantes; el ambiente es árido en las partes bajas a semiárido en las partes más altas de los valles originando suelos residuales que tuvieron poco movimiento por lo tanto indican la composición de la roca fuente.

Los datos del muestreo geoquímico para suelos fueron tratados con la distribución log normal y se discriminaron valores erráticos, lo cual permitió determinar grupos de valores que puedan distinguirse como valores de fondo geoquímico o valores anómalos; el número de muestras analizadas para suelos fueron 347.



Plano 18. Muestras de suelos en el pórfido Ocaña.

### 3.12.1.1 Cobre en suelos

El cobre es altamente soluble en ambientes de oxidación ácidos por lo tanto es muy móvil con una dispersión amplia, en climas áridos en suelos residuales el cobre no tiene mucho movimiento horizontal pero si movimiento vertical formando zonas de enriquecimiento, de los resultados de muestreo de suelos para el cobre se observa tres poblaciones en la distribución, ver gráfico 1, lo cual permite ubicar zonas con posibles anomalías de cobre como se muestra en el plano 19, se puede distinguir un grupo de valores relativamente bajos, menores a 67 ppm que corresponden a los valores en las rocas encajonantes más alejadas del sistema de pórfido y se dan en las granodioritas del batolito de la costa y las rocas del complejo basal, en la parte Norte se nota una anomalía de valores algo mayores a los valores de las rocas encajonantes, la anomalía tiene una tendencia alargada en dirección Este-Oeste, en este lugar las rocas del batolito y el complejo basal fueron cortadas por vetas que contienen oro, algo de cobre, plomo y zinc con la misma alineación. La anomalía del pórfido Ocaña sobre la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico es una anomalía discontinua de valores medios a altos, afectados por la alta movilidad del cobre que se movió a las capas más inferiores del subsuelo; a la parte Sureste hay una marcada anomalía de cobre en suelos con valores altos principalmente sobre rocas metamórficas con alteración propilítica, a esta anomalía se le llamó Waka Waka, no llegándose a concretar trabajos de perforación en esta zona. También existe una anomalía de valores de cobre bajos a altos en la parte Oeste del pórfido Ocaña en los stocks granodioríticos del batolito de la costa.

En la anomalía de la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico y en la anomalía Sureste hay valores apreciables de cobre en los suelos debido a que el cobre de la calcopirita diseminada y de venillas no fue removido por la baja cantidad de piritita diseminada junto a la calcopirita por lo tanto no hubo generación de aguas ácidas fuertes que remuevan totalmente el cobre, generando suelos con la presencia de abundante malaquita. En toda la zona local fuera de las anomalías marcadas, los valores de cobre son mayores a los valores de fondo de las rocas más alejadas del pórfido, principalmente porque el cobre es muy móvil en los suelos y también porque el cobre migró en las venillas de cuarzo-calcopirita hasta 2 km fuera de la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico, más lejos pasa a valores bajos de fondo geoquímico parecidos a los valores de las rocas encajonantes. En

el plano 19 de geoquímica del cobre en suelos se observa dos anomalías principales en la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico y en la zona Waka Waka al SE, y dos anomalías secundarias más alejadas una al Oeste y otra al Norte.

Al Oeste del depósito también existe una zona valores medios de cobre diferentes a los valores regionales y corresponden a la presencia de malaquita en sus suelos, posiblemente porque dichos stocks son de las etapas finales del batolito de la costa más cercanos temporalmente al emplazamiento del pórfido Ocaña y por lo tanto con valores más elevados que las granodioritas de la etapa inicial del batolito de la costa.

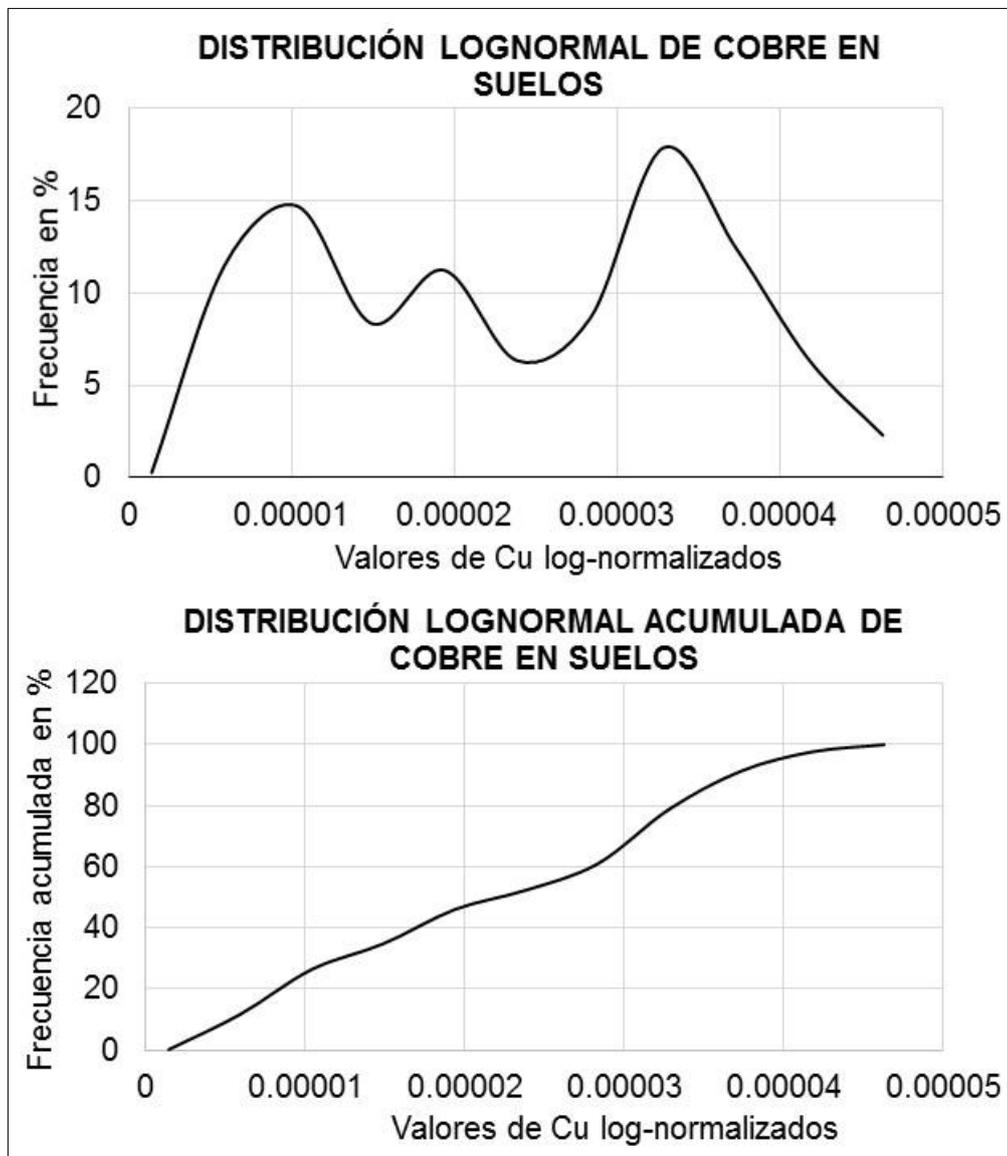
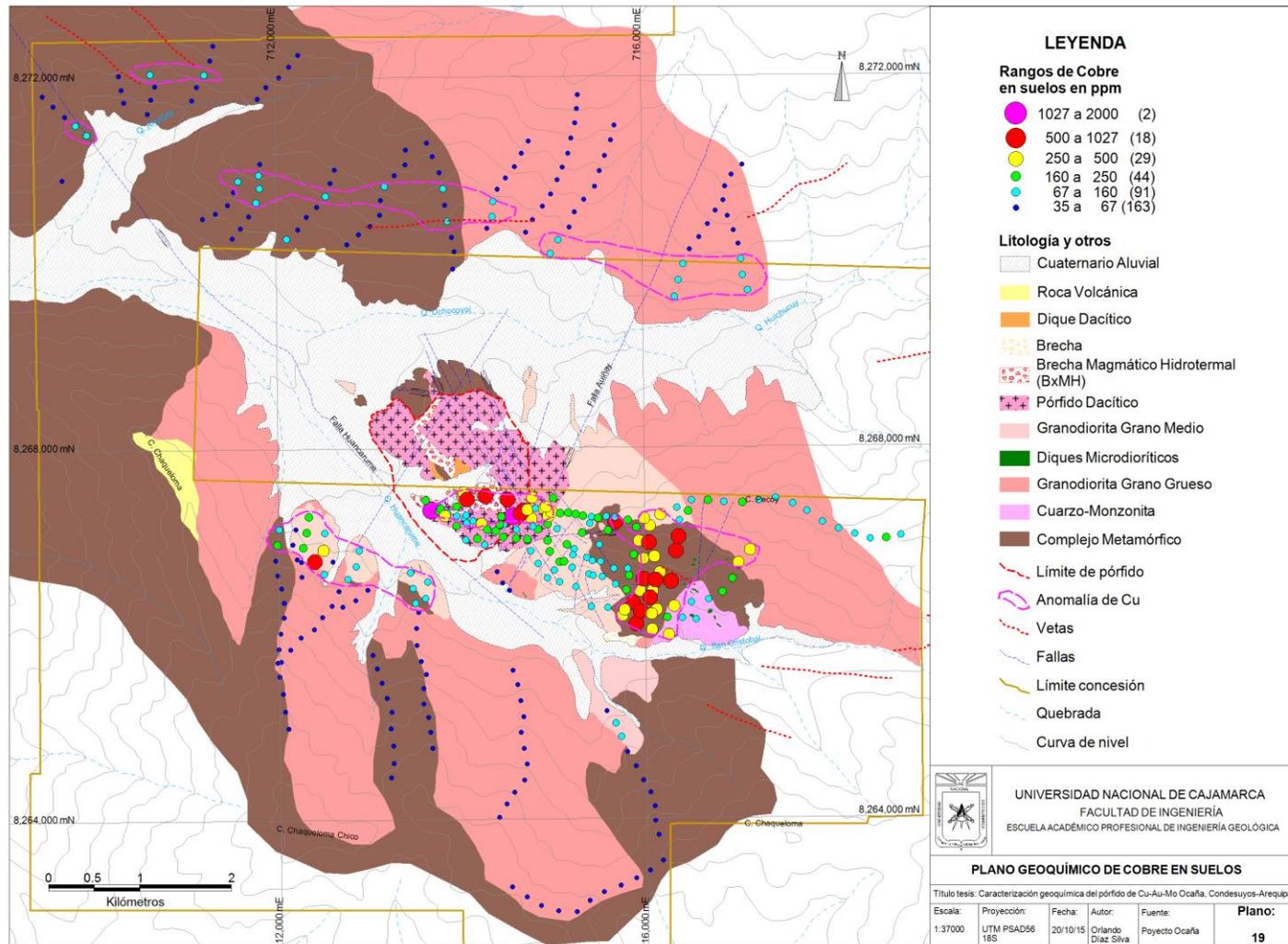


Gráfico 1. Distribución de cobre en suelos.



Plano 19. Geoquímica de cobre en suelos.

### **3.12.1.2 Molibdeno en suelos**

El molibdeno en condiciones oxidantes ligeramente ácidas a ácidas es inmóvil, por lo tanto no tuvo mucho movimiento a otras zonas debido a las condiciones de acidez moderada en el pórfido Ocaña evidenciado en superficie por los óxidos de hierro y cobre oxidado en los suelos. En la curva de distribución, ver gráfico 2, hay dos poblaciones de molibdeno con mucha similitud a la distribución del cobre en las dos poblaciones principales, los valores más altos están en el centro del pórfido Ocaña específicamente en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico con valores continuos >20 ppm, también se observa valores medios entre 10 a 20 ppm con una tendencia en dirección Sureste en la granodiorita de grano medio y en parte del complejo basal, con alteración clorítica y clorita-epídota. Los valores de molibdeno en las rocas del batolito y del complejo basal más alejadas del pórfido son bajos <2.55 ppm que representa los valores de fondo geoquímico; en las vetas de la parte Norte no hay presencia de molibdeno en los suelos debido a que este es menos móvil que el cobre, los valores son muy bajos también similares a los valores de fondo del batolito de la costa y del complejo basal. En el plano 20 de geoquímica del molibdeno en suelos se observa dos anomalías principales y dos secundarias.

Las tres anomalías de cobre tanto en el Sureste en la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico y en los stocks de la parte Oeste tienen una buena correlación con las anomalías de molibdeno en los suelos.

Se ve claramente que el molibdeno no tiene buena asociación a las estructuras posteriores al evento porfirítico como se aprecia en las vetas de la parte Norte no hay molibdeno; el molibdeno está íntimamente relacionado al evento de pórfido en las venillas tipo B que también se extendieron como las venillas tipo A hacia las rocas circundantes, se observa que hay un enriquecimiento en los stocks del batolito tardíos y cercanamente contemporáneos al pórfido.

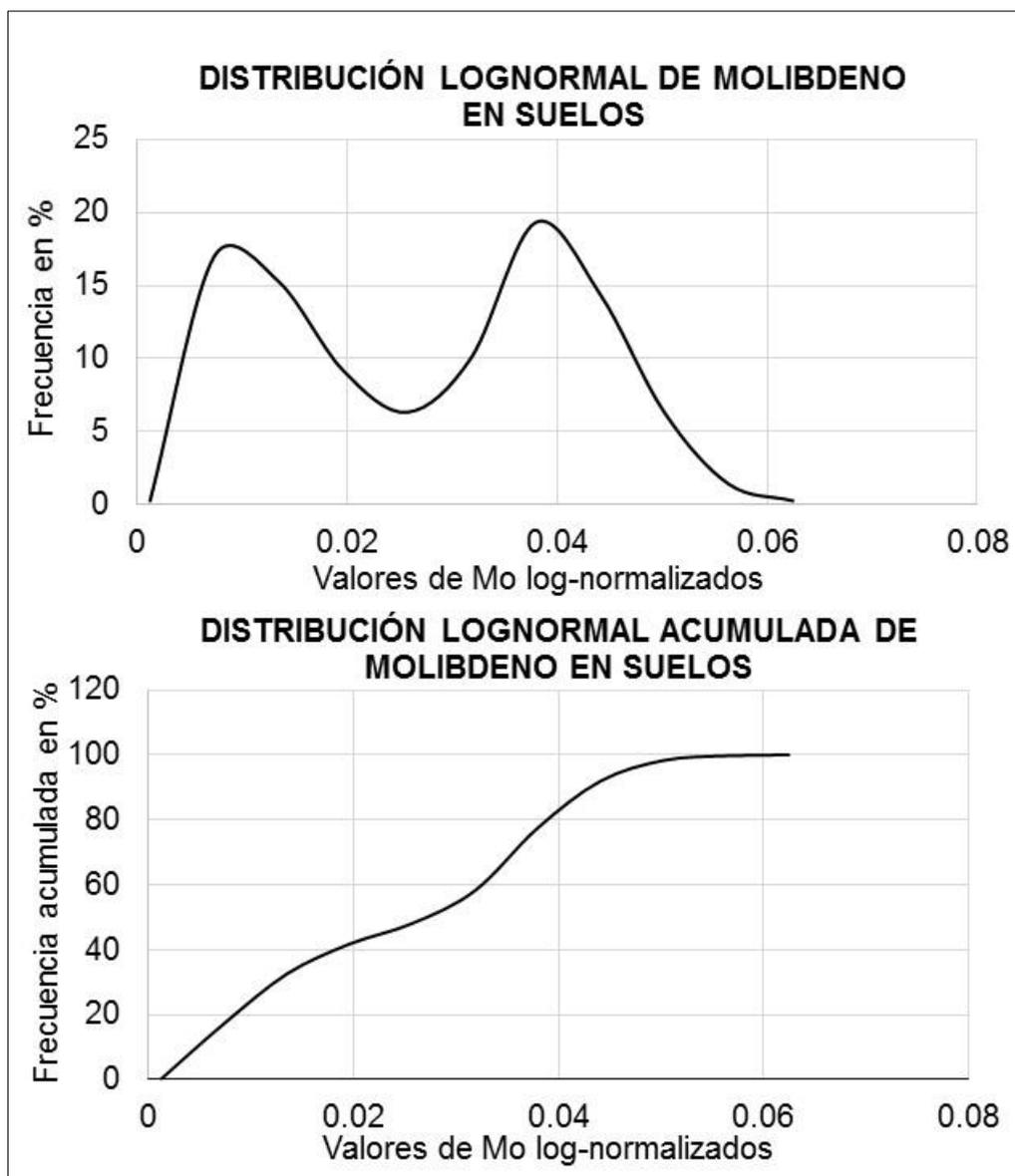
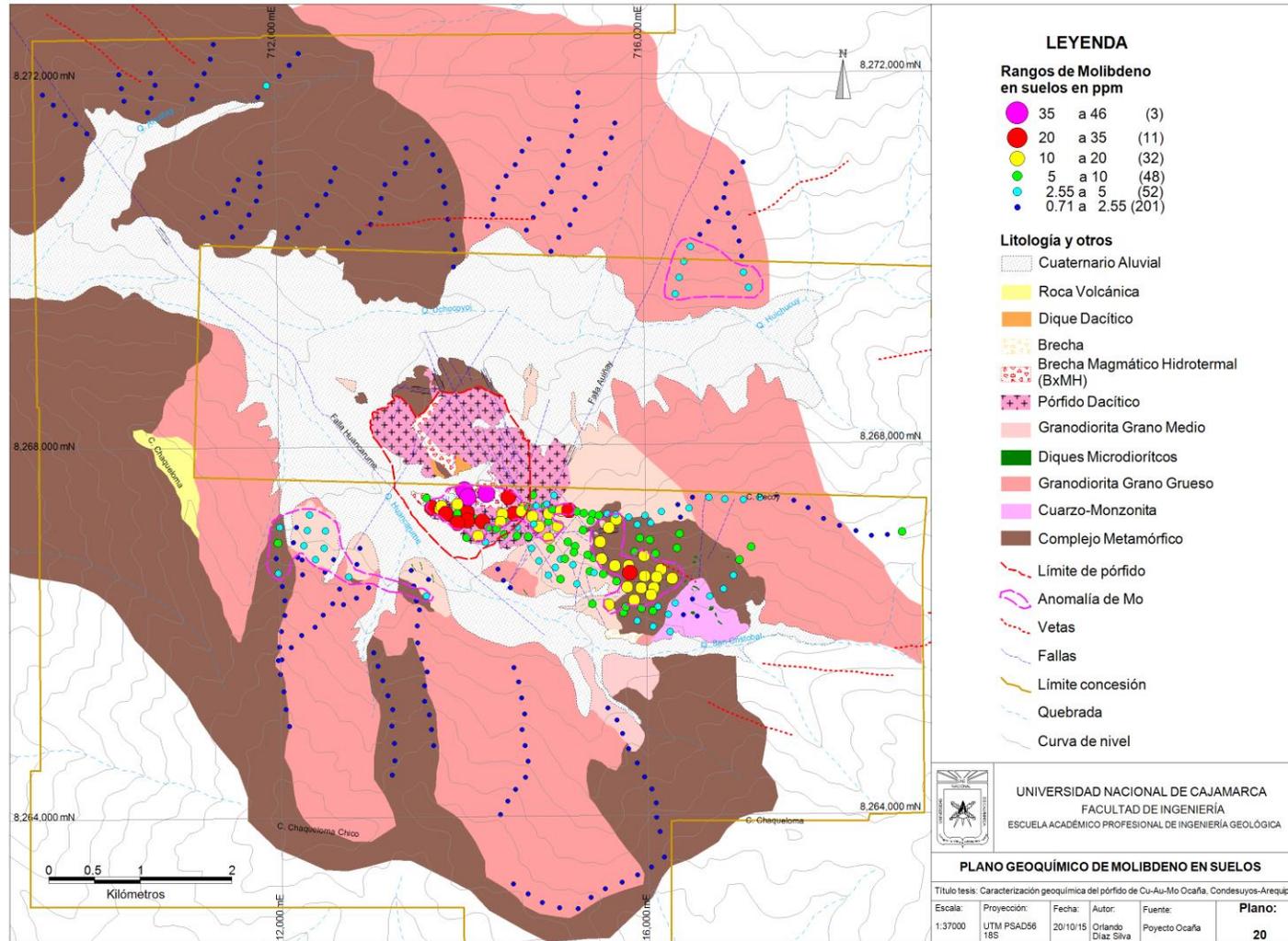


Gráfico 2. Distribución de molibdeno en suelos.



Plano 20. Geoquímica de molibdeno en suelos

### **3.12.1.3 Oro en suelos**

La distribución del oro es unimodal con un solo pico, ver gráfico 3, se aprecia dos anomalías principales de oro con valores >10 ppb, la primera exclusivamente en la brecha magmático hidrotermal con una dirección principal E-O, la segunda se encuentra al Noroeste en una zona de rocas metamórficas que hospedan vetas de cuarzo-oro metales base, en la parte alta de dicho lugar hay minería artesanal de oro, se puede ver también valores altos puntuales que se relacionan a estructuras de oro aisladas; los valores más bajos de oro están en las granodioritas del batolito de la costa y parte de las rocas del complejo basal hacia el Oeste, que corresponden a valores de fondo, ver plano 21.

Se observa que en las rocas del complejo basal a la parte Noroeste y Sureste hay un enriquecimiento en oro mayor al fondo geoquímico, debido a que en estas zonas el complejo basal tiene estructuras vetiformes de cuarzo-oro metales base; también los stocks de granodiorita del Oeste y Sureste tienen mayores valores de oro que las rocas circundantes con valores de fondo geoquímico. En el pórfido dacítico a la parte Sureste los valores son medios muy por debajo de los valores presentes en la brecha magmático hidrotermal.

El oro muestra mayor dispersión que el cobre y el molibdeno principalmente relacionado a los stocks tardíos del batolito de la costa los cuales se encuentran más enriquecidos en oro que el batolito de la costa más temprano; el complejo basal tiene valores altos en sus suelos en todas las zonas donde hay presencia de estructuras vetiformes por lo que el oro también migró en las etapas posteriores al emplazamiento del pórfido en fluidos tardíos que rellenaron estructuras vetiformes.

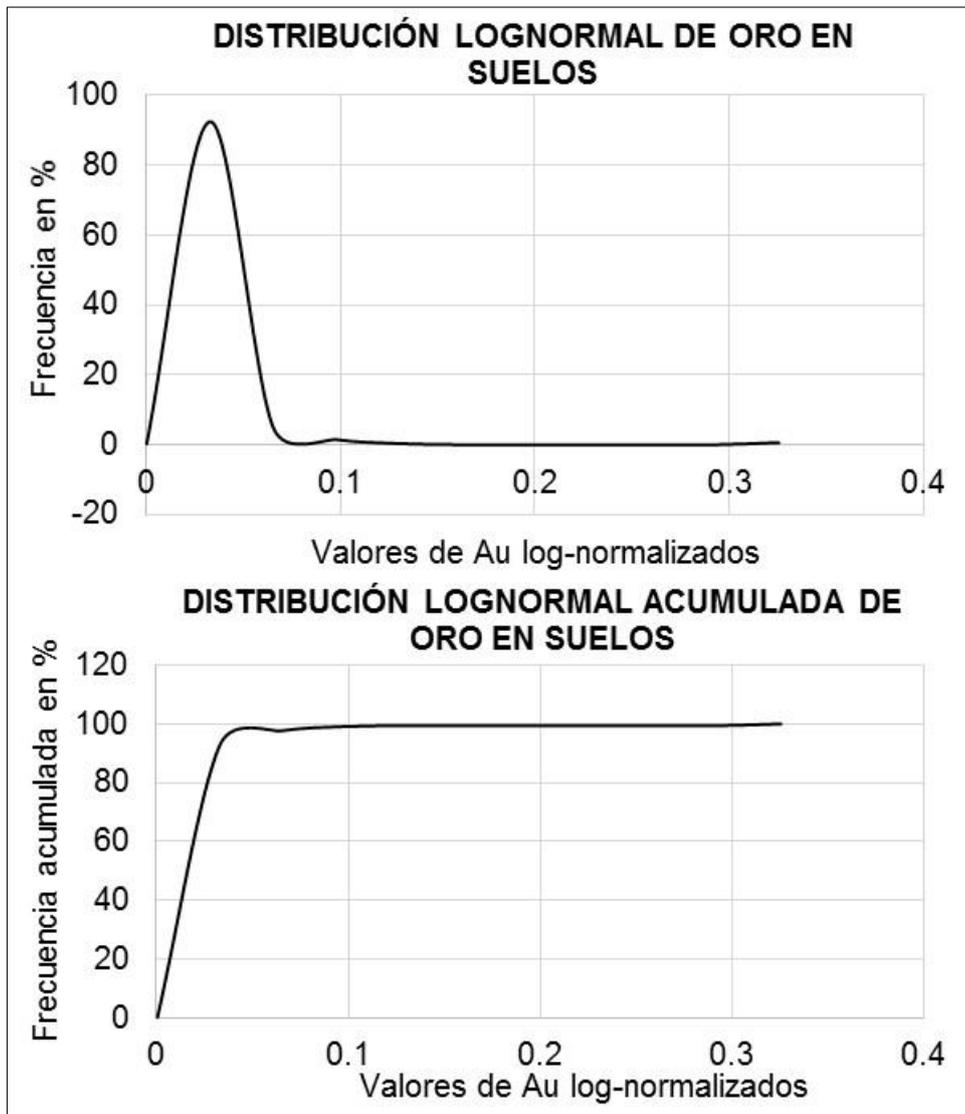
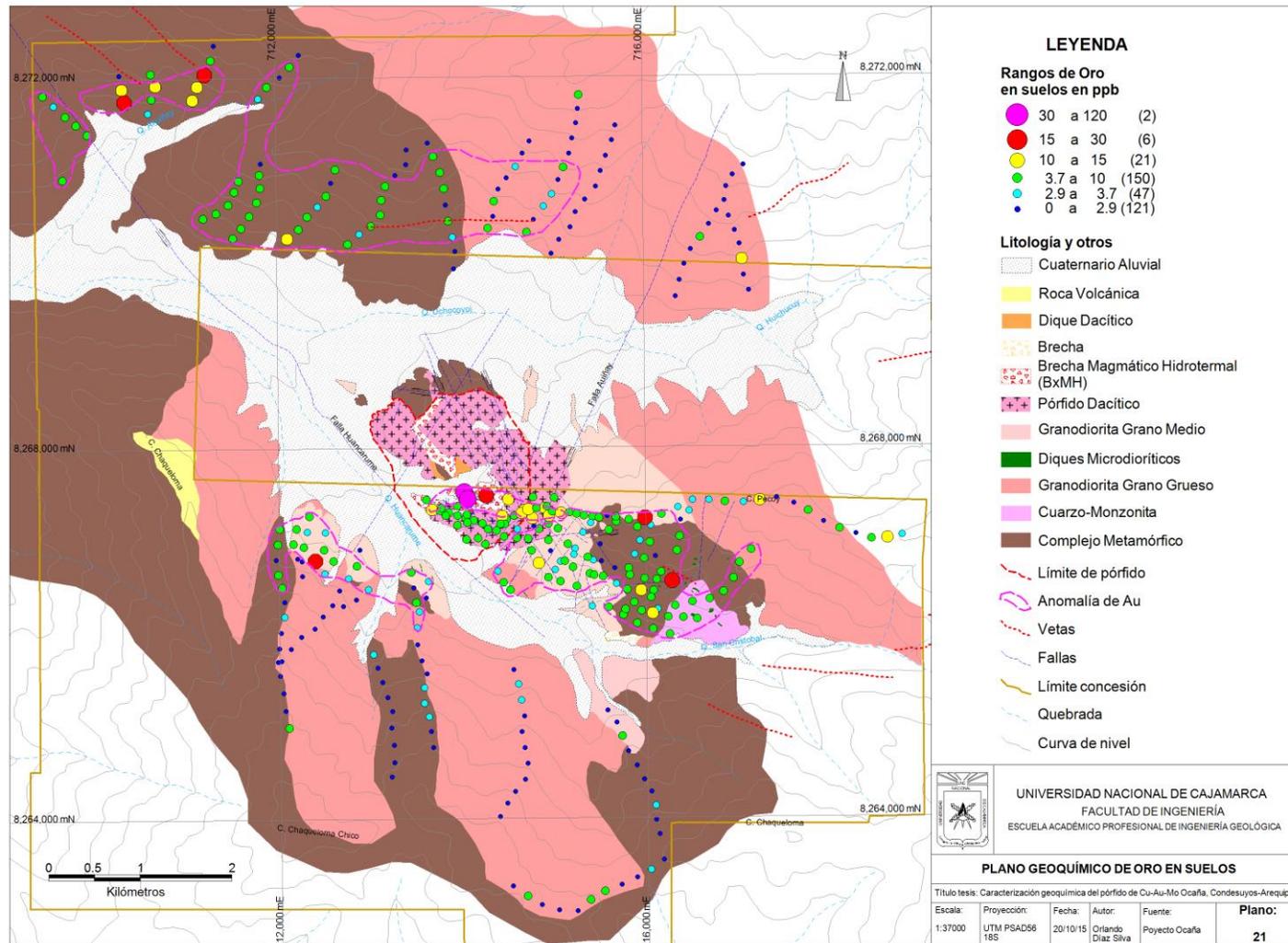


Gráfico 3. Distribución de oro en suelos.



Plano 21. Geoquímica de oro en suelos.

#### **3.12.1.4 Plata en suelos**

La plata tiene movilidad baja en ambientes ácidos y alcalinos, pero sus minerales se descomponen rápidamente en ambientes supérgenos, la distribución de la plata en los suelos es en general unimodal con un pequeño pico dentro de la distribución principal, ver gráfico 4.

Los valores más bajos están en las rocas del batolito de la costa y del complejo basal <105 ppb que representa valores de fondo geoquímico, la anomalía se presenta en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico con valores discontinuos >375 ppb observándose que la plata se aleja muy poco de los límites del pórfido a valores bajos pero más enriquecidos que los valores de fondo geoquímico y con una tendencia E-O; una segunda anomalía de valores bajos pero más enriquecidos que los valores de fondo geoquímico se dan en las rocas metamórficas del complejo basal con valores entre 105 a 200 ppb, esta zona correlaciona con la anomalía de cobre, oro, molibdeno. Anomalías más puntuales de valores bajos pero mayores que el fondo geoquímico se observan en la parte Norte donde hay presencia de vetas con mineralización de oro y metales base, también en los stocks de la parte Oeste de la etapa final del batolito donde la anomalía de la plata es muy puntual y diferente no correlacionando con la anomalía de cobre, oro, molibdeno, ver plano 22.

La plata puede verse que esta está íntimamente ligada al pórfido, no extendiéndose de manera considerable fuera de sus límites y por lo tanto no enriquece las rocas cercanas; tampoco los eventos de stocks tardíos del batolito de la costa están enriquecidos en plata como sucede con el cobre, oro, molibdeno. Se ve también que la plata migra en los eventos posteriores de mineralización en vetas con anomalías puntuales, tanto en la parte Norte y en las rocas metamórficas, probablemente asociada a la galena y al oro presentes en las vetas de cuarzo con metales base.

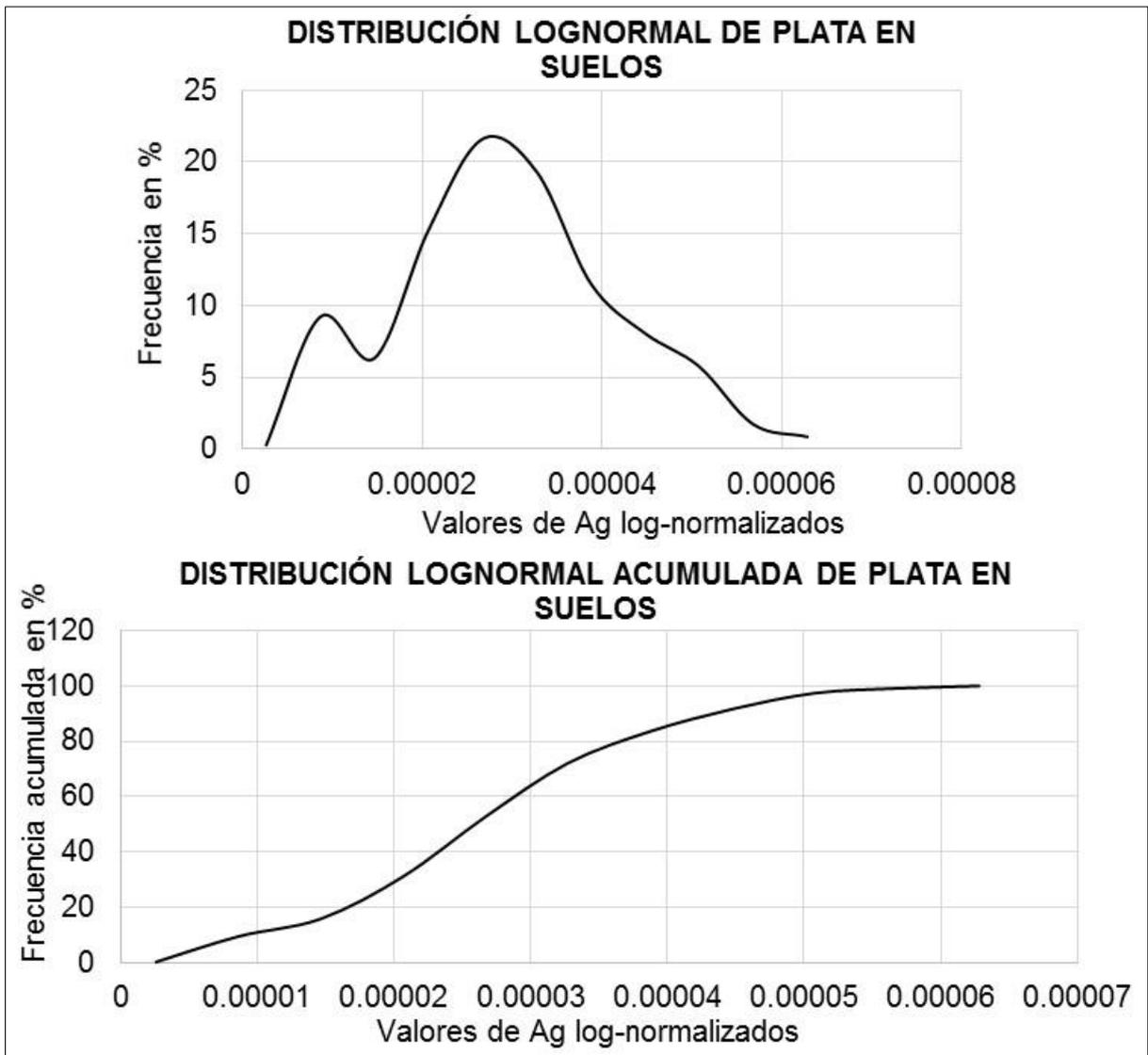
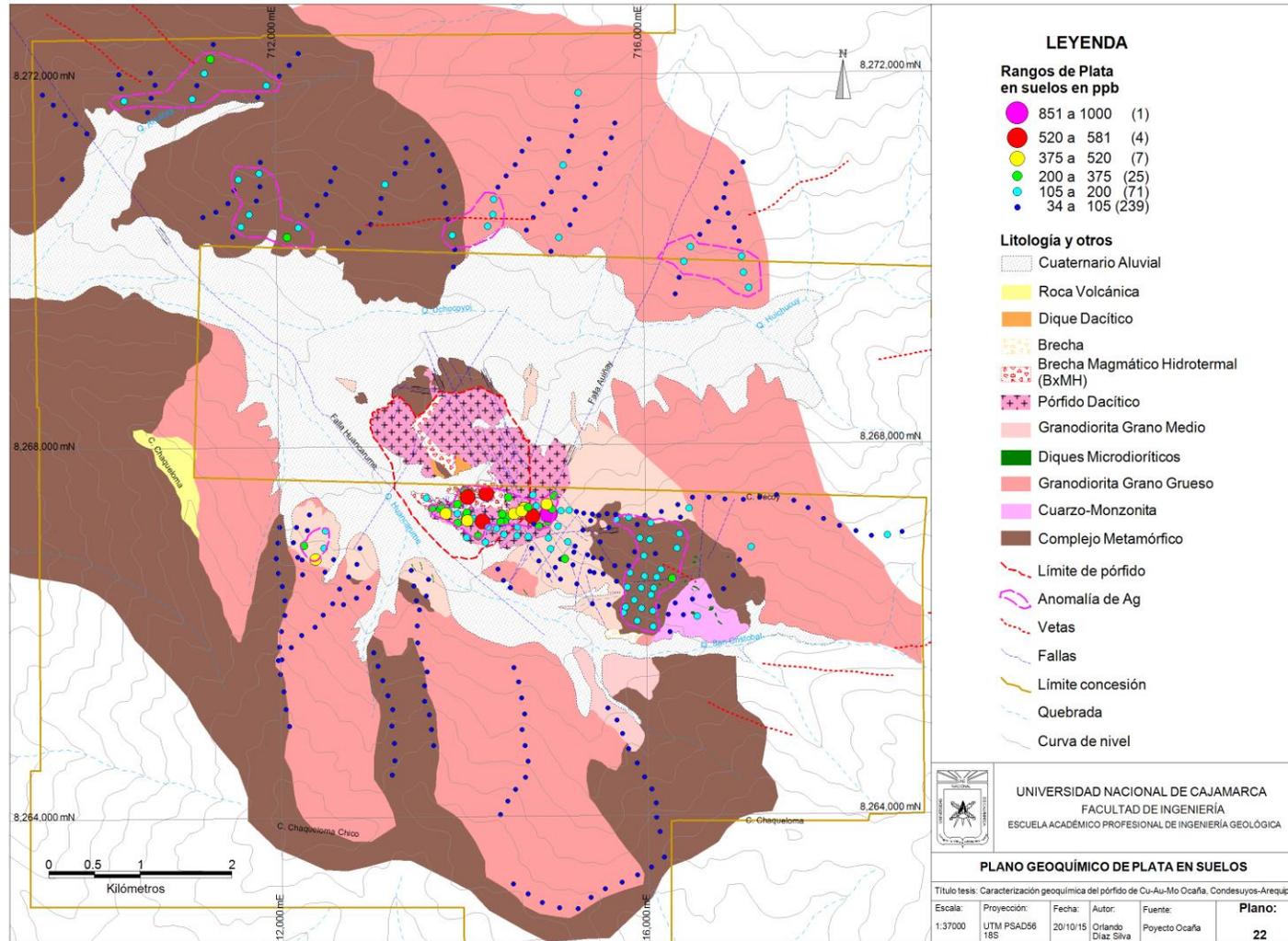


Gráfico 4. Distribución de plata en suelos.



Plano 22. Geoquímica de plata en suelos.

### 3.12.1.5 Plomo en suelos

El plomo es bastante inmóvil en ambientes ácidos como alcalinos, la distribución del plomo es en general unimodal, al igual que la plata tiene un pequeño pico dentro de la distribución principal, ver gráfico 5. Los valores de fondo en los suelos son <17 ppm en las rocas del batolito de la costa y en las rocas metamórficas del complejo basal que no hospedan vetas de cuarzo-oro metales base; se observa dos anomalías principales, la primera con valores continuos >21 ppm que tienden a salir hacia el exterior del límite Sureste del pórfido Ocaña, en el pórfido dacítico y en la brecha magmático hidrotermal también hay enriquecimiento en valores de plomo pero más bajos, en la segunda anomalía principal los valores se dan de una manera muy continua en la parte Norte donde el batolito y las rocas metamórficas hospedan vetas de cuarzo-oro metales base, la anomalía tiene una tendencia E-O. Los stocks de la parte Oeste y en la zona SE (Waka Waka) los enriquecimientos en plomo son puntuales relacionados a algunas estructuras; el plomo en el pórfido dacítico-brecha magmático hidrotermal no correlaciona con los elementos de cobre, molibdeno, oro, plata mostrándose más externo ya que se asocia a etapas finales de temperaturas menores y migró más a los exteriores del pórfido en estructuras, ver plano 23.

El plomo tiende a concentrarse con valores altos inmediatamente fuera del pórfido-brecha magmático hidrotermal, siendo congruente su acumulación en etapas posteriores a la mineralización del pórfido, cuando los fluidos más fríos migraron fuera del pórfido. El mismo pórfido se encuentra enriquecido en plomo respecto a otras rocas encajonantes, pero siempre relacionados a mineralización pos pórfido; abundante plomo también migra hacia las estructuras más lejanas como se evidencia en los suelos de la parte Norte enriquecidos en plomo, en esta etapa los fluidos son más fríos donde el plomo es más móvil y por lo tanto se aleja más.

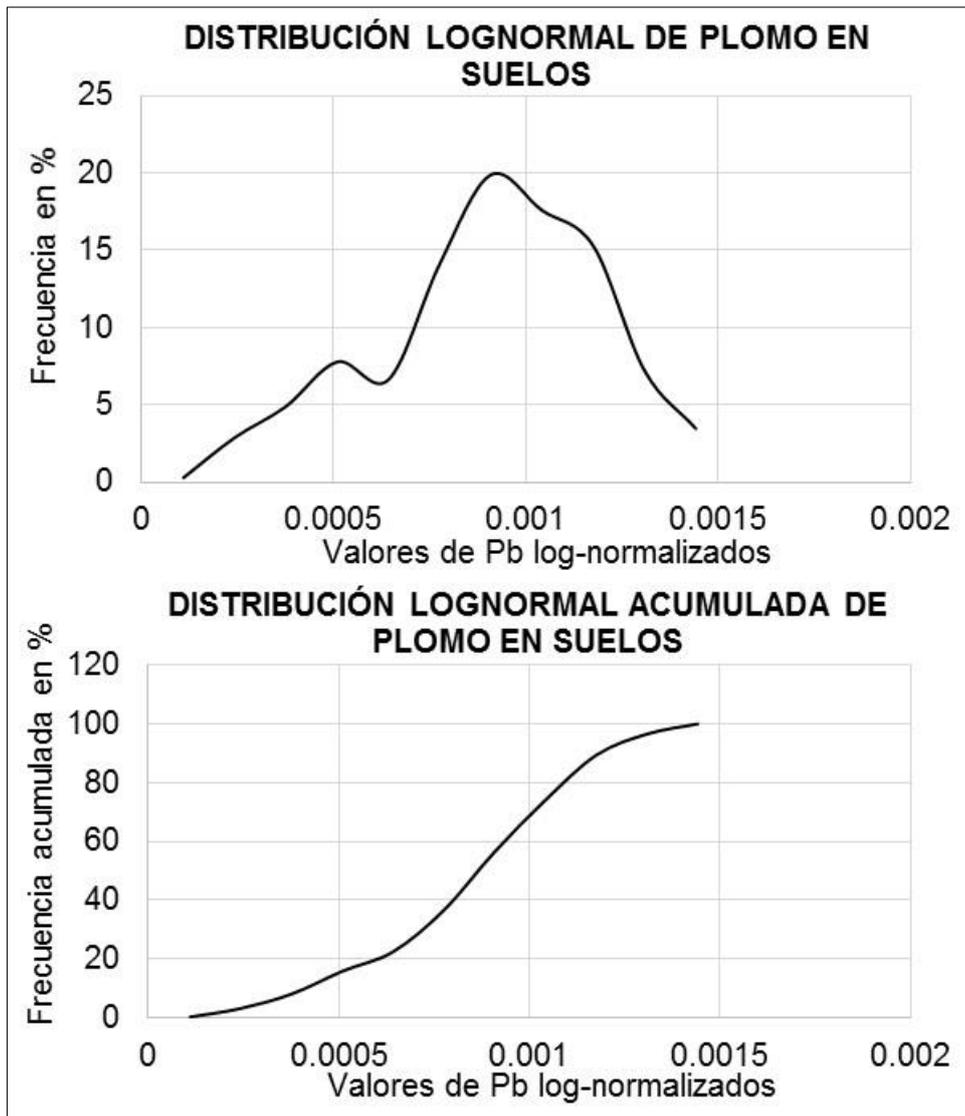
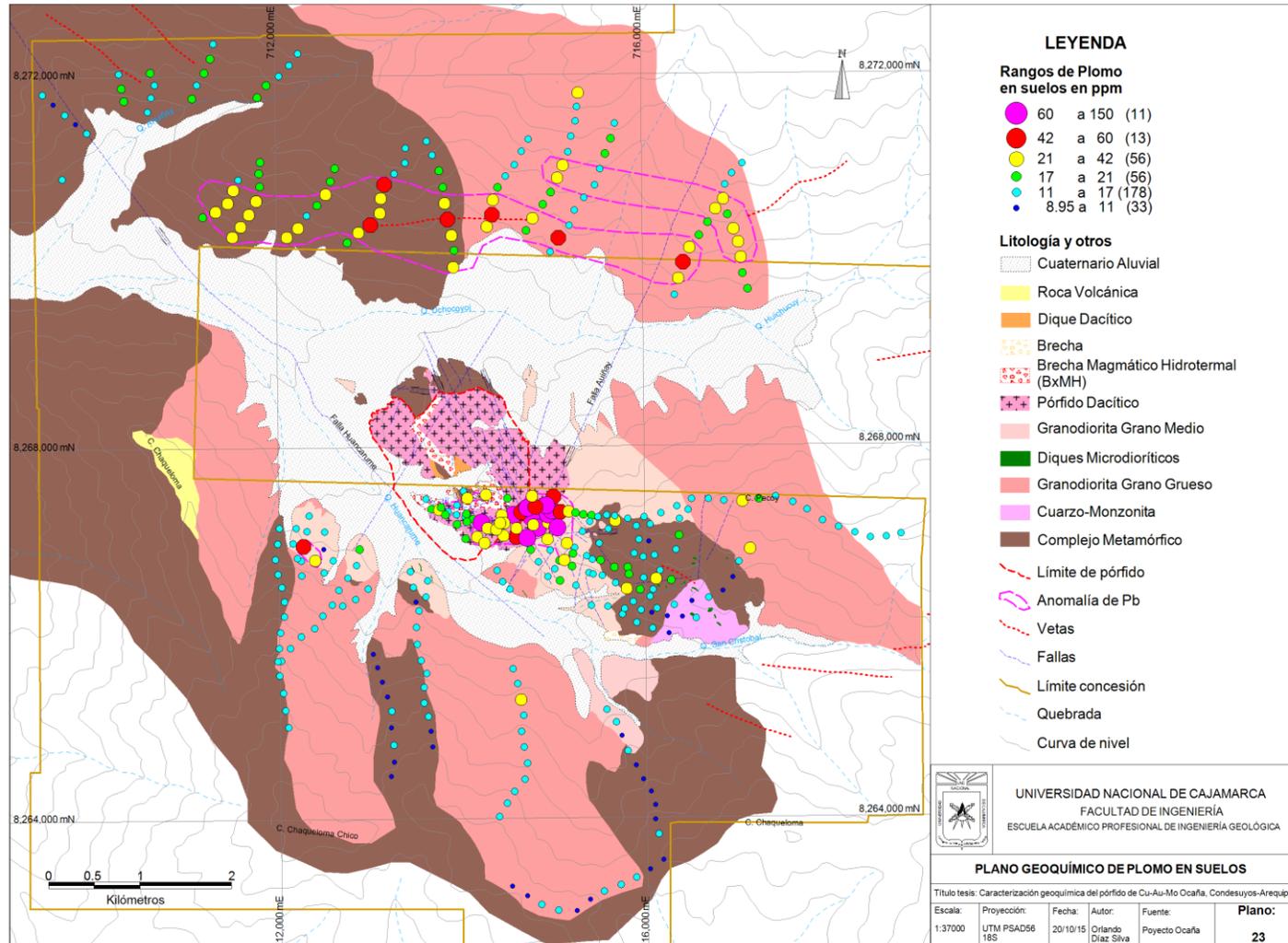


Gráfico 5. Distribución de plomo en suelos.



Plano 23. Geoquímica de plomo en suelos.

### **3.12.1.6 Zinc en suelos**

El zinc es altamente soluble en ambientes ácidos, los suelos residuales generalmente tienen poca oxidación a excepción de los suelos de la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico y algunas zonas puntuales que presentan fuerte oxidación por la presencia de pirita diseminada y en vinillas anteriores, lo que en algún momento por la oxidación de sulfuros generó aguas ácidas que pudo lixiviar el zinc, pero debido a que el clima es bastante árido la presencia de agua es escasa no llegando a ocurrir fuerte removilización del zinc, la distribución del zinc es unimodal con una tendencia de valores a la izquierda, ver gráfico 6. El zinc en las rocas tanto del batolito de la costa como las del complejo basal tienen valores bajos donde no hay presencia de estructuras mineralizadas; se presenta dos anomalías importantes de zinc muy similares al plomo, la primera inmediatamente al exterior del pórfido de cobre en la parte SE con valores continuos muy altos >98 ppm, dentro del pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal hay enriquecimiento de valores medios pero puntuales, la segunda anomalía en la parte Norte en las zona de estructuras, con valores continuos altos siguiendo la dirección E-O. También hay anomalías puntuales en la parte SE y en los stocks del Oeste; la correlación de la ubicación de anomalías de plomo y zinc es alta, al igual que el plomo el zinc tiende a migrar hacia la parte exterior del pórfido y también a alejarse en estructuras pos mineralización del pórfido. En el plano 24 de geoquímica del zinc en suelos se puede corroborar la afinidad alta entre el plomo y el zinc por la ubicación fuertemente coincidente de sus anomalías.

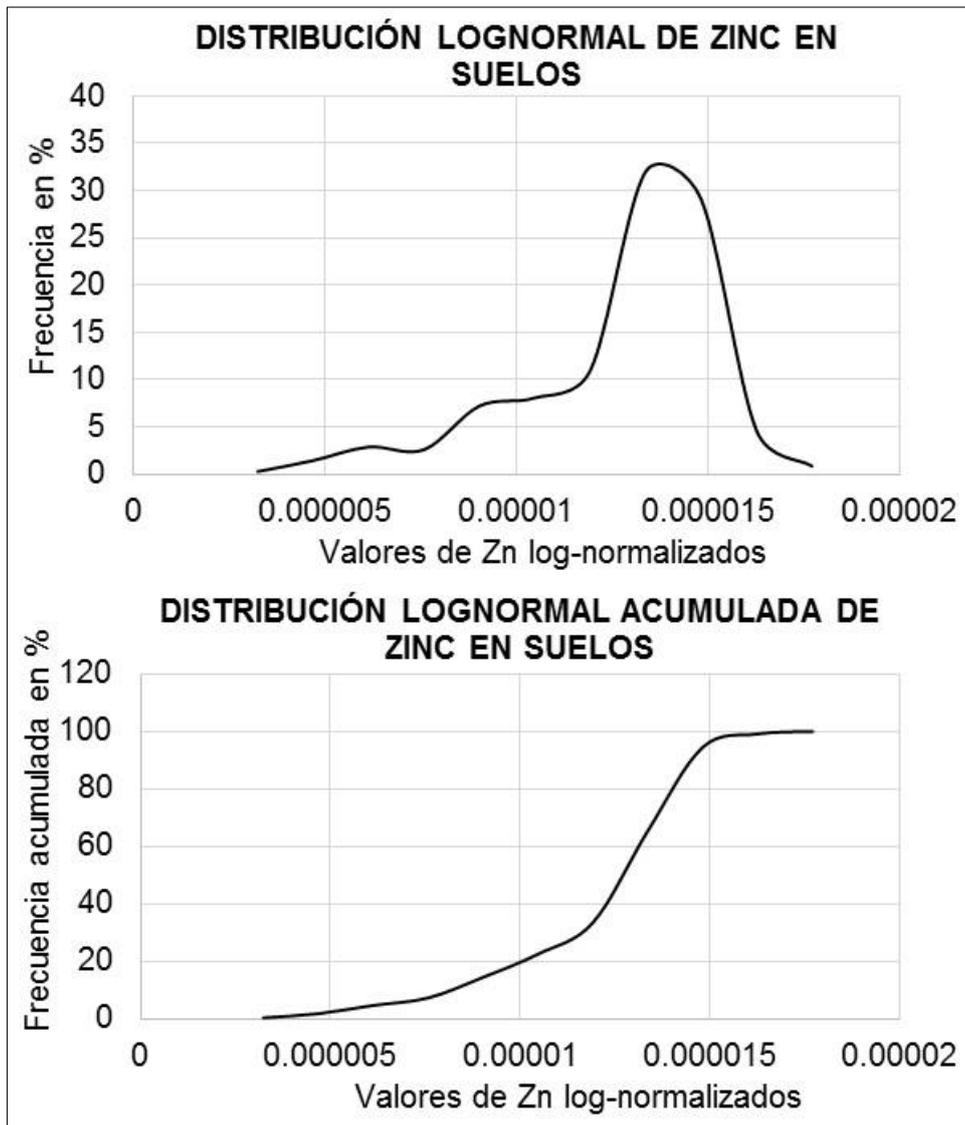
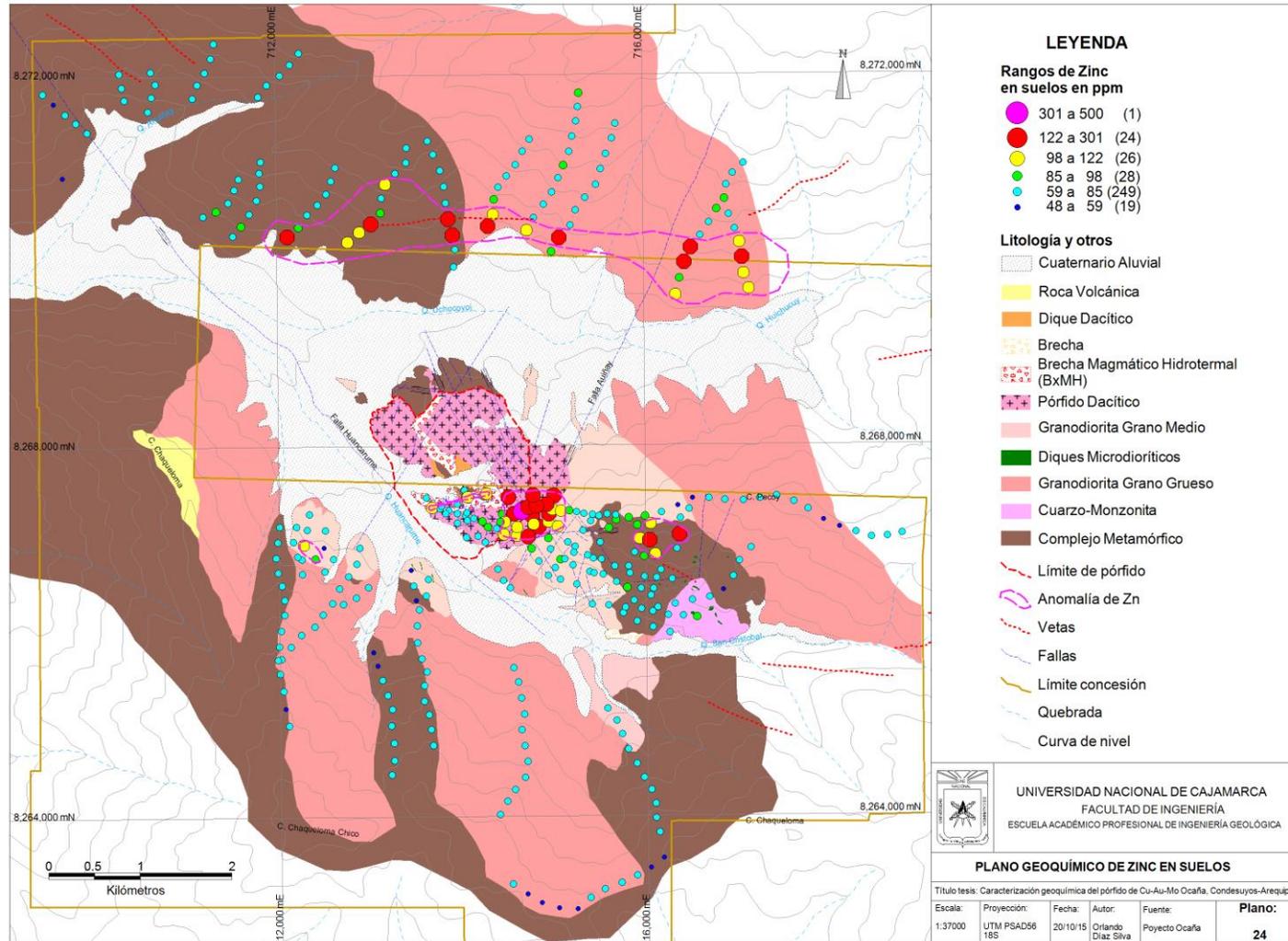


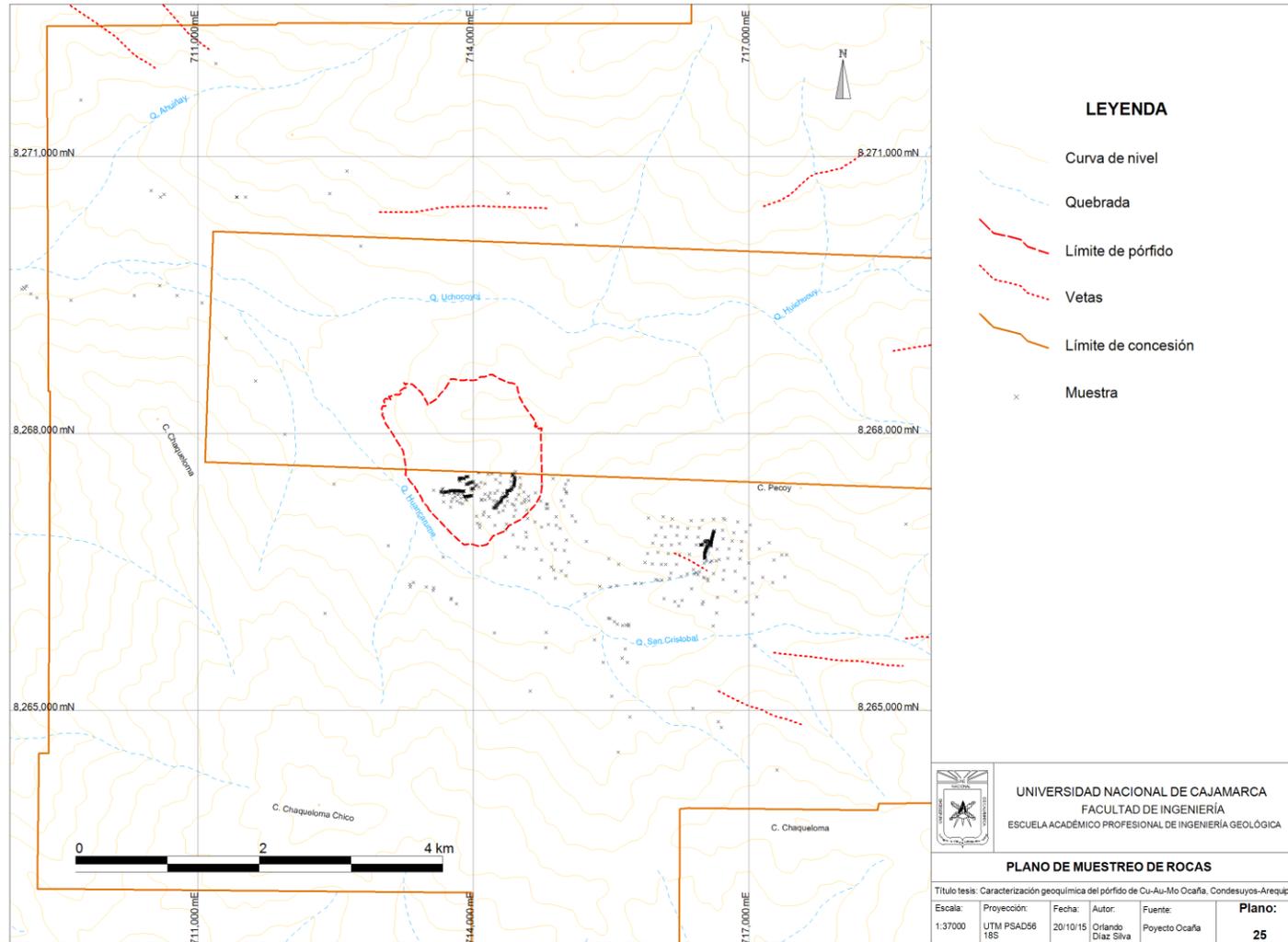
Gráfico 6. Distribución de zinc en suelos.



Plano 24. Geoquímica de zinc en suelos.

### **3.12.2 GEOQUÍMICA EN ROCAS**

El muestreo de rocas se realizó principalmente por el método de astillas de rocas y por canales, de todo el pórfido dacítico-brecha magmático hidrotermal y de las zonas circundantes al pórfido, ver plano 25. Los datos de muestreo de astillas de rocas también fueron log normalizados como en el caso de suelos, por motivos de presupuesto el muestreo de rocas no es muy sistemático como el muestreo de suelos, solamente es sistemático en el pórfido y en la zona Waka Waka, en el resto de lugares son muestreos puntuales; el número de muestras analizadas para rocas fueron 650.



Plano 25. Muestreo de rocas en el pórfido Ocaña.

### **3.12.2.1 Cobre en rocas**

La curva de distribución del cobre en rocas es unimodal muy regular, ver gráfico 7, con mucha diferencia y más simple que la distribución del cobre en suelos. Los valores de cobre son bajos <281 ppm en las rocas del batolito de la costa y en las rocas metamórficas del complejo basal, a excepción de algunos valores altos puntuales donde estas rocas hospedan vetas de cuarzo-oro metales base en la parte Norte. Se observa dos anomalías marcadas, la primera en el pórfido dacítico-brecha magmático hidrotermal donde los valores son moderados a altos discontinuos >750 ppm, el cobre se encuentra enriquecido hasta 500 m fuera del pórfido hacia la alteración clorítica; la segunda anomalía de cobre es en la parte Sureste (Waka Waka) en las rocas del complejo basal con alteración clorita-epídota también con valores medios a altos, la mineralización en esta zona se observa en algunas venillas de cuarzo y en algunas vetas, esta zona quedó como un target para trabajos futuros; las dos anomalías principales correlacionan bien con las anomalías principales en suelos, también con los valores puntuales de la parte Norte donde el cobre fue ligeramente enriquecido dentro de las vetas de cuarzo, esto nos indica que la migración del cobre hacia estas zonas alejadas fue menor que el cobre presente en el pórfido y en zonas cercanas como la anomalía del SE.

El cobre en el pórfido se encuentra diseminado y en venillas dentro del stockwork de cuarzo, la migración del cobre hacia los alrededores es baja, estando principalmente hospedado en vetas de cuarzo y algunas venillas que se alejan hasta 2 km fuera del pórfido. No hay enriquecimiento de cobre en las rocas del batolito, tampoco en las rocas del complejo basal, ver plano 26.

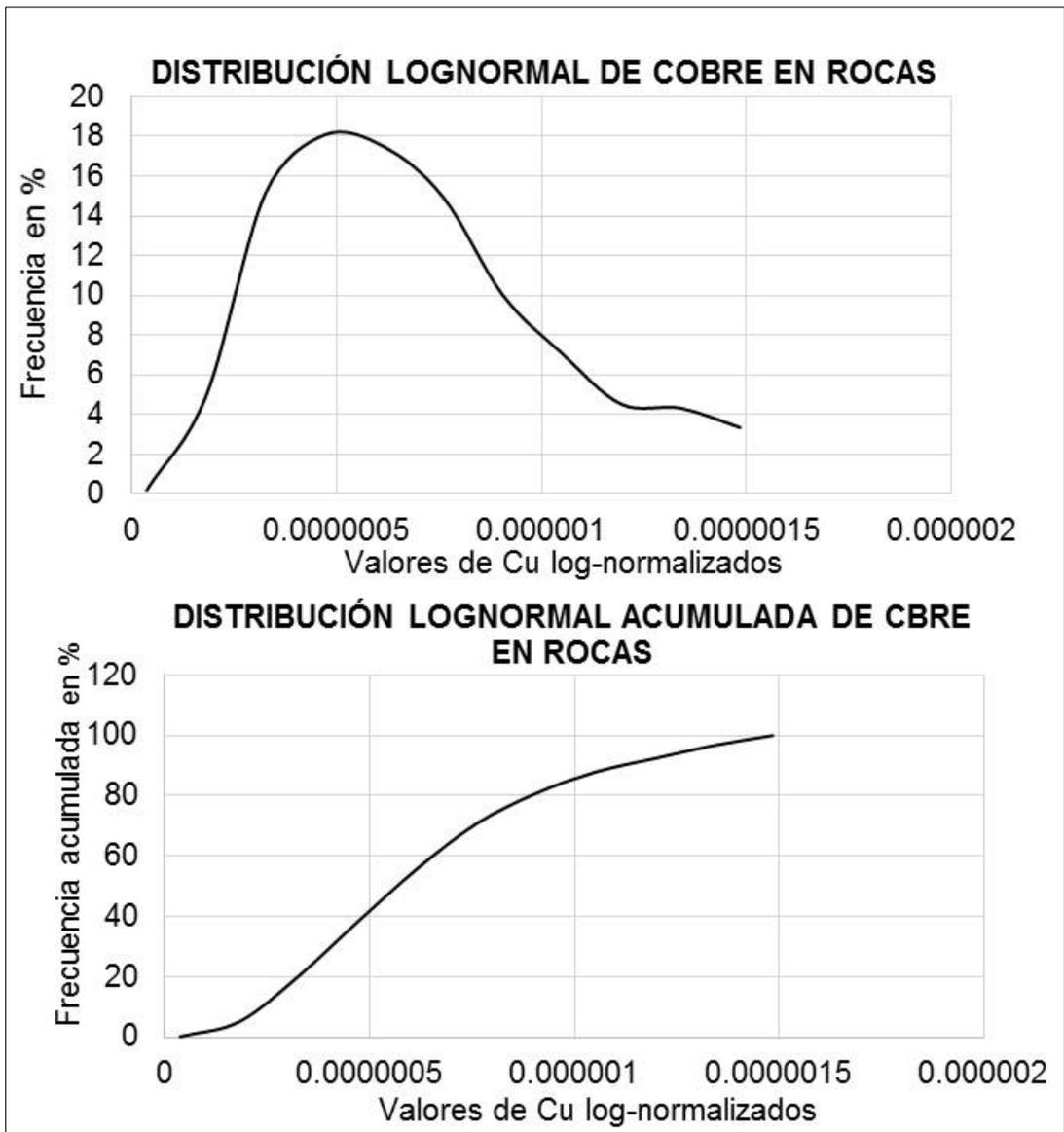
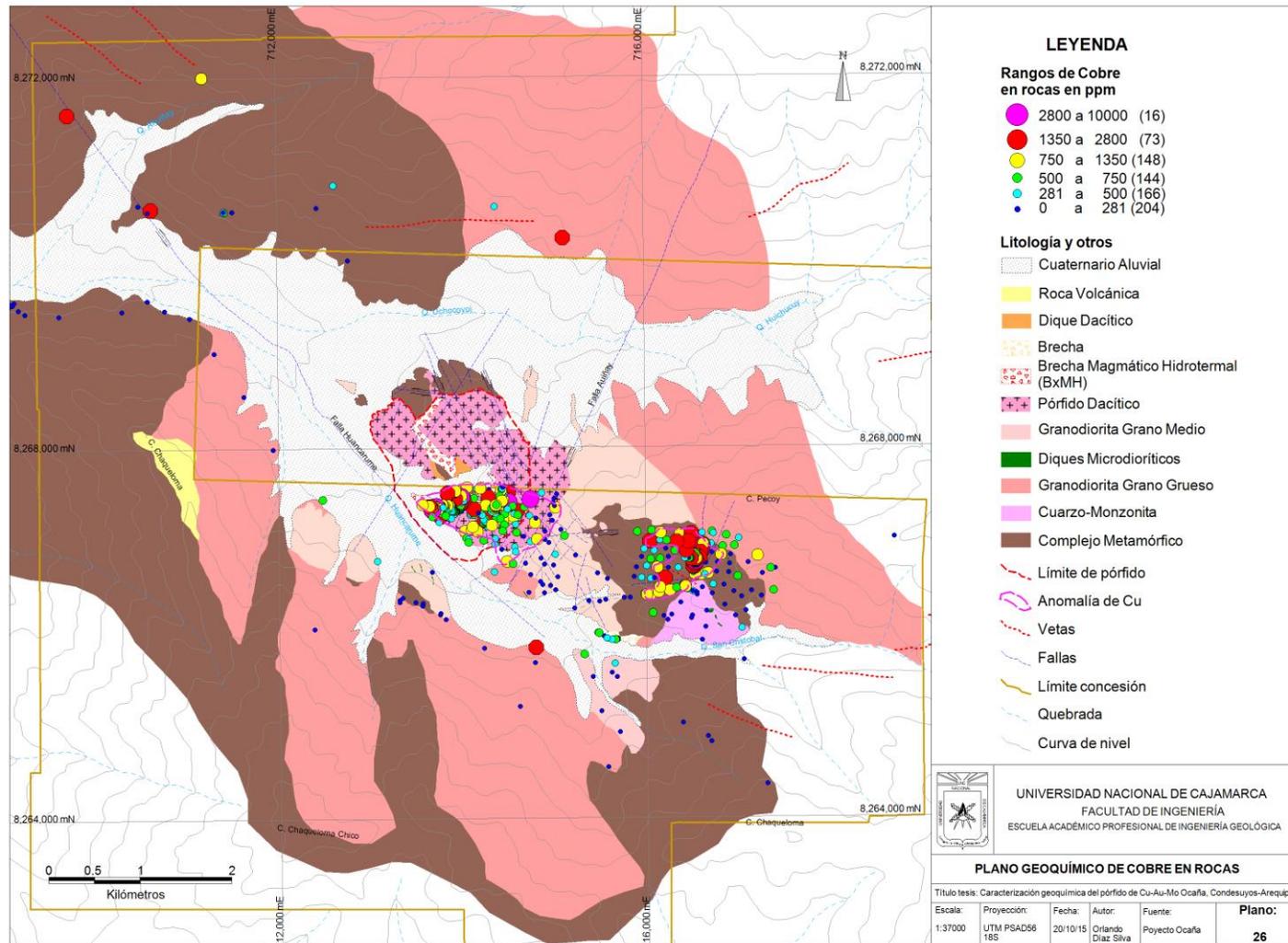


Gráfico 7. Distribución de cobre en rocas.



Plano 26. Geoquímica de cobre en rocas.

### **3.12.2.2 Molibdeno en rocas**

La distribución del molibdeno en las rocas es unimodal con una asimetría positiva, ver gráfico 8, en el batolito y en el complejo basal en las partes alejadas del pórfido los valores son bajos <18 ppm; se observa dos anomalías principales, la primera en la brecha magmático hidrotermal con valores altos muy continuos >80 ppm, al borde SE del pórfido hay un enriquecimiento de valores puntuales hasta 1 km fuera del pórfido en la granodiorita de grano medio cuyos valores van disminuyendo paulatinamente conforme nos alejamos del pórfido a la alteración clorita-epídota, la segunda anomalía se da en la parte SE con valores puntuales muy altos >225 ppm, en esta zona se observa venillas de molibdenita cercanamente con venillas de magnetita en la granodiorita grano medio y en las rocas metamórficas del complejo basal con alteración clorita-epídota. En las vetas de la parte Norte no se observa valores anómalos de molibdeno, tampoco en los stocks de la parte Oeste, las dos anomalías principales de suelos tienen buena coincidencia con las dos anomalías en rocas, ver plano 27. En ambos tipos de muestreo se puede observar que el molibdeno está relacionado a las etapas de emplazamiento del pórfido, acumulándose en las cercanías e inmediaciones al depósito, no se relaciona a otras etapas pos pórfido ya que no se encuentran valores anómalos en las estructuras mineralizadas.

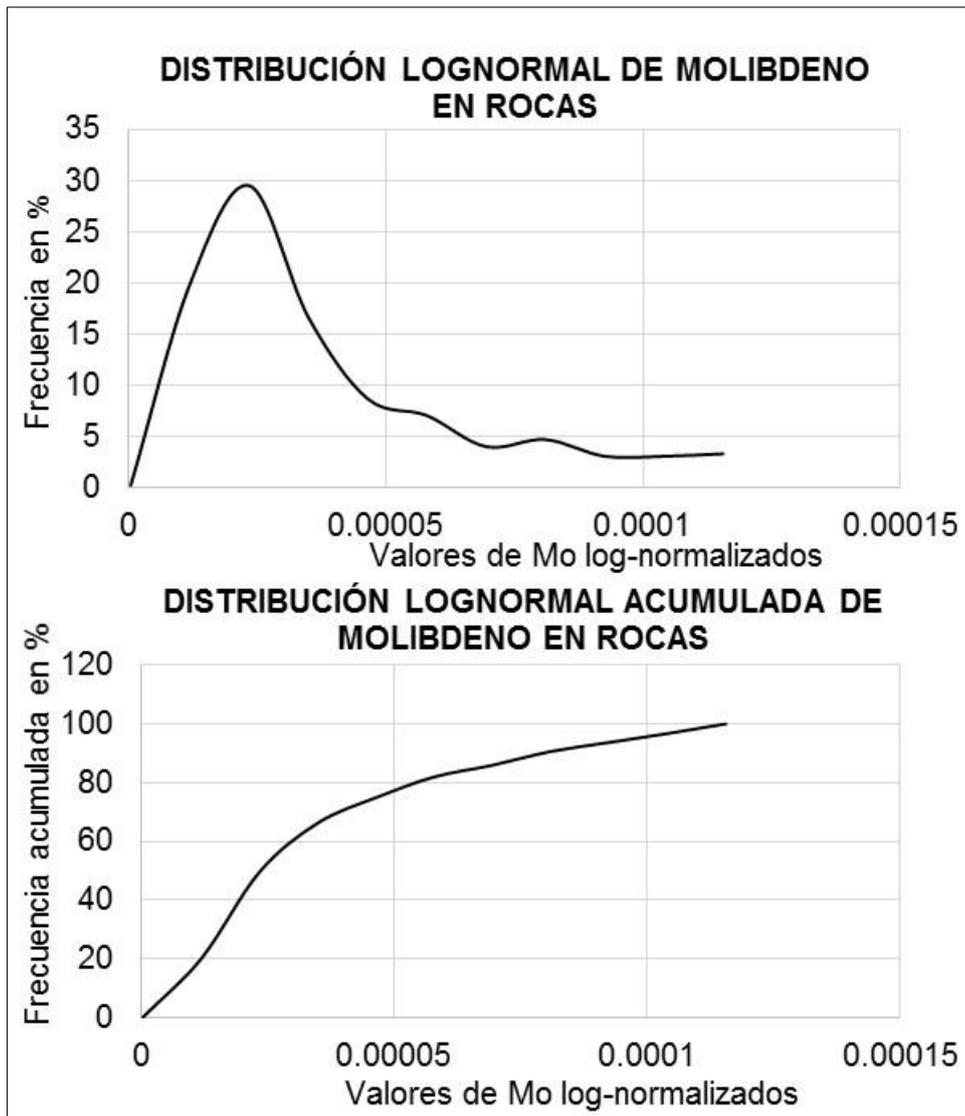
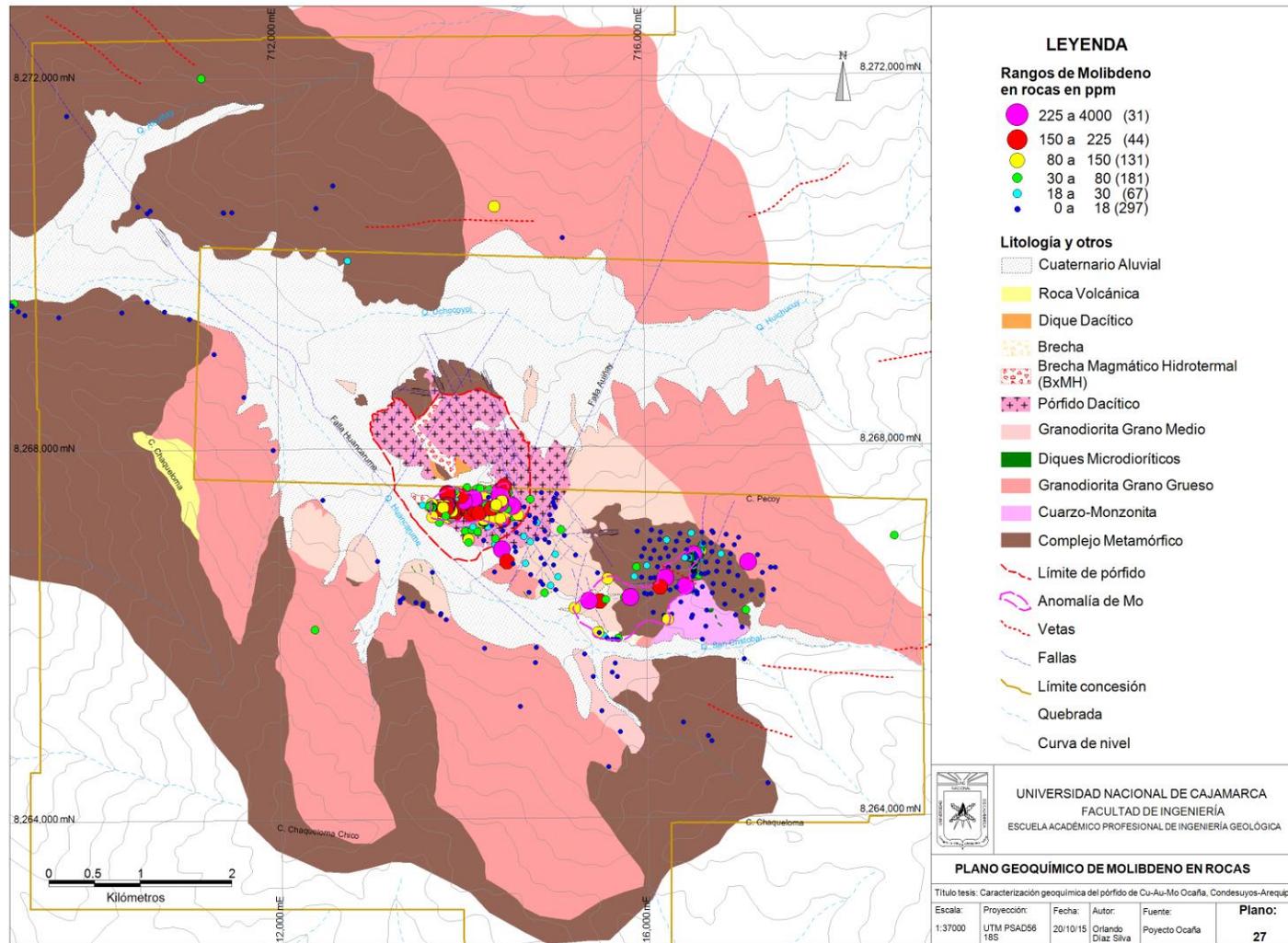


Gráfico 8. Distribución de molibdeno en rocas.



Plano 27. Geoquímica de molibdeno en rocas.

### 3.12.2.3 Oro en rocas

La distribución del oro es unimodal con similitud en forma de la curva a la distribución de suelos, ver gráfico 9, los valores son bajos en las rocas del batolito y en las rocas metamórficas del complejo basal exteriores al pórfido. Tenemos dos anomalías principales, la primera en la brecha magmático hidrotermal y parte del pórfido dacítico con valores medios entre 0.05 a 0.5 ppm muy continuos en toda la brecha magmático hidrotermal con alteración potásica o en alteraciones superpuestas a la alteración potásica, que decrece cuando pasa al pórfido dacítico, la parte exterior del pórfido dacítico ya tiene valores muy bajos <0.03 ppm, lo que indica que el oro se relaciona más con la brecha magmático hidrotermal y la parte más interior del pórfido dacítico; la segunda anomalía se da en la parte Norte en la zona de vetas de cuarzo-oro metales base con valores muy altos de 1 a 25 ppm, con forma alargada en dirección E-O; en la parte SE (Waka Waka) se ven valores puntuales de oro que corresponden a estructuras mineralizadas similares a las de la parte Norte, se observa una pequeña anomalía de valores medios dentro de las rocas metamórficas, pero la mayoría de valores son muy bajos. En los stocks de la parte Oeste los valores de oro son también muy bajos correspondientes al fondo geoquímico; los valores inmediatamente fuera del pórfido al SE también son muy bajos no observándose enriquecimiento en estas rocas. En la parte SE cerca de la quebrada San Cristobal se observa una pequeña anomalía de valores medios de oro hospedados en una brecha con abundante harina de roca en la matriz, clastos sub redondeados y alteración propilítica, ver plano 28.

Se puede ver que el evento principal de pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo y la brecha magmático hidrotermal tiene mejores valores de oro deseminado asociado al fuerte venilleo en el stockwork y la alteración potásica. La migración del oro hacia las partes exteriores se da en la etapa pos pórfido y exclusivamente relacionado a estructuras con altas leyes de oro junto a metales base. En los suelos se observa mayor dispersión del oro por la facilidad que tiene este a quedarse en los suelos residuales.

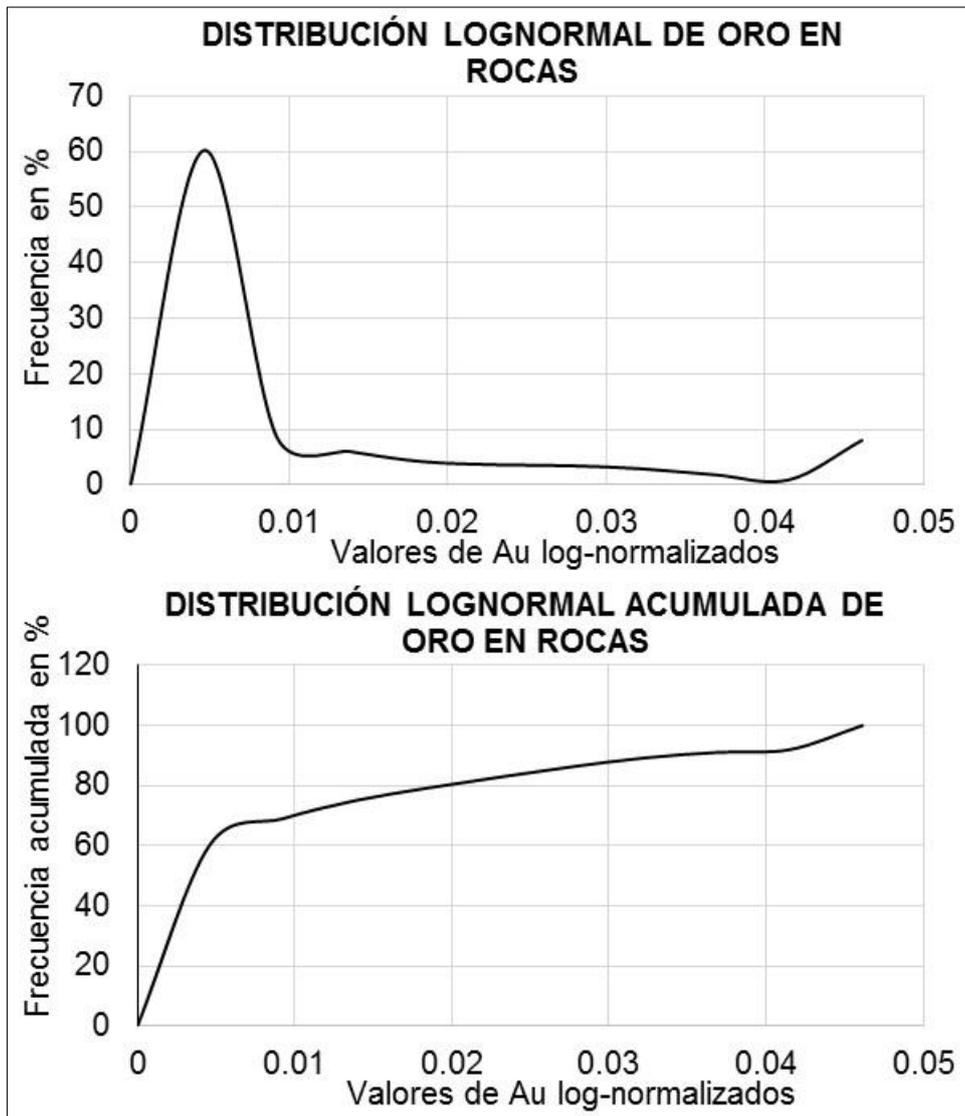
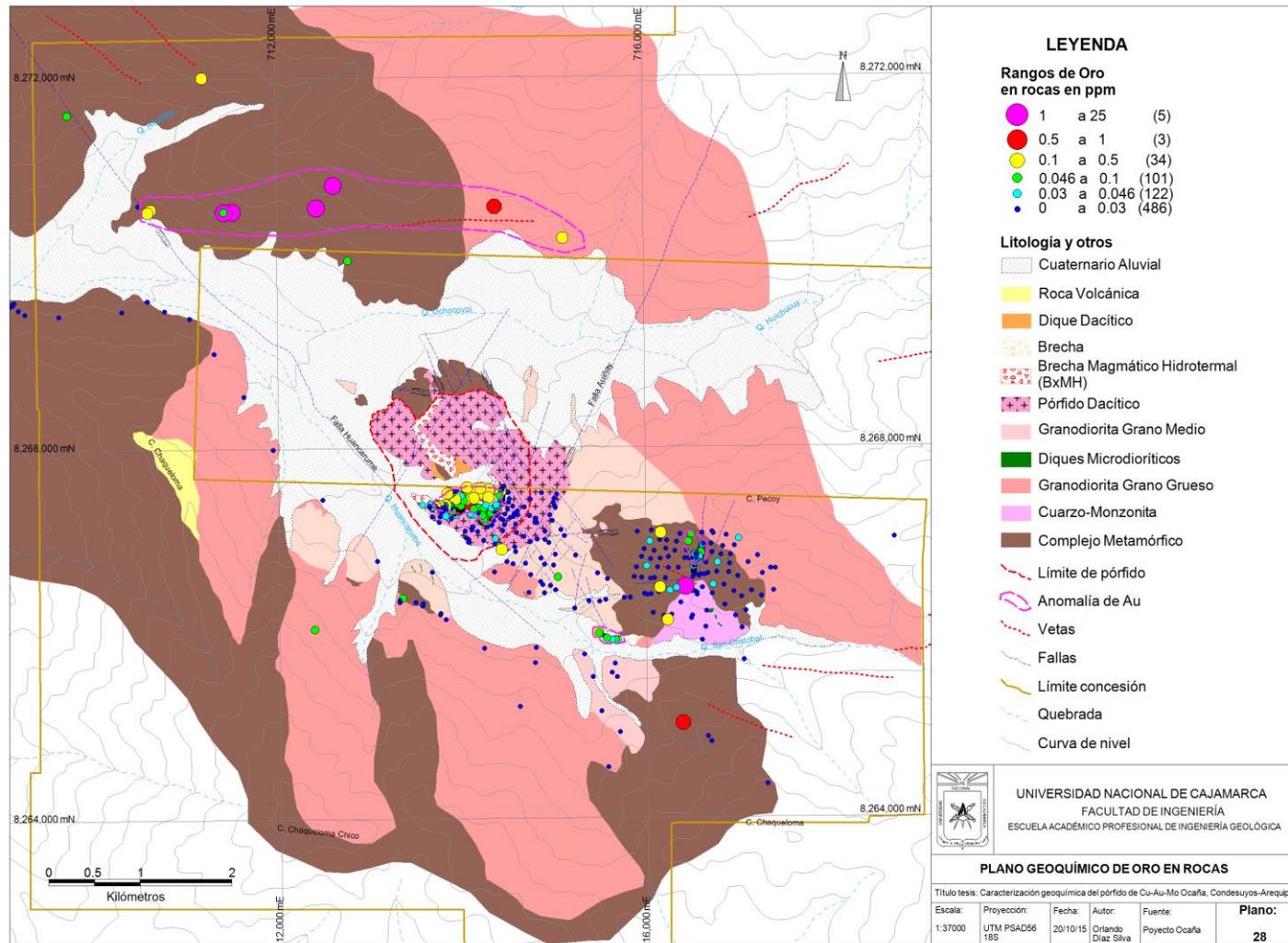


Gráfico 9. Distribución de oro en rocas.



Plano 28. Geoquímica de oro en rocas.

#### **3.12.2.4 Plata en rocas**

La curva de distribución de la plata es unimodal con un pequeño pico secundario a la parte derecha, ver gráfico 10, en las rocas más exteriores a la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico los valores son  $<0.4$  ppm que son valores normales de estas rocas. Se observa dos anomalías principales, la primera en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico donde los valores son medios en general, con valores mayores en la brecha magmático hidrotermal y disminuyendo hacia el pórfido dacítico, el enriquecimiento en plata es a más de 500 m fuera del pórfido a la parte SE; la anomalía de la parte Norte se da con valores altos  $>23$  ppm y se correlacionan exactamente con el oro presente en las vetas de cuarzo-oro metales base. En los stocks del Oeste y la zona SE (Waka Waka) los valores son bajos semejantes a los valores normales de las rocas, salvo valores puntuales en estructuras mineralizadas, ver plano 29.

La dispersión de la plata en la mineralización del pórfido es mayor a la dispersión del oro, enriqueciendo hasta 500 m fuera a las rocas encajonantes, el oro no sale más allá de la brecha magmático hidrotermal como se puede ver plano 28, esta plata está asociada al enriquecimiento en plomo a esta zona que corresponde a mineralización pos pórfido relacionado a fluidos hidrotermales tardíos más fríos; la plata en las vetas de la parte Norte se correlaciona bien con el oro y corresponde también a mineralización pos pórfido más tardía de fluidos más fríos y rellenando estructuras. Los valores de la plata en la brecha magmático hidrotermal permiten considerar al pórfido Ocaña como un pórfido de cobre-oro-molibdeno-plata, que ameritan considerarlo como un posible producto además de los elementos cobre-oro-molibdeno, como se ve la plata esta diseminada y en las venillas del stockwork asociado al oro y por ende a la calcopirita en la brecha magmático hidrotermal.

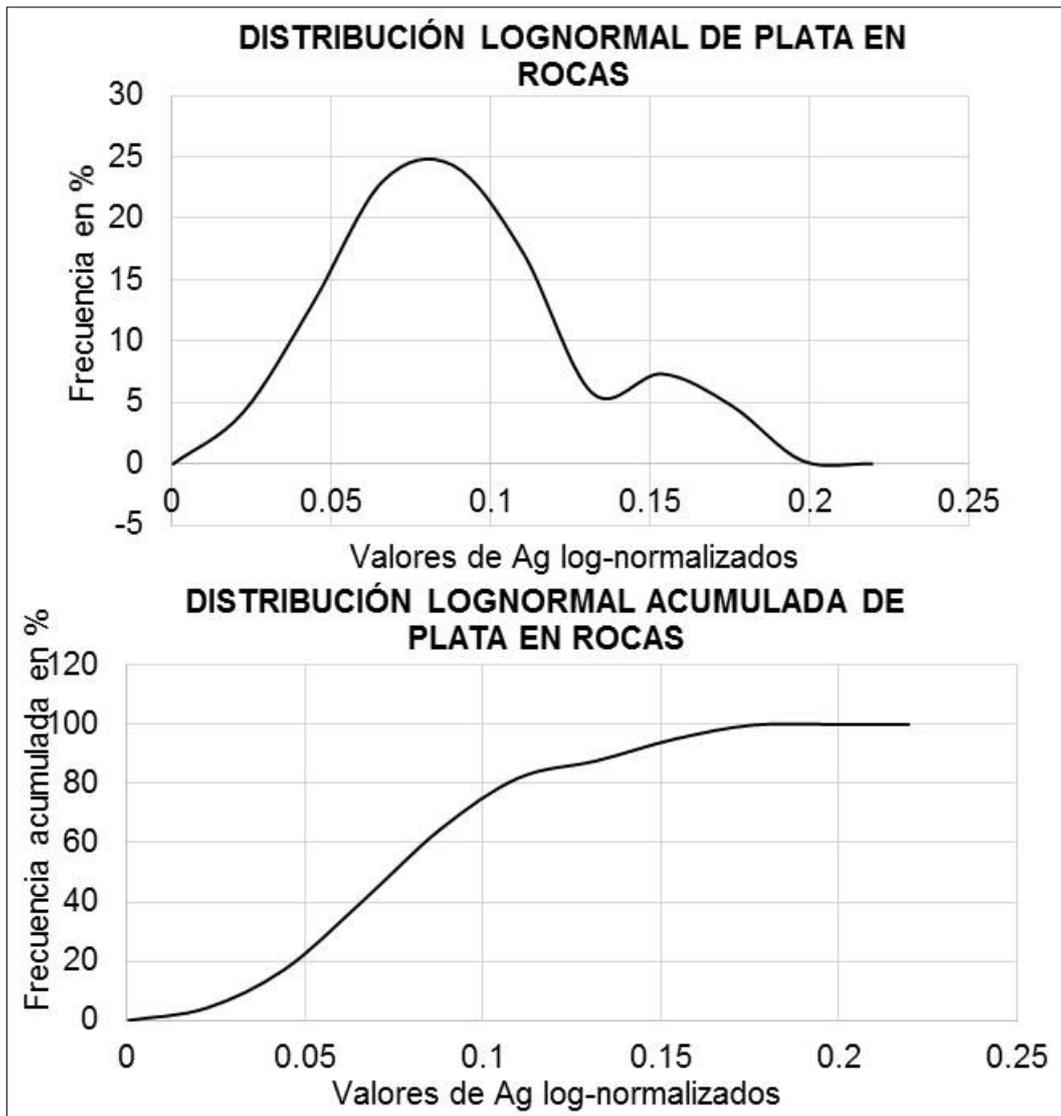
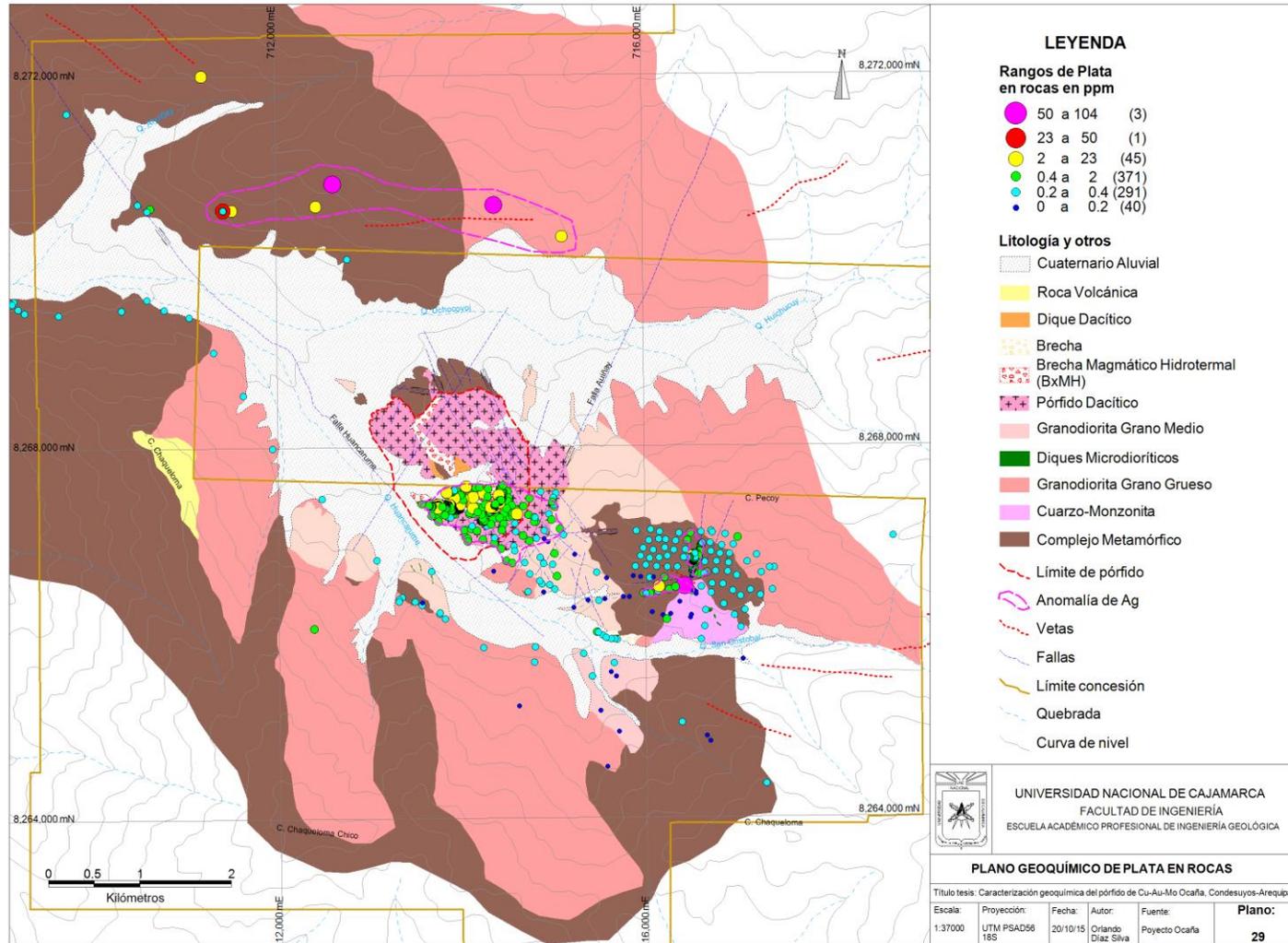


Gráfico 10. Distribución de plata en rocas.



Plano 29. Geoquímica de plata en rocas.

### 3.12.2.5 Plomo en rocas

La distribución del plomo es unimodal con una ligera asimetría a la parte positiva, ver gráfico 11, las rocas circundantes al pórfido tienen valores muy bajos en plomo tanto en el batolito de la costa y el complejo basal con valores <10 ppm; el plomo en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico se observa con varias anomalías puntuales pequeñas de valores medios y altos, también hay una franja de valores enriquecidos fuera del límite del pórfido dacítico paralelo a su contorno, estos valores altos puntuales se evidencian por la presencia de algunas venillas de galena muy tardías dentro del pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal, comparando los valores más alejados toda la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico hasta 1 km fuera al SE los valores están más enriquecidos que los valores de la granodiorita del batolito y el complejo basal; en la parte Norte la anomalía se correlaciona con la anomalía de plata y oro observando valores altos >210 ppm de plomo, corroborando que la mineralización de las vetas es de oro-plata metales base. En la zona SE (Waka Waka) los valores en general son bajos relacionados a los valores normales de las rocas con algunos valores altos puntuales relacionados a una estructura de dirección N-S y algunos valores enriquecidos hacia el contacto complejo-granodiorita, en los stocks del Oeste los valores son normales, ver plano 30.

Se observa que el enriquecimiento en plomo no solamente se da en el interior pórfido-brecha magmático hidrotermal sino también sale fuera del límite del pórfido hasta 1 km, a diferencia de los valores en los suelos que sólo se muestra anomalía a la parte externa al pórfido. La mineralización de plomo en venillas dentro del pórfido y en vetas más alejadas corrobora que esta es pos pórfido ya que estas venillas en la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico cortan a toda venilla del pórfido. El plomo generalmente se encuentra en galena y asociado a plata, la movilidad del plomo es alta en las etapas tardías pos pórfido.

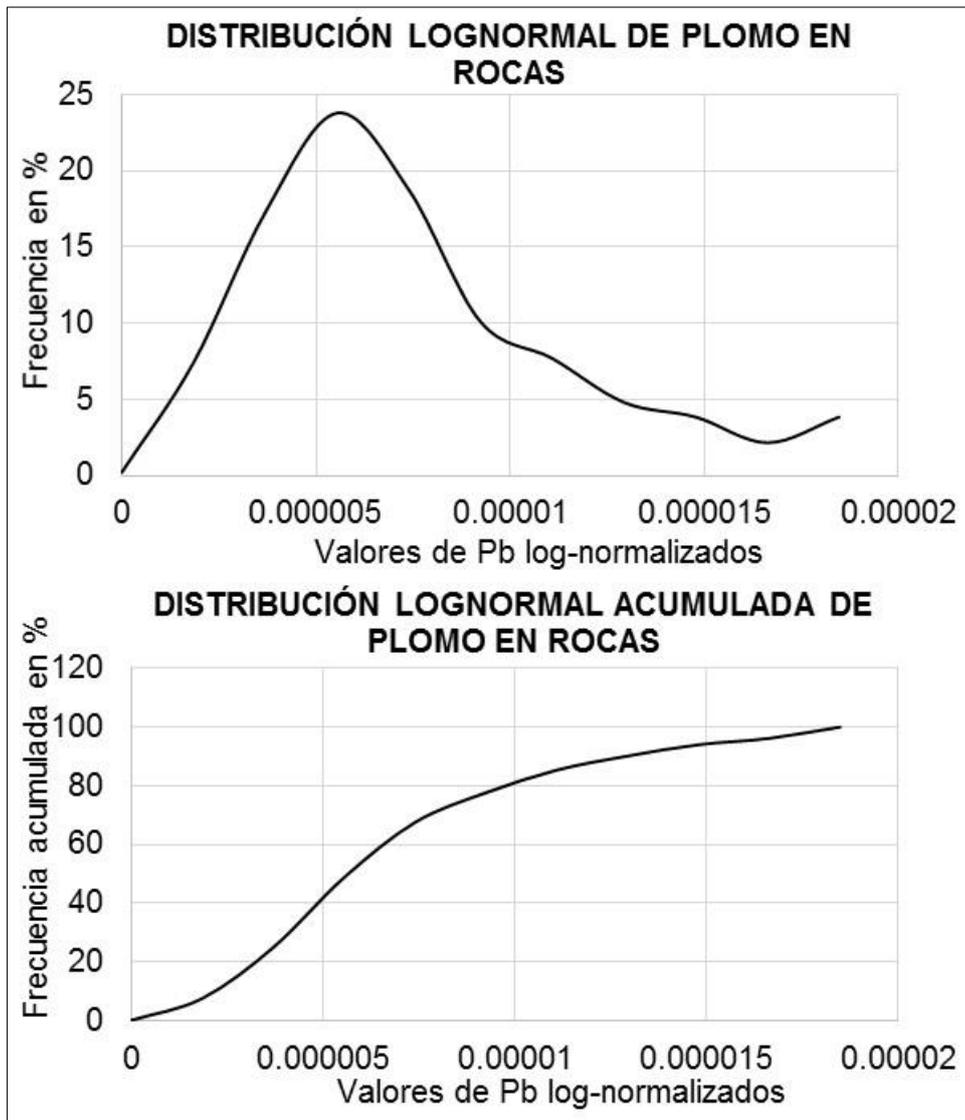
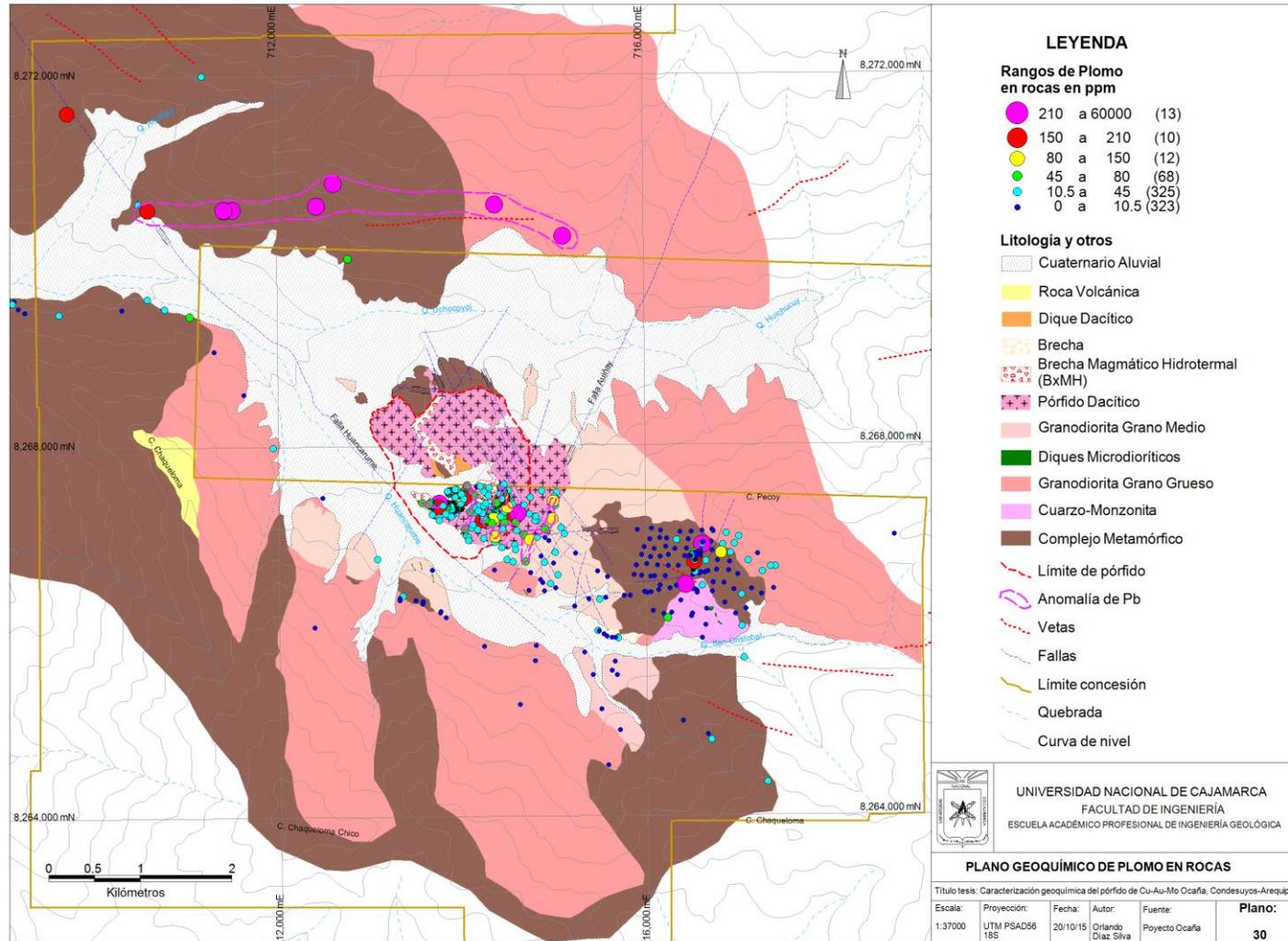


Gráfico 11. Distribución de plomo en rocas.



Plano 30. Geoquímica de plomo en rocas.

### **3.12.2.6 Zinc en rocas**

La distribución de los valores de zinc es bimodal observándose dos picos principales, ver gráfico 12, las rocas circundantes al pórfido tienen valores medios a bajos como valores normales, en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico a la parte SE fuera de los límites del pórfido hay valores altos >180 ppm muy discontinuos, pero la anomalía de enriquecimiento de zinc esta principalmente fuera del límite de la brecha magmático hidrotermal, en parte del pórfido dacítico y saliendo unos 200 m fuera de los límites del pórfido, se observan también valores enriquecidos muy puntuales dentro de la brecha magmático hidrotermal; en la parte Norte la anomalía se presenta en las vetas de cuarzo-oro-plata metales base con valores medios de zinc en dirección E-O; en la parte SE hay una zona pequeña de valores enriquecidos dentro de las rocas metamórficas, el resto de valores son puntuales por la presencia de algunas estructuras mineralizadas, en los stocks del Oeste los valores son bajos correspondientes al fondo geoquímico, ver plano 31.

Las anomalías de suelos con las anomalías de rocas son muy buenas para el zinc, se observa que el enriquecimiento de zinc tiende hacia la parte exterior del pórfido, y en la parte Norte la anomalía tanto en suelos como en rocas también es similar, de la misma manera la pequeña anomalía en las rocas metamórficas del SE. El plomo y el zinc son pertenecientes a las etapas de mineralización pos pórfido con fluidos más fríos enriqueciendo hacia la parte exterior del pórfido y migrando más tardíamente hacia las vetas de la parte Norte.

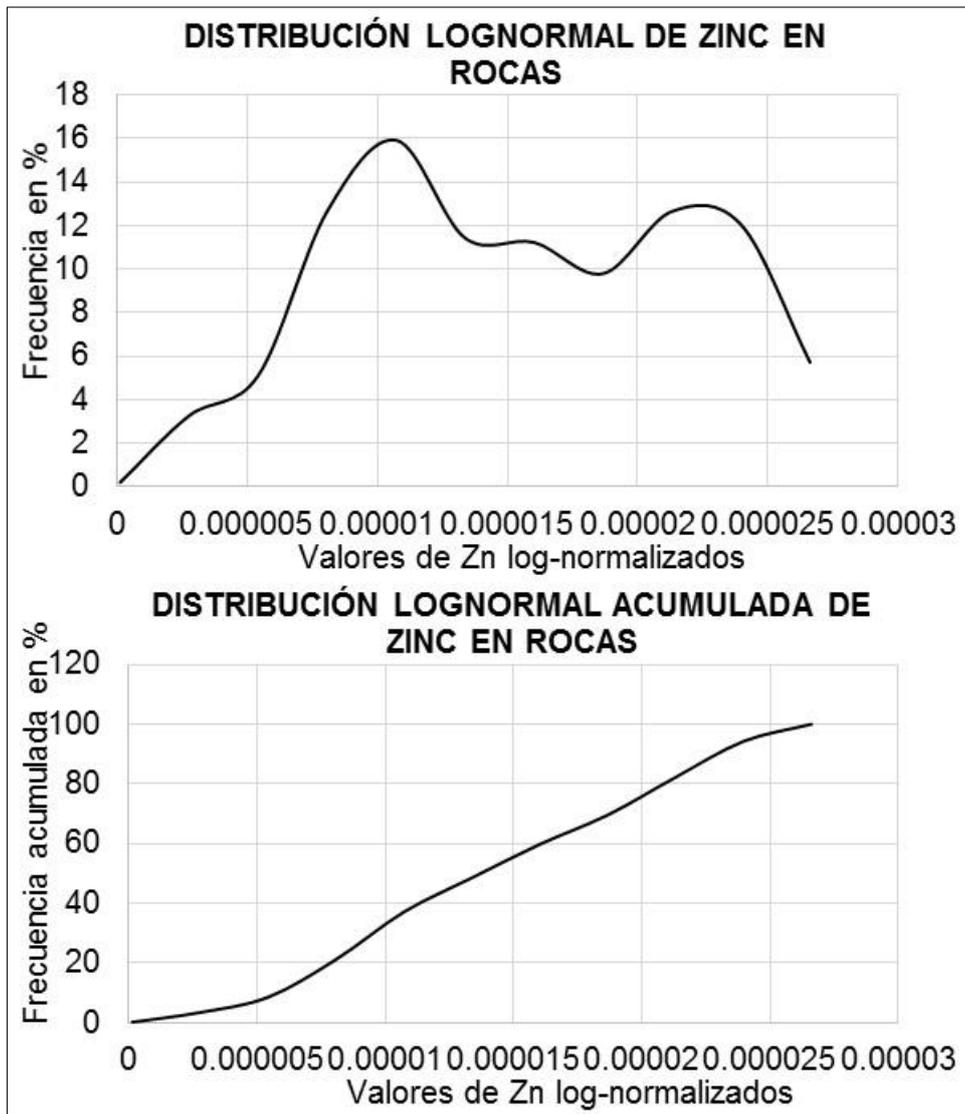
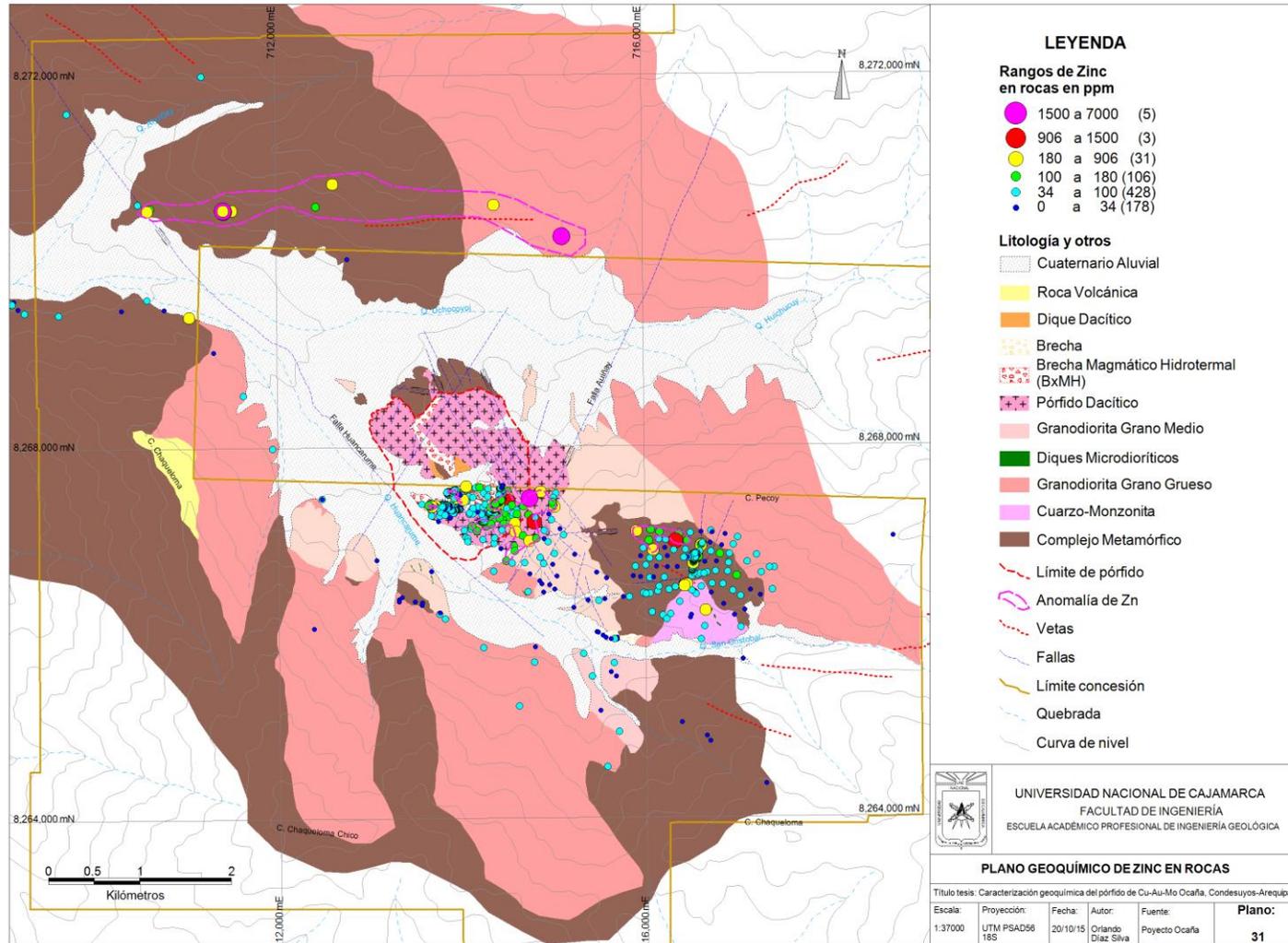


Gráfico 12. Distribución de zinc en rocas.



Plano 31. Geoquímica de zinc en rocas.

### **3.12.3 RAZONES DE ELEMENTOS**

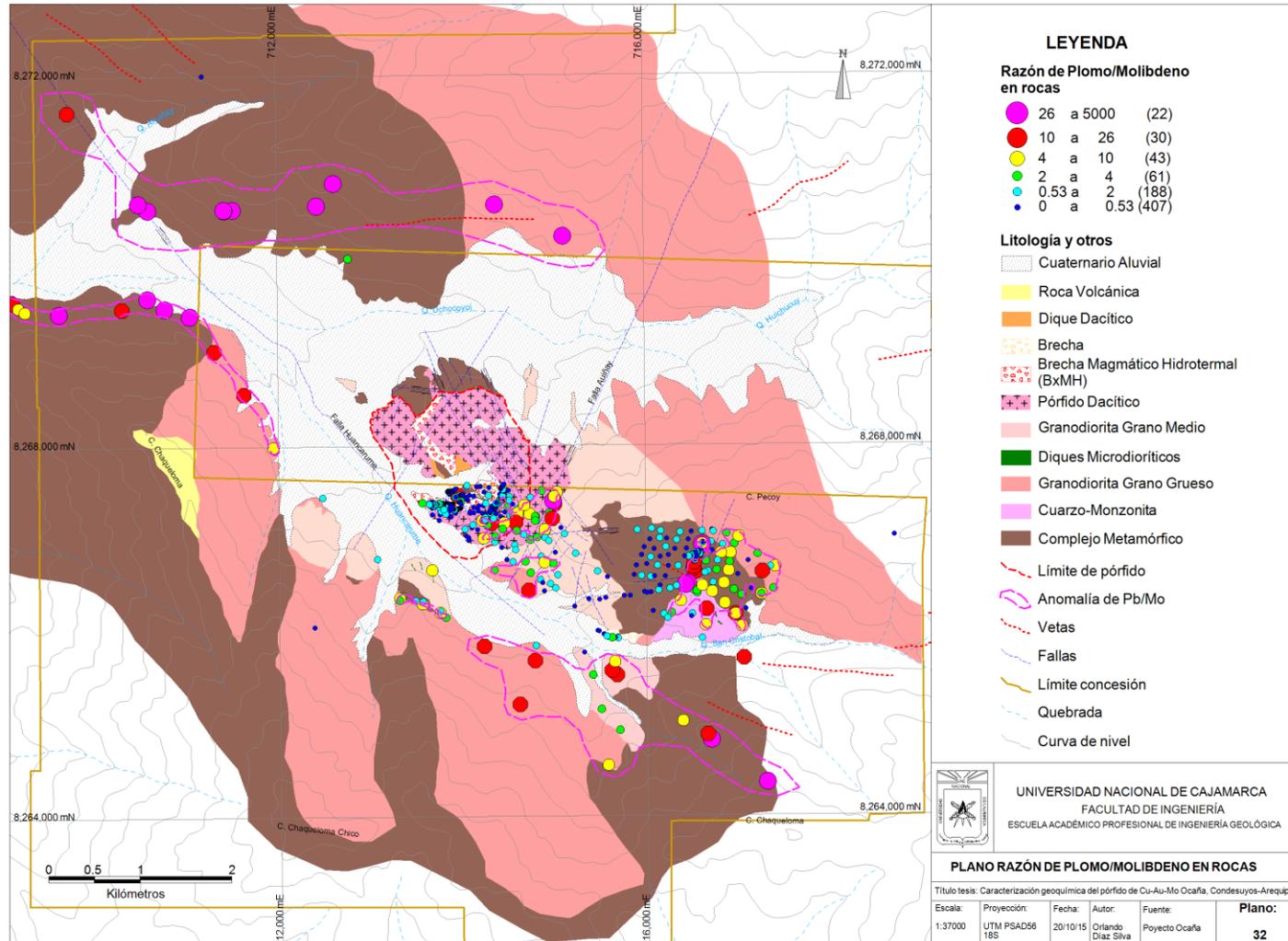
Las razones de Pb/Mo, (Pb+Zn)/Cu, y Pb/Cu son crecientes hacia los bordes (Jones, 1992) en los depósitos de pórfidos de cobre, este tratamiento se realizó con los datos de muestreo de rocas.

#### **3.12.3.1 Razón Pb/Mo**

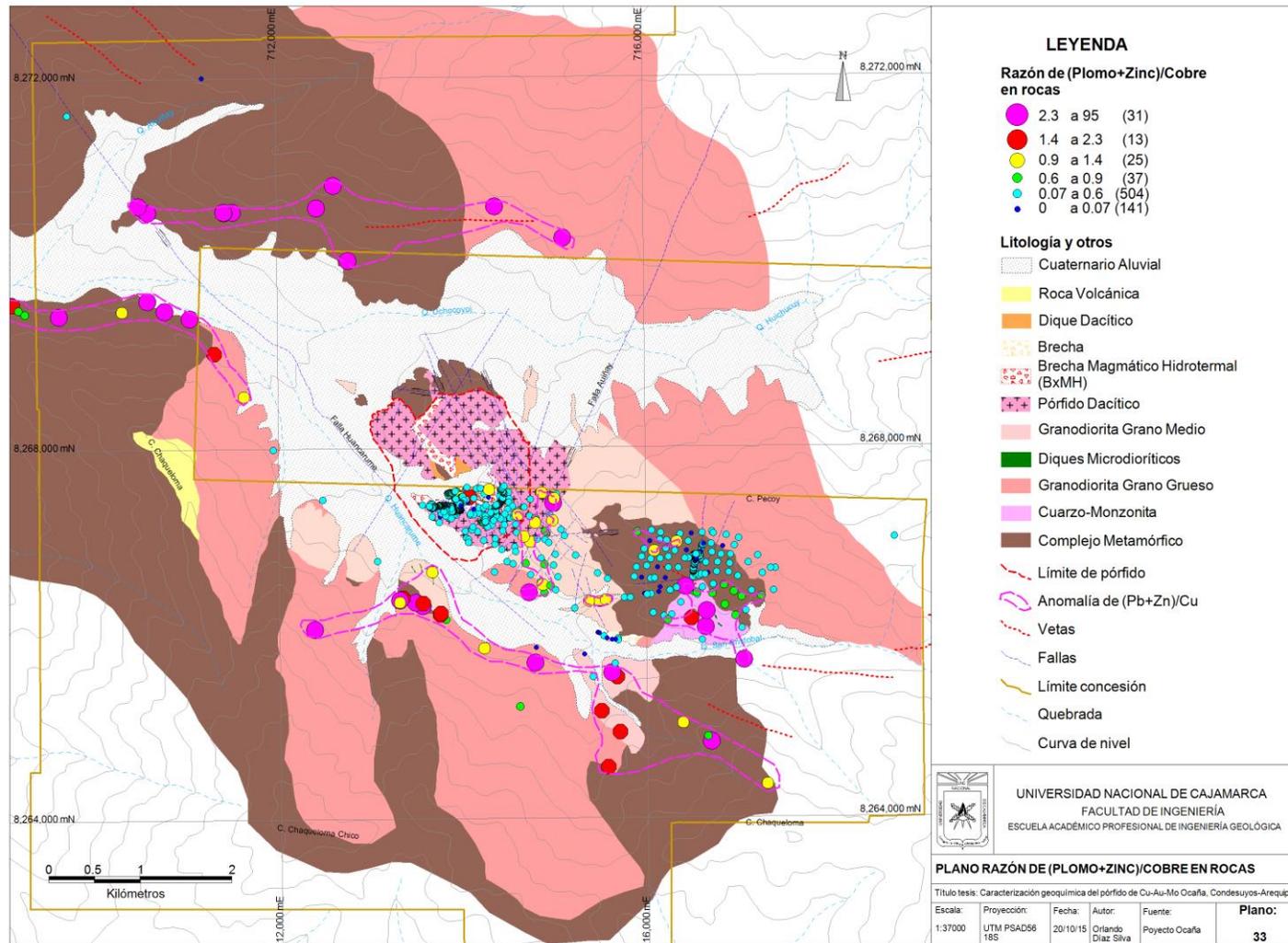
La razón de Pb/Mo en la brecha magmático hidrotermal y en el pórfido dacítico da valores bajos, que inmediatamente hacia afuera del pórfido se incrementan lo que indica un decrecimiento de molibdeno conforme nos alejamos de la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico, y a la vez un aumento del plomo del centro hacia afuera. Más alejado hay una clara tendencia en todas las partes circundantes del aumento de la razón a valores altos que evidencian el incremento del plomo en las rocas del batolito y del complejo basal, mientras que el molibdeno tiene una dispersión más reducida dentro del pórfido e inmediatamente a su alrededor, ver plano 32.

#### **3.12.3.2 Razón (Pb+Zn)/Cu**

Esta razón en el muestreo de rocas también es indicativa de la migración del plomo y zinc a las zonas circundantes del pórfido y un decrecimiento del cobre a estas zonas. En la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico valores medios a altos de la razón se ubican inmediatamente hacia afuera del pórfido Ocaña, indicando decrecimiento del cobre y aumento del plomo-zinc a esta zona, en la parte interna del pórfido los valores son bajos con altos puntuales muy erráticos por la presencia de algunas venillas de plomo-zinc tardías pos pórfido. Para los valores más alejados al igual que la razón Pb/Mo los valores se incrementan en toda la zona circundante al pórfido, ver plano 33, indicando la fuerte movilidad del plomo a esta zonas principalmente hospedado en estructuras mineralizadas pos pórfido, el cobre tiene mayor afinidad a las partes internas del pórfido y más cercanas a este, observándose que a las estructuras más alejadas el cobre disminuye. En los stocks del Oeste se da un enriquecimiento en cobre mostrado en el muestreo de suelos y rocas.



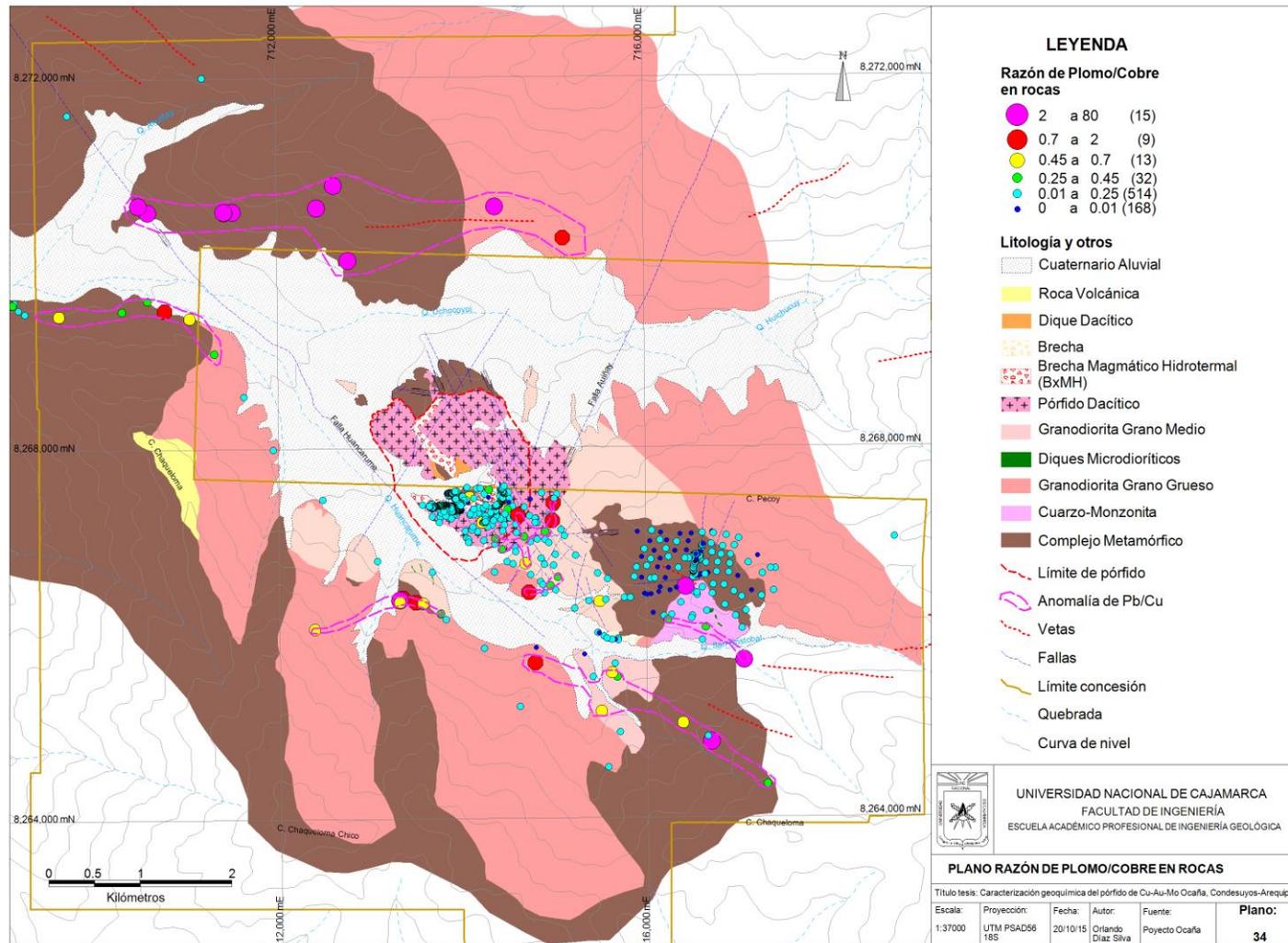
Plano 32. Razón de Pb/Mo en rocas.



Plano 33. Razón de (Pb+Zn)/Cu en rocas.

### **3.12.3.3 Razón Pb/Cu**

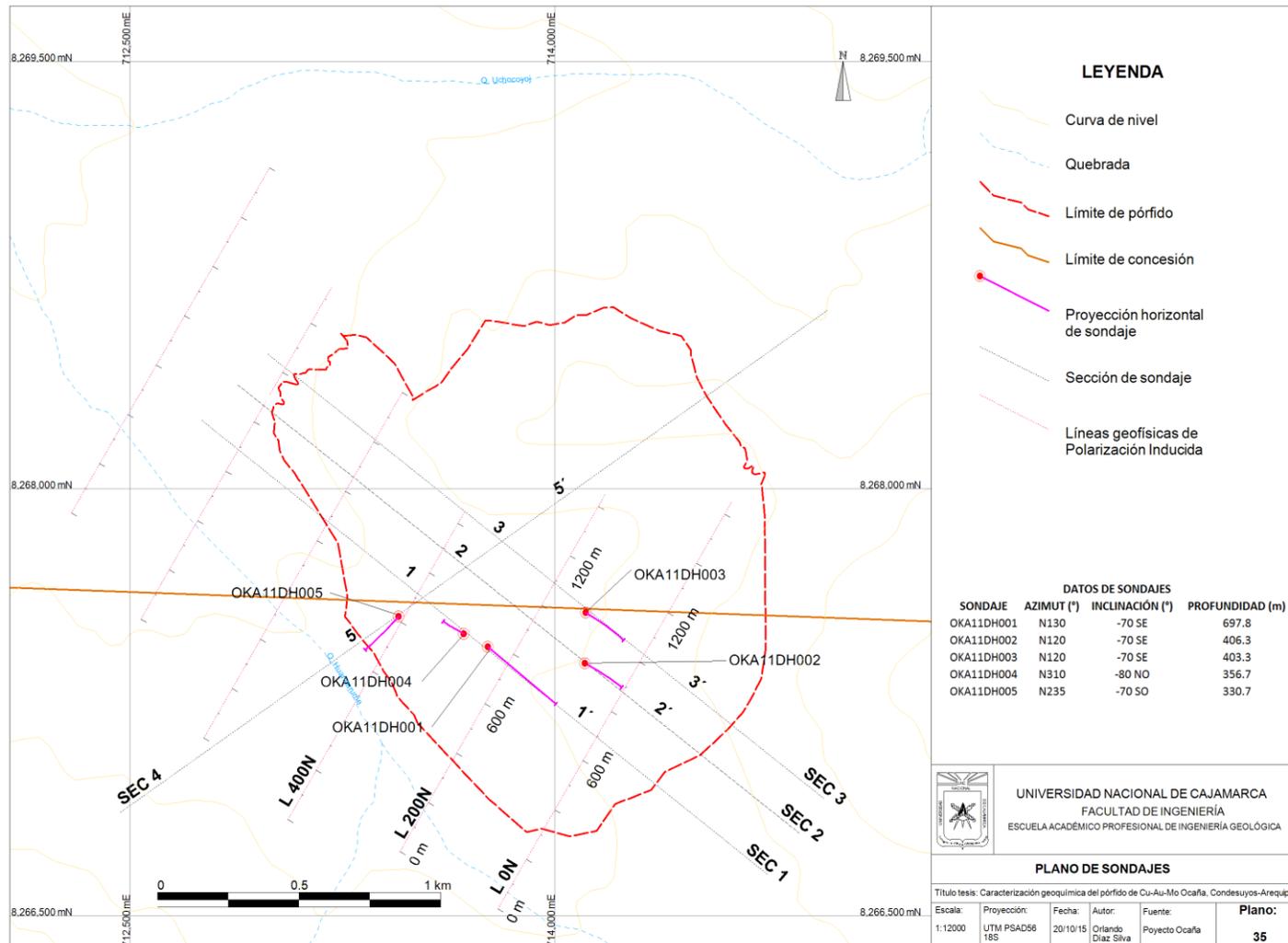
Los valores en la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico son bajos con algunos valores medios puntuales pero en mayor cantidad que en la razón  $(Pb+Zn)/Cu$  lo que indica que hay más plomo que zinc dentro del pórfido; los valores medios a altos están inmediatamente fuera de los límites del pórfido indicando la migración hacia afuera del plomo y la disminución del cobre. En las partes circundantes más alejadas también se da el incremento de la razón, en la parte Norte es muy similar a los valores de la razón  $(Pb+Zn)/Cu$ ; en la parte Oeste, SO y SE los valores son más discontinuos mostrando diferencias en el comportamiento del zinc respecto al plomo. En esta razón se observa también la fuerte movilidad del plomo hacia estructuras mineralizadas más alejadas del pórfido de cobre, mientras el cobre tiene mayor concentración hacia el pórfido y algunas zonas inmediatamente cercanas a este y una disminución en las estructuras de cuarzo-oro metales base, ver plano 34.



Plano 34. Razón de Pb/Cu en rocas.

#### **3.12.4 ELEMENTOS EN NÚCLEOS DIAMANTINOS**

En el área del pórfido Ocaña correspondiente a la Empresa, se trabajó con la información de mapeo geológico, muestreo geoquímico y geofísica para proyectar cinco sondajes diamantinos en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico, ver plano 35, todos los sondajes son de alto ángulo  $>70^\circ$  de inclinación para confirmar la mineralización en profundidad; el número de muestras analizadas para sondajes diamantinos fueron 762 de las cuales 67 muestras para la zonas supérgena-óxidos y 695 muestras para la zona hipógena.



Plano 35. Sondajes diamantinos en el pórfido Ocaña.

### **3.12.4.1 Sondaje OKA11DH001**

El cobre en los primeros 45 m se muestra con valores discontinuos de 0.3 a 2% correspondiendo a la zona de óxidos y supérgena; de 45 a 186 m los valores son de 0.2 a 0.5% de cobre en la brecha magmático hidrotermal, en este tramo son valores comunes de 0.2 a 0.5%, valores erráticos de 0.5 a 1% y muy escasos valores de 0.1%; de 186 a 565 m casi todos los valores son cercanos a 0.1% con valores erráticos de 0.2 a 0.5% dentro del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo debajo de la brecha magmático hidrotermal; y por último de 565 a 686.8 m todos los valores son cercanos a 900 ppm dentro del pórfido dacítico exterior, observándose éste como límite de mineralización a la parte Sureste.

El oro de 4 a 98 m se presenta con valores de 0.02 a 0.04 ppm que son valores medios y están en la brecha magmático hidrotermal; de 98 a 455 m los valores son principalmente de 0.01 a 0.02 ppm y algunos valores <0.01 ppm en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, de 455 a 686.8 m los valores están en el rango de 0.002 a 0.008 ppm, valores muy bajos y algunos valores altos erráticos por venillas y vetillas de cuarzo-cobre-oro en el pórfido dacítico.

El molibdeno en los primeros 135 m se presenta con valores muy altos continuos de 100 a 500 ppm, valores erráticos de 50 a 100 ppm y muy ocasionales <50 ppm, todo este tramo en la brecha magmático hidrotermal; de 135 a 612 m los valores son en su gran mayoría bajos de 30 a 70 ppm, valores discontinuos y erráticos de 70 a 100 ppm y otros muy ocasionales de 100 a 500 ppm, en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo y algunas intercalaciones con la brecha magmático hidrotermal; por último de 612 a 686.8 m casi todos los valores son muy bajos de 10 a 30 ppm y valores ocasionales de 50 a 100 ppm, los valores muy altos se deben a vetillas de molibdenita en el pórfido dacítico exterior.

La plata de 0 a 170 m tiene una continuidad muy uniforme de valores altos >1 ppm en la brecha magmático hidrotermal; de 170 a 609 m hay una intercalación de tramos de valores bajos de 0.25 ppm con tramos de valores medios >0.7 ppm en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo; y de 609 a 686.8 m los valores son muy bajos de 0.25 ppm de plata.

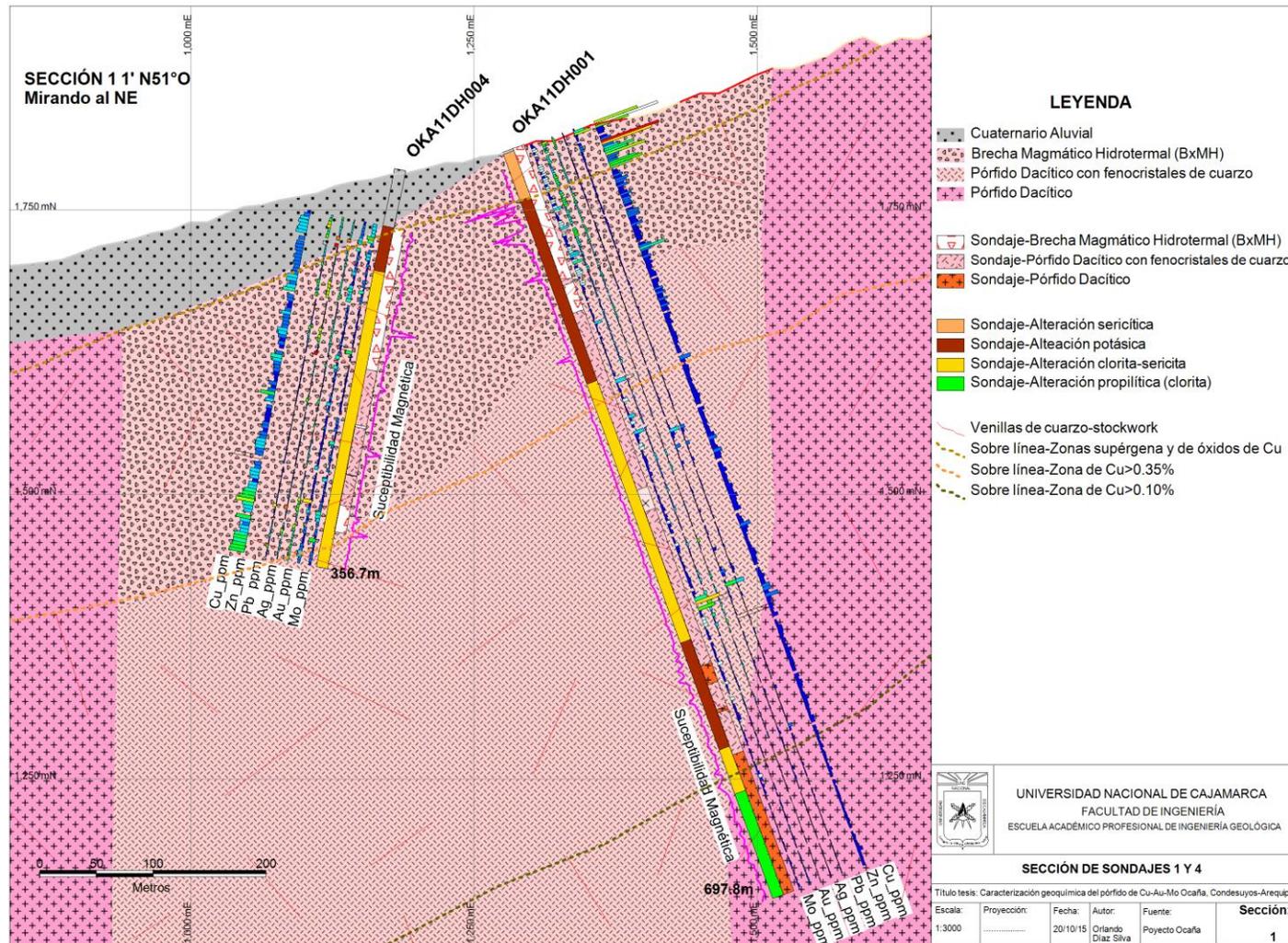
El plomo en todo el sondaje no presenta mucha variación, casi todos los valores son bajos en promedio de 19 ppm, se observa algunos valores altos

correspondientes a venillas tardías que cortan el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo.

El zinc de 0 a 108 m los valores son medios a bajos >100 ppm en la brecha magmático hidrotermal; de 108 a 686.8 m los valores son bajos en promedio con 52 ppm y algunos valores altos erráticos correspondientes a venillas de plomo-zinc.

La susceptibilidad magnética en los primeros 46 m se presenta con valores bajos correspondiente a la zona de óxidos y enriquecimiento supérgeno, de 46 a 116 m los valores son discontinuos pero muy elevados debido a fragmentos y parches de magnetita en la brecha magmático hidrotermal, de 116 a 466 m tenemos valores muy bajos intercalados con valores medios y ocasionales, por último de 466 a 686.8 m tenemos abundantes valores medios de susceptibilidad magnética con algunos valores erráticos bajos. Se observa que la mayor cantidad de magnetita se relaciona con zonas de alteración potásica no superpuesta por alteraciones posteriores, ver sección 1.

La mineralización de cobre-oro-molibdeno-plata se presenta con los mejores valores en la brecha magmático hidrotermal en la parte superior del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo debajo de la brecha magmático hidrotermal tiene valores medios a bajos de cobre-oro-molibdeno-plata, en el pórfido dacítico exterior los valores de todos los elementos son bajos. En la sección 1 se muestra el plano de sección de los sondajes 1 y 4, donde se observa información de litología, alteración, valores de cobre, oro, molibdeno, plata y susceptibilidad magnética.



Sección 1. Plano de sección de los sondajes 1 y 4.

### **3.12.4.2 Sondaje OKA11DH002**

El cobre de 0 a 18 m es bajo con valores de 0.15% en promedio correspondiente a la zona de lixiviación y de óxidos, de 18 a 40 m tenemos valores elevados de cobre de 0.4 a 1.5% esta zona corresponde al tramo de enriquecimiento secundario; de 40 a 255 m hay bandas intercaladas de valores medios de 0.25% con tramos bajos de 0.15% todo este tramo corresponde a la brecha magmático hidrotermal y parte del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo; de 255 a 406.3 m los valores son bajos continuos con un promedio de 0.12% en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo.

El oro de 0 a 22 m hay valores interesantes de 0.1 a 0.4 ppm, luego de 22 a 156 m hay bandas intercaladas de valores medios entre 0.02 a 0.04 ppm de oro todo este tramo en la brecha magmático hidrotermal, de 156 a 406.3 m hay valores muy bajos de 0.014 ppm en promedio, en parte de la brecha magmático hidrotermal y en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo.

El molibdeno de 0 a 195 m los valores son elevados >100 ppm en la brecha magmático hidrotermal, de 195 a 406.30 m los valores son bajos y varían de 25 a 70 ppm dentro del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo.

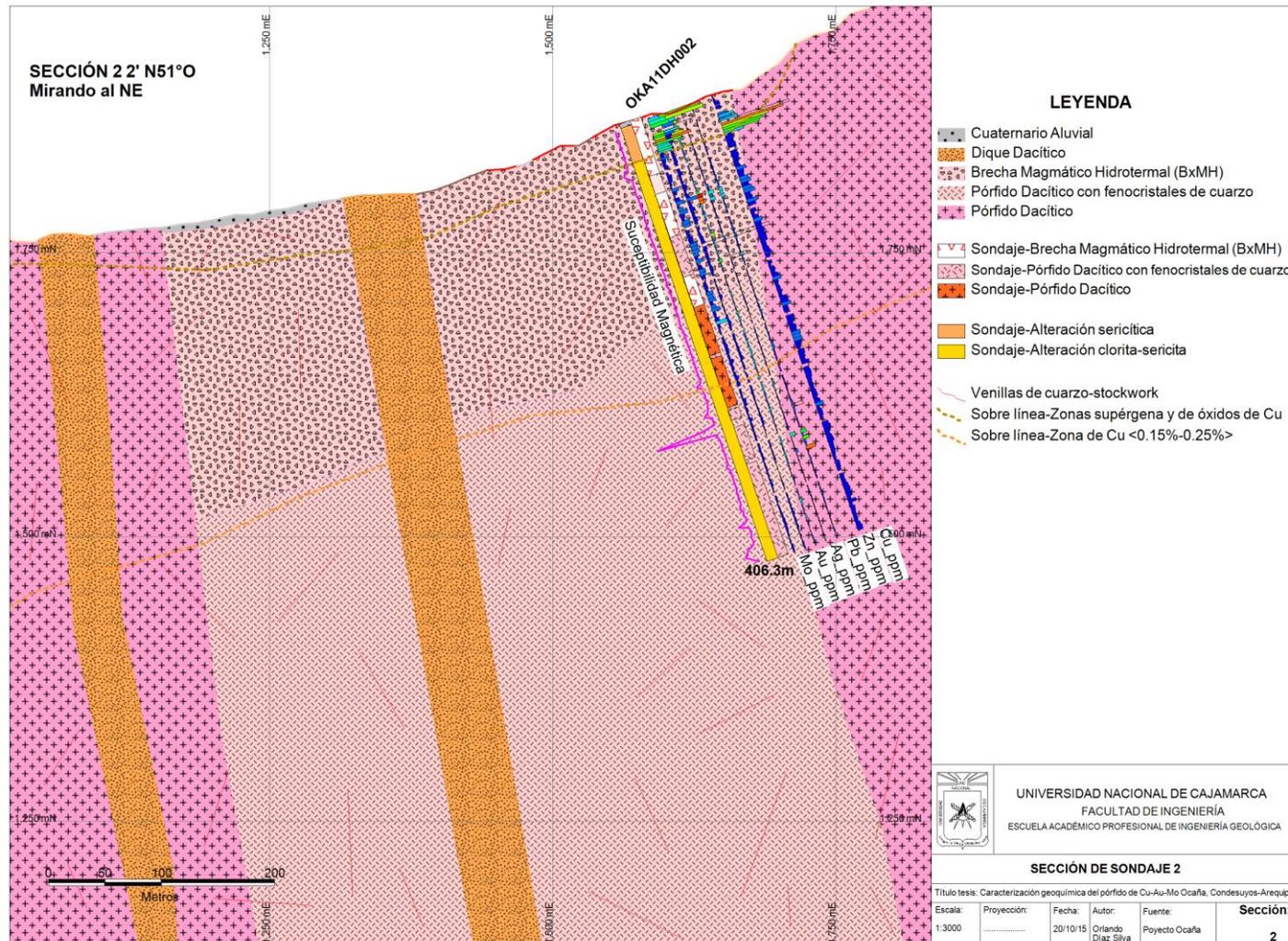
La plata de 0 a 30 m los valores son muy altos >2 ppm, de 30 a 150 m los valores son altos >1 ppm con valores muy continuos en este tramo, de 140 a 207 m los valores son en promedio de 0.8 ppm, todos estos tramos en la brecha magmático hidrotermal; de 210 a 267 m los valores son altos >1 ppm, de 267 a 406.30 m los valores son en promedio de 0.8 ppm con algunos valores altos intercalados >1 ppm, en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo.

El plomo de 0 a 42 m presenta un valor promedio de 10 ppm, de 42 a 406.30 m los valores son muy uniformes en promedio de 19 ppm con una variación de 10 a 60 ppm, también se observan algunos valores altos puntuales correspondientes a venillas tardías de galena.

El zinc de 0 a 22 m los valores se encuentran en el rango de 12 a 17 ppm; de 22 a 406.30 m los valores están en bandas muy uniformes con promedio de 2.5 ppm intercalados con bandas de valores de 6 a 10 ppm, en todo el sondaje hay valores muy altos que correlacionan con el plomo, correspondientes a venillas de galena-esfalerita posteriores a la mineralización del pórfido.

La susceptibilidad magnética de 0 a 235 m presenta valores bajos, en el tramo de 240 a 285 m hay un incremento de magnetita a valores mayores que el primer tramo pero en bandas discontinuas, de 285 a 345 m los valores son bajos, y en el tramo final de 345 a 406.3 m la susceptibilidad magnética aumenta a valores medios, se observa los valores de susceptibilidad magnética en general son bajos por la superposición en todo el tramo de alteración clorita-sericita a la alteración potásica, ver sección 2.

En la zona de óxidos y enriquecimiento supérgeno los valores de cobre-oro-molibdeno-plata son altos hasta donde profundiza la brecha magmático hidrotermal, pero cuando el sondaje entra al pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo los valores bajan.



Sección 2. Plano de sección del sondaje 2.

### 3.12.4.3 Sondaje OKA11DH003

El cobre de 0 a 150 m hay valores bajos en promedio de 0.12% con una variación de 0.06 a 0.18% que corresponden a la brecha magmático hidrotermal con rastros de alteración potásica, tourmalina y clorita originando una roca de color verde, con algunos valores erráticos altos correspondientes a venillas de cuarzo-calcopirita; de 150 a 320 m los valores se incrementan con un promedio de 0.32% y una variación de valores de 0.17 a 0.68%, estos valores altos están en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita y pórfido dacítico, además abundante magnetita en alteración potásica con venillas y vetillas de cuarzo+calcopirita±magnetita, biotita secundaria con altos valores de cobre; tenemos otro tramo de 320 a 387 m con valores nuevamente bajos en promedio de 0.14%; en el tramo final de 387 a 403.3 m hay una disminución abrupta del cobre a valores en promedio de 800 ppm, todo este sondaje está dentro de la brecha magmático hidrotermal. Se puede observar que el cobre en este sondaje donde la alteración es clorita-sericita es muy bajo, probablemente fue lixiviado en la superposición de dicha alteración a la alteración potásica, el cobre es muy alto donde la alteración potásica no fue afectada.

El oro en este sondaje es particular por los valores altos que presenta y por la asociación con fragmentos de diorita, magnetita-calcopirita; de 0 a 306 m tenemos valores muy continuos de 0.1 a 0.3 ppm, en los últimos 50 m de este tramo hay incremento a valores de 0.3 a 0.5 ppm que corresponde a la zona anómala de calcopirita-magnetita-biotita secundaria; luego de los 306 a 403.3 m los valores bajan a valores entre 0.01 a 0.02 ppm de oro. Podemos ver la asociación de oro con las alteraciones clorita-sericita y la alteración potásica con valores muy altos.

El molibdeno de 0 a 171 m los valores son bajos de 40 a 98 ppm con algunos valores altos correspondientes a venillas de molibdenita en un promedio de 70 ppm; de 174 a 261 m hay una zona de intercalamiento de bandas de valores altos con bandas de valores bajos >100 y <100 ppm respectivamente; de 261 a 327 m los valores son bajos pero continuos en promedio de 40 ppm y una variación de 20 a 70 ppm; de 327 a 403.3 m hay un bandeamiento intercalado de valores altos >150 ppm y valores bajos en promedio de 60 ppm.

La plata de 0 a 150 m hay una intercalación de bandas de valores bajos en promedio de 0.60 ppm con bandas de valores muy bajos en promedio de 0.25 ppm;

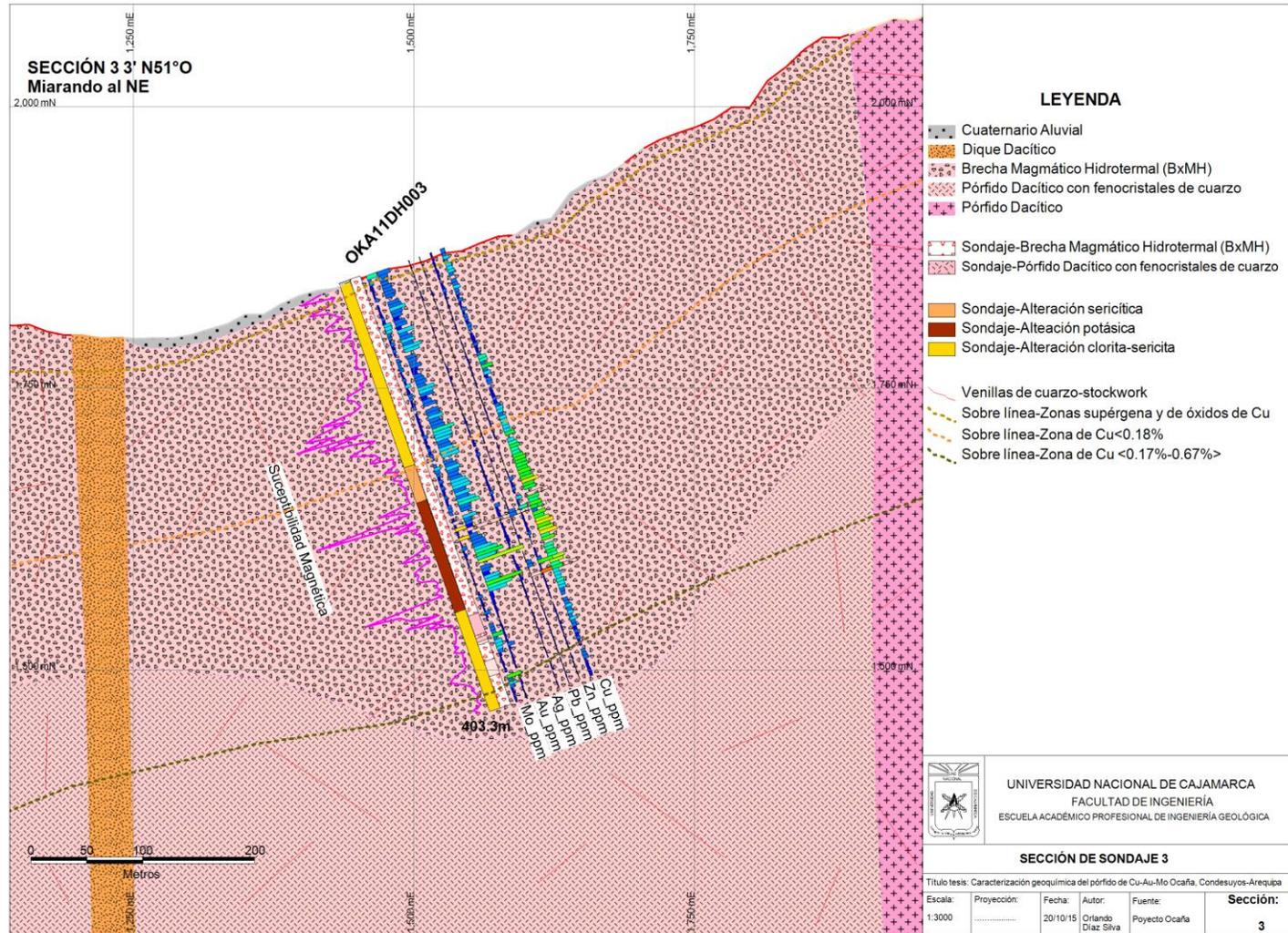
de 150 a 324 m hay un tramo muy continuo de valores altos >1ppm que correlaciona bien con la zona alta de oro y alteración potásica; de 324 a 403.30 m una zona de valores bajos en promedio de 0.60 ppm con algunos valores altos erráticos en el tramo.

El plomo de 0 a 57 m hay un tramo de valores continuos en promedio de 12 ppm; de 57 a 159 m los valores son bajos de 5 ppm en promedio; de 159 a 403.30 m un tramo continuo de valores medios entre 15 y 20 ppm con algunos valores altos, correspondientes a venillas tardías de galena-esfalerita.

El zinc de 0 a 54 m los valores son altos >100 ppm de manera continua; de 54 a 210 m los valores son bajos en promedio de 60 ppm con algunos valores altos puntuales, correspondientes a venillas tardías de galena-esfalerita; de 210 a 318 m los valores son altos en promedio de 190 ppm con algunos valores puntuales muy altos >500 ppm, también correspondientes a venillas tardías de galena-esfalerita; de 318 a 403.30 m los valores son bajos en promedio de 70 ppm.

La susceptibilidad magnética de 0 a 200 m hay una intercalación de valores medios y bajos dentro de la brecha magmático hidrotermal con rastros de alteración potásica y alteración clorita-sericita sobre impuesta a alteración potásica y tourmalina; de 200 a 315 m tenemos un tramo de valores altos pero discontinuos que coincide con la zona de mineralización de cobre y alteración potásica con venillas de magnetita-calcopirita; el tramo final de 315 a 403.3 m los valores son medios a bajos con altos erráticos en la alteración clorita-sericita, ver sección 3.

Se ve claramente en este sondaje que la alteración clorita-sericita lixivia el cobre pero hay muy buenos valores de oro en estos tramos, la alteración potásica con abundante magnetita tiene valores altos de cobre-oro; el molibdeno se comporta de manera similar en la alteración clorita-sericita y la alteración potásica, como se puede ver los mejores valores de mineralización están en la brecha magmático hidrotermal.



Sección 3. Plano de sección del sondaje 3.

#### **3.12.4.4 Sondaje OKA11DH004**

El cobre de 0 a 250 m se ve intercalaciones de tramos de valores medios de 0.17% en promedio con tramos de valores altos de 0.27% en promedio en la brecha magmático hidrotermal; de 250 a 356.7 m hay un tramo de valores altos muy continuos en promedio de 0.32% con una variación de 0.2 a 0.45% en la brecha magmático hidrotermal con fuerte alteración potásica y venilleo de cuarzo.

El oro en todo el sondaje hay una intercalación muy continua de valores en bandas de 0.04 ppm en promedio con bandas de valores de 0.02 ppm en promedio, como se ve en este sondaje los valores son medios.

El molibdeno de 0 a 84 m los valores son altos continuos >100 ppm; de 84 a 356.7 m los valores son bajos en promedio de 50 ppm con un rango de variación de 20 a 80 ppm.

La plata también se muestra muy continua con una intercalación de bandas de valores medios de 0.77 ppm con bandas de valores altos de 1.40 ppm; de 192 a 249 m hay también una tercera banda de valores bajos de 0.25 ppm que se intercala a las dos primeras.

El plomo se presenta en un solo tramo muy continuo de valores bajos en promedio de 31 ppm con un rango de variación de 10 a 76 ppm, muy pocos valores altos correspondientes a venillas tardías de galena.

El zinc de 0 a 126 m los valores son continuos >100 ppm; de 126 a 356.7 m los valores son en promedio de 63 ppm con una variación de 43 a 95 ppm, hay una mayor cantidad de valores altos de zinc que valores altos de plomo correspondientes a venillas tardías que cortan la brecha magmático hidrotermal.

La susceptibilidad magnética es baja en todo el sondaje, con valores altos puntuales y tramos continuos de valores medios de 50 a 190 m, principalmente porque a esta parte la brecha magmático hidrotermal está con alteración clorita-sericita superpuesta, ver sección 1.

Este sondaje en toda su longitud cortó la brecha magmático hidrotermal con buena mineralización de cobre, valores medios de oro, valores medios a altos de molibdeno-plata, el sondaje no llega a salir al pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, tampoco al pórfido dacítico externo.

### **3.12.4.5 Sondaje OKA11DH005**

El cobre de 35 a 60 m los valores son bajos en promedio de 0.11% que corresponde a la zona lixiviada; de 60 a 103 m los valores son altos de 0.48% correspondiente a la zona de enriquecimiento supérgeno; de 103 a 207 m los valores son medios en promedio de 0.27% con pocos valores intercalados de 0.19%; de 207 a 282 m los valores son bajos en promedio de 0.14%; de 282 a 330.70 m los valores son muy bajos en promedio de 450 ppm, estos valores se presentan ya en la granodiorita del batolito de la costa al Oeste pasando la falla huancarume.

El oro de 35 a 282 m los valores son bajos continuos en promedio de 0.018 ppm con pocas intercalaciones de valores de 0.03 ppm, todos estos valores en la brecha magmático hidrotermal con alteración potásica fuerte; de 282 a 330.7 m los valores son muy bajos <0.008 ppm en promedio, presentes en la granodiorita del batolito de la costa.

El molibdeno de 35 a 282 m se tiene un tramo continuo de valores bajos en promedio de 53 ppm con una variación de 20 a 80 ppm y pocos valores altos >100 ppm correspondiente a venillas de molibdenita tipo B; de 282 a 330.7 m los valores son bajos en promedio 7 ppm.

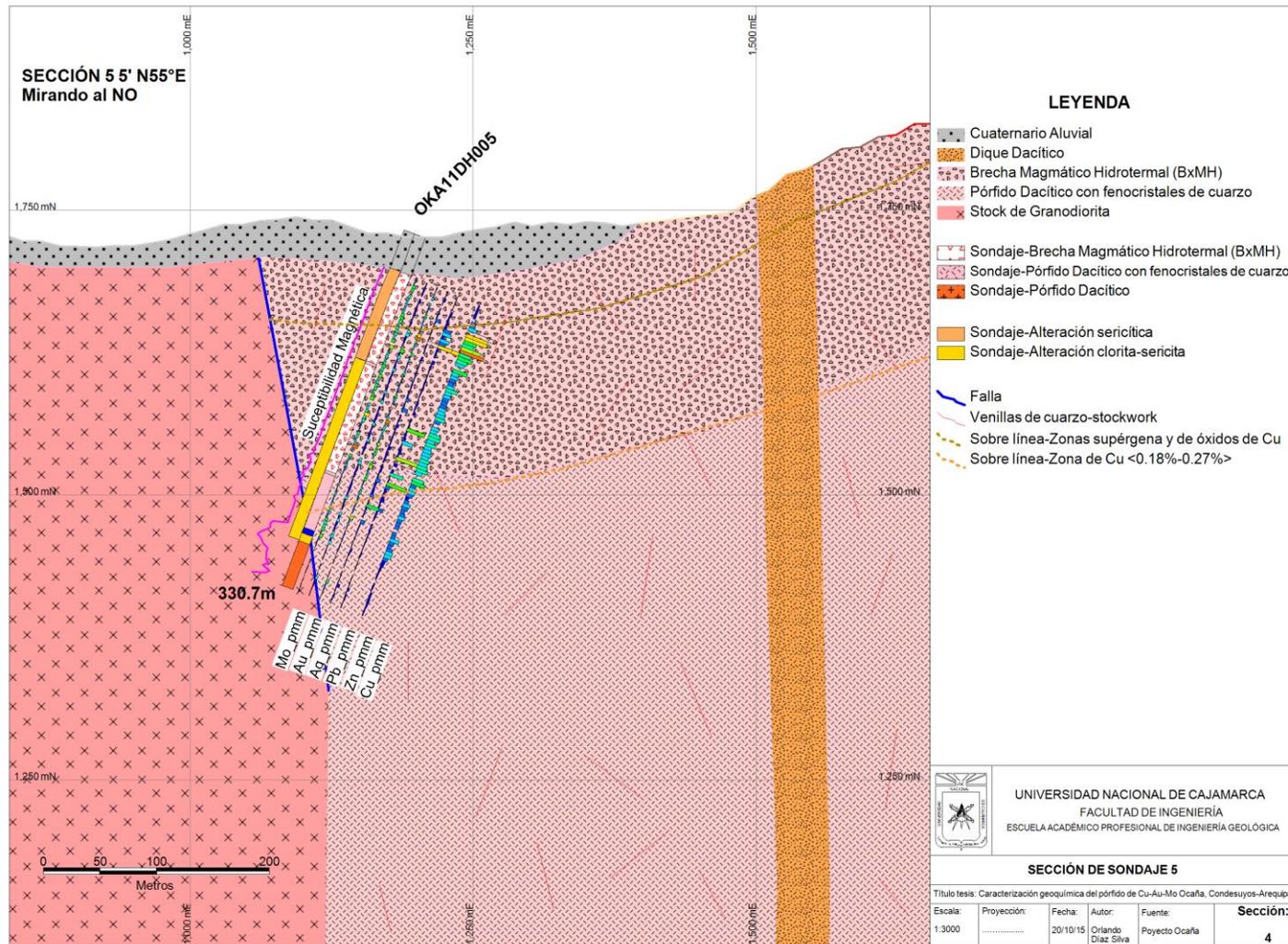
La plata de 0 a 285 m los valores están en intercalaciones continuas de bandas con valores altos >1 ppm intercalado con algunas bandas de valores bajos en promedio 0.75 ppm; de 285 a 330.7 m los valores son muy bajos de 0.25 ppm.

El plomo de 0 a 84 m tenemos un tramo continuo de valores en promedio 63 ppm; de 84 a 249 m tenemos un tramo de valores medios de 30 ppm con algunos valores >100 ppm correspondientes a venillas de galena tardías; de 249 a 330.7 m los valores son más bajos con un promedio de 20 ppm.

El zinc de 0 a 264 m los valores son >100 ppm con algunas intercalaciones en bandas de 80 ppm; de 264 a 330.7 m los valores son en promedio de 70 ppm con pequeñas intercalaciones de valores >100 ppm. Se puede ver en todo el sondaje que hay valores muy altos correspondientes a venillas de esfalerita que no presentan galena por sus valores bajos en plomo.

La susceptibilidad magnética de 35 a 330.70 m hay una intercalación de bandas de valores bajos con bandas de valores altos por la alteración clorita-sericita sobre puesta a alteración potásica, ver sección 4.

A esta parte del sondaje en la brecha magmático hidrotermal los valores de cobre son altos pero bajos en oro, los otros elementos son erráticos. Se puede observar también el control de la falla huancarume en el pórfido dacítico y el batolito de la costa.



Sección 4. Plano de sección del sondaje 5.

La mineralización hipógena de cobre tiene valores más altos en la brecha magmático hidrotermal y en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, las alteraciones que hospedan los mejores valores son la alteración potásica y clorita-sericita, la brecha magmático hidrotermal presenta principalmente alteración potásica, en algunos sondajes tienen alteración clorita-sericita y sericítica de tonalidad verdosa sobre impuesta a alteración potásica, en la alteración potásica la magnetita está en la matriz y en venillas, hay abundante magnetita en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita donde los valores de cobre son altos >0.30%, la brecha magmático hidrotermal en la parte central es principalmente clasto soportado con poca matriz, hacia los bordes gradada a una roca fracturada, los clastos de la brecha magmático hidrotermal son del pórfido dacítico con grandes fenocristales de cuarzo dentro de una matriz de plagioclasa, en profundidad la brecha magmático hidrotermal gradada al pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo. El cobre está asociado a la calcopirita no observándose bornita, el molibdeno se asocia a venillas de molibdenita con cuarzo tipo B, las zonas de la brecha magmático hidrotermal con alteración clorita-sericita tiene buenos valores de cobre con abundante calcopirita diseminada, pero las zonas sericíticas color blanco son pobres en mineralización económica. La brecha magmático hidrotermal está en la parte superior del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo como una cúpula de este, en superficie se ve aproximadamente elíptica alargada al NNE, está centrada en la depresión topográfica donde se encuentra el campamento y es donde se observa los mejores valores de cobre, oro, molibdeno y plata hipógenos; el stockwork principal es posterior a toda la brecha magmático hidrotermal cortándolo con diferentes tipos de venillas típicas de un pórfido de cobre. A los bordes de la brecha magmático hidrotermal hay otra fase de pórfido dacítico sin fenocristales de cuarzo abundante que se distingue por la menor intensidad de venillas de cuarzo en su interior, lo que hace pensar que es posterior al evento de brechificación, presenta alteración potásica débil con sobre imposición de alteración clorítica, este pórfido es dacítico con abundante plagioclasa de grano medio muy apretada y algunos cristales de cuarzo de tamaño similar a la plagioclasa, con pirita y poca calcopirita diseminada, los valores comunes de cobre en este pórfido circundante es de 0.15% a menos. Se observa otras fases de pórfidos tardiminerales posteriores sin mineralización, también de composición dacítica, el primero es un dique que corta a la brecha magmático hidrotermal, presenta fenocristales de

cuarzo, feldespato y algunas venillas finas de cuarzo, el segundo se observa como tramos interceptados en el final del sondaje OKA11DH005, el cual tiene magnetita primaria diseminada en la roca, piritita y trazas de calcopiritita diseminada, muy esporádicas venillas de cuarzo, alteración clorítica, abundante plagioclasa con algunos fenocristales de cuarzo, con valores de cobre menores a 0.10%, este pórfido y otros se ubican a la parte Oeste y Sureste de la brecha magmático hidrotermal más alejados de pórfido Ocaña, todas estas intrusiones porfiríticas cortan a la granodiorita de grano grueso del batolito de la costa y al complejo metamórfico.

De lo observado la mineralización hipógena de cobre, oro, molibdeno y plata diseminada y en venillas se encuentra centrada principalmente en la brecha magmático hidrotermal que va gradando a mineralización más incipiente hacia el borde exterior del pórfido dacítico. El cobre migró de manera más baja más lejos de los bordes del centro porfirítico pero si hubo fuerte acumulación de oro, plata-plomo-zinc en las vetas de cuarzo circundantes como se puede ver claramente en los planos de muestreo de superficie.

### **3.12.5 DISTRIBUCIONES DE ELEMENTOS EN SONDAJES**

El análisis estadístico de elementos en los 5 sondajes se realizó para el Cu, Mo, Au, Ag, Pb y Zn separando todos los valores de alteración supérgena y de la zona de mixtos que tuvieron dispersión de estos elementos durante la alteración provocada por el ambiente, sólo se tomó los valores hipógenos, también se separó algunos valores erráticos en las poblaciones de valores hipógenos; las distribuciones de estos elementos son muy uniformes, observándose que no necesitan adaptar los datos a una distribución log normal, como se hizo para el análisis de muestras en superficie de astillas de rocas y de suelos, también la uniformidad de estas distribuciones son debido a que en el pórfido ya sea en la brecha magmático hidrotermal o en el pórfido dacítico no hay influencia de otras fuentes mineralizantes de diferentes orígenes que complique sus distribuciones, los elementos con mejores distribuciones son el cobre, molibdeno, oro y zinc, mientras las distribuciones menos uniformes por sobre imposición y depositación en diferentes etapas son de la plata y el plomo. El cobre, el molibdeno, el oro y la plata están relacionados a la etapa de alta temperatura y el emplazamiento del pórfido, mientras la precipitación del plomo y el zinc fue más tardía alejándose más del

pórfido de cobre, también se observan venillas tardías de plomo-zinc que cortan a la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico. El oro junto a la plata también se relacionan a etapas pos pórfido más frías que rellenó estructuras vetiformes más lejos del pórfido.

#### **3.12.5.1 Distribución de cobre primario en núcleos diamantinos**

El 57% de los valores de cobre son <0.20%, ver gráfico 13, hay tramos de alteración potásica o clorita-sericita con abundante venilleo pero con poco cobre <0.20%, algunas partes del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo y alteración clorítica con stockwork moderado también presentan valores bajos <0.20%; en la alteración clorita-sericita hay intercalaciones de bandas delgadas de valores medios a altos de cobre >0.20% con intercalaciones de bandas más delgadas de valores bajos <0.20%, en el tercer sondaje en la brecha magmático hidrotermal con alteración sericítica o potásica hay muy buenos valores continuos de cobre con un porcentaje bajo de venillas, en el cuarto sondaje hay intercalaciones de valores medios y valores bajos de cobre dentro de la alteración clorita-sericita, pero en el final del tramo la alteración clorita-sericita tiene muy buenos valores continuos de cobre; en el quinto sondaje se repite parte de intercalaciones de valores altos con intercalaciones de valores bajos de cobre dentro de la alteración clorita-sericita, a mitad del sondaje hay un tramo con valores altos continuos de cobre también en la alteración clorita-sericita; en la alteración propilítica de clorita-epídota los valores de cobre son muy bajos menores a 0.1% en el final del quinto sondaje, por lo tanto altos porcentajes de venillas en el stockwork y alteración potásica no se relaciona necesariamente con buenos valores de cobre ya que en estas zonas la mayoría de venillas son solamente de cuarzo y estando ausente la calcopirita tanto diseminada como en venillas.

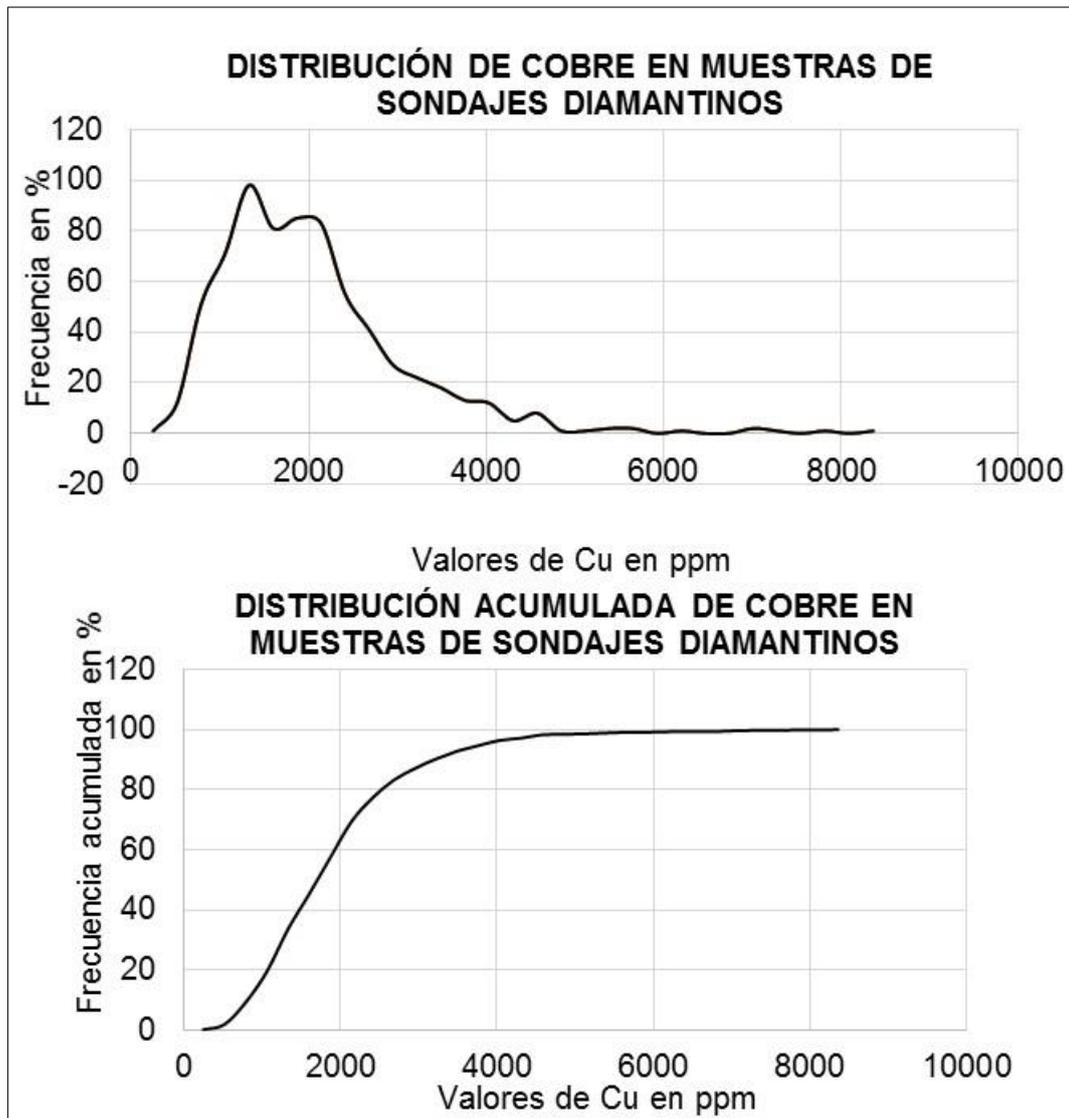


Gráfico 13. Distribución de cobre en sondajes diamantinos, zona hipógena.

### 3.12.5.2 Distribución de molibdeno primario en núcleos diamantinos

El 77% de los datos son <100 ppm, ver gráfico 14, hay muy buena correlación de zonas de altos y bajos en molibdeno con zonas de altos y bajos en cobre pero poco continuos, los tramos de valores continuos indican la presencia de venillas tipo B en el stockwork y así como molibdeno en la matriz de la brecha magmático hidrotermal, los valores de molibdeno discontinuos en algunos tramos indica que la mineralización de molibdeno esta principalmente en venillas tipo B aisladas; la alteración potásica y clorita-sericita son las alteraciones que tienen valores continuos de molibdeno, donde la mayoría de tramos de venillas con molibdeno se presentan en la alteración clorita-sericita y en segundo lugar en la alteración potásica, también en algunas partes la alteración potásica y clorita-sericita hay tramos de valores bajos continuos <100 ppm de molibdeno, la alteración sericítica

tiene muy poco molibdeno y la alteración clorítica y clorita-epídota sus valores son menores a 100 ppm a más bajos.

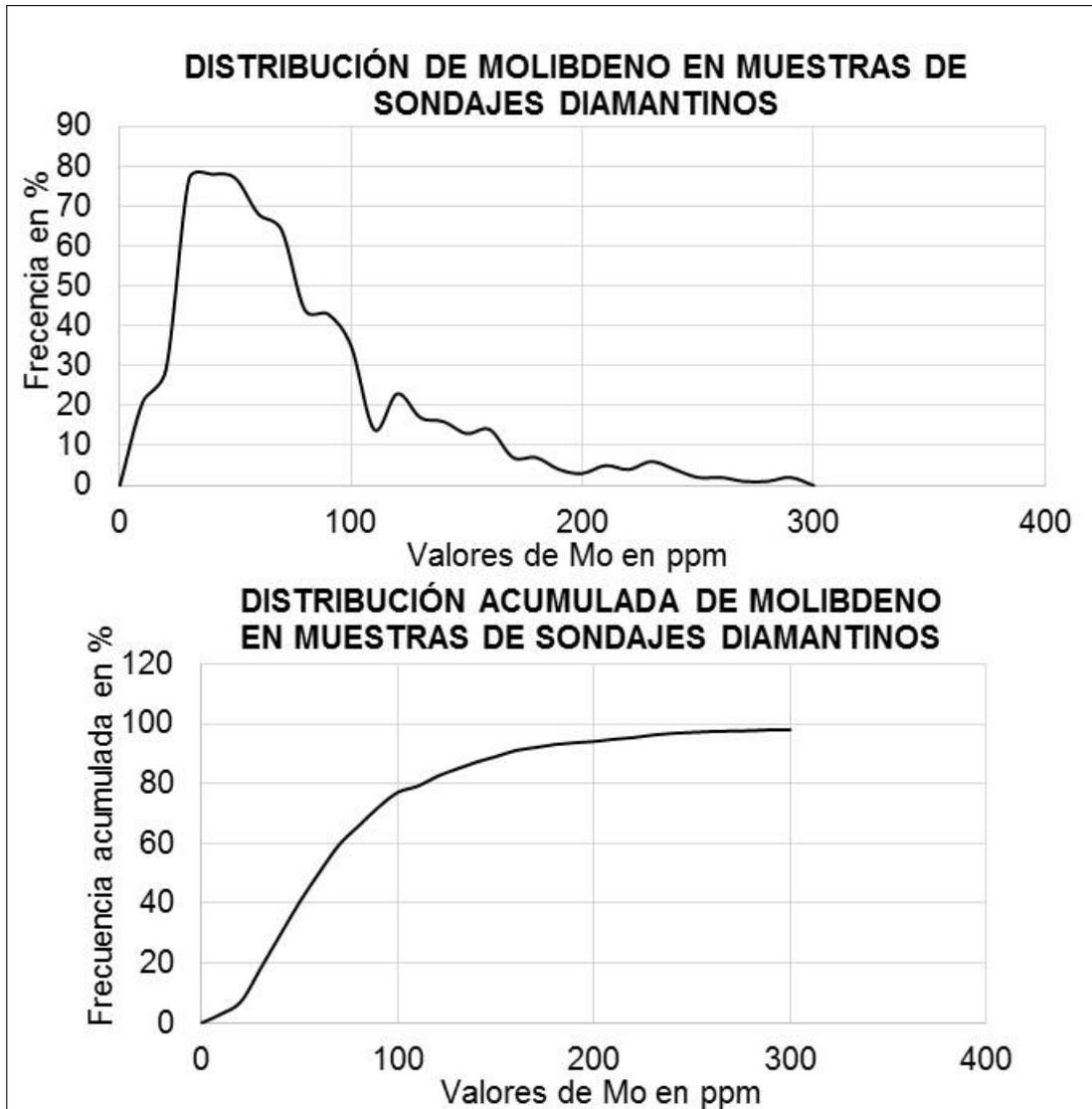


Gráfico 14. Distribución de molibdeno en sondajes diamantinos, zona hipógena.

### 3.12.5.3 Distribución de oro primario en núcleos diamantinos

El 73% de los datos son <0.03 ppm, ver gráfico 15, se correlacionan bien con la alteración potásica, también hay muy buenos valores continuos en la alteración clorita-sericita y sericítica; en la alteración potásica el oro es discontinuo presentándose en las partes más superficiales de la brecha magmático hidrotermal de 100 m hacia la superficie en todos los sondajes así como también en la zonas donde el porcentaje de venillas es bajo <3%; en las partes debajo de los 100 m donde el stokwork es fuerte el oro es muy bajo, a profundidades mayores en todos los sondajes el oro esta en valores medios <0.03 ppm; todas las zonas de oro

correlacionan bien con las zonas de cobre y molibdeno, pero donde hay cobre y molibdeno alto no necesariamente hay buenos valores de oro, en el tercer sondaje en la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita y alteración clorita-sericita, en el tramo inicial el cobre y el molibdeno son muy bajos pero con muy buenos valores continuos de oro, por lo tanto el oro se presenta más a la parte superficial de la brecha magmático hidrotermal.

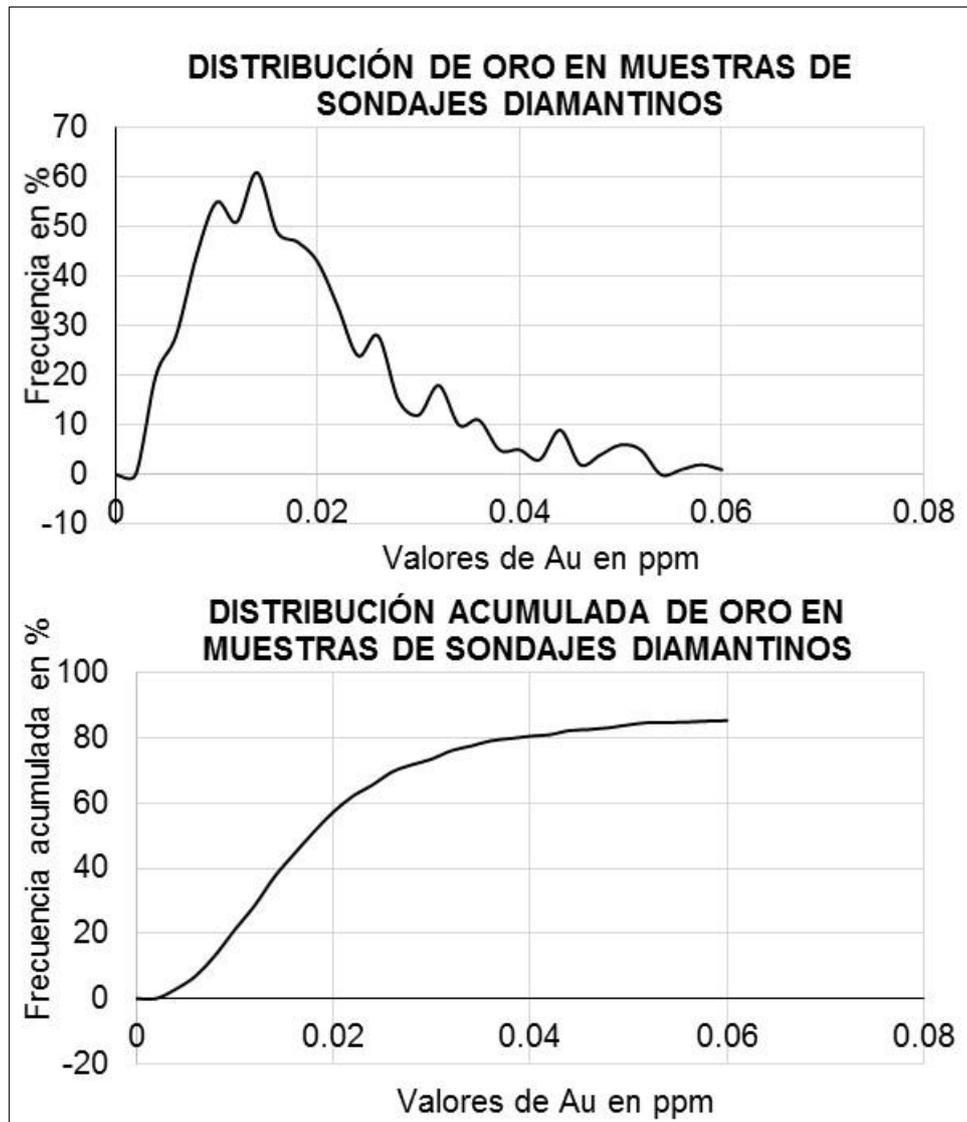


Gráfico 15. Distribución de oro en sondajes diamantinos, zona hipógena.

#### 3.12.5.4 Distribución de plata primaria en núcleos diamantinos

El 61% de los valores de plata son <1 ppm, la distribución de frecuencias no tiene una sola población sino varias poblaciones donde el 23% de los datos corresponden a una población de valores <0.30 ppm de plata; de 0.56 a 1.01 ppm corresponde a una población de valores medios, los valores >1.01 ppm

corresponden a una tercera población de valores altos, ver gráfico 16. Los valores de 0.30 ppm son muy bajos y se presentan de manera discontinua en la alteración clorita-sericita de la brecha magmático hidrotermal, en la alteración potásica y clorítica profunda a más de 400 m y 600 m respectivamente en el pórfido dacítico, siendo similares a los valores bajos continuos en las rocas metamórficas con cloritización, estos valores bajos de plata correlacionan con valores bajos de cobre, bajos de molibdeno y bajos de oro, encontrándose en el rango de valores de las rocas caja. La segunda población de 0.56 a 1.01 ppm son valores medios que también correlacionan con valores bajos de cobre, bajos de molibdeno y bajos de oro, con algunas excepciones para altos en molibdeno y cobre, esta población es discontinua y tiende a desaparecer a profundidades >550 m, en el tercer sondaje estos valores correlacionan con el tramo inicial de alto oro de la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita con alteración potásica y clorita-sericita, estos valores medios son propios del pórfido de cobre, que está más enriquecido que la roca caja circundante. La tercera población de valores >1.01 ppm se encuentran más arriba de los 400 m hacia la superficie, en las partes más superficiales de 300 m hacia arriba los tramos de plata son muy continuos, el resto son intercalaciones entre valores altos y valores bajos, en las partes más continuas la mayoría de valores altos de plata se correlacionan con valores altos de cobre, altos de molibdeno y altos de oro, en algunos tramos de valores bajos de oro se correlacionan con valores altos de plata principalmente en la alteración potásica, secundariamente hay valores altos continuos en la alteración clorita-sericita y en menor cantidad en la alteración sericítica con algunos valores altos continuos. En el gráfico 16 se observa la distribución de la plata en sondajes diamantinos, presentándose con tres poblaciones claramente definidas, debido a que la plata se asocia al oro de la etapa de mineralización del pórfido y a la galena pos pórfido.

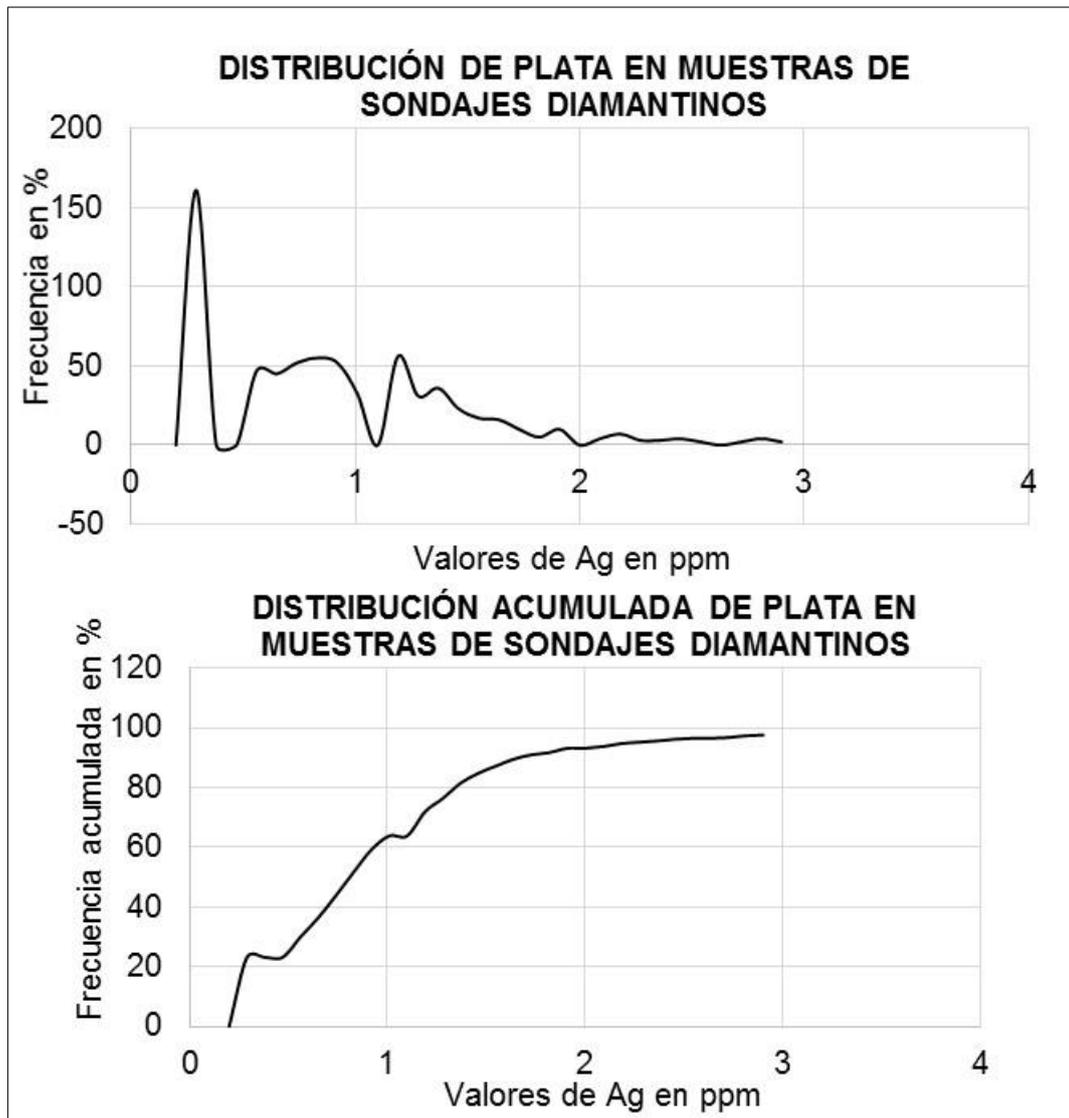


Gráfico 16. Distribución de plata en sondajes diamantinos, zona hipógena.

### 3.12.5.5 Distribución de plomo primario en núcleos diamantinos

El 80% de valores de plomo son <30 ppm, ver gráfico 17, los valores medios en el pórfido dacítico y brecha magmático hidrotermal corresponden a valores de 10 a 30 ppm, los valores bajos son <10 ppm con tramos continuos en todos los sondajes, estos valores son similares a los valores de fondo más alejados presentes en el batolito y el complejo basal; la galena y esfalerita están siempre en venillas tardías no asociadas al evento principal de mineralización de cobre, oro, molibdeno y plata en el pórfido, por eso los valores son medios a bajos en estas rocas; los valores altos >30 ppm se dan en tramos muy discontinuos generalmente en bandas de 3 m de muestreo o hasta 8 m de muestreo, esto evidencia claramente que estos tramos corresponden a venillas de galena junto con esfalerita como venillas posteriores a la etapa de mineralización del pórfido, también estas bandas se relacionan en su

mayoría con valores altos en plata debido a que la galena contiene plata en su interior, pero no toda la galena tiene valores altos de plata como es evidenciado por algunas bandas con valores bajos de plata, la correlación con los valores altos de cobre es regular, con el oro y molibdeno la correlación es baja. En el gráfico 17 se observa la distribución de los valores de plomo en sondajes diamantinos, mostrándose algo heterogénea por la sobre imposición posterior de mineralización de plomo en venillas, pero en general la curva tiende a ser regular.

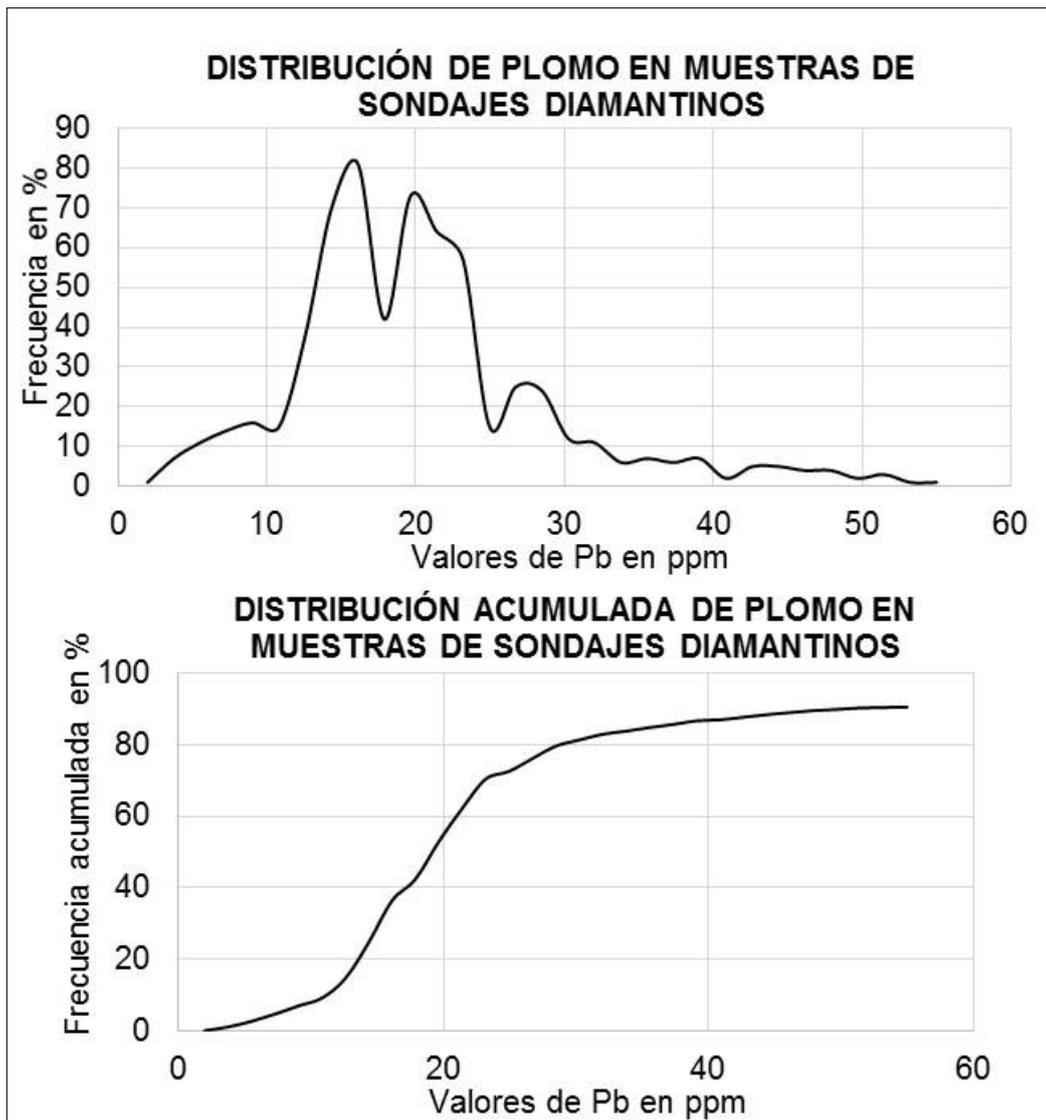


Gráfico 17. Distribución de plomo en sondajes diamantinos, zona hipógena.

### 3.12.5.6 Distribución de zinc primario en núcleos diamantinos

El 84% de los valores de zinc son <160 ppm, ver gráfico 18, con valores medios en el pórfido dacítico-brecha magmático hidrotermal entre 25 a 160 ppm presentes de manera continua en los núcleos de todos los sondajes diamantinos, los valores

>160 ppm son discontinuos muy separados que corresponden a venillas tardías que cortan el pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal, una gran mayoría de estos valores altos correlacionan con valores altos en plomo, muy pocos valores altos en zinc presentan valores bajos de plomo, al igual que el plomo esta mineralización de zinc no corresponde a la mineralización del pórfido, sino a eventos posteriores al venilleo de stockwork de cuarzo. En el gráfico 18 se observa la distribución del zinc en los sondajes diamantinos, observándose uniforme pero con asimetría positiva.

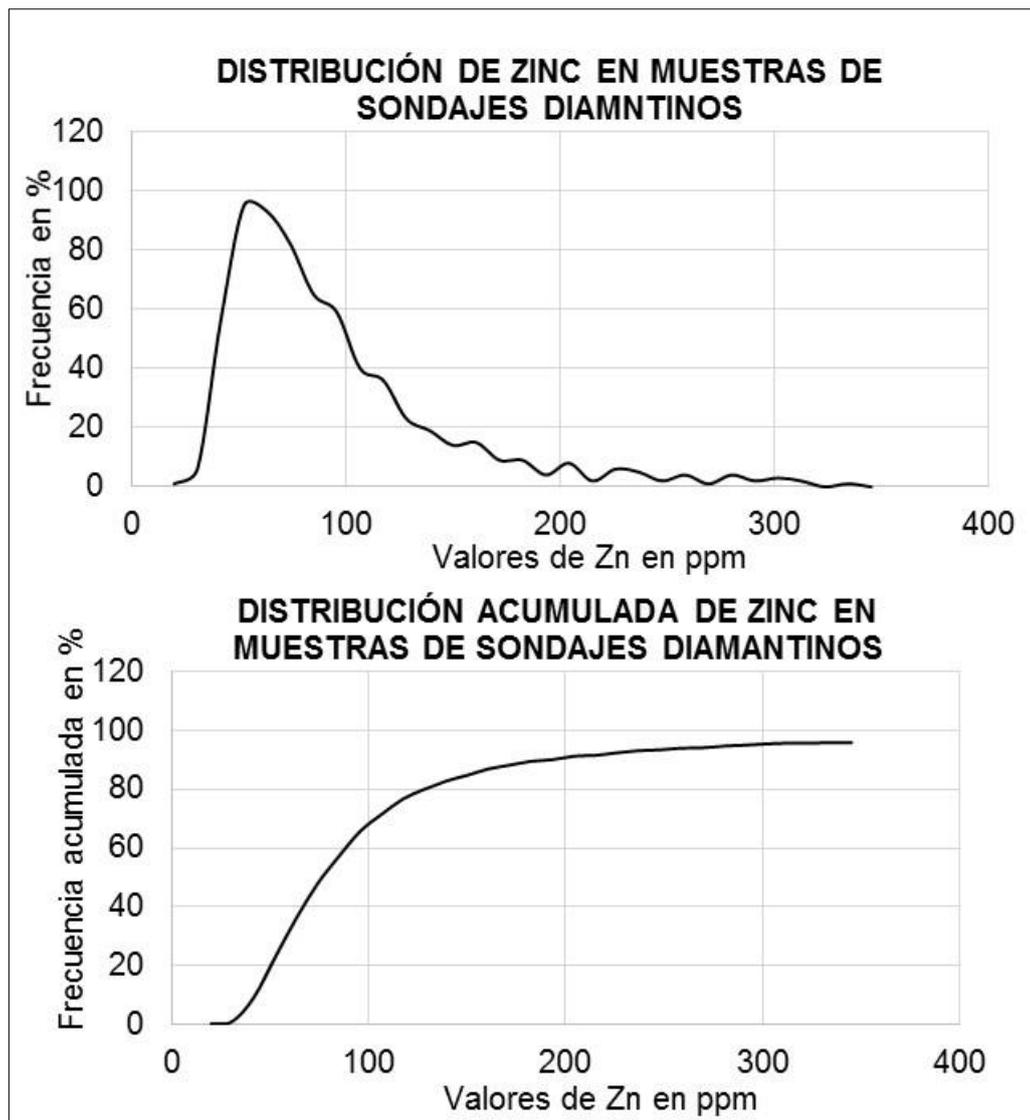


Gráfico 18. Distribución de zinc en sondajes diamantinos, zona hipógena.

### 3.12.5.7 Cobre supérgeno en núcleos diamantinos

El 55% de los datos son <0.30% de cobre, que son valores típicos de enriquecimiento supérgeno en los cinco sondajes, la distribución del cobre en estas

zonas es polimodal con muchos picos correspondientes a varias poblaciones de datos, ver gráfico 19, lo que es congruente con muchas etapas de subidas y bajadas del nivel freático que originó minerales supérgenos en oxidaciones y reducciones sucesivas que produjeron óxidos de cobre y calcocita en profundidades de 42 a 80 m como alcance máximo en las partes bajas del valle y en profundidades <40 m en las partes más altas de la ladera. Hacia la parte Este en la ladera empinada de 25 a 30 m el valor del cobre de calcocita es muy alto entre 1.1 a 2.12% de cobre, observándose en la parte superficial de esta zona abundante malaquita y neotocita que originaron altos valores de cobre a mayor profundidad en la zona de enriquecimiento. En el Gráfico 19 se observa el cobre en la zona supérgena, como una distribución multimodal por los múltiples eventos de re movilización del cobre.

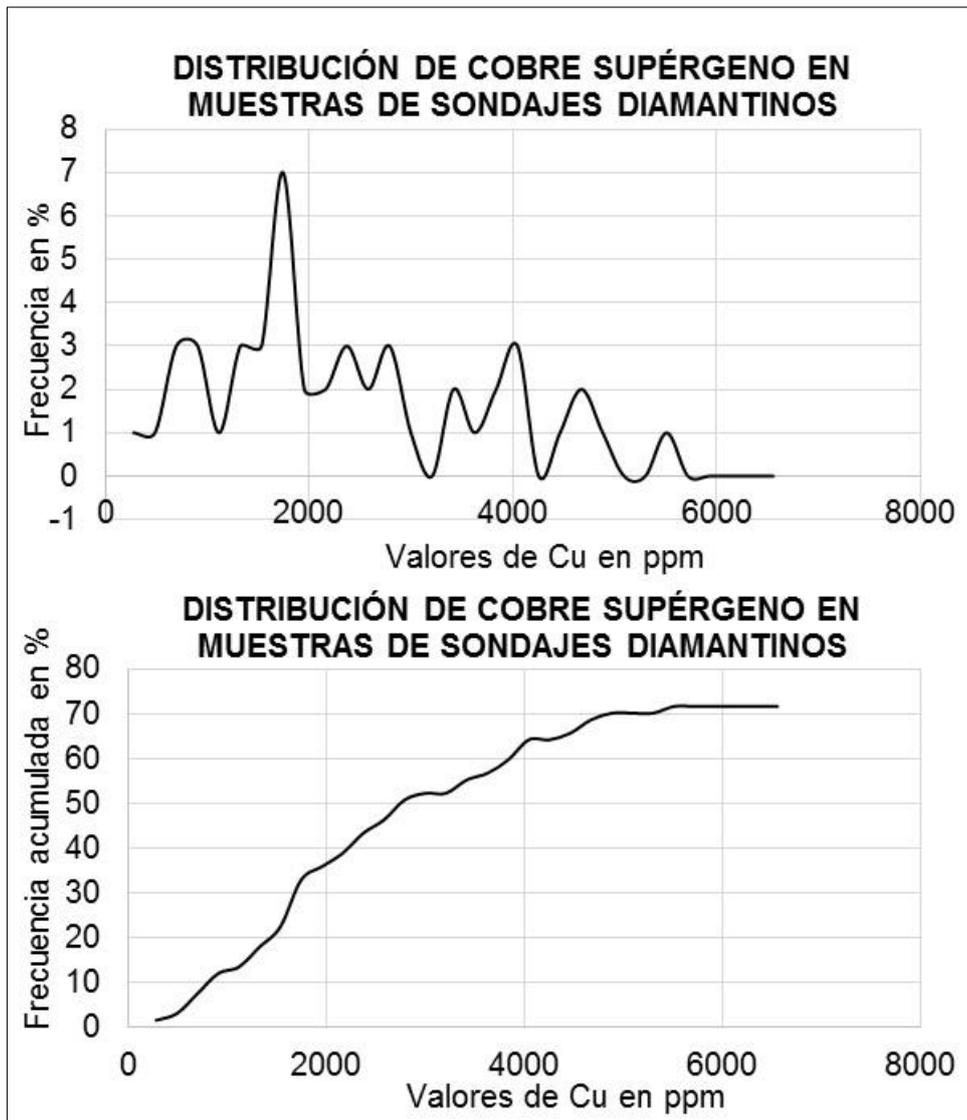


Gráfico 19. Distribución de cobre en sondajes diamantinos, zona supérgena.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dónde se encuentran los mayores valores de los elementos indicadores del pórfido de Cu-Au-Mo Ocaña y cómo es su migración de estos elementos hacia las zonas aledañas.

Se determina que la mineralización principal de cobre-oro-molibdeno-plata está asociada al evento de brecha magmático hidrotermal en la cúpula superior del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo y alteración potásica que fue sobre impuesta por alteración clorita-sericita, y en los pórfidos circundantes la mineralización es incipiente con alteración potásica débil en su interior, es evidente que el pórfido Ocaña se prolonga hacia el Norte conformando el mismo sistema con el pórfido Pecoy; por las anomalías presentadas en superficie es probable que exista otro centro mineralizante en la parte SE (Waka Waka) del pórfido Ocaña debido a la fuerte presencia de cobre-molibdeno que pueden señalar un pórfido de cobre debajo de las rocas metamórficas.

La mineralización hipógena principal asociada a la brecha magmático hidrotermal es contemporánea con la alteración potásica que posteriormente fue sobre impuesta por alteración clorita-sericita sin haber indicación de que esta segunda alteración está asociada a mineralización de cobre; las roca cajas circundantes del batolito de la costa y del complejo metamórfico no tienen influencia en la mineralización ya que son granodioritas no reactivas, diversas rocas metamórficas como esquistos y gneis también no reactivos. En la brecha magmático hidrotermal se observa que la mayoría de minerales económicos como calcopirita y molibdenita están en la matriz junto con biotita secundaria formando parte de la alteración potásica temprana; el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo es la raíz de la brecha magmático hidrotermal con alteración potásica y fuerte venilleo de cuarzo, pero sus valores de cobre no superan el 0.20%, las venillas de cuarzo macroscópicamente se observan con muy poca calcopirita, la molibdenita está presente en algunas venillas tipo B, como mineralización diseminada dentro del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo se observa calcopirita con pirita asociados a zonas de biotitas secundaria, la magnetita en la brecha magmático

hidrotermal con clastos de diorita tiene fuerte asociación con la calcopirita, evidenciado por los valores altos de cobre en estas zonas.

Las vetas más alejadas del pórfido de cobre tienen mineralización de oro con algo de cobre, buenos valores de plata, plomo y zinc, evidenciado en los planos geoquímicos de superficie, como eventos pos pórfido posteriores a la mineralización de cobre, oro, molibdeno y plata hospedada en el pórfido Ocaña, esta mineralización está hospedada en vetas delgadas de cuarzo, algunas no superan los 0.10 m de ancho, ubicadas en la parte Norte, Noroeste, Este, Sureste y Sur del pórfido Ocaña, en la zona Oeste no hay presencia de mineralización en vetas; la determinación más rigurosa de la fuente de mineralización para estas estructuras requiere de estudios analíticos como de inclusiones fluidas, pero por la asociación mineralógica y la cercanía con el pórfido Ocaña y Pecoy se puede decir que estas mineralizaciones de etapas diferentes están relacionadas con la misma fuente mineralizante, porque se encuentran circundando al pórfido, el venilleo del pórfido Ocaña se extiende muy esporádicamente hasta las zonas de ubicación de estas vetas, las estructuras están cortando al batolito de la costa y a las rocas metamórficas del complejo basal.

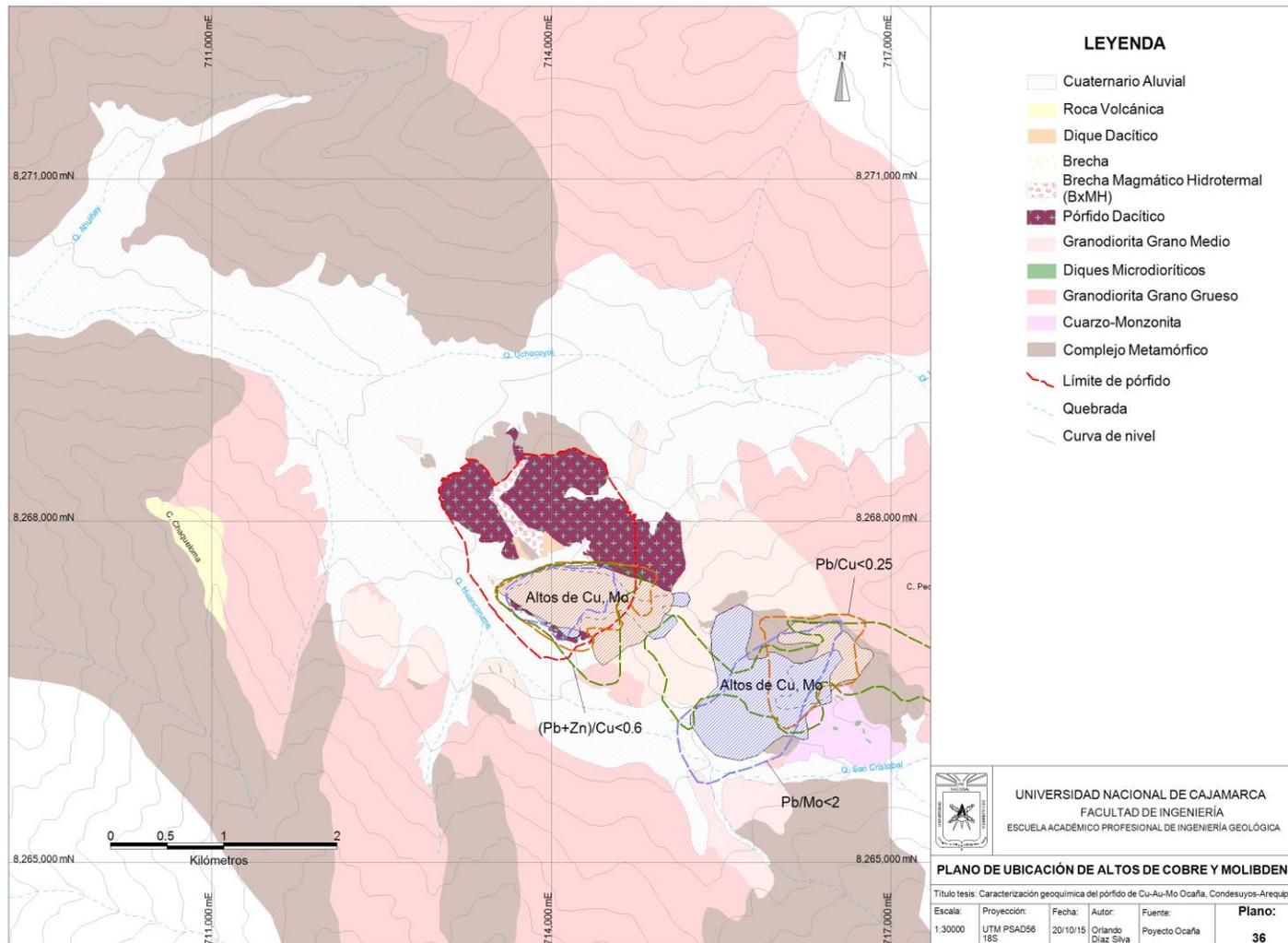
Caracterizar la geoquímica del pórfido de Cu-Au-Mo Ocaña Ocaña Condesuyos-Arequipa.

De acuerdo a la geoquímica de superficie y los resultados de la perforación diamantina la mineralización de cobre, oro y molibdeno se da en la brecha magmático hidrotermal y en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, los elementos como el plomo y el zinc migran inmediatamente hacia los bordes exteriores del pórfido, se emplazan en estructuras de vetas con dirección principalmente Este-Oeste, evidenciado por varias minas artesanales de oro-metales base y minas formales como Arirahua, también el plomo y el zinc está dentro del pórfido dacítico y la brecha magmático hidrotermal como venillas tardías posteriores a la mineralización del pórfido de cobre.

Determinar en qué zonas del pórfido Ocaña encontramos los mayores valores de cobre y molibdeno.

Los valores más altos de cobre diseminado se encuentran hospedados en la brecha magmático hidrotermal dentro de la matriz y en los diversos tipos de venillas de

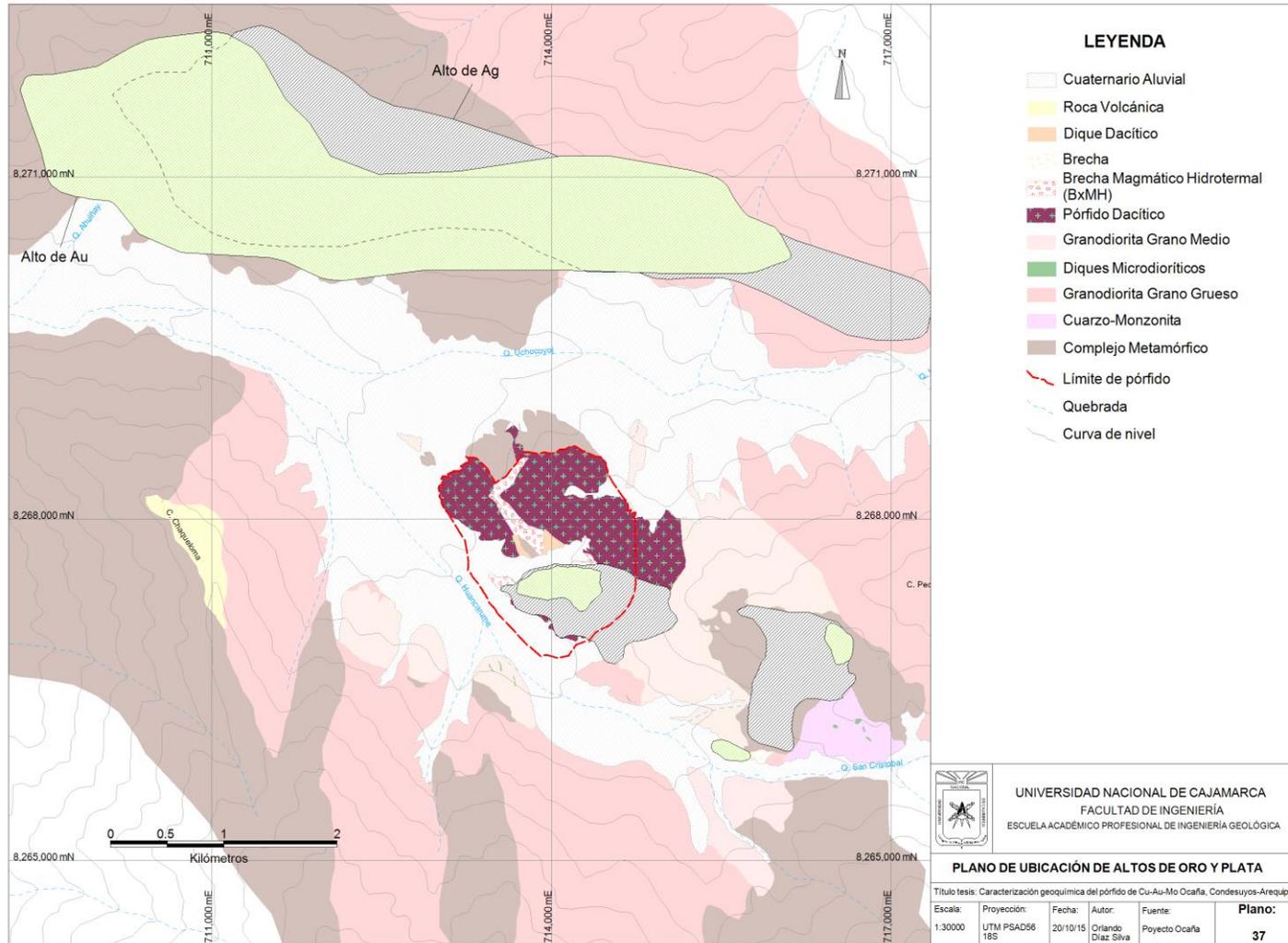
cuarzo tipo A, la mineralización disminuye sus valores conforme salimos del centro hacia los pórfidos dacíticos exteriores con valores bajos, pero aún aquí los valores son más elevados que las rocas del batolito y el complejo basal. En los planos de superficie también se puede observar que el cobre se concentra en zonas más alejadas del pórfido-brecha magmático hidrotermal como en la zona SE (Waka Waka) donde los valores son distinguibles de los valores de las rocas del batolito y del complejo. El cobre hacia las vetas de la parte Norte se concentra con valores bajos a medios teniendo una movilidad moderada en los eventos pos pórfido, pero aun así se aleja más que el molibdeno que se encuentra más cercano al pórfido. El molibdeno se concentra en la brecha magmático hidrotermal y los pórfidos dacíticos dentro de venillas de cuarzo tipo B, pero también tiende a migrar y hospedarse en venillas de molibdenita a zonas fuera del pórfido al SE (Waka Waka), aunque menos alejado que el cobre, ver plano 36.



Plano 36. Ubicación de altos de Cu y Mo.

Determinar el comportamiento del oro con respecto al cobre y al molibdeno.

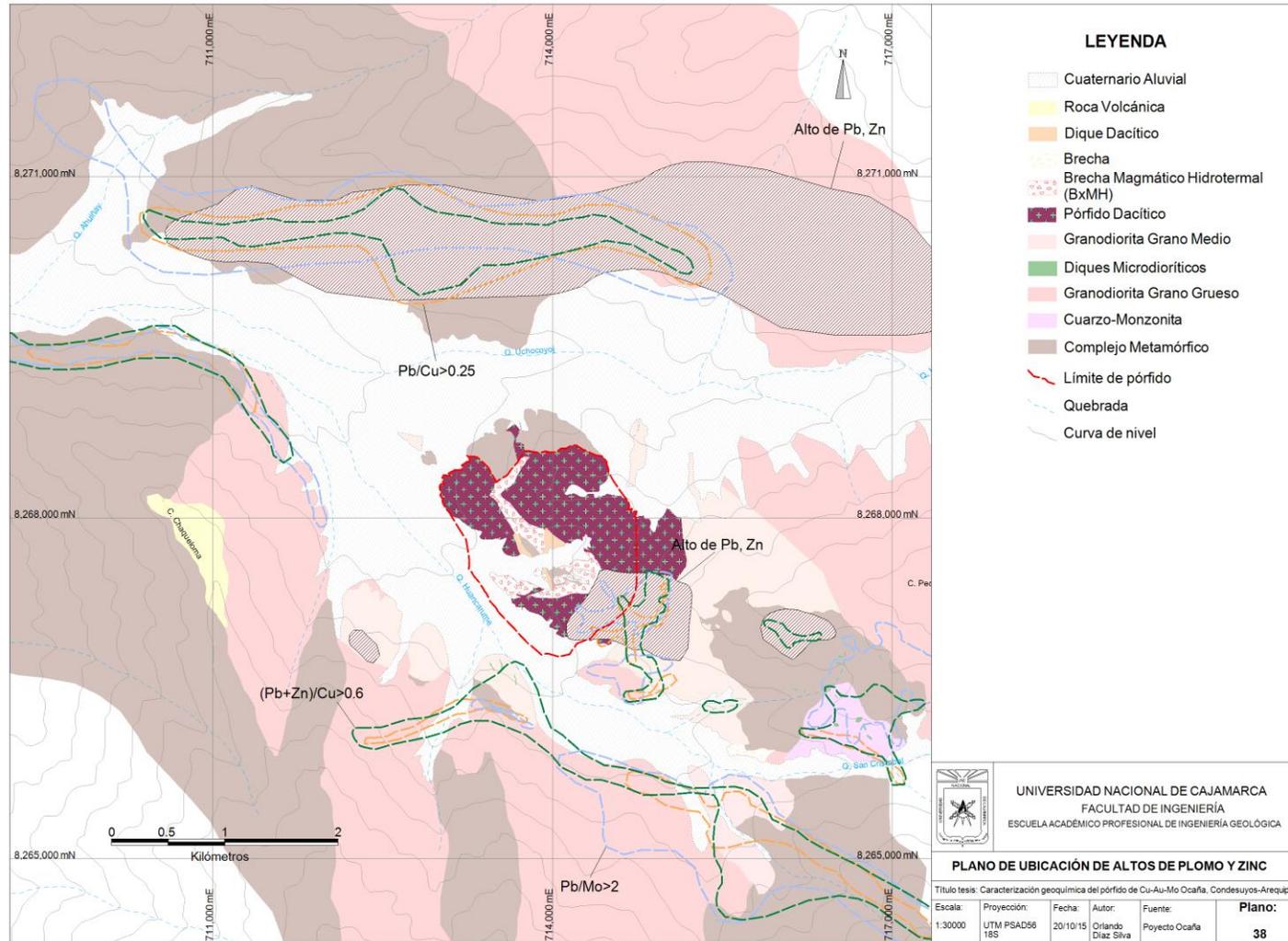
El oro está diseminado uniformemente en la zona de la brecha magmático hidrotermal con clastos de diorita, con valores más elevados en la alteración potásica en presencia de abundante magnetita y en sobre imposiciones de alteración clorita-sericita, también hay buenos valores en la brecha magmático hidrotermal con alteración potásica junto a biotita secundaria y clorita-sericita sobre imponiendo a la alteración potásica más temprana, en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo se presenta valores de oro bajos, de igual manera que en los pórfidos dacíticos circundantes los valores son bajos, pero mayores a los valores de la rocas caja; el oro migra junto al cobre a mayores distancias que el molibdeno, tanto el oro como algo de cobre se concentran por eventos pos pórfido en las vetas que circundan al depósito, ver plano 37.



Plano 37. Ubicación de altos de Au y Ag.

Determinar la distribución de la plata, el plomo y el zinc en el pórfido y su migración hacia las vetas circundantes.

La plata está presente con valores bajos a medios pero continuos en todo la brecha magmático hidrotermal y los pórfidos dacíticos, pero los valores más elevados migran con altas concentraciones en eventos pos pórfido más lejos del centro porfirítico junto al oro hospedado en vetas que circundan al depósito ver plano 37. El plomo se presenta con valores medios muy discontinuos en el depósito el cual se relaciona a venas pos pórfido que cortan la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico, pero claramente el plomo migró más lejos hacia las partes circundantes en forma de vetas, también en los planos geoquímicos se observa el enriquecimiento en plomo al borde SE adyacente al depósito. El zinc en la brecha magmático hidrotermal tiene valores bajos principalmente, con algunos valores altos pero discontinuos asociados al plomo, en la parte SE inmediatamente al exterior del depósito se observa un enriquecimiento marcado en zinc en la roca caja, también migró como el plomo más lejos hacia las zonas de vetas como se observa a la parte SE y Norte del depósito, ver plano 38.



Plano 38. Ubicación de altos de Pb y Zn.

Determinar la relación de los elementos con la litología, alteraciones y estructuras.

Las alteraciones son típicas de un pórfido de cobre en la parte central con la alteración potásica, en sus partes superiores se presenta la alteración sericítica y clorita-sericita sobreimpuestas a la alteración potásica, con una parte superficial silicificada y una capa de fuerte lixiviación, hacia el borde adyacente está la alteración clorítica que ataca a los ferro magnesianos de las dacitas y conforme nos alejamos gradada a clorita-epídota.

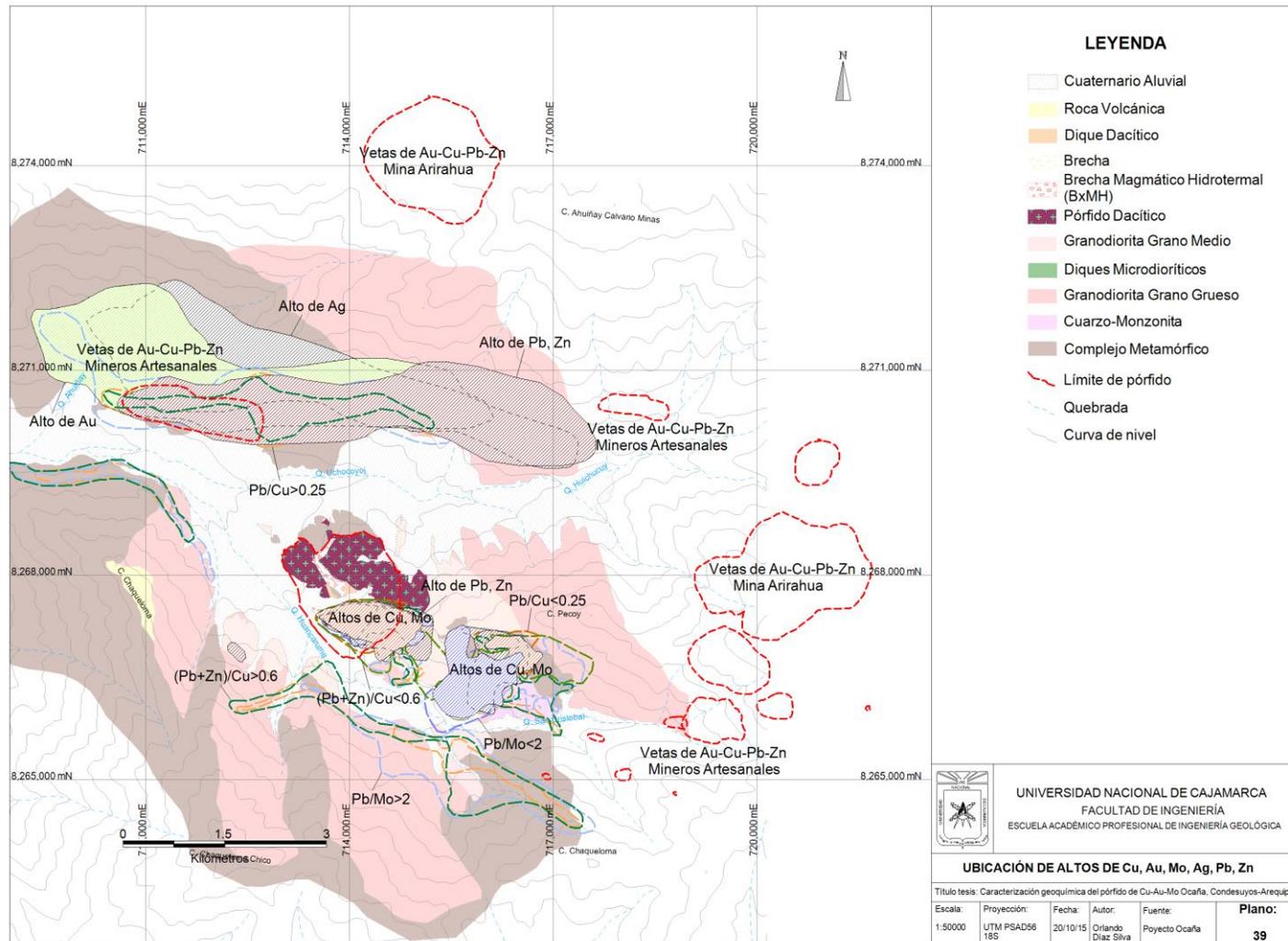
La alteración potásica está presente principalmente en la brecha magmático hidrotermal con biotita secundaria en la matriz, diversos tipos de venillas y magnetita están junto a esta alteración, hay una correlación de calcopirita con biotita secundaria, la calcopirita esta diseminada dentro de la biotita secundaria, también hay una correlación de magnetita con abundante calcopirita, el molibdeno se asocia con las venillas tipo B, también dentro de la alteración potásica, hay zonas de clorita-sericita con abundante calcopirita, zonas blanquecinas de alteración sericítica son muy pobres en cobre por la remoción durante la sobre imposición de esta alteración, las alteraciones clorítica y clorita-epídota son circundantes a la fuente del pórfido que hospedan vetas de oro, cobre y metales base.

Del mapeo en superficie las estructuras que se direccionan al NO, NE, N-S y E-O están enmarcadas e influenciadas por la falla huancarume como de primer orden, dicha falla no se observa en superficie por la presencia de una gruesa capa de material aluvial que cubre toda su longitud, pero fue cortada en el quinto sondaje, donde se observa que está formada por panizo de color negro con brecha tectónica y clastos de roca inmersos en panizo, el corte en el sondaje tiene un ancho  $>2$  m, además de ser una falla grande separa a la brecha magmático hidrotermal-pórfido dacítico de valores de cobre  $>0.10\%$  con una granodiorita de valores  $<900$  ppm de cobre, está claro que es una falla principal por lo que marca un cambio abrupto entre dos litología bien definidas, un cambio abrupto de intensidad de mineralización y tipo de alteración; la otra falla de primer orden al NE es la llamada falla auñay no se observó en superficie, solamente se observa como lineamientos y un trend de venillas tipo D paralelas que correlacionan con esa dirección. El stockwork bajo a intenso y la brecha magmático hidrotermal permitió la presencia de abundante fluido en la cúpula del pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, este fluido trae la mineralización de cobre, oro, molibdeno y plata junto con la

alteración potásica, los espacios vacíos generados por el stockwork sirvieron para la depositación de cuarzo junto con los minerales económicos; las direcciones principales de las venillas son semejantes e influenciadas por las dos fallas principales.

El stock porfirítico y las alteraciones del pórfido de cobre Ocaña controlan la presencia del cobre y molibdeno hacia la parte central del sistema, mientras que la plata, plomo y zinc migran con mayores concentraciones fuera del pórfido en función a la litología, estructuras y alteración.

La hipótesis se confirma que los mayores valores de cobre y molibdeno además de oro y plata están en la brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo, además hay un enriquecimiento en los pórfidos dacíticos circundantes, correspondiendo todo esto al centro mineralizante de alta temperatura con acumulación de grandes cantidades de fluido acuoso que formó la brecha magmatico hidrotermal y el intenso venilleo de cuarzo hospedando la mineralización de cobre, oro, molibdeno y plata a la parte central. El plomo y zinc migraron acompañados de plata y oro en eventos pos pórfido con altas concentraciones más lejos a las zonas de menores temperaturas donde formaron venas epitermales de metales base y oro hospedadas en las rocas circundantes, mostrando ensambles de pirita-calcopirita-esfalerita-galena, oro, evidenciado por las diferentes operaciones mineras formales y artesanales, ver plano 39.



Plano 39. Ubicación de altos de Cu, Au, Mo, Pb y Zn y zonas mineras circundantes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

El cobre y molibdeno están con mayores valores en el evento principal de brecha magmático hidrotermal en alteración potásica y clorita-sericita, menores valores en el pórfido dacítico con fenocristales de cuarzo y valores muy bajos a la zonas circundantes.

El oro está asociado al evento principal de la brecha magmático hidrotermal sobre alteración potásica y clorita sericita, pero también migró con altos valores a vetas circundantes posteriores.

La plata también se asocia al evento principal junto al oro en la brecha magmático hidrotermal, además valores altos en el evento posterior de vetas circundantes en los alrededores.

El plomo y el zinc son exclusivos de mineralización posterior al evento principal de brecha magmático hidrotermal-pórfido, porque se asocian a la galena-esfalerita de venillas que cortan a todas las venillas de la etapa de formación del pórfido Ocaña. También migraron rellenando vetas de cuarzo tardías circundantes al pórfido Ocaña.

La brecha magmático hidrotermal y el pórfido dacítico también fueron enriquecidos en plomo y zinc de manera discontinua en venillas pos pórfido al igual que las rocas inmediatamente circundantes al depósito de pórfido.

Las alteraciones potásica y clorita-sericita se asocian con los mejores valores de cobre, oro, molibdeno, plata; la alteración sericítica presenta una re movilización casi total de los elementos económicos, las alteraciones clorítica y clorita-epídota son exteriores al pórfido con bajos valores de elementos económicos.

Las rocas circundantes del batolito y del complejo basal no son reactivas para formar grandes cuerpos mineralizados o algún diseminado, solamente presentándose delgadas vetas de cuarzo-oro metales base.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda un estudio de inclusiones fluidas para mejorar el conocimiento del origen de los fluidos hidrotermales que formaron los diversos tipos de mineralización.

Se recomienda un estudio de microscopía para diferenciar mejor los tipos de brechas magmático hidrotermales y las diversas fases de los pórfidos en el depósito.

Es importante confirmar con un sondaje la parte baja y Oeste del valle, donde hay anomalía de cobre exótico y enriquecimiento de cobre supérgeno debajo de la cobertura aluvial >50 m de espesor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrus, J., (1977). Geology of the El Abra porphyry copper deposit, Chile: *Econ. Geol.*, v. 72, p. 1062-1085.

Anderson J.A., (1982). Characteristics of leached capping and techniques of appraisal, in Titley, S.R., ed., *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*: Tucson, University of Arizona Press, p 275-295.

Arancibia, O.N., and Clark, A.H., (1996). Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island Copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia: *Econ. Geol.*, v. 91, p. 402-438.

Ballantyne, G., Marsh, T., Hehnke, C., Andrews, D., Eichenlaub, A., and Krahulec, K., (2003). The Resolution copper deposit, a deep, high grade porphyry copper deposit in the Superior district, Arizona: M. T. Einaudi Symp., Soc. of Econ. Geol. Student Chapter, Colorado School of Mines, Golden, CO, 2003, CD-ROM, 13 p.

Burnham, C.W. (1979). Magmas and hydrothermal fluids, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed.: New York, John Wiley & Sons, p. 71-136.

Burnham, C.W., (1985). Energy release in subvolcanic environments: Implications for breccia formation: *Econ. Geol.*, v. 80, p.1515-1522.

Burnham, C.W., and Ohmoto, H., (1980). Late-stage processes of felsic magmatism: *Mining Geology Special Issue 8*, p. 1-11.

Caldas, J. (1978). Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca, INGEOMIN, Bol. N° 30, Serie A.

Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, INGEMMET, Perú. Boletín 46 Serie A, 62p.

Cantos, F.J. (1987). *Tratado de geofísica aplicada*, Librería Ciencia-Industria, S.L., Madrid 3.

Cardozo, M. (2006). *Peruvian Andes: Geology & Mineral Potencial*, Ministry of Energy and Mines of Peru.

Catastro, (2011). *Datos y mapas de concesiones mineras de Perú*.

Chávez, W.X., (2000). Supergene oxidation of copper deposits: Zoning and distribution of copper oxide minerals: *Society of Economic Geologists Newsletter*, v. 41, p. 1-21.

Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. & Douglas, D.A.

(1990). Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru. *Econ. Geol.*, 85, p. 1520-1583.

Cobbing, E. et. al. (1977). Reconnaissance geochronology of the crystalline basement rocks of The Coastal Cordillera of Southern Peru. *Bull. Geol. Soc. Am.* v. 88.

Concha, O. y Bernabé, H. (1999). Geología y génesis de Cuajone. Seminario: Metalogenia y Exploración de Yacimientos Polimetálicos.

Cox, D.P. (1985). Geology of the Tanamá and Helecho porphyry copper deposits and vicinity, Puerto Rico: U. S. Geol. Survey Professional Paper 1327, 59 p.

Dilles, J.H. (1987). The petrology of the Yerington batholith, Nevada: Evidence for the evolution of porphyry copper ore fluids: *Econ. Geol.*, v. 82, p. 1750–1789.

Eidel, J.J., Frost, J.E., and Clippinger, D.M., (1968). Copper-molybdenum mineralization at Mineral Park, Mohave County, Arizona, in Ridge, J.D., ed., *Ore deposits of the United States, 1933–67*: New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, v. 2, p. 1258–1281.

Einaudi, M.T., (1982). Description of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America, in Titley, S.R., ed., *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*: Tucson, University of Arizona Press, p. 139–183.

Einaudi, M.T. (1994). 6-km, Vertical Cross Section Through Porphyry Copper Deposits, Yerington District, Nevada: Multiple Intrusions, Fluids, and Metal Sources; Stanford University Stanford, California, U.S.A. Soc. of Econ. Geol. international exchange lecture.

Enns, S. (2011). Reporte interno-Ocaña Project.

Estrada, F. (1975). Geología de Quellaveco. *Soc. Geol. del Perú. Boletín N° 46*, p. 65-86.

Goldschmidt, V. M., (1954). *Geochemistry*. Edited by Alex Muir, Clarendon Press.

Gustafson, L.B., and Hunt, J.P., (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Econ. Geol.*, v. 70, p. 857–912.

Gustafson, L.B., and Quiroga, J. (1995). Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Econ. Geology*, v. 90, p. 2–16.

Hamasaki, S. (2002). Volcanic-related alteration and geochemistry of Iwodake volcano, Satsuma-Iwojima, Kyushu, SW Japan. *Earth, Planets and Space*, v. 54, p. 217-229.

- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Heald, P. & Foley, N.K. (1985). Geologic, mineralogic, and geothermal precious metal deposits. *Reviews Econ. Geol.* 2, 129-167.
- Hedenquist, J.W., and Richards, J.P. (1998). The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits: *Reviews in Econ. Geol.*, v. 10, p. 235-256.
- Henley, R. W., and McNabb, A. (1978). Magmatic vapor plumes and groundwater interaction with emphasis on hydrogen metasomatism: *Econ. Geol.*, v. 59, p. 538-569.
- Howard, N., Ford, A., Brookes, D. (2010). Genetic classification of breccias. Breccia poster Vancouver.
- INGEMMET y Japan International Cooperation Agency, (1986). Geol. Survey Geochemical Prospecting. Rep. on Mineral. Exploration in Cotahuasi area. Pha. I.
- INGEMMET, (1983). Geología de los cuadrángulos de Pausa y Carvelí-Boletín 37A.
- INGEMMET, (1994). Geología de los cuadrángulos de Chuqibamba y Cotahuasi-Boletín 50A.
- Jones, B. (1992). Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 43, 1992, pp 127-155.
- Klipfel, P. (2010). Summary report on the Ocaña Project Perú, Mineral Resource Services Inc. For Indico Resources Inc.
- Kunchev, K. (2011). Ocaña Time Domin IP - Review and Interpretation.
- Leonardson, R. W., Molling, P. A., and Osborne, L. W., (1984). Geology and geochemistry of molybdenite mineralization at Questa, New Mexico: *Am. Inst. Mining Metall. Petroleum Engineers Preprint 84-77*, 2 p.
- Lindgren, W., and Bastin, E. S. (1922). The geology of the Braden mine, Rancagua, Chile: *Econ. Geol.*, v. 17, p. 75-99.
- Llosa, T. F., Georgel, P. J. M., and Veliz, M. J. (2000). Los pórfidos Au-Cu de Minas Conga, en 1er v. de monografías de yacimientos minerales Peruanos. Historia, exploración y Geología: Lima, IIMP, p. 177-195.
- Loader, S.E., (1999). Supergene enrichment of the Khanong copper resource, Sepon project, Lao PDR: Pacrim '99 Congress, Bali, Indonesia, 1999, Proceedings: Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 263-270.
- Lowell, J.D., and Guilbert, J.M., (1970). Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: *Econ. Geol.*, v. 65, p. 373-408.
- Manfrino, E. (2010). Zafranal Copper Project Peru. Technical Report. AMEC for AQM Copper Inc.

Marjoribanks R., (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Second Edition, Springer Heidelberg Dordrecht London New York.

Masterman, G.J., Cooke, D.R., Berry, R.F., Walshe, J.L., Lee, A.W., and Clark, A.H. (2005). Fluid chemistry, structural setting, and emplacement history of the Rosario Cu-Mo porphyry and Cu-Ag-Au epithermal veins, Collahuasi district, northern Chile: *Econ. Geol.*, v. 100, p. 835–862.

McQueen K.G., (2000). *Identifying geochemical anomalies*, Department of Earth and Marine Sciences, Australian National University.

Meinert, L.D., Dipple, G.M., and Nicolescu, S., (2005). World skarn deposits: *Econ. Geol.* 100th anniversary volume, p. 299–336.

Meyer, C., (1965). An early potassic type of wall rock alteration at Butte, Montana: *American Mineralogist*, v. 50, p. 1717–1722.

Nelson, E. (2005). *Structural Geology in Mineral Exploration: Cordilleran Magmatic Arc Environments*, Colorado School of Mines, 4-5 November 2005.

Parasnis, D.S. (1970). *Principios de geofísica aplicada*, Editorial Paraninfo, Madrid.

Perelló, J., Brockway, H., and Martini, R. (2004b). Discovery and geology of the Esperanza porphyry copper-gold deposit, Antofagasta Region, northern Chile: *Econ. Geol. Geologists Special Publication 11*, p. 167–186.

Perelló, J., Cox, D., Garamjav, D., Sanjdorj, S., Diakov, S., Schissel, D., Munkhbat, T.-O., and Gonchig, O. (2001). Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian porphyry Cu-Au-(Mo) and high sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket: *Econ. Geol.*, v. 96, p. 1407–1438.

Quang, C.X., Clark, A.H., Lee, J.K.W., and Guillen B.J., (2003). 40Ar-39Ar ages of hypogene and supergene mineralization in the Cerro Verde-Santa Rosa porphyry Cu-Mo cluster, Arequipa, Peru: *Econ. Geol.*, v. 98, p. 1683–1696.

Redmond, P.B., and Einaudi, M.T., (2010). The Bingham Canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. I. Sequence of intrusions, vein formation, and sulfide deposition: *Econ. Geol.*, v. 105, p. 43–68.

Richards, J.P., (2003), Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 98, p. 1515–1533.

Rimstidt, J.D. (1997). Gangue mineral transport and deposition, *in* Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd ed.: New York, John Wiley and Sons, p. 487–515.

Rusk, B.G, Reed, M.H, and Dilles, J.H., (2008). Fluid inclusion evidence for magmatic hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana: *Econ. Geol.*, v. 103, p. 307–334.

Rusk, B.G., Miller, B.J., and Reed, M.H., (2008b). Fluid-inclusion evidence for the formation of Main Stage polymetallic base-metal veins, Butte, Montana, USA: Arizona Geological Society Digest 22, p. 573–581.

Scherkenbach, D., A., (1982). Geologic, mineralogic fluid, inclusion and geochemical studies of the mineralized breccias at Cumobabi, Sonora, Mexico: Unpub. Ph.D. thesis, Univ. Minnesota, 190 p.

Shanks W.C., (2012). Hydrothermal Alteration, U. S. Geol. Survey, Reston, Virginia.

Shayakubov, T., Islamov, F., Golovanov, I., Kashirsky, S., Kremenetsky, A., and Minzer, F. (1999). Almalyk and Saukbulak ore field, in Shayakubov, T., Islamov, F., Kremenetsky, A., and Seltmann, R., eds., Au, Ag, y Cu deposits of Uzbekistan, Excursion Guidebook, Excursions B6 of the Joint SGA-JAGOD Symposium, London/Tashkent, 1999: Potsdam Germany, International Geological Correlation Project Publications 11, p. 75-90.

Sheppard, S. M. F., Nielsen, R. L., and Taylor, H. P., Jr., (1971). Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits: *Econ. Geol.*, v. 66, p. 515-542.

Shinohara, H., and Hedenquist, J.W. (1997). Constraints on magma degassing beneath the Far Southeast porphyry Cu-Au deposit, Philippines: *Journal of Petrology*, v. 38, p. 1741–1752.

Sillitoe, R.H., (1985). Ore related breccias in volcanoplutonic arcs: *Econ. Geol.*, v. 80, p. 1467-1514.

Sillitoe, R.H., (1992). Gold and copper metallogeny of the central Andes past, present, and future exploration objectives: *Econ. Geol.*, V. 87, p. 2205-2216.

Sillitoe, R.H., (1996). Granites and metal deposits: *Episodes*, v.19, p. 126-133.

Sillitoe, R.H., (2000). Gold-Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and their Rol in Exploration and Discovery, *Econ. Geol.*, Vol. 13, p. 315-345.

Sillitoe, R.H., (2010). Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. *Econ. Geol.*, v. 105, pp. 3–41.

Sillitoe, R.H., and Perelló, J. (2005). Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: *Econ. Geol.* 100th anniversary volume, p. 845–890.

So, C.-S., and Shelton, K. L., (1983). A sulfur isotopic and fluid inclusion study of the Cu-W-bearing tourmaline breccia pipe, Ilkwang mine, Republic of Korea: *Econ. Geol.*, v. 78, p. 326-332.

Stewart, J. y Snelling, N. (1971). Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. *Geol. Soc. Am. Bull.* Vol. 85. Julio.

Theodore, T.G., (1998). Large distal diss. precious metal deposits, Battle Mountain mining district, Nevada: U.S., Geol. Survey Open-File Report 98-338, p. 253–258.

Tosdal, R.M., and Richards, J.P., (2001). Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: Reviews in Econ. Geol., v. 14, p. 157–181.

Ulrich, T., and Heinrich, C.A., (2001). Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: Econ. Geol., v. 96, p. 1719–1742.

USGS e INGEMMET, (2008). Quantitative Mineral Resource Assessment of Copper, Molybdenum, Gold, and Silver in Undiscovered Porphyry Copper Deposits in the Andes Mountains of South America.

Vela, CH. y Cárdenas, P. (1973). Boletín 50A Chuquibamba y Cotahuasi.

Warnaars, F. W., (1983). Copper tourmaline breccias at Los Bronces--Chile: Soc. Mining Engineers AIME Trans., v. 272, p. 1902-1911.

Zieremberg et al., R.A., Shanks, W.C., III, and Bischoff, J.L. (1984). Massive sulfide deposits at 21 °N, East Pacific Rise: Chemical composition, stable isotopes, and phase equilibria: Geol. Soc. Am Bulletin, v. 95, p. 922-929.