

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CONTROLES DE MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO Au  
– Cu MOROCHA – MINAS CONGA, CAJAMARCA –  
PERÚ”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR:**

**MIGUEL ALIAGA OBLITAS**

**LIMA – PERÚ**

**2012**

## CONTENIDO

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	X
<b>Capítulo 1: Generalidades</b>	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Ubicación y acceso	2
1.3 Planteamiento y objetivos de la investigación	2
1.4 Planteamiento y metodología	6
1.5 Trabajos previos	7
1.6 Trabajos de campo	7
1.7 Estudio de laboratorio	8
<b>Capítulo 2: Geología regional</b>	
2.1 Introducción	9
2.2 Fisiografía y Geomorfología	10
2.3 Estratigrafía	12
2.4 Rocas intrusivas	13
2.4.1 Stocks Miocénicos	13
2.5 Rocas volcánicas	14
2.6 Geología Estructural – Tectónica	18
2.7 Metalogenia	21
<b>Capítulo 3: Litología</b>	
3.1 Introducción	22
3.2 Rocas sedimentarias	22
3.2.1 Formación Inca (Ks-i)	22
3.2.2 Formación Chúlec (Ks-ch)	23
3.2.3 Formación Pariatambo (Ks-pt)	23
3.2.4 Formación Yumagual (Ks-yu)	23
3.3 Rocas intrusivas	28
3.3.1 Microgranodiorita principal (T-MGD)	28
3.3.2 Microgranodiorita inter mineral (T-IGD)	29
3.3.3 Microgranodiorita tardía (T-LGD)	30
3.3.4 Dique diorítico (T-DDI)	31
3.4 Brechas	32
3.4.1 Brechas intrusivas (T-BXI)	32
3.5 Estudios macroscópicos y microscópicos de rocas	33
<b>Capítulo 4: Alteraciones Hidrotermales</b>	
4.1 Introducción	36
4.2 Alteración Potásica (K)	36
4.3 Alteración Clorítica (Cl)	39
4.4 Alteración Fílica (Fi)	43
4.5 Alteración Skarn (Sk)	43

4.6	Silicificación (Si)	44
4.7	Mármol y Hornfels (Mb / Ho)	45
4.8	Descripción macroscópica de muestras y estudios de microscopía	45
<b>Capítulo 5: Geología estructural</b>		
5.1	Introducción	50
5.2	Estructuras a escala local	50
5.2.1	Análisis de diagrama estructural	53
<b>Capítulo 6: Mineralización</b>		
6.1	Introducción	57
6.2	Eventos de mineralización	57
6.3	Tipos de venillas	61
6.3.1	Venillas de Biotita (EB)	62
6.3.2	Venillas de Magnetita (MT)	63
6.3.3	Venillas de Cuarzo (QZ)	64
6.3.4	Venillas Tardías (QSP)	67
6.4	Secuencia paragenética	69
6.6	Estudios microscópicos de minerales	70
<b>Capítulo 7: Geoquímica</b>		
7.1	Introducción	77
7.2	Análisis Estadístico	77
7.3	Geoquímica	80
7.3.1	Interpretación de planos y secciones geoquímicas	80
7.4	Tratamiento estadístico de resultados	86
<b>Capítulo 8: Geofísica</b>		
8.1	Introducción	90
8.2	Magnetismo terrestre (GMAG)	90
8.3	Polarización inducida (IP)	94
<b>Capítulo 9: Controles de Mineralización</b>		
9.1	Introducción	97
9.2	Control de alteraciones hidrotermales	97
9.3	Control litológico	99
9.4	Control estructural	104
<b>Capítulo 10: Génesis y Modelo preliminar del proyecto Morocha</b>		
10.1	Introducción	106
10.2	Génesis y Evolución Modelo del Yacimiento	106
10.3	Modelo preliminar del proyecto Morocha	108
<b>Capítulo 11: Conclusiones</b>		
11.1	Conclusiones	109
11.2	Recomendaciones	110

Bibliografía	111
Apéndice	113
Lista de figuras	VI
Lista de tablas	VII
Lista de fotos	VII
Lista de fotomicrografías	VIII

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N°1.</b> Plano de ubicación del proyecto Morocha	4
<b>Figura N°2.</b> Plano de ubicación local del proyecto Morocha	5
<b>Figura N°3.</b> Plano geológico regional	16
<b>Figura N°4.</b> Columna estratigráfica del distrito Minas Conga	17
<b>Figura N°5.</b> Plano estructural regional	19
<b>Figura N°6.</b> Eventos tectónicos regionales	20
<b>Figura N°7.</b> Plano geológico interpretado	25
<b>Figura N°8.</b> Plano geológico detallado	26
<b>Figura N°9.</b> Sección geológica	27
<b>Figura N°10.</b> Plano alteraciones hidrotermales interpretado	41
<b>Figura N°11.</b> Sección alteraciones hidrotermales	42
<b>Figura N°12.</b> Plano estructural distrital	52
<b>Figura N°13.</b> Diagrama de venillas de cuarzo	53
<b>Figura N°14.</b> Plano de distribución de venillas de cuarzo	54
<b>Figura N°15.</b> Diagrama de venillas de magnetita	55
<b>Figura N°16.</b> Plano de distribución de venillas de magnetita	56
<b>Figura N°17.</b> Esquema de venillas en sistemas tipo pórfido	61
<b>Figura N°18.</b> Plano de mineralización	68
<b>Figura N°19.</b> Histogramas de Au y Cu	78
<b>Figura N°20.</b> Plano contornos geoquímicos de Au	81
<b>Figura N°21.</b> Sección contornos geoquímicos de Au	82
<b>Figura N°22.</b> Plano contornos geoquímicos de Cu	84
<b>Figura N°23.</b> Sección contornos geoquímicos de Cu	85
<b>Figura N°24.</b> Cuadros estadísticos de distribución de Au	86
<b>Figura N°25.</b> Cuadros estadísticos de distribución de Cu	88
<b>Figura N°26.</b> Plano geofísico GMAG_RTP	91
<b>Figura N°27.</b> Plano geofísico GMAG_ANSIG	93
<b>Figura N°28.</b> Plano geofísico IP_CARGABILIDAD	95
<b>Figura N°29.</b> Sección geofísica IP_CARGABILIDAD	96
<b>Figura N°30.</b> Distribución Au-Cu por control alteraciones hidrotermales	98
<b>Figura N°31.</b> Distribución Au-Cu por control alteraciones hidrotermales	98

<b>Figura N°32.</b>	Distribución Au-Cu por control litológico	100
<b>Figura N°33.</b>	Distribución Au-Cu por control litológico	100
<b>Figura N°34.</b>	Esquema de diferenciación de fases intrusivas	101
<b>Figura N°35.</b>	Distribución Au-Cu por venillas de cuarzo	105
<b>Figura N°36.</b>	Distribución Au-Cu por venillas de magnetita	105
<b>Figura N°37.</b>	Modelo preliminar del proyecto Morocha	108

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N°1.</b>	Secuencia paragenética	69
<b>Tabla N°2.</b>	Cuadro general de muestras geoquímicas	77

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto N°1.</b>	Vista panorámica del proyecto	11
<b>Foto N°2.</b>	Vista del paisaje del proyecto	12
<b>Foto N°3.</b>	Estratigrafía sedimentaria alrededores del proyecto	24
<b>Foto N°4.</b>	Microgranodiorita principal en sondaje MOR-002 (169.60m)	29
<b>Foto N°5.</b>	Microgranodiorita principal en sondaje MOR-002 (279.40m)	29
<b>Foto N°6.</b>	Microgranodiorita intramineral en sondaje MOR-002 (245.40m)	30
<b>Foto N°7.</b>	Microgranodiorita tardía en muestra de superficie	31
<b>Foto N°8.</b>	Brecha intrusiva en muestra de superficie	32
<b>Foto N°9.</b>	Brecha intrusiva en sondaje MOR-002 (180.00m)	33
<b>Foto N°10.</b>	Microgranodiorita intramineral en sondaje MOR-002 (93.40m)	34
<b>Foto N°11.</b>	Microgranodiorita intramineral en muestra de superficie	35
<b>Foto N°12.</b>	Alteración potásica de biotita en muestra de superficie	38
<b>Foto N°13.</b>	Alteración potásica moderada en sondaje MOR-002 (48.60m)	38
<b>Foto N°14.</b>	Alteración potásica en sondaje MOR-002 (70.00m)	39
<b>Foto N°15.</b>	Alteración clorítica en sondaje MOR-002 (223.00m)	40
<b>Foto N°16.</b>	Alteración clorítica en sondaje MOR-001 (219.40m)	40
<b>Foto N°17.</b>	Alteración skarn en sondaje MOR-002 (185.10m)	44
<b>Foto N°18.</b>	Silicificación en arenisca en sondaje MOR-002 (315.80m)	44

<b>Foto N°19.</b>	Mármol en muestra de superficie	45
<b>Foto N°20.</b>	Alteración potásica en muestra de superficie	46
<b>Foto N°21.</b>	Alteración potásica en sondaje MOR-002 (107.20m)	47
<b>Foto N°22.</b>	Alteración potásica en sondaje MOR-002 (139.00m)	48
<b>Foto N°23.</b>	Alteración potásica en sondaje MOR-002 (120.00m)	49
<b>Foto N°24.</b>	Venillas magnetita en sondaje MOR-002	58
<b>Foto N°25.</b>	Venillas de cuarzo en sondaje MOR-002 (212.40m)	58
<b>Foto N°26.</b>	Venilla de cuarzo bandeado en sondaje MOR-002	59
<b>Foto N°27.</b>	Venillas de cuarzo tipo B en sondaje MOR-002	60
<b>Foto N°28.</b>	Venillas de pirita con halo de clorita	61
<b>Foto N°29.</b>	Sheet veins de muestras en muestra de superficie	62
<b>Foto N°30.</b>	Venillas Early Biotite en sondaje MOR-002 (12.80m)	63
<b>Foto N°31.</b>	Venillas Cuarzo-Magnetita en sondaje MOR-002 (127.40m)	64
<b>Foto N°32.</b>	Venillas Cuarzo tipo A y B en sondaje MOR-002 (69.00m)	65
<b>Foto N°33.</b>	Venillas Cuarzo tipo B en sondaje MOR-002 (38.00m)	65
<b>Foto N°34.</b>	Venillas Cuarzo tipo A en sondaje MOR-002 (34.00m)	66
<b>Foto N°35.</b>	Venilla Cuarzo-Calcopirita en sondaje MOR-002 (281.30m)	66
<b>Foto N°36.</b>	Venillas Cuarzo-Sericita-Pirita en sondaje MOR002 (13.60m)	67
<b>Foto N°37.</b>	Venillas de cuarzo – pirita – calcopirita	75
<b>Foto N°38.</b>	Contacto entre la fase T-MGD y T-IGD	101

## LISTA DE FOTOMICROGRAFÍAS

<b>Fotomicrografía N°1.</b>	Sección delgada de la foto 10	34
<b>Fotomicrografía N°2.</b>	Sección delgada de la foto 11	35
<b>Fotomicrografía N°3.</b>	Sección delgada de la foto 20	46
<b>Fotomicrografía N°4.</b>	Sección delgada de la foto 21	47
<b>Fotomicrografía N°5.</b>	Sección delgada de la foto 22	48
<b>Fotomicrografía N°6.</b>	Sección delgada de la foto 23	49
<b>Fotomicrografía N°7.</b>	Sección pulida de la foto 13	71
<b>Fotomicrografía N°8.</b>	Sección delgada de la foto 22	72
<b>Fotomicrografía N°9.</b>	Sección pulida de la foto 22	72

<b>Fotomicrografía N°10.</b>	Sección delgada de la foto 37	73
<b>Fotomicrografía N°11.</b>	Sección pulida de la foto 37	73
<b>Fotomicrografía N°12.</b>	Sección delgada de la foto 23	74
<b>Fotomicrografía N°13.</b>	Sección pulida de la foto 23	74
<b>Fotomicrografía N°14.</b>	Sección pulida de la foto 37	75
<b>Fotomicrografía N°15.</b>	Sección pulida de la foto 37	76
<b>Fotomicrografía N°16.</b>	Sección pulida de la foto 13	76
<b>Fotomicrografía N°17.</b>	Sección delgada de una muestra de superficie	102
<b>Fotomicrografía N°18.</b>	Sección pulida de la foto 10	103



## Resumen

La región norte del Perú, es conocida por albergar numerosos depósitos del tipo Epitermal de Alta Sulfuración, Pórfidos Cu-Au-Mo, Skarn, entre otros, donde destacan el distrito minero de Yanacocha (Alta Sulfuración Au-Ag), Michiquillay (Pórfido Cu-Au-Mo), El Galeno (Pórfido Cu-Au-Mo), Minas Conga (Pórfido Au-Cu), Cerro Corona (Pórfido Cu-Au), Sipán (Alta Sulfuración), de edades Miocénicas entre 6 y 20 Ma, entre los que podemos agregar el pórfido de Au – Cu Morocha, entre los principales.

Los trabajos de cartografiado detallado de la litología, alteración, mineralización y tipo de venillas en el área de Morocha, así como también los estudios de geoquímica, geofísica y perforación, ponen en evidencia la generación de por lo menos dos pulsos magmáticos, presencia de alteración hidrotermal y mineralización, relacionado con la mineralización del tipo pórfido en un área de 300m x 250m, presentando una forma cilíndrica con el eje mayor vertical.

El Proyecto Morocha representa un depósito de pórfido de oro y cobre, donde varios cuerpos intrusivos, de composición microgranodiorítica y diorítica intruyen a las calizas del Cretácico medio-superior de las formaciones Chúlec, Pariatambo y Yumagual. La zona se encuentra afectada principalmente por lineamientos y fallas de tendencias NW-SE. Al menos dos fases ígneas y dos fases de brechas magmático-hidrotermales fueron reconocidos. La mineralización se presenta principalmente sulfuros de Fe y Cu con contenido aurífero, en diseminaciones de venillas de cuarzo y magnetita, en algunas partes forma zonas de stockworks que afecta a las dos fases intrusivas, las cuales se encuentran asociadas con alteración potásica sobre impuesta por una alteración clorítica.

La mayor mineralización de oro y cobre se produce en zonas de intensa alteración potásica y stockworks de venillas de cuarzo, dentro de la roca intrusiva de composición diorítica que principalmente se presenta como fragmentos y bloques dentro de la roca intrusiva micro granodiorita.

## Capítulo 1: Generalidades

### 1.1 Antecedentes

Los trabajos de exploración geológica en la región norte del Perú, se iniciaron desde tiempos remotos, quedando una serie de trabajos desde la época pre-Inca a la época colonial en el área de Yanacocha, Hualgayoc, entre otras.

Los trabajos de exploración moderna se iniciaron continuaron en el siglo XIX y continuaron en el siglo XX, con la llegada de numerosas empresas extranjeras, entre ellas Newmont en 1983. A mediados de 1984, se firma un Joint Venture entre CEDIMIN, Buenaventura y Newmont, inició una agresiva campaña de mapeo y muestreo geoquímico, que determinó fuertes anomalías de plata y débiles de oro, con lo cual se empezó a descubrir la importancia del yacimiento de Yanacocha, que empezó a operar en el año de 1993.

Los depósitos de Minas Conga, fueron descubiertos en 1992 por Cedimin S.A.C. mediante una Campaña Regional de prospección geoquímica de “*stream sediments*” alrededor del yacimiento Yanacocha. En 1993 se efectuaron las primeras evaluaciones geológicas superficiales y se confirmó la ocurrencia de dos pórfidos importantes como son Perol y Chailhuagón y otras anomalías como los proyectos Amaro y Gentiles. En el año 2000 se forma Minas Conga S.R.L., conformada por Cedimin, Newmont y Buenaventura, a partir de este año el proyecto es operado por Newmont. Actualmente están en la fase de pre factibilidad los depósitos Perol y Chailhuagón. Simultáneamente se continuó con campañas de exploración alrededor de los depósitos mencionados, encontrándose en el año 2008 mediante estudios geoquímicos y geofísicos el proyecto de Morocha, en actual etapa de exploración.

## **1.2 Ubicación y acceso**

El proyecto Morocha se encuentra ubicado en el caserío de San Nicolás, distrito de la Encañada, provincia de Cajamarca, región de Cajamarca en la zona Norte de la Cordillera de Los Andes del Perú, a 27 Km al Este de la Ciudad de Cajamarca y a 13 Km al Noreste de la Mina Yanacocha (Figura 1), a una elevación promedio de 3, 720 msnm.

La zona de trabajo es accesible desde Cajamarca, ciudad a la que se llega desde Lima por 2 vías:

1. Vía aérea, arribando al Aeropuerto Gral. Armando Revoredo Iglesias, el vuelo Lima – Cajamarca es de 1 hora.
2. Vía Terrestre, por la carretera asfaltada Lima – Trujillo – Pacasmayo – Chilate – San Juan – Ciudad de Cajamarca, con 14 horas de viaje.

De la ciudad de Cajamarca al proyecto Morocha, ubicado cerca al campamento Minas Conga, tiene varias rutas, siendo más directa la de:

Cajamarca – Combayo – San Nicolás – Proyecto Morocha, con 1 hora 45 minutos de viaje en camioneta

## **1.3 Planteamiento y objetivos de la investigación**

Los depósitos tipo pórfido en la región norte del Perú, han sido materia de diferentes estudios geológicos principalmente tectónicos, magmáticos y metalogenéticos. Generalmente los principales controles y características de

mineralización, se asocian a la litología, sistemas de fallamiento y fracturamiento, alteraciones hidrotermales, tipo de vetillas, stockwork y brechas.

El objetivo del presente trabajo es:

Dar a conocer los resultados de las investigaciones petrominerográficas, geoquímicas, geofísicas y de interpretación en campo, que han servido de base y sustento para la interpretación final del modelo genético preliminar del yacimiento de Au y Cu tipo pórfido Morocha.

Presentar el estudio a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Universidad Nacional de Ingeniería, a fin de sustentar y optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

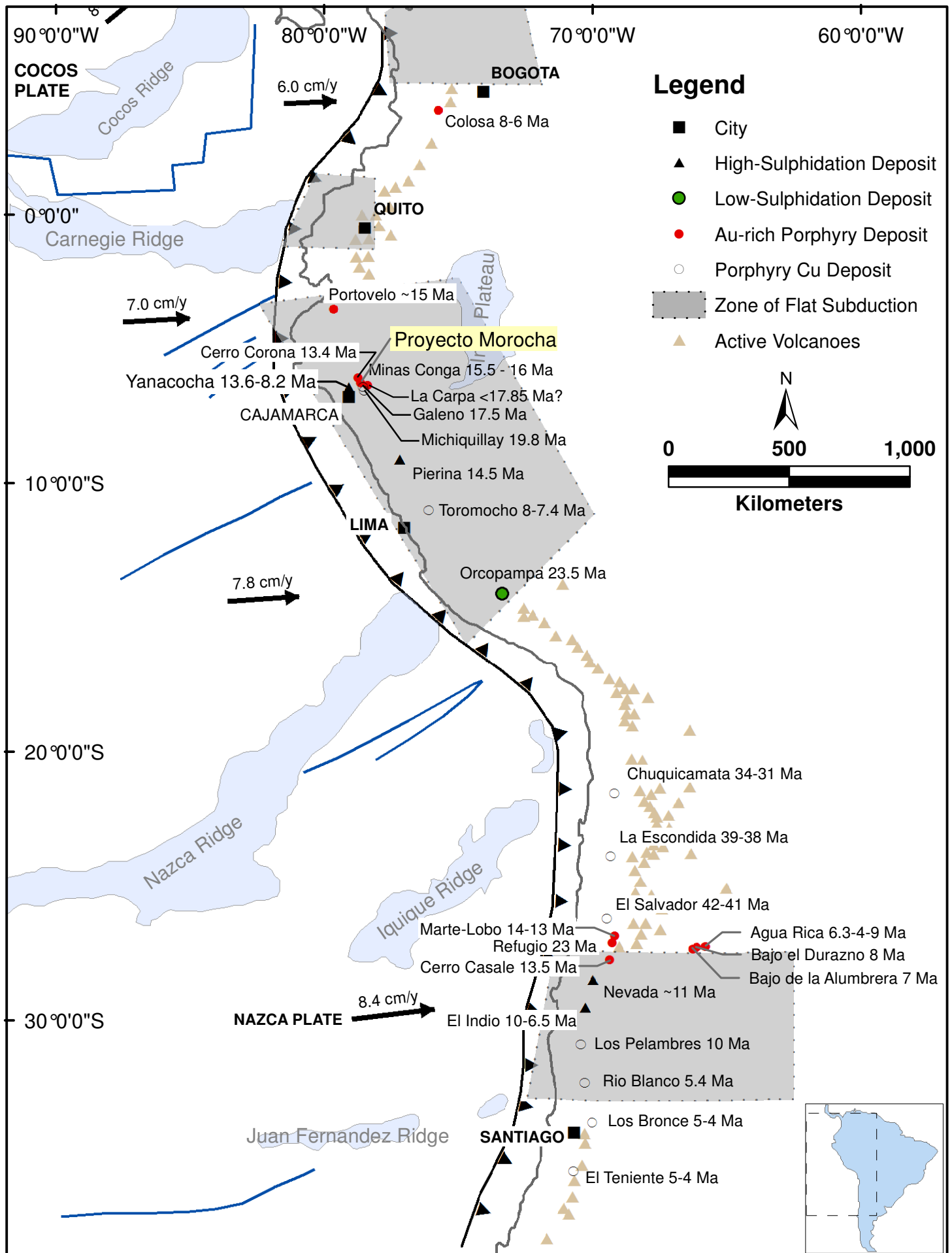
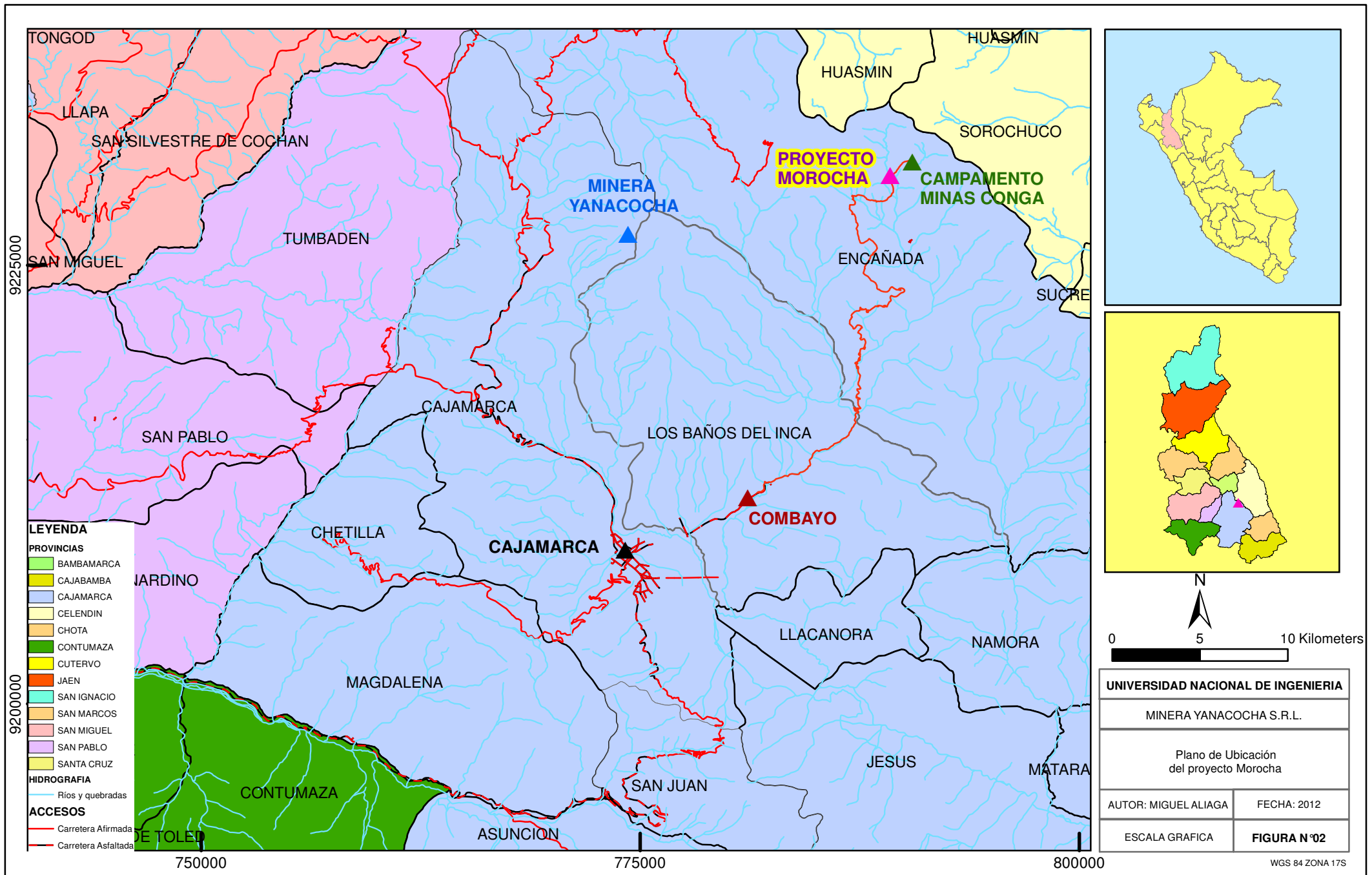


Figura N°1: Plano de ubicación del Proyecto Morocha (Mendoza, N., 2010).



**Figura N°02:** Plano ubicación del proyecto Morocha, mostrando el acceso desde la ciudad de Cajamarca (Data Minera Yanacocho).

#### **1.4 Planteamiento y Metodología**

Los trabajos de campo consistieron en:

Reconocimiento geológico del proyecto Morocha.

Revisión de los taladros de perforación (06 taladros, 02 Core y 04 RCD), en un área de 0.04 km<sup>2</sup>.

Revisión de la litología y alteración de las rocas, reconociendo las diferentes texturas y ensambles de alteración de las diferentes rocas ígneas sub-volcánicas, brechas intrusivas y rocas sedimentarias.

Toma de 10 muestras para estudios petrográficos y mineralógicos, a fin de identificar los ensambles minerales, formas, texturas, ensambles de alteración, y determinar la secuencia paragenética de los minerales económicos.

Toma de muestras de manera sistemática y selectiva, que fueron analizadas por Au\_FAA, Cu\_TOT y ICP/ME\_MS en los laboratorios de Minera Yanacocha y SGS.

Interpretación geoquímica de 1056 muestras, para identificar las principales anomalías geoquímicas y los probables controles de mineralización de los metales Au, Cu.

Los datos obtenidos fueron procesados en gabinete, usando los softwares ArcGis, Autocad, Stones y Geo Model.

Revisión y discusión con los geólogos de la empresa que participaron en el Proyecto, de la información obtenida en los laboratorios y en los trabajos de campo y desarrollando un modelo geológico preliminar que nos permite comprender mejor la génesis y controles de mineralización en el proyecto Morocha.



## **1.5 Trabajos previos**

Esta región, en razón a la importancia de las concentraciones económicas de los minerales metálicos principalmente oro, plata y cobre, ha sido objeto de numerosos y diversos estudios realizados a nivel regional y distrital llegando a trabajos de detalle a escala local.

Existen estudios regionales a escala 1: 100 000 que definen la estratigrafía regional del área de estudio: Benavides, (1956); pero por tratarse de una zona muy interesante, asimismo varios estudios distritales se han realizado, entre los que destaca la tesis doctoral de R. Davies, (2002);, como también la tesis doctoral de T. Longo, (2005); y *la de* Gustafson, 2004.

Existen estudios locales entre las principales publicaciones tenemos:, Davies & William, (2005);; R. Pinto, (2002); N. Mendoza, 2010.

Por otro lado, no se puede dejar de mencionar las diversas campañas de exploración y sus respectivos informes internos de las diferentes compañías mineras entre las que destaca Buenaventura S. A., Newmont, Lumina Copper, entre otras. Actualmente estas compañías siguen explorando la zona tratando de encontrar otros depósitos minerales económicamente viables.

## **1.6 Trabajos de campo**

Consistió en realizar:

Trabajos de mapeo geológico identificando las principales estructuras, unidades litológicas, intrusivos y brechas.

Identificar los principales ensambles de alteración y el tipo de venillas generadas.

Logueo geológico de los sondajes realizados por Minera Yanacocha S.R.L.

## **1.7 Estudio de laboratorio**

Con las muestras obtenidas en campo, se realizó investigaciones microscópicas mediante:

Estudios petrográficos que permitieron determinar la composición de las rocas intrusivas y los ensambles de alteración y tipos de venillas.

Estudios microscópicos que permitieron determinar la mineralogía y la secuencia paragenética originada en la formación del sistema hidrotermal porfirítico.

## Capítulo 2: Geología Regional

### 2.1 Introducción

La geología de la región de Cajamarca está constituida por un basamento sedimentario de edad Cretácica que ha sido fuertemente plegado y fallado e intruído por stocks una serie de rocas intrusivas del Paleoceno y Mioceno, con sectores cubiertos por el volcanismo del Mioceno y Plioceno. La deformación y el magmatismo están relacionados al periodo de la tectónica andina (Mendoza N.; 2010).

Numerosas rocas ígneas Terciarias están presentes en la región. Las rocas intrusivas más antiguas son de edad Eocénica y corresponden a la Diorita Michiquillay datada en  $46.4 \pm 1.8$  Ma (Davies R. y Williams, 2005), Diorita Picota datada en  $43.6 \pm 0.7$  hasta 42.03 Ma (Llosa F. et. al., 2000; T. B. Thompson, 2002), y a la diorita San Cirilo fue datada en  $36.4 \pm 0.9$  Ma (Pinto R., 2006). Las intrusiones dioríticas Picota y San Cirilo (Mendoza N.; 2010) de edad Miocénica, están asociadas con mineralización polimetálica y de tipo skarn.

Las intrusiones de composición granodiorítica, cuarzo diorítica y diorítica del Mioceno inferior a medio corresponden a una serie de sistemas porfiríticos que varían en un rango de edad de 20 a 15 Ma, los cuales incluye los depósitos de Michiquillay, El Galeno, Cerro Corona, Perol, Chailhuagón, Amaro y Morocha (Laughlin et al., 1968; Llosa et al. 1996; Noble, 2002; Davies y Williams, 2005; Mendoza N.; 2010).

Contemporáneamente al emplazamiento de cuerpos intrusivos, durante el Mioceno Inferior se desarrolló la formación de rocas volcánicas atribuidas al Grupo Callipuy, el cual es subdividido en Formaciones Llama, Porculla y Huambos (Reyes, 1980; Cobbing et al. 1981; Wilson, 1984). Éstas unidades predominantemente fueron de rocas piroclásticas de composición riolíticas hasta riodacíticas e incluyen niveles de tufos riolíticos (Noble et al., 1990). El Complejo Volcánico Yanacocha que es parte de

la base de los Volcánicos Porculla, ha sido datado entre 14.5 hasta 8.4 Ma albergando la mineralización epitermal de alta sulfuración del Distrito Yanacocha, siendo contemporánea a la generación de cuerpos intrusivos con mineralización porfirítica de Au – Cu.

Posterior a la actividad plutónica y volcánica Miocénica se produce el levantamiento andino y erosión dando lugar a la paleosuperficie Puna a la formación de depósitos Cuaternarios así como a un último evento de rocas volcánicas denominadas Formación Fraylones compuestas de rocas piroclásticas andesíticas y dacíticas (Llosa y et al., 2000) con una edad de <9 Ma (Noble y McKee, 1999), las cuales se encuentran cubriendo gran parte de la región y algunos depósitos como son Yanacocha y Minas Conga.

## **2.2 Fisiografía y Geomorfología**

El proyecto Morocha se encuentra en el norte del Perú, por lo que su clima es tropical. Este clima es típico de las regiones andinas cercanas al Ecuador, fresco y húmedo, con un rango de temperaturas entre 3°C a 21°C y una temporada distintiva de lluvias. El clima se caracteriza por temporadas de lluvia (Octubre – Abril) y secas (Mayo – Setiembre). La época seca se caracteriza por presentar un intenso sol en el día, con fuertes vientos especialmente en zonas altas y temperaturas entre 15 y 20°C. La época de lluvia corresponde a fuertes heladas con presencia de lluvias en todo el día, llegando a temperaturas de hasta menos 0°.

El paisaje presenta una superficie puna. La vegetación nativa está dominada por la vegetación alpina tropical, incluidos prados, zonas boscosas, arbustos y tierras

pantanosas. El pasto predominante es el Ichu. La fauna nativa incluye sapos, lagartijas, aves y mamíferos pequeños.

Las principales unidades geomorfológicas han sido diseñadas por los procesos de levantamientos, fallamientos y erosión atribuidos a la Tectónica Andina, al Volcanismo Cenozoico y a la Glaciación Cuaternaria.

En los alrededores cerca al proyecto se puede observar principalmente valles andinos. Estos valles se caracterizan por ser depresiones de la superficie terrestre, entre dos vertientes, por donde habitualmente discurren las aguas de un río (valle fluvial) o glacial (valle glacial), son principalmente longitudinales y se encuentran paralelos a los ejes de los pliegues siguiendo lineamientos estructurales.



**Foto N° 1:** Vista panorámica del proyecto Morocha mirando al oeste, con presencia de valles fluviales y del caserío San Nicolás.

En general los cerros son de pendientes moderadas con algunos sectores de topografía más abrupta, alcanza alturas entre los 3800 y 4100 msnm.



**Foto N°2:** Vista del paisaje mostrando la típica vegetación.

### 2.3 Estratigrafía

Las rocas más antiguas en la zona de estudio son las rocas sedimentarias continentales y marinas del Mesozoico (Valanginiano – Cenomaniano) del Grupo Goyllarisquisga, constituidas por areniscas y lutitas principalmente en la base, gradando a calizas intercaladas con niveles de limolitas en la parte media y por último calizas margosas con lutitas en la parte superior (Llosa et al., 2000; Benavides-Cáceres, 1999). En la región de Cajamarca hay más de 2 km de secuencia Cretácica, las cuales han sido atribuidas a areniscas de este Grupo, sobreyacidas por paquetes calcáreos de las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrún, Cajamarca y finalizando con la formación Celendín (Benavides-Cáceres, 1956; Wilson, 1985; Rivera R.; 2008).

Las rocas sedimentarias de origen marino en el norte del Perú fueron depositadas en la cuenca oeste peruana (Wilson, 2000) en un régimen de subducción tipo mariana (Megard, 1984). Es ahora claro que los sedimentos fueron depositados en una serie de

depressiones (subcuencas) interconectadas, cada una de las cuales fueron caracterizadas por el desarrollo de facies propias para luego ser plegadas y subsecuentemente levantadas (Rivera R.; 2008). Los eventos tectónicos relacionados a la deformación de las rocas sedimentarias van desde la Fase orogénica Inca I hasta la IV y la Fase Quechua I y II. (Benavides, 1956).

## **2.4 Rocas Intrusivas**

Las rocas intrusivas en la región de Cajamarca se desarrollaron en dos épocas bien marcadas. La primera de edad Eocénica (46.4 hasta 36.4 Ma.), incluye a las dioritas de Michiquillay, Picota y San Cirilo. La segunda etapa de edad Miocénica (~20 – 15 Ma.), corresponde principalmente a los sistemas porfiríticos mineralizados de Au – Cu, incluye a Michiquillay, El Galeno, Perol, Chailhuagón y Amaro. Hay que mencionar que existe una evolución en el magmatismo variando en su composición de básica a ácida (Davies R.; 2002) desde gabros hasta dioritas – granodioritas. Los diques de gabro por lo general son débilmente porfiríticos, los stocks dioríticos tienen una moderada a fuerte textura porfirítica. (Rivera R.; 2008).

### **2.4.1 Stocks Miocénicos**

Los stocks Miocénicos, están asociadas principalmente a mineralización del tipo pórfido, en la zona de estudio fueron generados durante periodos de intenso ensanchamiento cortical. El rango de composición geoquímica por lo general es muy restringido (diorítico a granodiorítico) correspondiendo al campo de las rocas calco-alcalinas. Entre los principales stocks porfiríticos mineralizados tenemos Michiquillay, El Galeno, Perol, Chailhuagón, La Carpa, Amaro, Morocha entre otros. Estos stocks se piensa que están controlados por una falla de nivel regional denominada Punre -

Canchis que ha tenido diversos sentidos de movimiento a través del tiempo. Los stocks mineralizados en la zona de estudio se emplazaron durante un lapso de tiempo de 5.2 Ma (21.30 a 15.58 Ma) siguiendo una orientación de tendencia Noroeste (Rivera R.; 2008).

## **2.5 Rocas Volcánicas**

El Cenozoico se encuentra caracterizado por una potente y extensa secuencia de rocas volcánicas del Grupo Callipuy de edad Eoceno al Mioceno tardío. El área de las rocas volcánicas incluye algunos campos volcánicos, flujos y domos de rocas de composición riolítica a andesítica y probablemente son en su mayoría son de edad Miocénica (Rivera R.; 2008). El Grupo Callipuy está conformado por Los Volcánicos Llama en la base, seguida por los Volcánicos Porculla que están conformadas por los Volcánicos Yanacocha y los Volcánicos Regalado, y un último evento denominada Formación Huambos. Las rocas volcánicas están mayormente expuestas en el norte y noroeste de Cajamarca.

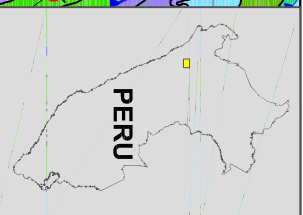
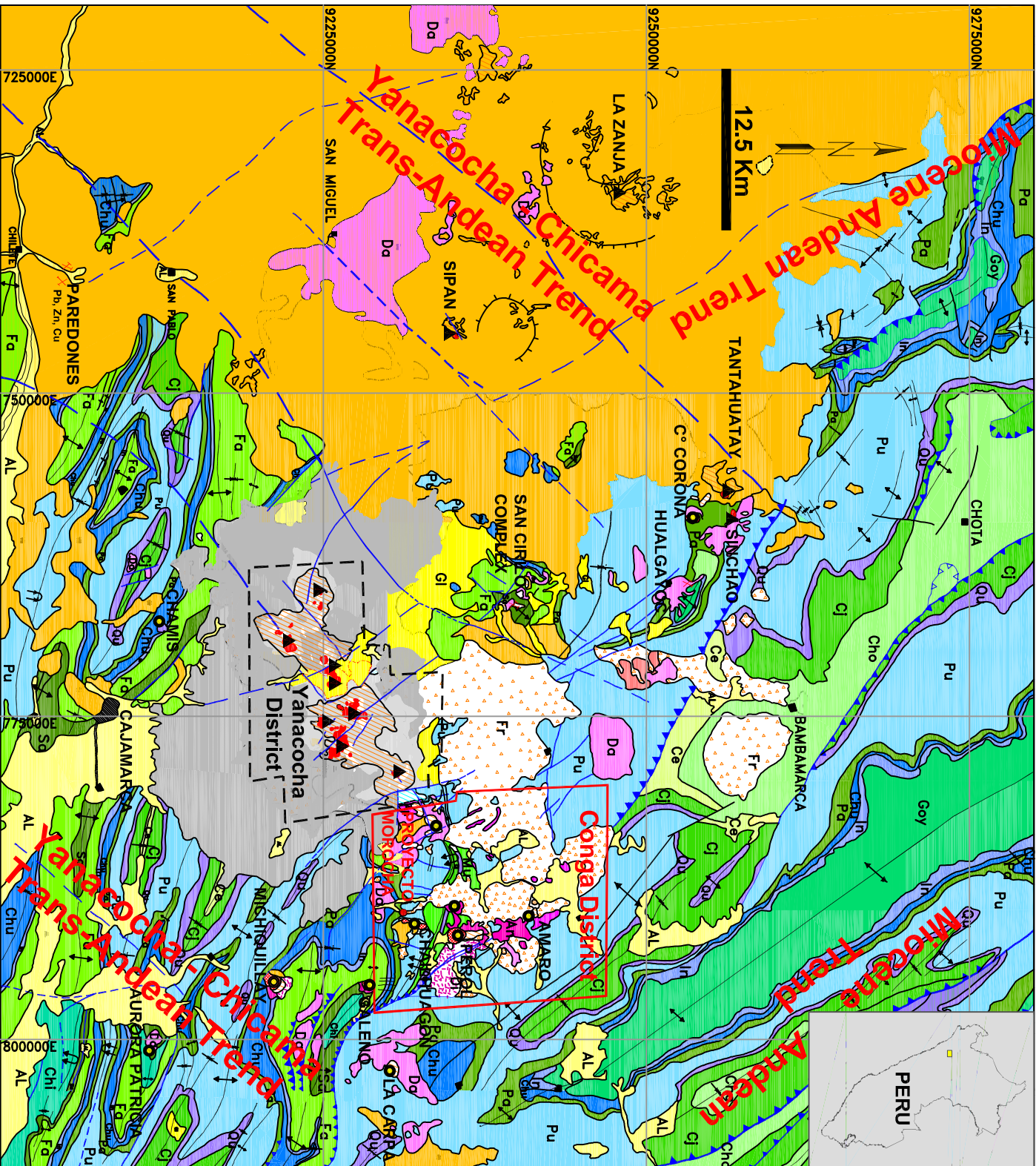
La Formación Llama pertenece a la parte inferior de la secuencia volcánica Cenozoica del Grupo Callipuy (54.8 + 15.8 Ma.) definida por Noble et al. (1990) y Turner (1997); quienes describen esta Formación como un tufo de flujo de ceniza riolítica y secuencias volcánicas dacíticas. Seguidamente se desarrolla el Complejo Volcánico Yanacocha de edad 14.5 hasta 8,4 Ma. (Longo T.; 2005), constituido por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición andesítica principalmente que albergan la mineralización del distrito de Yanacocha.

De acuerdo a Turner (1997), las rocas volcánicas del Mioceno medio a tardío en la región Cajamarca, incluyen los Volcánicos Regalado y la Formación Huambos.



Los Volcánicos Regalado (aprox. 12.3 + 11.4 Ma) comprende, lavas andesíticas y tufos (Noble et al., 1990; Turner, 1997).

Las rocas de la Formación Huambos (8.8-8.2 Ma, Noble et al., 1990; Turner, 1997) se distinguen de los Volcánicos Regalado por la presencia de fenocristales de cuarzo y biotita. Las rocas de la formación Huambos son tufos de flujos de ceniza andesíticas a dacíticas (Rivera R.; 2008), sin desarrollo de fenocristales.



### LEGEND

**QUATERNARY**

- Alluvial / Colluvial (AL) / Glacial / moraine (G)

**INTRUSIVE ROCKS**

- Andesite
- Dacite Porphyry
- Diorite Eocene Intrusions

**TERTIARY VOLCANICS**

- Fratlonas Volcanic
- Yanacocha Volcanic Complex
- Undivided Pyroclastic rocks

**UPPER CRETACEOUS**

- Chota F: conglomerates, tufts, sandstones
- Celendin F: thin shale interbedded with limestone

**INTERMEDIATE CRETACEOUS**

- Cajamarca F: massive dark gray limestone
- Quilquian G: fossiliferous shale, dirty limestone
- Mujarrun F: nodular limestone interbedded with thin bedded shale
- Yumagal F: light gray thick bedded limestone
- Paritambo F: fossiliferous bituminous limestone
- Chulec F: thin silty brownish gray limestone
- Inca F: fossiliferous sandy ferruginous shale

**LOWER CRETACEOUS**

- Farrat F: sandstone
- Santa-Carhuaz F: silty dark gray limestone and thin-bedded shale
- Chimu F: thick-bedded massive quartzite

**Goyllar**

- Fa: Farrat F: sandstone
- Sa: Santa-Carhuaz F: silty dark gray limestone and thin-bedded shale
- Ch: Chimu F: thick-bedded massive quartzite

**Pullucic**

- Yu: Yumagal F: light gray thick bedded limestone
- Pa: Paritambo F: fossiliferous bituminous limestone
- Ch: Chulec F: thin silty brownish gray limestone
- In: Inca F: fossiliferous sandy ferruginous shale

**STRUCTURES**

- Anticline Axes
- Syncline Axes
- Volcanic Vents
- Porphyry Deposits
- Hydrothermal Alteration
- Base Metals Veins and lodas: Zn-Pb-Ag-Cu
- Marblezed & Weak Skarn
- Faults
- Overthrust faults
- Volcanic Caldera
- Epithermal Deposits

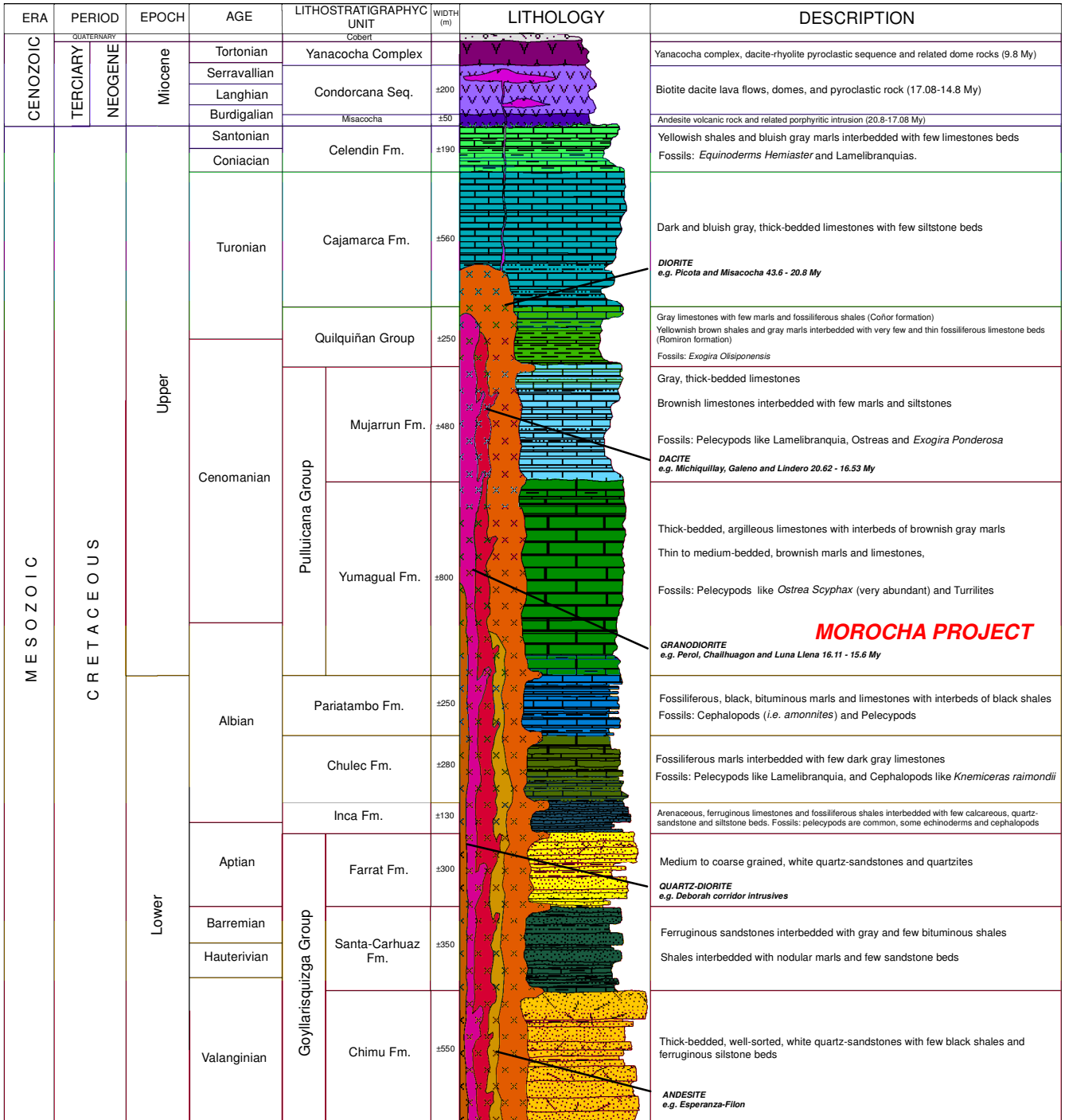
**Towns**

**SIMBOLS**

F: Formation G: Group

Figura N°02: Mapa geológico regional de la localización del Proyecto Morocha dentro del distrito Minas Conga y otros distritos mineros en el norte del Perú, mostrando los principales controles estructurales (Modificado de Véliz 2001, Longo 2005 y Mendoza 2010).

# GENERALIZED STRATIGRAPHIC COLUMN CONGA DISTRICT



**FIGURA N°04:** Columna estratigráfica del distrito Minas Conga, mostrando la ubicación de los principales depósitos (Modificado de Minera Yanacocha 2011).

## 2.6 Geología Estructural - Tectónica

Los sistemas porfiríticos están espacialmente asociados con estructuras regionales o grandes lineamientos (Davies R.; 2002). En la región de Cajamarca, el sistema de fallas desarrollado en las rocas sedimentarias Cretácicas presenta una orientación NE preferentemente, y posteriormente una serie de fallas normales subverticales de edad Miocénica que favorecen el emplazamiento de cuerpos intrusivos, que se sobre imponen a las estructuras más antiguas.

Las rocas sedimentarias Cretácicas fueron deformadas durante el Cenozoico por dos episodios orogénicos conocidos respectivamente como la Fase Inca y Quechua. (Megard, 1984; Benavides, 1999).

Las rocas ígneas asociada a los stocks Miocénicos mineralizados coincide con un número de importantes eventos tectónicos que incluyen una rotación en sentido del reloj de la placa de Nazca, incremento del ratio de convergencia, algunas fases de deformación y un principal levantamiento en el norte del Perú (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Noble et al., 1990). Basados en la geofísica y los datos geológicos Kono et al., (1989) y James y Sackc (1999) concluyen que la mayoría del espesor cortical Miocénico en la Cordillera Occidental resultó de este intenso magmatismo (Rivera R.; 2008).

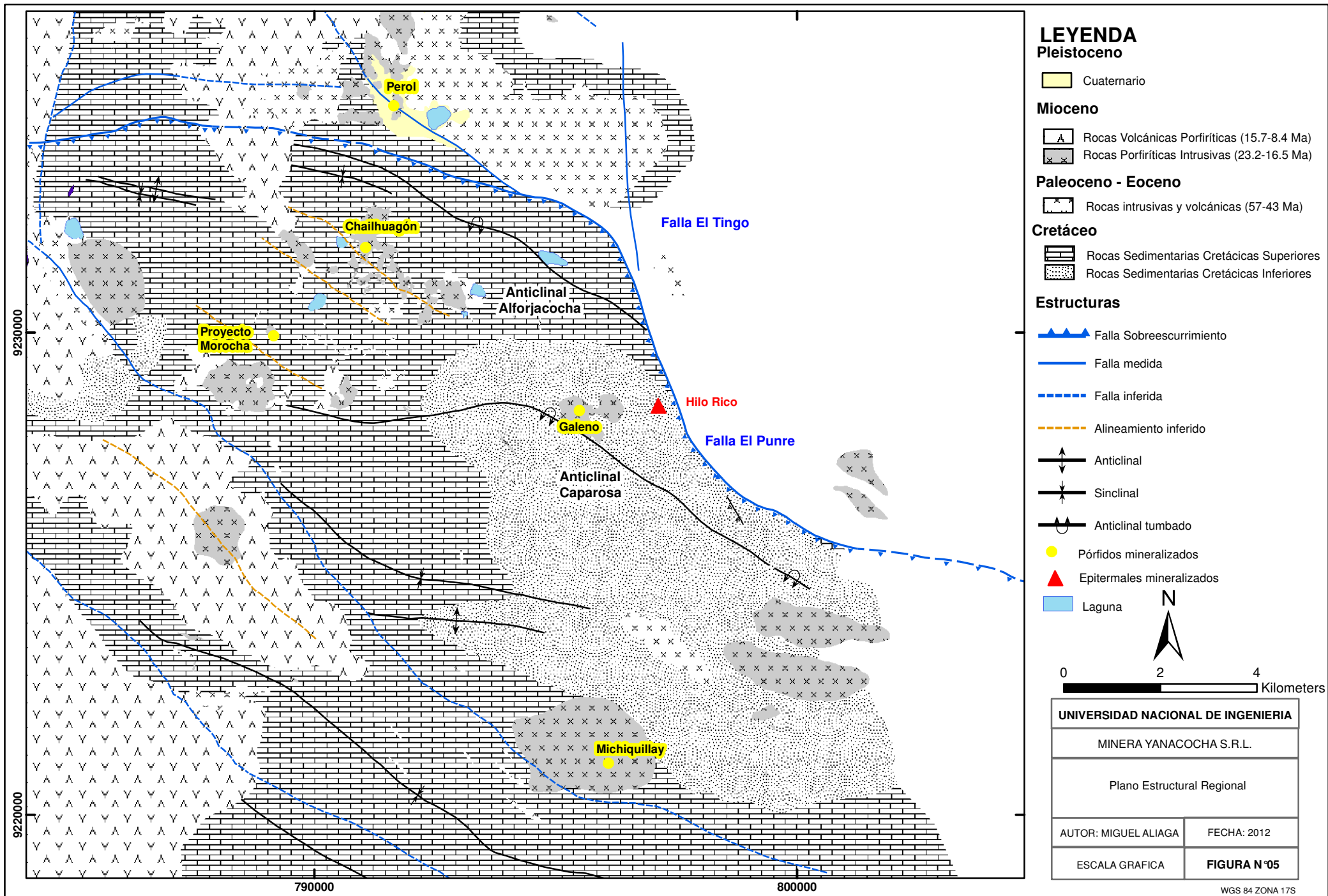


Figura N°05: Plano estructural regional, con la ubicación de los principales depósitos (Modificado de R. Davies 2002, Minera Yanacocha 2011).

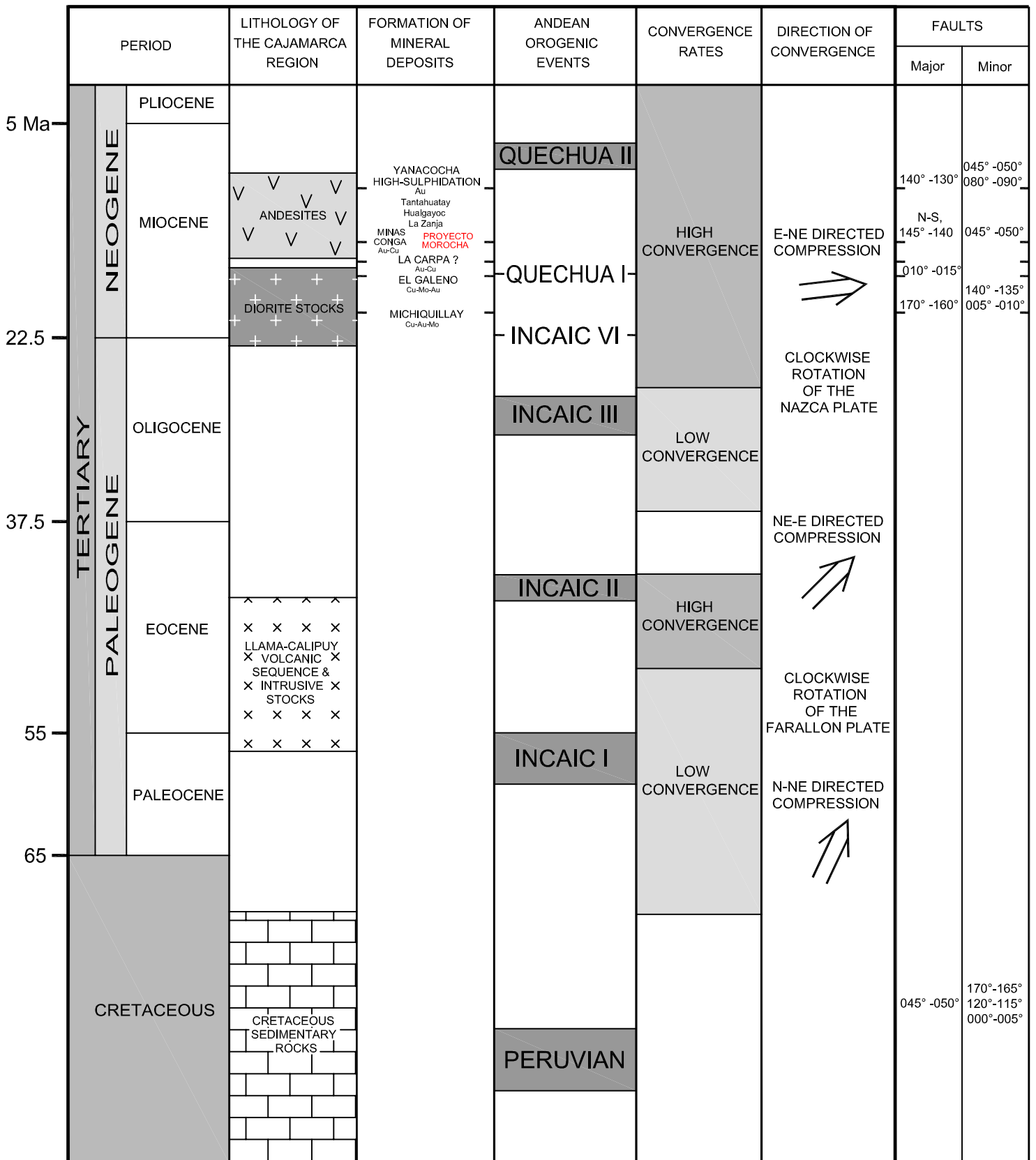


Figura N°04 Estudio tectónico compilado de los Andes del Norte del Perú. (Modificado de Davies 2002 y Mendoza 2010).

## 2.7 Metalogenia

En la región los depósitos ocurren dentro de un tren NW, conocido como el cinturón Miocénico Cajamarca – Huaraz (Noble D. y Mckee; 1999; Sillitoe R.; 2008). Éstos depósitos en el cinturón contienen un total de ~86 millones de onzas de oro en producción y reservas. Los depósitos en la región Cajamarca aparecen alineados a lo largo del “corredor estructural Chicama – Yanacocha” (Quiroz; 1997).

Los principales depósitos de la región son:

Minas Conga, El Galeno, Michiquillay y Cerro Corona como sistemas porfiríticos.

Yanacocha, Sipán y Tantahuatay como sistemas disseminados epitermales de alta sulfuración.

Los distritos de Hualgayoc y San Cirilo en sistemas hidrotermales polimetálicos en cuerpos de reemplazamiento, vetas y skarn.

Dentro del distrito Minas Conga, los principales sistemas porfiríticos son Chailhuagón, Perol, Amaro; y Lindero, Huaylamachay, Morocha, Chasu y Gentiles, entre otros.

## **Capítulo 3: Litología**

### **3.1 Introducción**

En el área del proyecto tipo pórfido Au - Cu Morocha afloran principalmente rocas intrusivas y sedimentarias, se reconocen por lo menos hasta 3 eventos intrusivos que varían de composición diorítica hasta granodiorítica asociadas principalmente a la mineralización del tipo pórfido Au – Cu como por ejemplo Chailhuagón y Perol, y 1 evento tardío relacionado a una fase diorítica que no presenta mineralización como por ejemplo Picota. Se reconoce una fase de brecha intrusiva que contiene fragmentos de los eventos intrusivos tempranos y también de rocas sedimentarias alteradas como hornfels y mármol. Estos eventos intrusivos se encuentran intruyendo al basamento Cretácico medio - superior, formada principalmente por limolitas y areniscas en la base y por calizas y margas arcillosas en el topes.

### **3.2 Rocas Sedimentarias**

#### **3.2.1 Formación Inca (Ks-i)**

Esta secuencia aflora en la parte sur del distrito minero de Minas Conga cerca a la comunidad de Alforjacocho hasta la comunidad de San Juan de Hierbabuena. En los sondeos perforados en el proyecto fue interceptada, y está constituida por areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas, en capas delgadas de 50 cm hasta 1 m de potencia, las cuales presentan alteración hidrotermal que dificulta su reconocimiento.



### **3.2.2 Formación Chúlec (Ks-ch)**

Aflora ampliamente en todo el distrito minero de Minas Conga, desde la comunidad San Juan de Hierbabuena hasta la laguna Chailhuagón. Está constituida por calizas e intercalada con margas cremas a grises, con algunos niveles de limolitas que ocurren en estratos delgados de 5 a 30cm de potencia. Se reconoce en el área por la meteorización a nódulos redondeados e irregulares (Jacay J.; 2007). En algunos sondeos fue interceptado presentándose alterada.

### **3.2.3 Formación Pariatambo (Ks-pt)**

La Formación Pariatambo aflora ampliamente en la parte sur del distrito de Minas Conga desde la comunidad de Alforjacochoa hasta la comunidad de San Nicolás. Esta secuencia se caracteriza por la coloración gris en superficie y por el arreglo de la estratificación en forma tabular de las capas, está constituida por margas arcillosas y calizas bituminosas en capas delgadas de 20 cm hasta 1 m de potencia y presenta alternancia rítmica (Jacay J.; 2007).

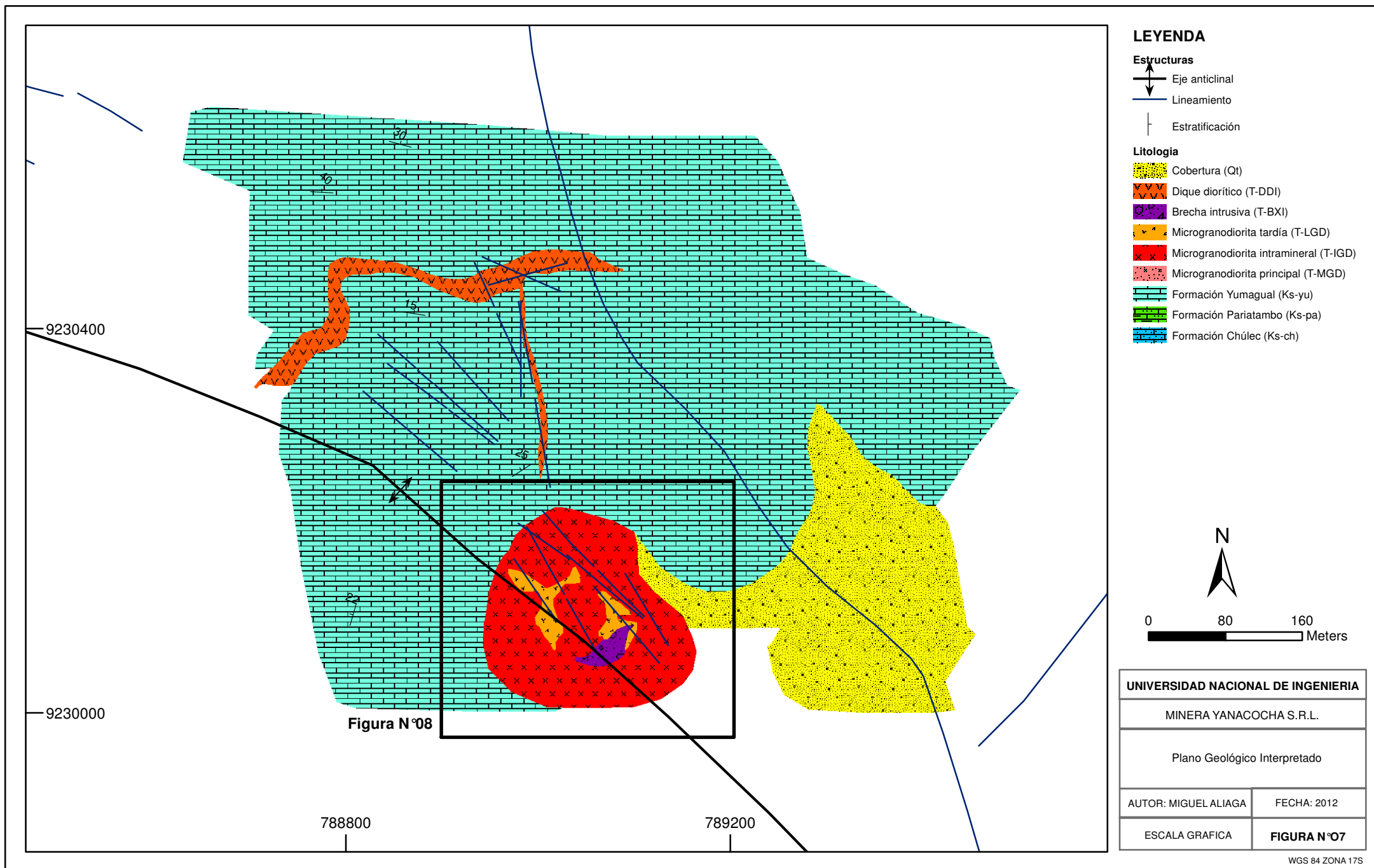
### **3.2.4 Formación Yumagual (Ks-yu)**

Esta formación es la que tiene mayor desarrollo en el distrito, aflora desde la laguna Alforjacochoa hasta la comunidad de San Nicolás y es la roca encajonante del depósito Chailhuagón y de otros yacimientos como Gentiles, Chasu y Morocha. Esta secuencia está compuesta por calizas en bancos gruesos de 2 m de potencia hacia la base y en bancos delgados de 50 cm de potencia hacia el tope, se caracteriza por ser una secuencia estrato decreciente (Jacay J.; 2007). Representa el nivel de emplazamiento del sistema porfirítico.

Presenta escarpas casi verticales, y es de coloración gris en superficie y gris azulado en superficie fresca.



**Foto N° 3:** Vista mirando al NW. Se observa la secuencia sedimentaria en los alrededores del Proyecto Morocha (Ref. Foto J. Jacay; 2007).



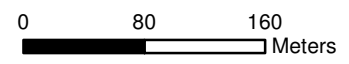
**LEYENDA**

**Estructuras**

- Eje anticlinal
- Lineamiento
- Estratificación

**Litología**

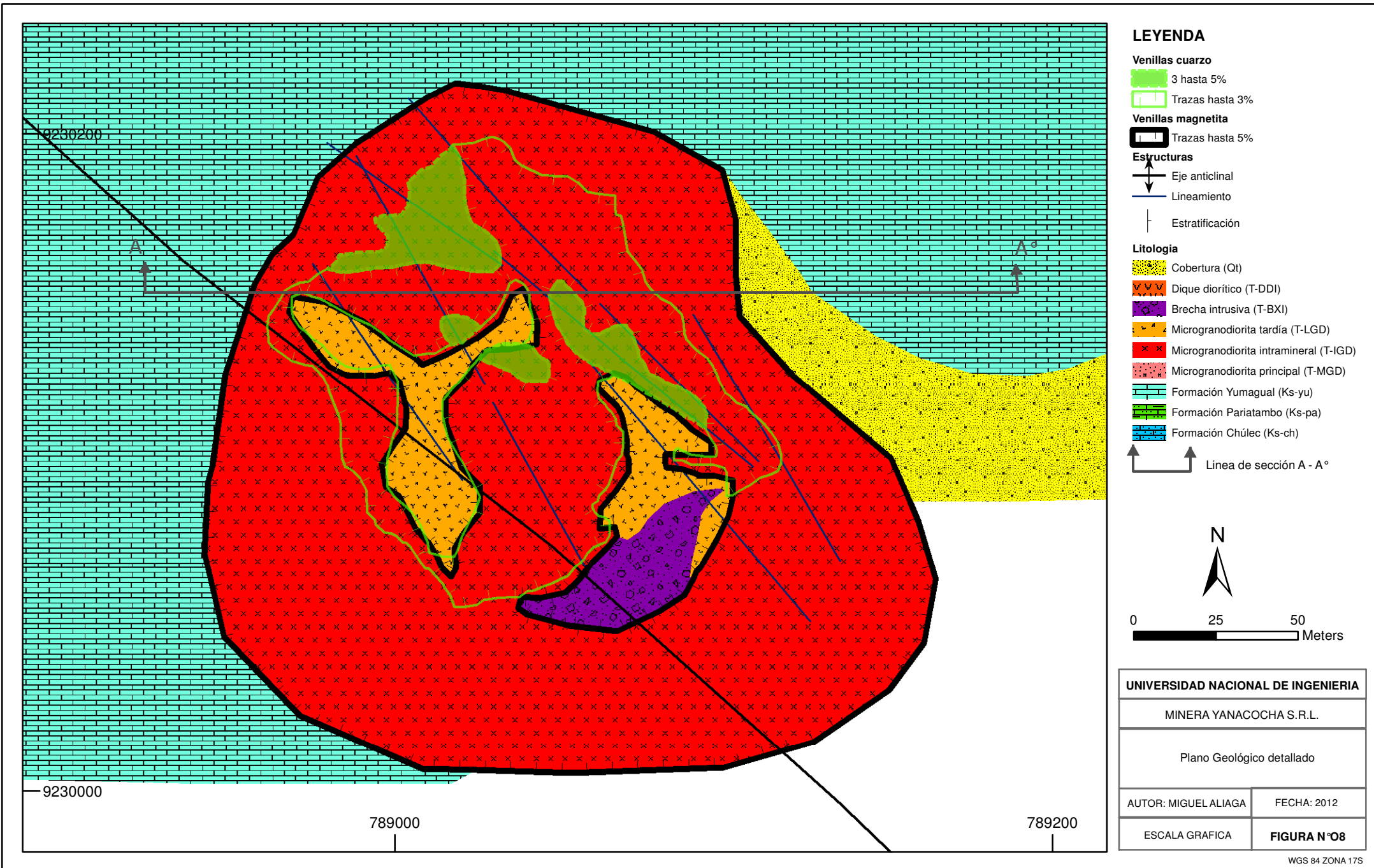
- Cobertura (Qt)
- Dique diorítico (T-DDI)
- Brecha intrusiva (T-BXI)
- Microgranodiorita tardía (T-LGD)
- Microgranodiorita intramineral (T-IGD)
- Microgranodiorita principal (T-MGD)
- Formación Yumagual (Ks-yu)
- Formación Pariatambo (Ks-pa)
- Formación Chúlec (Ks-ch)



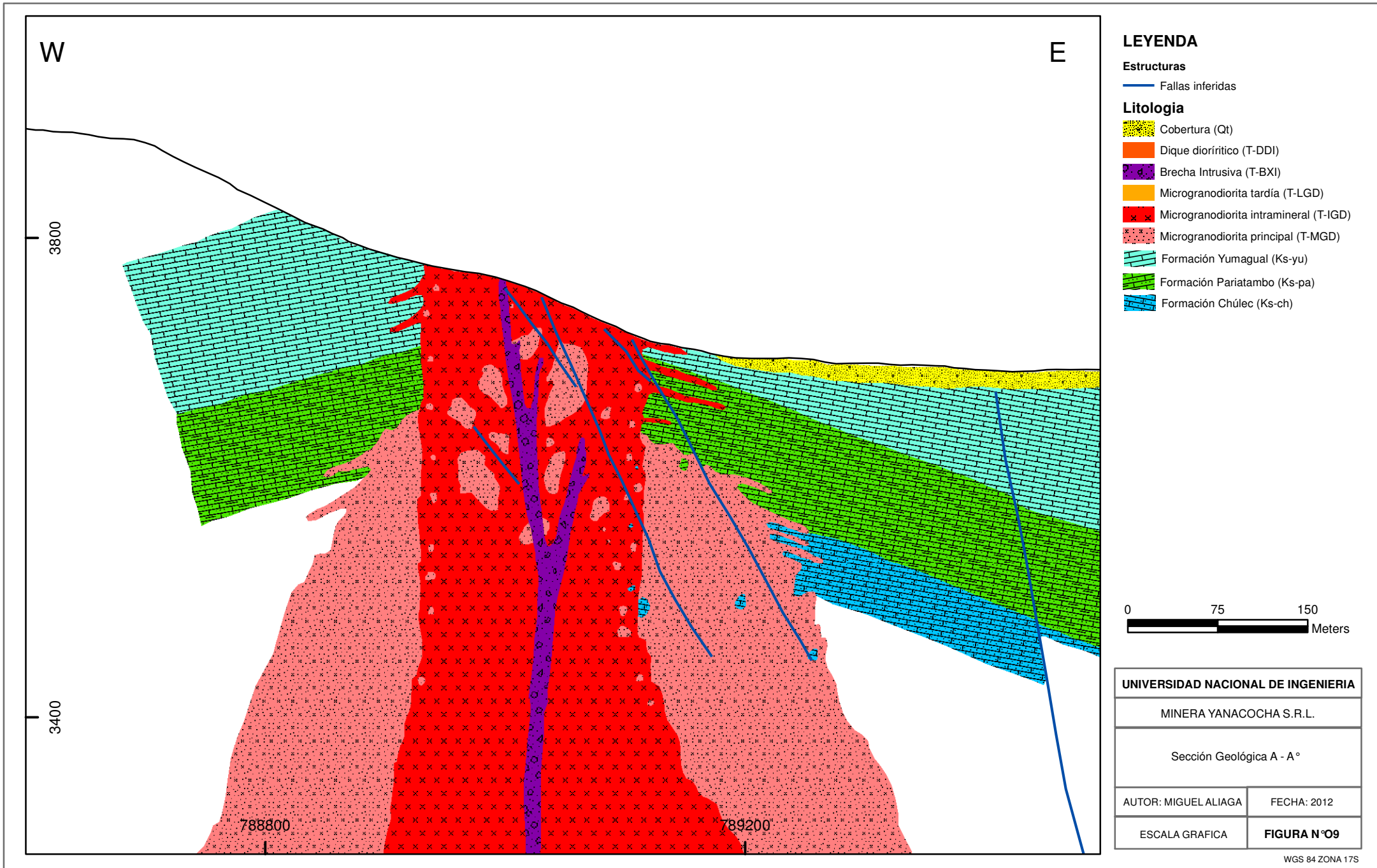
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>	
MINERA YANACOCHA S.R.L.	
Plano Geológico Interpretado	
AUTOR: MIGUEL ALIAGA	FECHA: 2012
ESCALA GRAFICA	<b>FIGURA N°07</b>

WGS 84 ZONA 17S

**Figura N°07:** Plano geológico interpretado del proyecto Morocha.



**Figura N°08:** Acercamiento de la Figura N°06, mostrando las diferentes fases intrusivas, ocurrencia de venillas de cuarzo y magnetita, y las estructuras presentes.



**Figura N°09:** Sección geológica A-A° del proyecto Morocha, mostrando los principales estructuras.

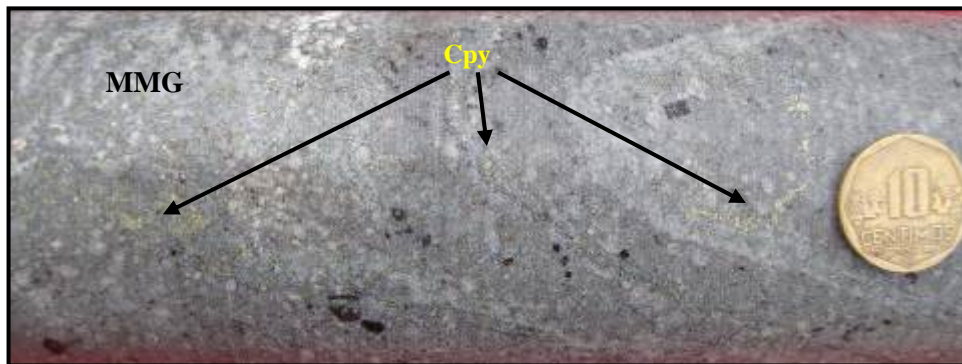
### **3.3 Rocas Intrusivas**

#### **3.3.1 Microgranodiorita Principal (T-MGD)**

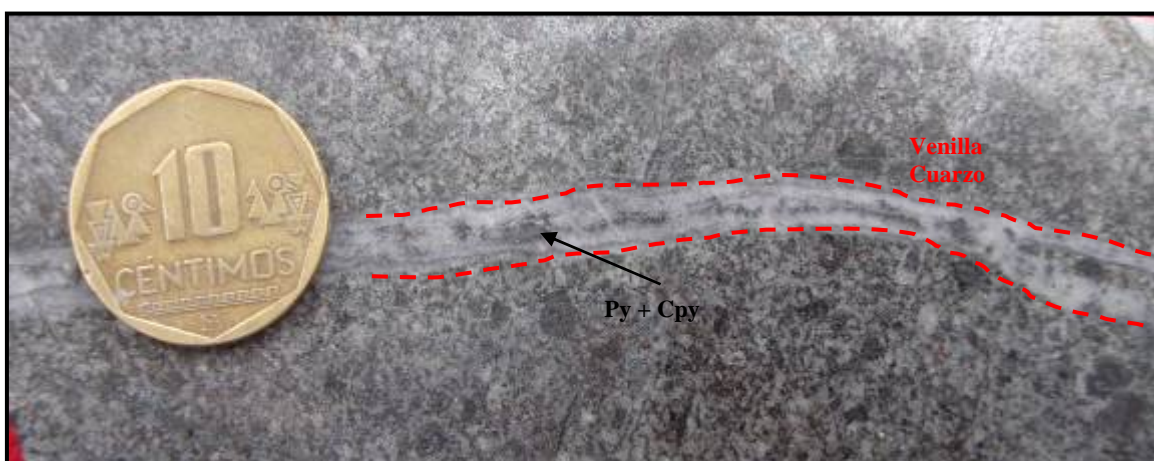
Esta unidad no aflora en el proyecto, y sólo fue reconocida en sondajes de perforación, donde se encuentra intruída por la microgranodiorita intramineral (T-IGD) y por brechas intrusivas (T-BXI), presentándose como bloques y fragmentos dentro de estas unidades. Presenta un color gris oscuro, es de grano fino a medio, tiene textura porfirítica, de composición diorítica a granodiorítica.

Según los estudios de petrografía microscópica, está constituida mineralógicamente por plagioclasa + anfíbol  $\pm$  biotita  $\pm$  cuarzo. Se presenta con alteración potásica en algunos casos sobreimpuesta por alteración clorítica, en sectores aún se puede observar la textura original. En algunas zonas la textura original es obliterada debido al intenso grado de alteración hidrotermal y la abundante presencia de venillas de cuarzo principalmente. La mayoría de los fenocristales de plagioclasa se encuentran alteradas y fracturadas a carbonatos (calcita principalmente). Los fenocristales de hornblenda y biotita son parcial o totalmente alteradas por biotita hidrotermal de grano fino (biotita de textura “shedry”), estas biotitas secundarias se encuentran parcialmente alteradas por clorita. Relictos de fenocristales de biotita primaria se encuentran parcialmente rotos hacia los bordes los cuales están reemplazados por óxidos de fierro. La matriz es microcristalina, la cual se encuentra intensamente silicificada, presenta relictos de biotita, magnetita, cuarzo.

En los sondajes principalmente se presenta como pequeños enclaves o bloques dentro de otras rocas intrusivas porfiríticas como la microgranodiorita intramineral (T-IMG).



**Foto N° 4:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (169.60m). Se observa la textura porfírica con alteración potásica débil a moderada. Calcopirita de grano grueso asociada a venillas. Contiene 2.872 gr/t Au; 0.59% Cu.

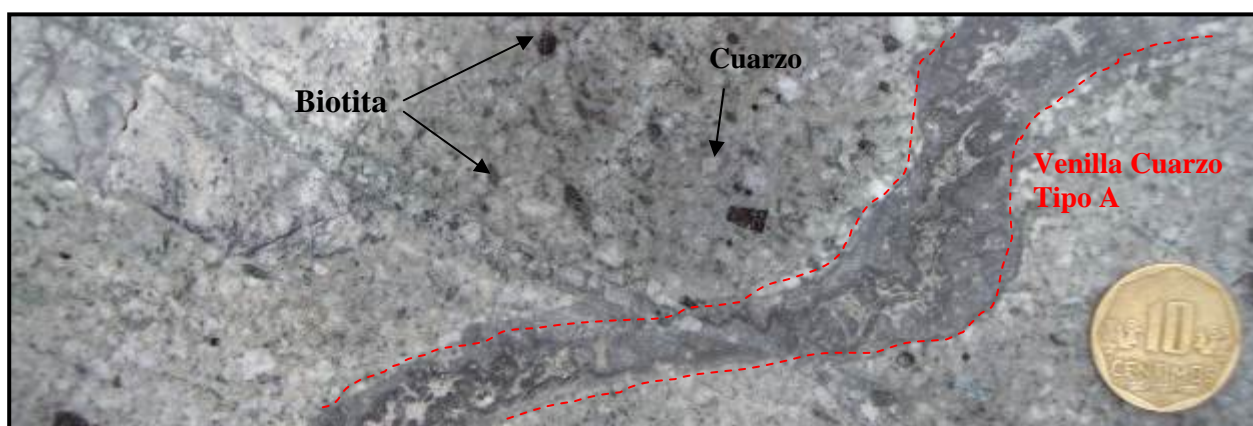


**Foto N° 5:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (279.40m). Se observa la intensa alteración potásica (predominando biotita secundaria), cortada por venillas tipo A de cuarzo + piritita ± calcopirita. Se encuentra como bloque dentro de la brecha intrusiva. Contiene 0.27 gr/t Au; 0.08% Cu.

### 3.3.2 Microgranodiorita intramineral (T-IGD)

Se ubica en la parte central del proyecto y se encuentra intruída por la microgranodiorita tardía (T-LGD) y por brechas intrusivas (T-BXI) en superficie. Presenta una geometría cilíndrica al igual que las demás rocas intrusivas relacionadas al sistema porfírico. También presenta una textura porfírica, siendo de grano medio a grueso (grano más grueso respecto T-MGD). La composición principal son fenocristales de plagioclasa + anfíbol + biotita + cuarzo, la matriz es de grano muy fino

y de similar composición. Generalmente los fenocristales de anfíbol (hornblenda) están siendo reemplazados parcial y totalmente por biotita secundaria y posteriormente por clorita. Tanto en superficie como en los sondajes presenta alteración potásica generalmente sobreimpuesta por una alteración clorítica, la composición no varía como los demás intrusivos del pórfido de composición granodiorítica a diorítica, pero se reconoce por presentar una moderada a débil presencia de venillas de cuarzo (menor con relación a T-MGD).

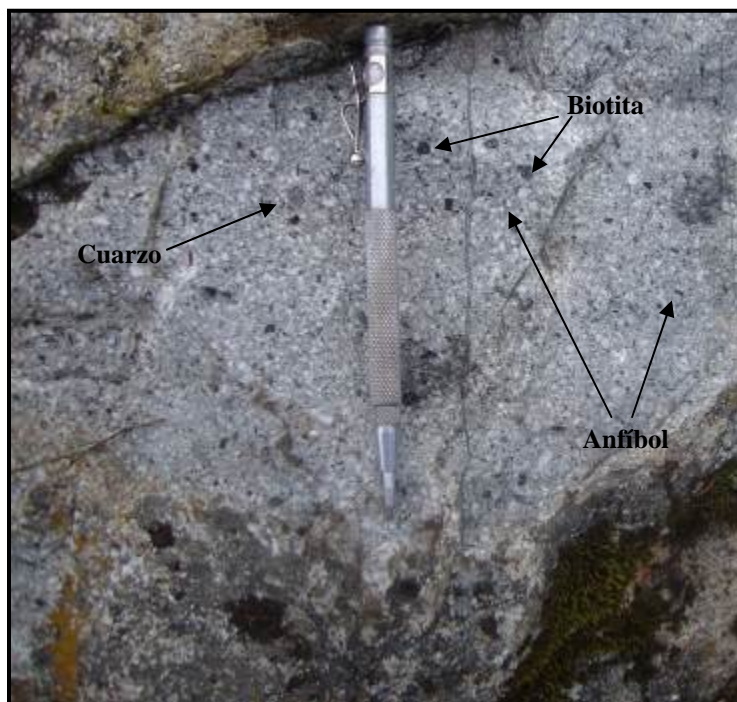


**Foto N° 6:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (245.40m). Se observa la textura porfirítica; con fenocristales de anfíbol, plagioclasa y cuarzos. Presenta una alteración potásica débil, sobreimpuesta por una clorítica débil. Contiene 0.23 gr/t Au; 0.08% Cu.

### 3.3.3 Microgranodiorita tardía (T-LGD)

Aflora en superficie en la parte central del proyecto, se encuentran cortando a la microgranodiorita intramineral (T-IMG) y aparece como diques hasta de 35 m de potencia. Presentan una composición similar a los intrusivos anteriores, se caracteriza por presentar alteración potásica débil sobreimpuesta por alteración clorítica de mayor intensidad, presencia esporádica de venillas (<1 % en volumen), mínima presencia de sulfuros de fierro y cobre con predominio de pirita sobre la calcopirita. Esta fase representa la etapa final del sistema porfirítico asociada a la mineralización.





**Foto N° 7:** Fotografía de una muestra de mano. Se observa la textura porfirítica, fenocristales de anfibol, biotita, plagioclasa y cuarzo. Presenta débil alteración potásica sobreimpuesta por una clorítica, la cual es cortada por esporádicas venillas de cuarzo secundario.

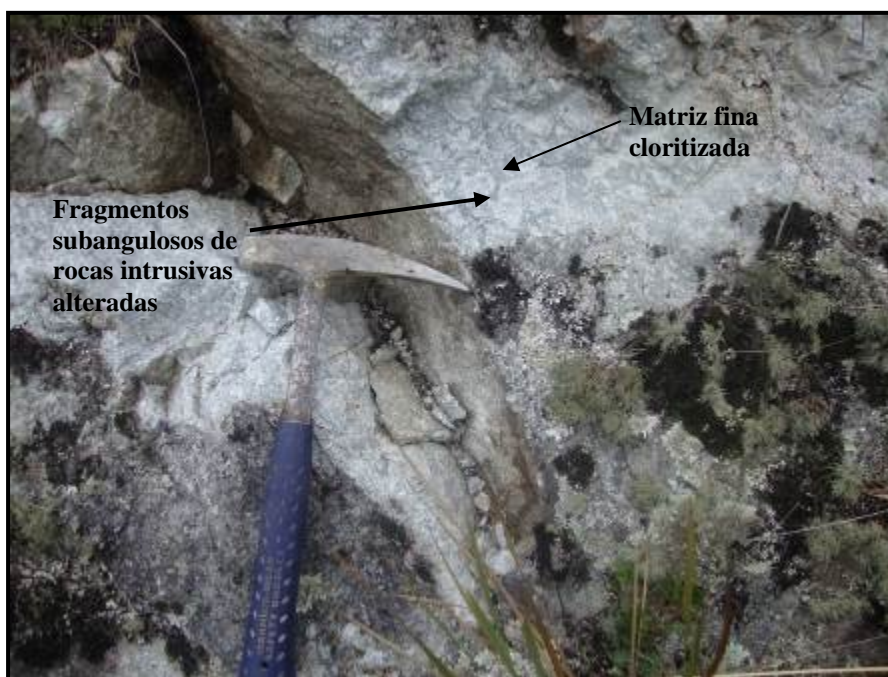
### 3.3.4 Dique diorítico (T-DDI)

Los afloramientos en superficie de esta unidad se ubican en el sector norte del proyecto, intruyendo a las calizas de la Formación Yumagual (Ks-yu). Presenta una textura porfirítica y tiene una alteración clorítica en todo el afloramiento. La mineralogía consiste de plagioclasas, anfibol y biotita. Este evento se considera posterior a las intrusiones asociadas a la mineralización del sistema porfirítico, y presentan una orientación principal EW y NS.

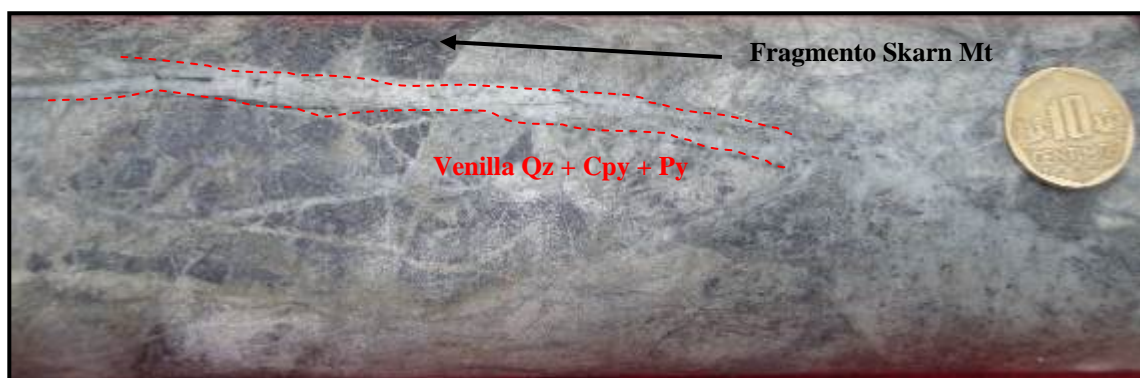
### 3.4 Brechas

#### 3.4.1 Brecha intrusiva (T-BXI)

Esta unidad aflora en la parte Este del proyecto, y sus afloramientos son restringidos. A su vez solo se encuentra en contacto con la microgranodiorita intramineral (IGD) en superficie, se caracteriza por presentar fragmentos angulosos a subredondeados alterados de los intrusivos relacionados al sistema porfirítico (T-MGD, T-IGD y T-LGD) que presentan mineralización económica de Au – Cu. La matriz es de textura fina, y presenta alteración hidrotermal. Cabe resaltar que en los sondajes se encontraron fragmentos alterados de rocas sedimentarias principalmente de skarn y hornfels.



**Foto N° 8:** Fotografía de afloramiento de la brecha intrusiva (T-BXI). Se observan los clastos subredondeados, dentro de una matriz cloritizada. Los fragmentos presentan una débil alteración potásica sobreimpuesta por una alteración clorítica.



**Foto N° 9:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (180.00m). Presenta fragmentos de skarn (granate-piroxeno), en una matriz altamente obliterada y silicificada. Nótese la presencia de venillas tipo B (cuarzo+magnetita+calcopirita), cortando tanto a la matriz como a los fragmentos.

### 3.5 Estudios macroscópicos y microscópicos de rocas

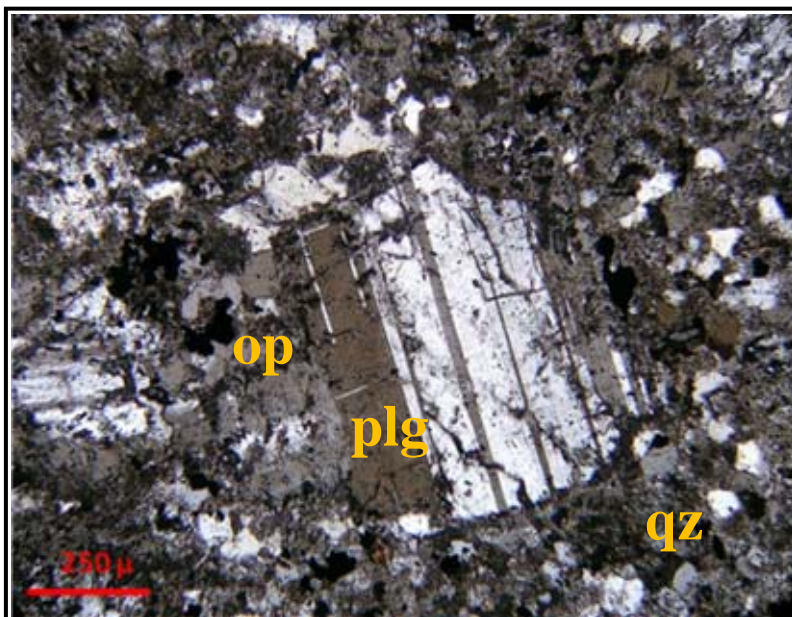
Los grados intensos de alteración hidrotermal en las rocas intrusivas, han complicado la identificación de los minerales en los estudios petrográficos, razón por lo que en lo posible se toma muestras con la menor alteración para estos estudios.

Se ha logrado reconocer en los intrusivos la textura porfirítica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, biotita y anfíbol; los cuales presentan bordes irregulares debido a los diferentes grados de alteración. Se evidenció la presencia de una matriz microcristalina, la cual se encuentra también alterada.

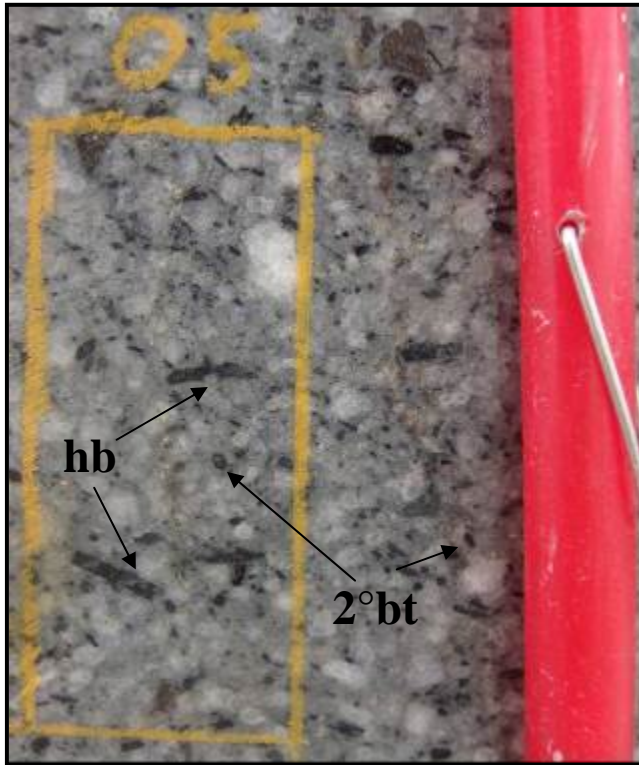
### Descripción de Muestras:



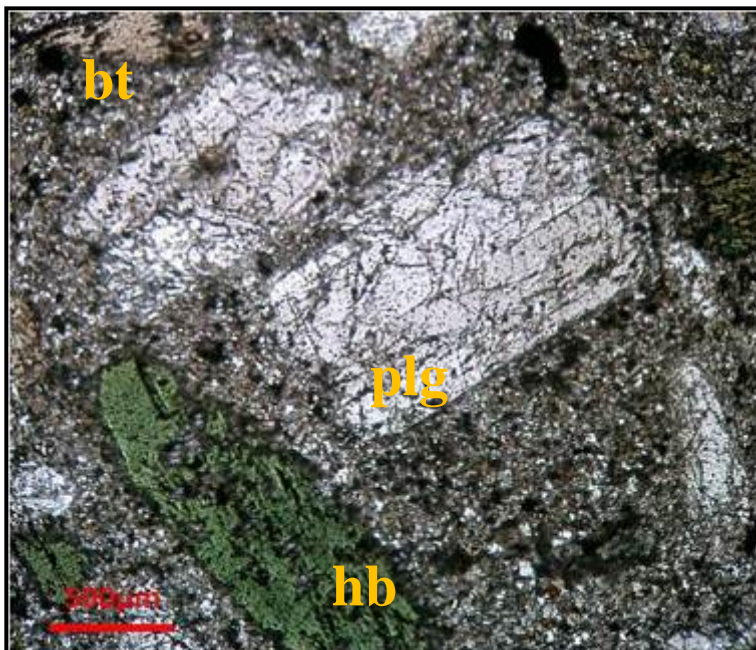
**Foto N° 10:** Granodiorita intramineral (T-IMG), con fuerte alteración potásica (Fk-Bt-Mt), con presencia de venillas de cuarzo. (MOR-002, 93.40m). Muestra de sondaje.



**Fotomicrografía N° 1:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Cristal de plagioclasa que presenta macla polisintética con bordes rotos, en una matriz con alteración, con minerales opacos (py y mt). (Sección delgada de la foto N°10).



**Foto N° 11:** Granodiorita intramineral (T-IMG), presenta cristales de anfíbol, cuarzo, biotita, con textura porfírica. (Muestra de afloramiento).



**Fotomicrografía N° 2:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Cristales de plagioclasa (parte central) y cristal de Anfíbol (color verde) en la parte inferior izquierda, dentro de una matriz con fuerte alteración. (Sección delgada de la foto N°11).

## Capítulo 4: Alteraciones Hidrotermales

### 4.1 Introducción

Las diferentes alteraciones en el proyecto Morocha son típicas en los pórfidos de Au – Cu como Chailhuagón y Perol. Éstas se presentan por lo general, de manera pervasiva borrando las texturas porfiríticas de las rocas ígneas primarias y también de manera selectiva, dejando en algunos casos fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo sin alteración. Se han reconocido varios tipos de alteración: potásica (Fk, bt secundaria, magnetita); clorítica; fílica (restringidas a las rocas intrusivas); silificación; skarn (prógrado y retrógrado); zonas de metamorfismo como son mármol y hornfels las cuales se presentan en las rocas sedimentarias.

### 4.2 Alteración Potásica (K)

La alteración potásica se desarrolla mejor en la microgranodiorita principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD), quedando restringida de manera débil en la microgranodiorita tardía (T-LGD). Está definida por la asociación mineralógica de feldespatos potásicos (Fk), biotita (Bt), magnetita (Mt) y cuarzo (Qz), en sectores los grados de intensidad varían de fuerte a débil, lo cual está ligado estrechamente al tipo de roca donde se genera esta alteración, así como al grado de venilleo existente en las mismas, como se reconoce en muestras de mano y en muestras de sección delgada. En la fase principal (T-MGD) es más intensa y está asociada a la mayor mineralización de Au - Cu, decreciendo en la T-IGD y casi ausente en T-LMG. Fenocristales primarios de plagioclasa, anfíbol (hornblenda) y biotita son conservados como relictos. Esta alteración está asociada al principal evento de mineralización de Au – Cu, con mineralización de calcopirita y pirita principalmente, y bornita en forma subordinada.

Cabe mencionar que esta alteración ocurre en un área de 250 m x 250 m y profundiza aproximadamente 300 m, la geometría del depósito es de forma cilíndrica. La presencia de biotita secundaria tiene un desarrollo moderado en la microgranodiorita principal, débil alteración de feldespato potásico y magnetita. En ésta zona predominan las venillas de cuarzo-magnetita-pirita-calcopirita (<1 cm). La biotita secundaria se encuentra reemplazando a anfíboles (hornblendas) y biotitas primarias dando una tonalidad de color marrón oscura a la roca, a esta fase se la conoce como la ***Alteración Potásica con predominancia de Biotita Secundaria.***

Esta alteración se presenta claramente en la microgranodiorita principal (T-MGD), en la cual se observa una destrucción casi total de los minerales máficos por biotita secundaria, el feldespato potásico y la magnetita están presentes de manera subordinada, esta roca presenta poca cantidad de venillas de cuarzo.

La asociación de feldespato potásico y biotita también está presente tanto en la microgranodiorita principal e intramineral y se denomina ***Alteración Potásica Feldespato Potásico – Biotita.*** El feldespato potásico se presenta de manera pervasiva principalmente en la microgranodiorita intramineral (T-IGD), también en forma de halos en venillas de cuarzo. Por último la magnetita se presenta en ambas alteraciones de manera más subordinada y en forma diseminada en la matriz y en venillas asociada con la calcopirita.

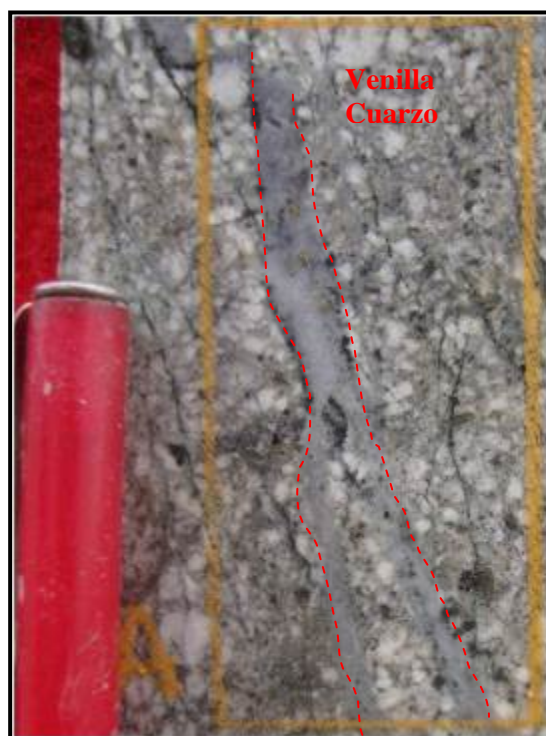
Cada fase intrusiva ha desarrollado su propia alteración hidrotermal potásica, desde la primera que fue la principal T-MGD y que presenta mayor mineralización, hasta la última que tiene baja mineralización de Au – Cu en la fase tardía T-LGD.

De acuerdo a Sillitoe (2010), la biotita secundaria es predominante en intrusiones porfiríticas máficas, y el feldespato potásico se incrementa en rocas más félsicas; esto corroboraría las fases intrusivas dioríticas a granodioríticas, las cuales son marcadas por el desarrollo de estos minerales.



**Foto N° 12:** Fotografía de una muestra de afloramiento. Nótese la intensa alteración potásica (Bt) en la T-IGD, la cual está asociada con diferentes tipos de venillas de cuarzo.

**Foto N° 13:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (48.60m). Nótese la moderada alteración potásica, (Fk-Bt) en la T-IGD, la cual es cortada por venillas de biotita y cuarzo. Contiene 0.32 gr/t Au 0.12% Cu.





**Foto N° 14:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (70.00m). Presenta fenocristales de hornblenda y biotita primarios. Alteración potásica moderada (bt-kf-mt), sobreimpuesta por una clorítica débil (color verde).



#### 4.3 Alteración Clorítica (Cl)

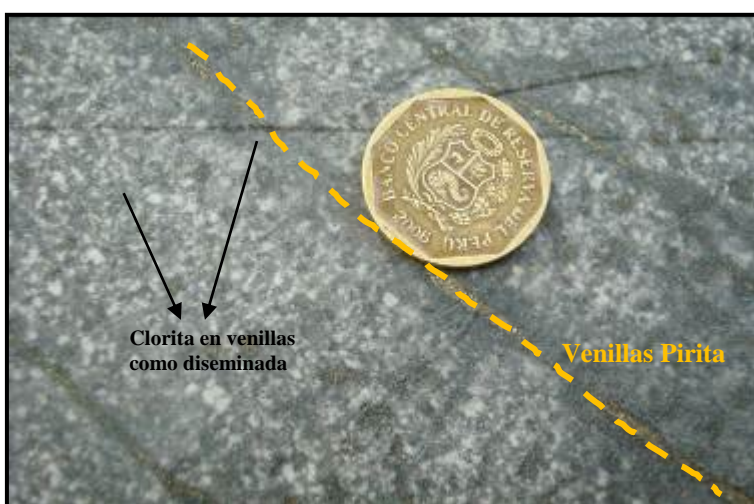
La alteración clorítica se presenta generalmente como sobreimposición a la alteración potásica en las unidades de la microgranodiorita principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). Se caracteriza por alterar a la biotita secundaria como una sobreimposición, también se ha encontrado alterando a los minerales máficos primarios como la biotita y el anfíbol. Está alteración en superficie, también se presenta como sobreimposición a la alteración potásica inicial, al igual que en profundidad como ha sido determinada por los sondajes. Cerca al contacto con las rocas sedimentarias esta alteración presenta un incremento de venillas de pirita con halos de clorita, asociada a carbonatos y epidota de manera esporádica, predominando siempre la clorita.

Esta alteración es un buen indicador para determinar el límite de la mineralización económica de Au – Cu en el proyecto, ya que ésta se encuentra bordeando el halo de la alteración potásica.

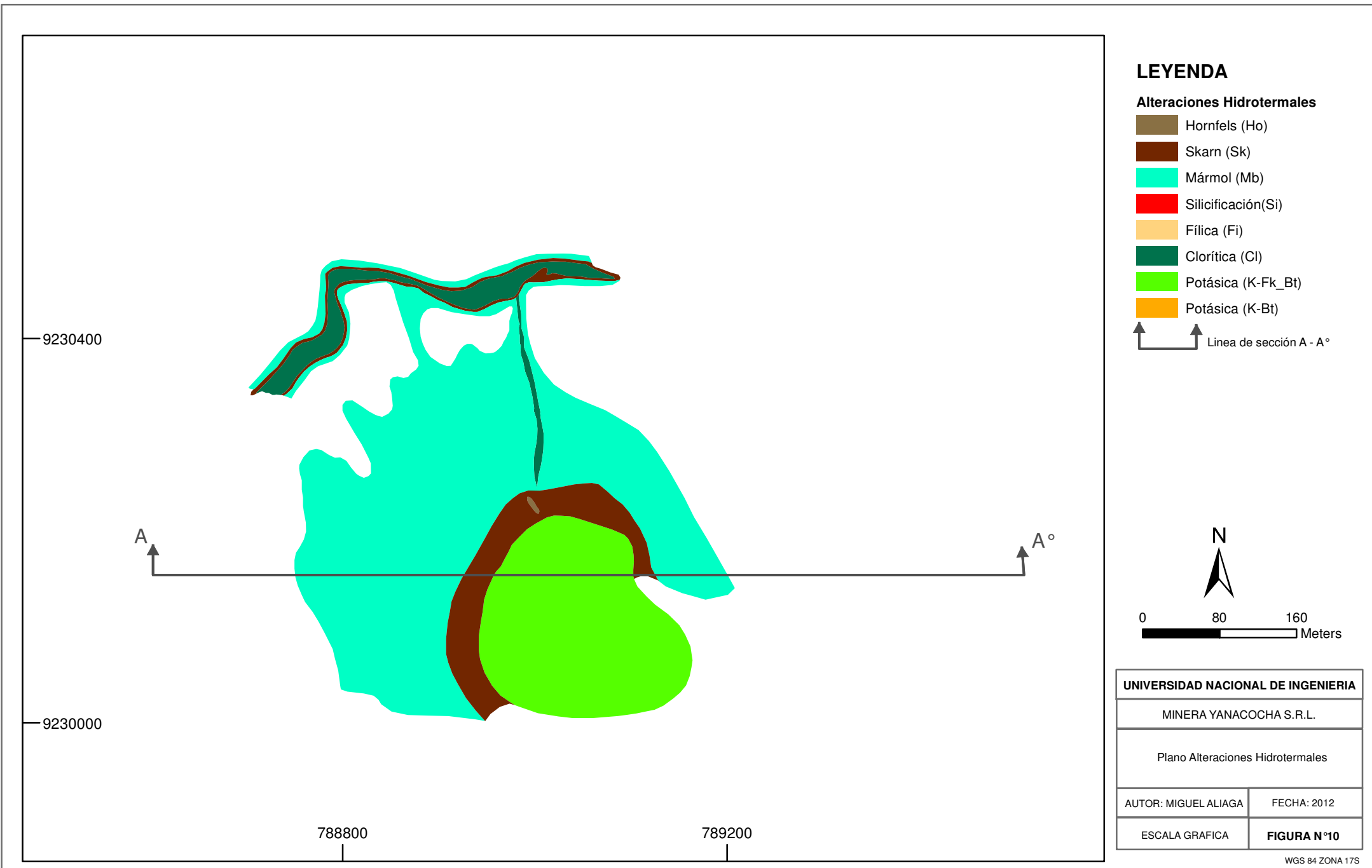
Es la alteración típica del dique diorítico (T-DDI) ubicada en la parte norte. Se caracteriza por un reemplazamiento parcial o total de los minerales ferromagnesianos primarios, por clorita, también existen minerales como epidota y carbonatos de manera esporádica. Presenta una intensidad de débil a moderada en sectores, con pirita como sulfuro predominante tanto en venillas como diseminada.



**Foto N° 15:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (223.00m) T-IGD. Nótese la débil alteración potásica, sobreimpuesta por una alteración clorítica selectiva reemplazando principalmente a la biotita secundaria. Contiene 1.11 gr/t Au 0.20% Cu.



**Foto N° 16:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-001 (219.40m) T-MGD. Nótese la alteración clorítica pervasiva, acompañado por venillas pirita y halos de clorita. Contiene 0.01 gr/t Au 0.006% Cu.



**Figura N°10:** Plano alteraciones hidrotermales del proyecto Morocha.

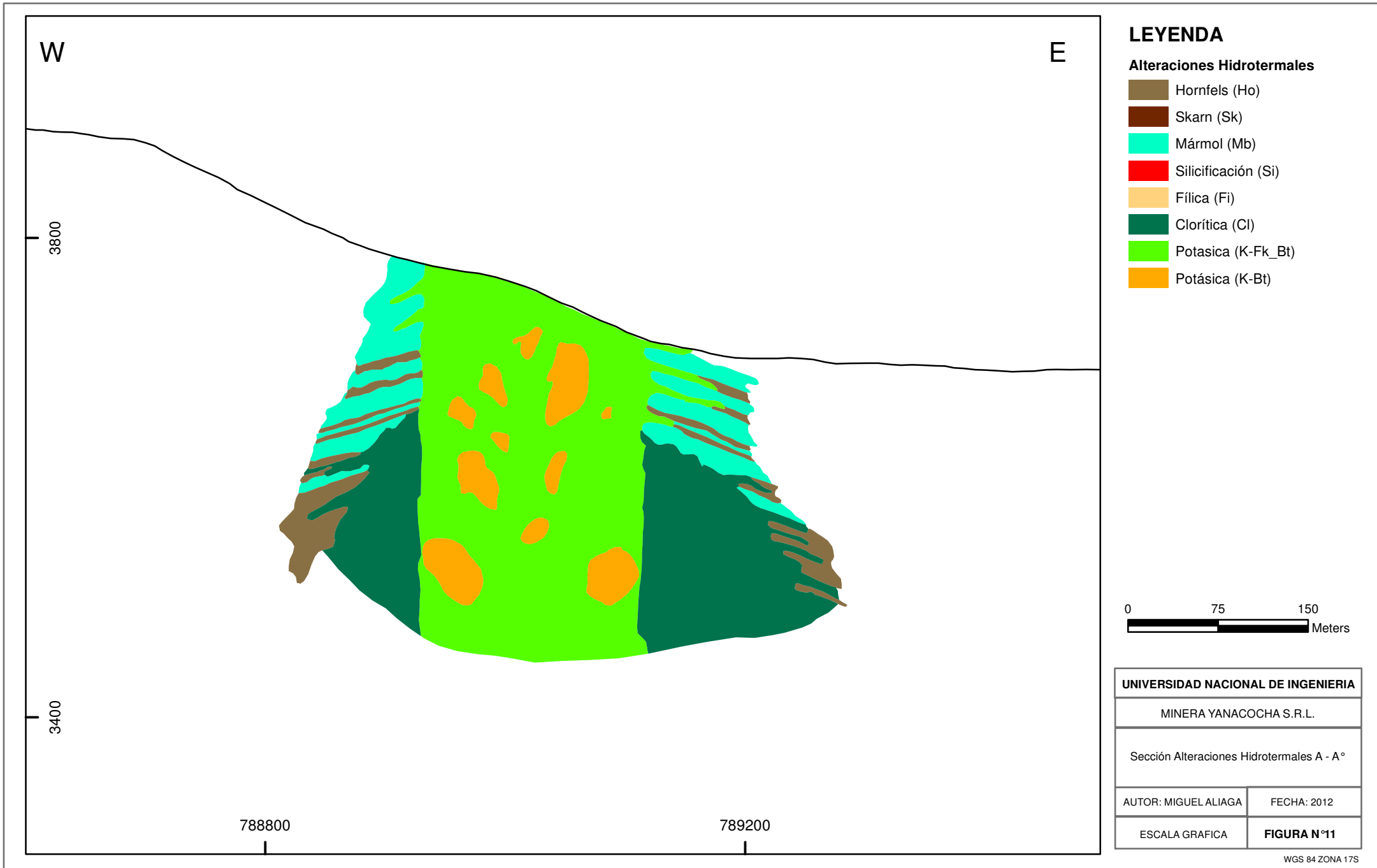


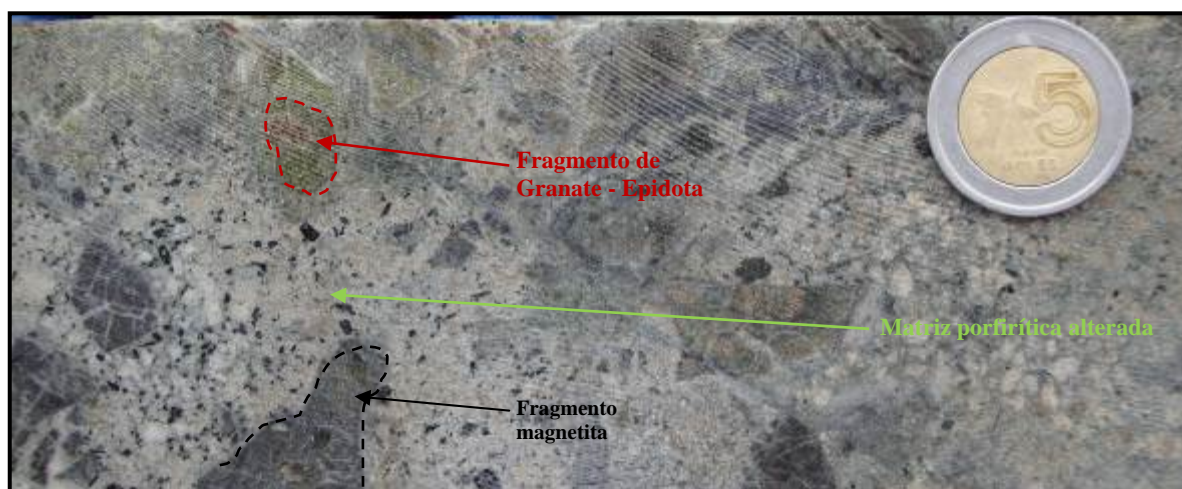
Figura N°11: Sección alteraciones hidrotermales A-A° del Proyecto Morocha.

#### **4.4 Alteración Fílica (Fi)**

La alteración fílica presenta un débil desarrollo en la microgranodiorita intramineral (T-IGD) asociada a zonas de intenso fracturamiento y zonas de falla. Está conformado por sericita (Se) – muscovita (Mu) – cuarzo (Qz), donde la sericita se encuentra reemplazando a las plagioclasas y feldespatos de manera intensa. Asimismo se presenta como sobreimposición sobre la alteración clorítica donde la sericita está reemplazando a los bordes de la clorita, fue detectada en el logeo geológico. Se caracteriza por presentar venillas de cuarzo – sericita – pirita - calcopirita con potencias <1cm. Esta alteración no se encuentra en superficie, pero fue evidencia en un sondaje lo que sugeriría la presencia de una zona que aún no se conoce en toda su extensión, la cual se encuentra asociada a los valores más altos de Au – Cu de hasta 2.87 ppm Au y 0.6 % Cu. Ésta presenta fuerte control estructural, asociada a estructuras de tendencia NNW.

#### **4.5 Alteración Skarn (Sk)**

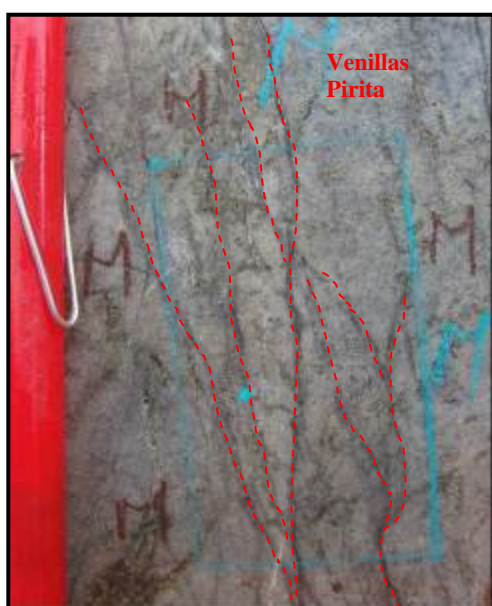
La alteración Skarn solamente queda restringida a la presencia de bloques dentro de la brecha intrusiva (T-BXI). La asociación mineralógica principal es Piroxeno (Pi) – Epidota (Ep) – Magnetita (Mt), con diseminación de calcopirita y pirita. Los fragmentos son subangulosos a subredondeados de hasta 3 cm de ancho; encontrándose entre los más importantes y abundantes fragmentos de magnetita con calcopirita diseminada y fragmentos de granate – epidota. Esta alteración no ha sido encontrada en su totalidad, por lo que cabe la posibilidad de encontrar niveles con mineralización económica de Au – Cu en profundidad en secuencias sedimentarias favorables y en las diferentes fases intrusivas.



**Foto N° 17:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (185.10m). Nótese la presencia de fragmentos de Skarn, dentro de la brecha intrusiva (T-BXI). Contiene 0.56 ppm Au; 0.17% Cu.

#### 4.6 Silicificación (Si)

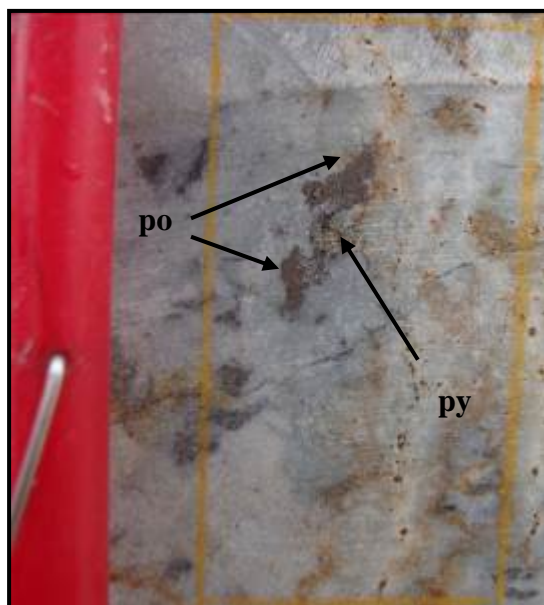
Esta alteración se da de manera restringida en unidades sedimentarias tanto en areniscas como en limolitas. Se presenta por una recristalización en los granos de cuarzo primarios de las areniscas. Esta alteración se asocia con la presencia de venillas de pirita – magnetita <0.5cm de potencia, sólo fue evidenciada en sondajes ubicados en los bordes de la alteración potásica y clorítica.



**Foto N° 18:** Nivel de areniscas silicificadas, con presencia de venillas de pirita-magnetita. MOR-002 315.80m. Muestra de sondaje.

#### 4.7 Mármol y Hornfels (Mb / Ho)

Las alteraciones de mármol y hornfels se desarrollaron en calizas y limolitas calcáreas, principalmente en las Formaciones Pariatambo (Ks-pt) y Yumagual (Ks-yu). Lo que se genera es una recristalización en estas unidades por metamorfismo de contacto con las fases intrusivas. Se caracteriza por presentar pirita en venillas y en forma diseminada. Afloran en superficie y se observan en los sondajes, se ubican en el halo de las rocas intrusivas hasta unos 170 m de distancia de las mismas. Dentro de las franjas de mármol existen niveles de sulfuros masivos principalmente de pirita y magnetita de 30 cm de potencia, pero sin mineralización importante de Au – Cu.



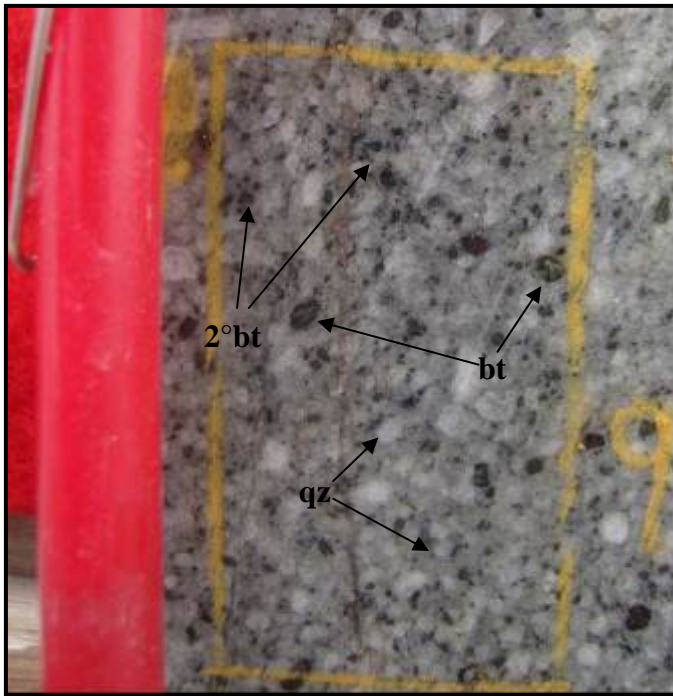
**Foto N° 19:** Fotografía de una muestra de mano. Mármol con diseminación de pirita-pirrotita.

#### 4.8 Descripción macroscópica de muestras y estudios de microscopía

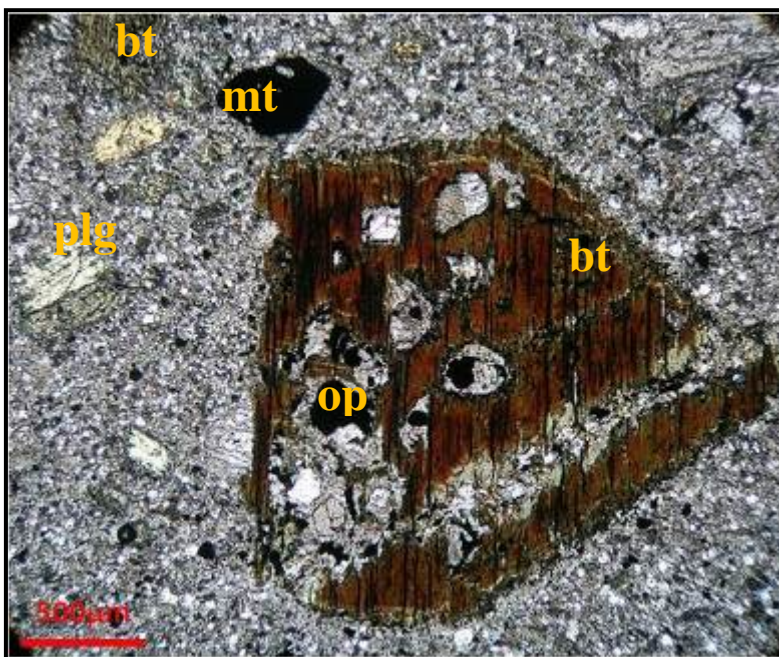
Se ha seleccionado un grupo de muestras de las diferentes fases intrusivas que presentan de moderada a intensa alteración potásica con una débil sobreimposición de la alteración clorítica, las cuales presentan diferentes tipos de venillas de cuarzo principalmente. Se logró identificar biotita secundaria ( $2^{\circ}$ Bt), feldespato potásico (Fk), magnetita (Mt) y clorita (Cl) como minerales de alteración entre otros, encontrándose la

biotita y feldespato potásico tanto en venillas como en la matriz, mientras la magnetita se encuentra restringida a las venillas.

### Descripción de Muestras:

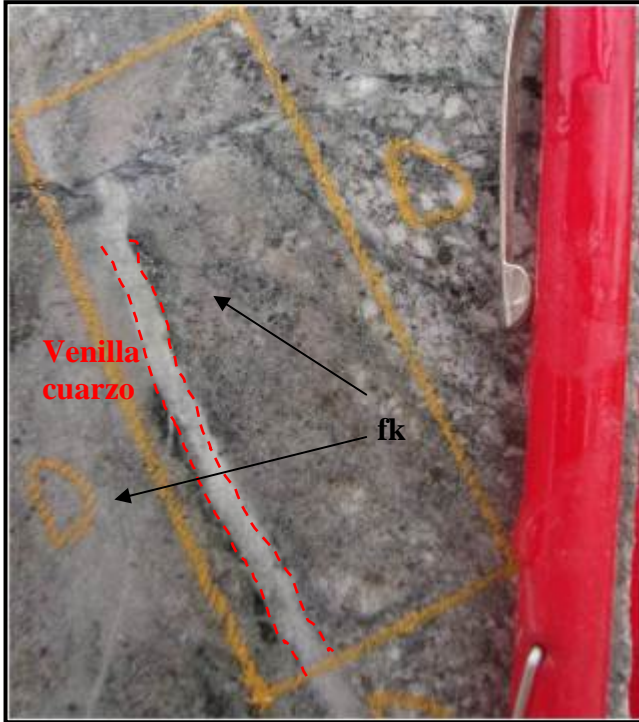


**Foto N° 20:** Granodiorita tardía (T-LGD). Textura porfirítica con cristales de biotita, cuarzo, anfíbol; débil alteración potásica de Bt - Fk. Muestra de afloramiento.

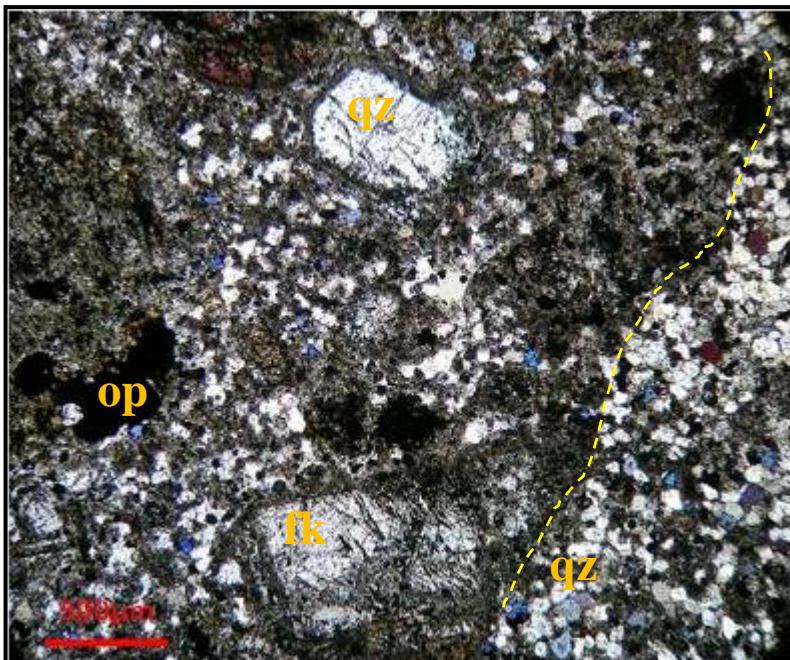


**Fotomicrografía N° 3:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Cristal de biotita con inclusiones de plagioclasa, nótese el clivaje. Presenta una matriz fina microcristalina. (Sección delgada de la foto N°20).

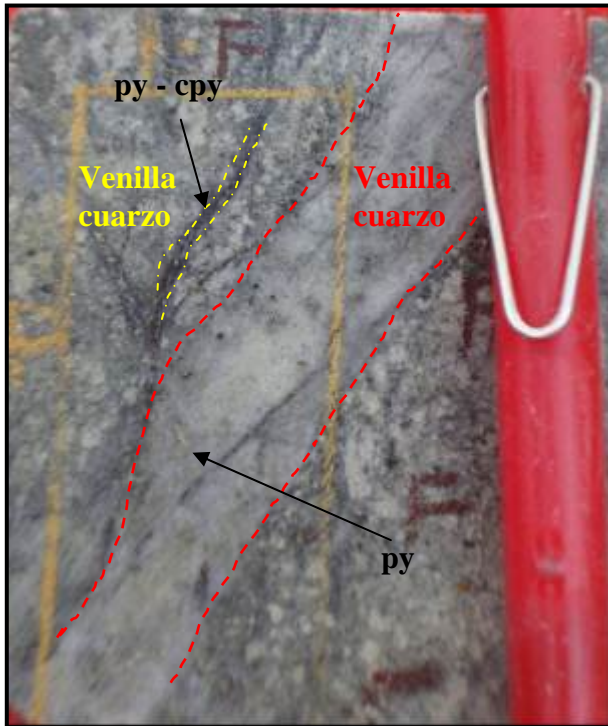




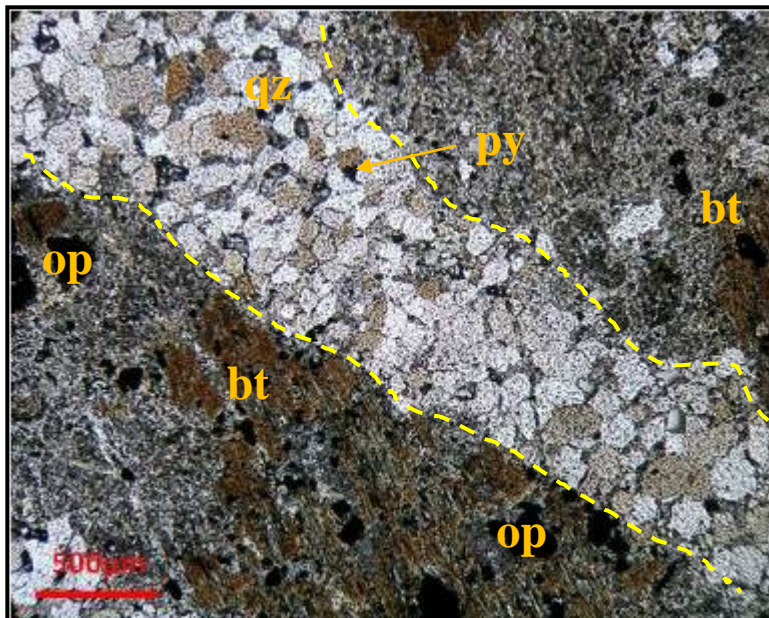
**Foto N° 21:** Granodiorita principal (T-MGD), intensa alteración potásica Fk - Bt - Mt, cortada por venillas de cuarzo con halo de feldespato potásico. MOR-002 107.20m.



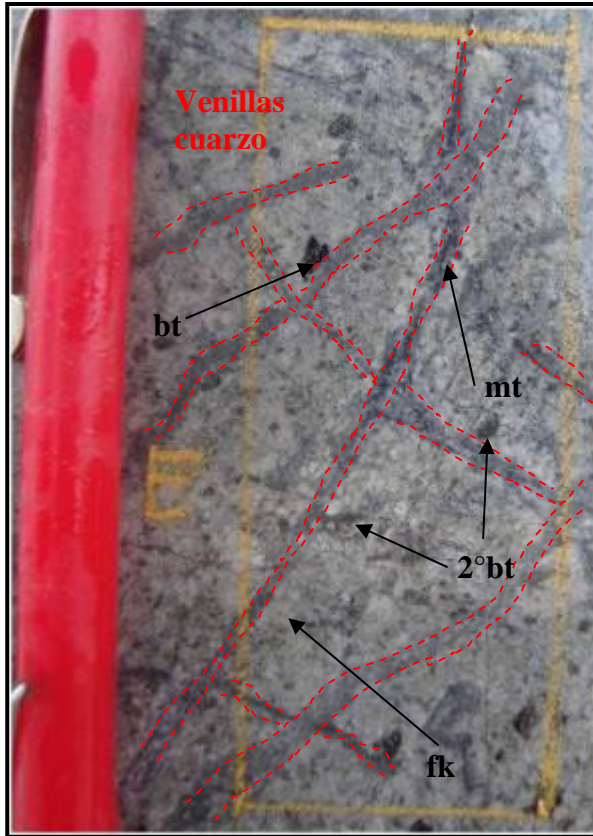
**Fotomicrografía N° 4:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Fenocristales de cuarzo parte superior y cristal de feldespato en la parte inferior, dentro de una matriz fina microcristalina, cortada por venilla de cuarzo. (Sección delgada de la foto N°21).



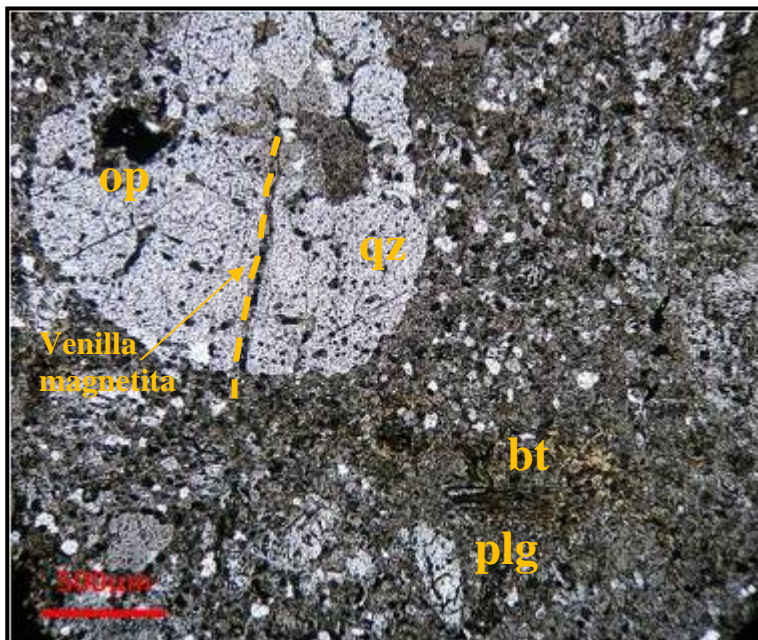
**Foto N° 22:** Granodiorita principal (T-MGD), con alteración potásica moderada de Bt - Fk. Presenta diferentes eventos de venillas de cuarzo-pirita-calcopirita. (MOR-002, 139.00m)



**Fotomicrografía N° 5:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Presencia de biotita en los bordes de la venilla de cuarzo con diseminación de pirita y calcopirita. (Sección delgada de la foto N°22).



**Foto N° 23:** Granodiorita principal (T-MGD), presenta alteración potásica moderada a intensa. Zona de “sheet veins” de venillas de cuarzo – magnetita – pirita – calcopirita. (MOR-002, 120.00m)



**Fotomicrografía N° 6:** Luz transmitida. Nicols cruzados. Presencia de cristal de cuarzo con inclusiones de opacos, presentando zonas con cuarzo reabsorbido, es cortada por una venilla de magnetita. En la parte inferior derecha cristal de biotita, dentro de matriz microcristalina. (Sección delgada de la foto N°23).

## **Capítulo 5: Geología Estructural**

### **5.1 Introducción**

Las estructuras del proyecto Morocha, tienen controles regionales como son la Falla Punre – Chanquis, el Tren Andino NW y por estructuras NS donde se alinean los principales depósitos y proyectos como son Chailhuagón y Perol. A escala local se manifiesta por el desarrollo de venillas de cuarzo y magnetita principalmente.

### **5.2 Estructuras a escala local**

Los pórfidos en la zona de influencia de la región de estudio, tienen como control principal la falla Punre - Chanquis, donde se ubican depósitos tipo pórfido como Chailhuagón y Perol. También a su vez existen controles dentro del distrito Minas Conga, como son los corredores estructurales NS donde se alinean Pampachica, Morocha, Chailhuagón y Perol, así como también son importantes las estructuras NW relacionadas principalmente por anticlinales y sinclinales, donde se ubican muchos proyectos mineros del distrito Minas Conga.

El proyecto Morocha se ubica dentro de un corredor NS denominado Corredor Pampachica - Morocha en la parte sur del distrito Minas Conga a unos 2 Km al suroeste del depósito de Chailhuagón, este corredor representa a una etapa tensional del sistema principal del corredor andino donde sus estructuras principales anticlinales y sinclinales tienen un rumbo NW principalmente en esta región. En el proyecto Morocha las venillas y fracturas se desarrollan en los intrusivos, llegando a presentarse en las rocas sedimentarias, pero de manera menos frecuente. Las venillas son principalmente de cuarzo y magnetita de 5 cm de ancho en promedio, de 3-5 m de longitud en algunas zonas, lo cual indica la presencia de un sistema hidrotermal que primero fracturó la roca intrusiva (hidrofracturamiento) para luego rellenarla con este tipo de venillas.

Se han considerado las siguientes estructuras para el estudio estructural de orientación:

- Venillas de cuarzo (tipo A y B principalmente).
- Venillas de magnetita.

La presencia de un anticlinal de orientación NW en la parte central del proyecto que afecta a las rocas sedimentarias favoreciendo el emplazamiento del cuerpo intrusivo porfirítico, fueron la base para el desarrollo de las estructuras desarrolladas en el proyecto Morocha. Existen otras estructuras como los lineamientos y las fracturas, las cuales no han sido incluidas en el tratamiento ya que estas no presentan mineralización económica y obedecen a un evento posterior que no han afectado en gran medida al proyecto.

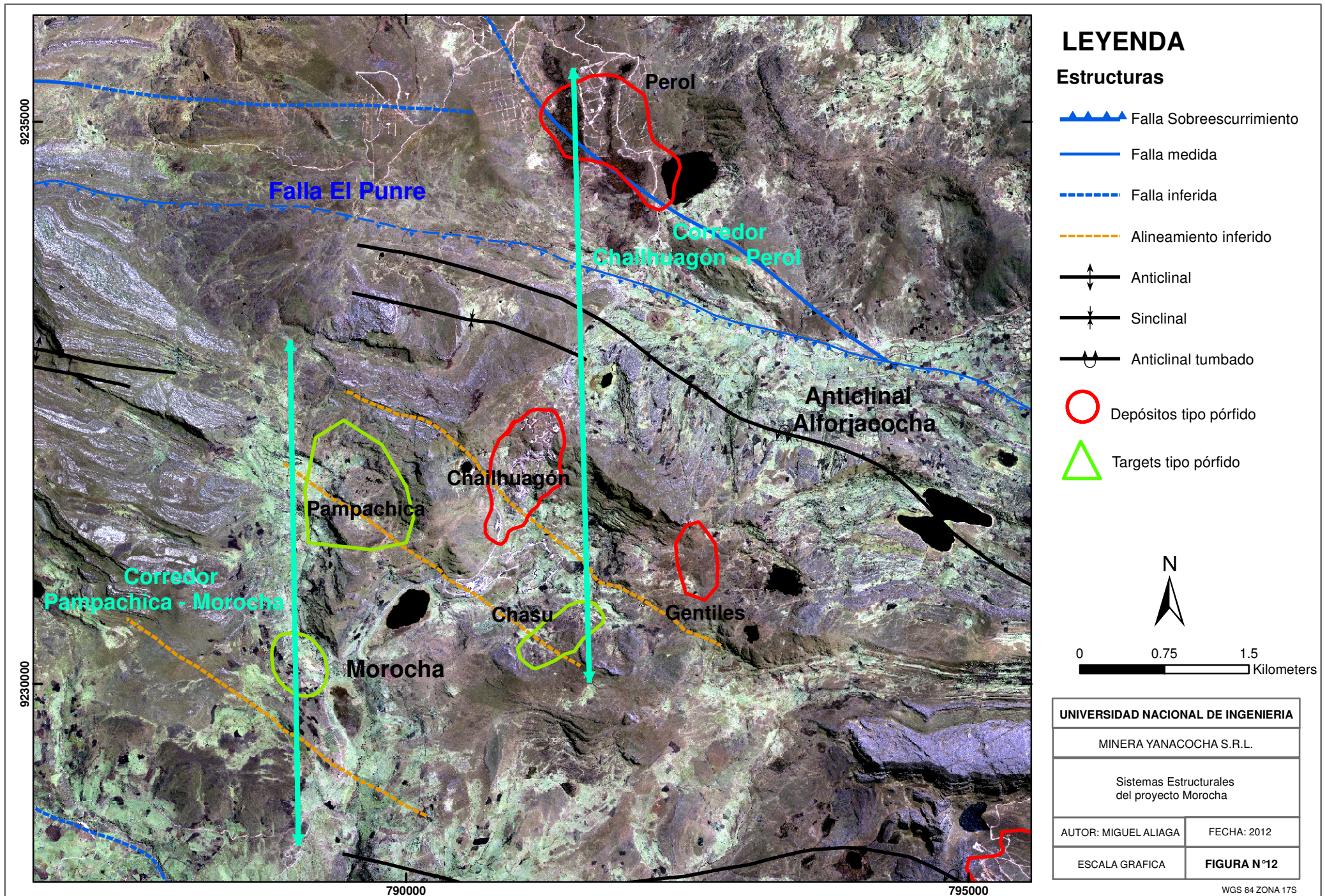


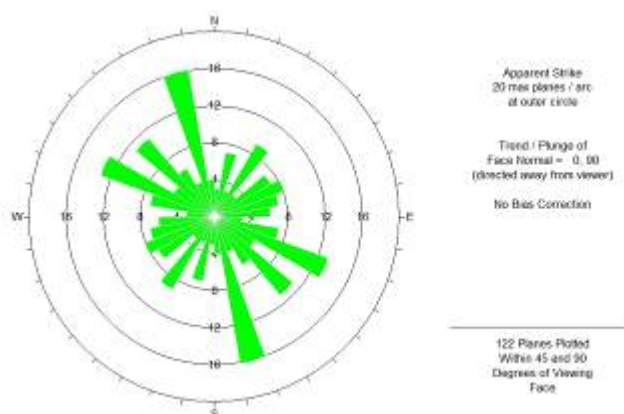
Figura N°12: Sistema estructural del distrito Minero de Minas Conga (Modificado de N. Mendoza 2010, Minera Yanacocha 2011).

### 5.2.1 Análisis de diagramas y características estructurales

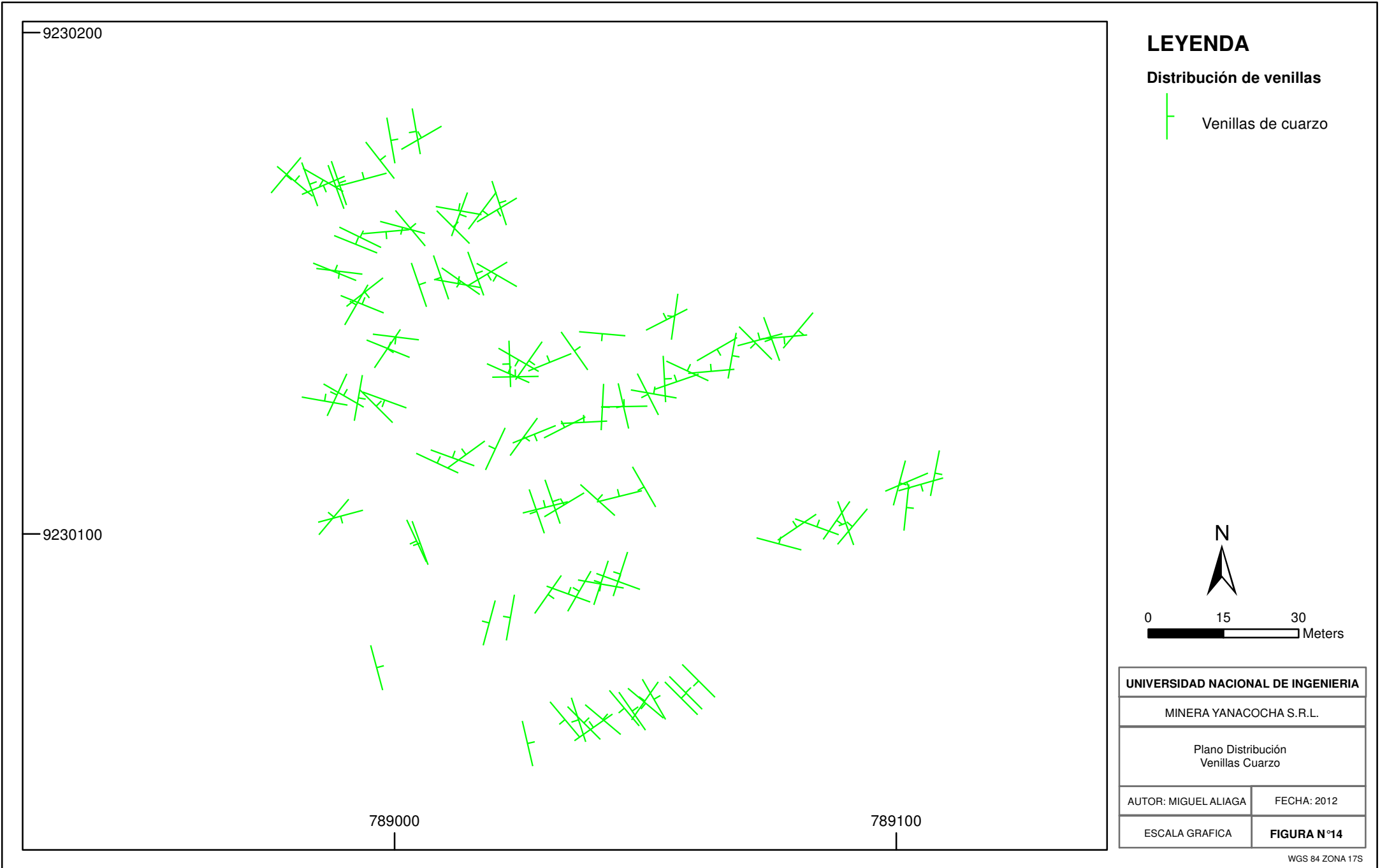
#### Venillas de Cuarzo

Representan las más abundantes en el sistema hidrotermal porfirítico del proyecto Morocha. Estas incluyen a las del tipo A y B, considerándose las que se han formado en las diferentes fases intrusivas (T-MGD, T-IGD y T-LGD), presentándose generalmente con presencia de sulfuros tanto pirita, calcopirita y en menor medida de bornita con mineralización de Au - Cu. La característica principal es que presentan tendencias NNW, NW y EW, siendo las principales las NNW las cuales coinciden con las estructuras del distrito Minas Conga dentro del corredor Morocha – Pampachica, mientras que las NW y EW son menores, pero indican y muestran el hidrofracturamiento en otras direcciones como parte del desarrollo del sistema porfirítico.

#### Venillas Cuarzo



**Figura N° 13** Diagrama de rosas para venillas de cuarzo.

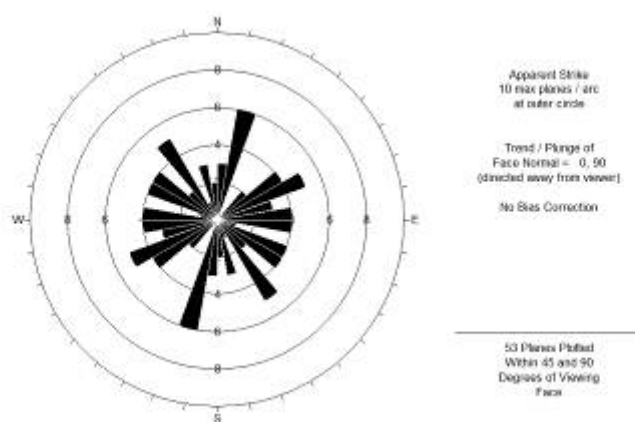


**Figura N°14:** Plano de distribución de las venillas de cuarzo del Proyecto Morocha.



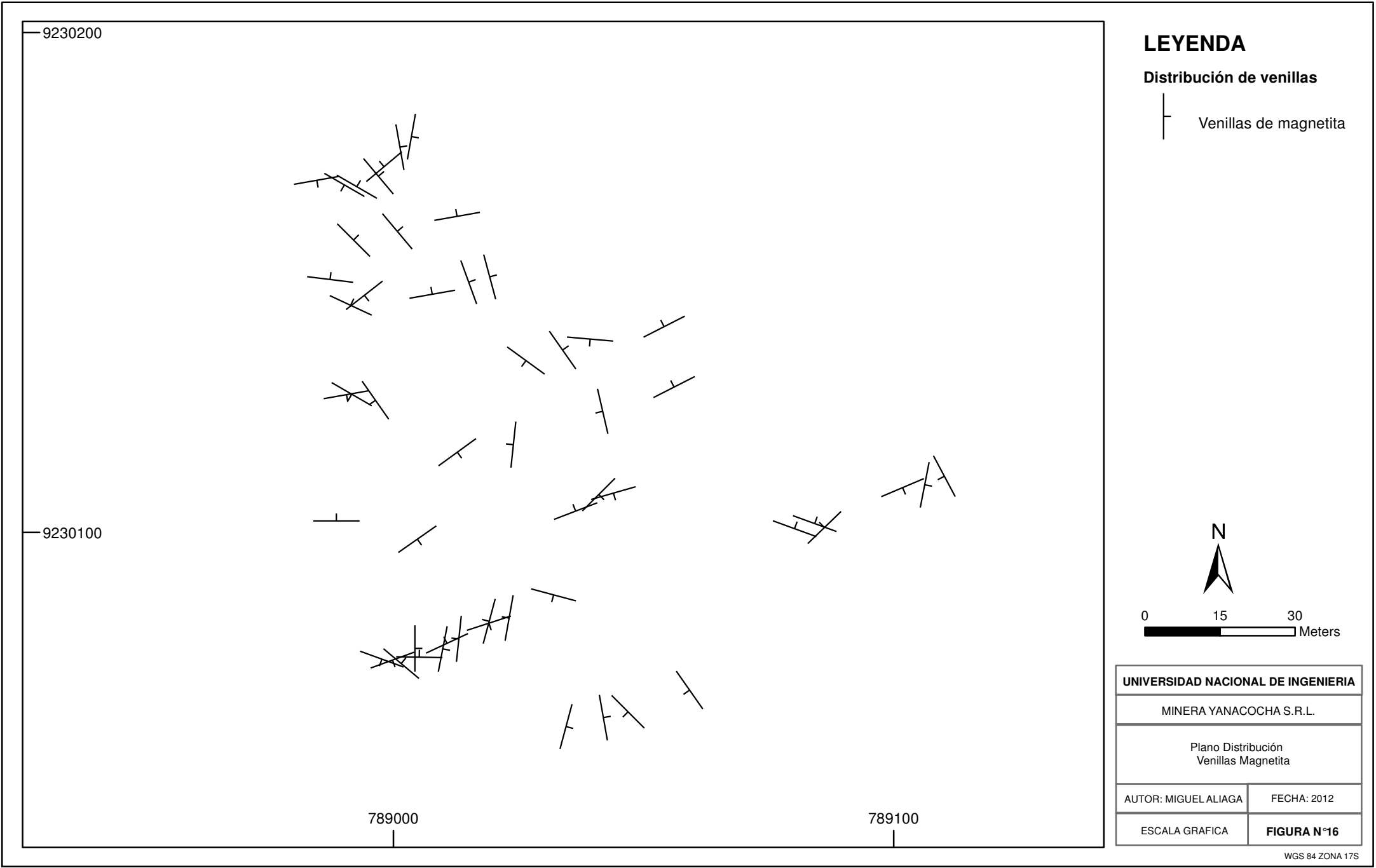
## Venillas de Magnetita

Se desarrollan tanto en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). Se caracterizan por presentarse con pirita – calcopirita y biotita - pirita – calcopirita – bornita, presentando un ancho promedio de 1-2 cm y por lo general son más delgadas que las venillas de cuarzo. Estas venillas son pre y post a las venillas de cuarzo mostrando la generación de estas venillas en los diferentes pulsos intrusivos. Presentan tendencias NNE, EW, NE y NW siendo las principales las NNE las cuales coinciden en orientación con las venillas de cuarzo, mientras que las EW, NE y NW muestran el alto grado de fracturamiento generado en el sistema, en las diferentes fases intrusivas.



## Venillas Magnetita

**Figura N° 15** Diagrama de rosas para venillas de magnetita.



**Figura N°16:** Plano de distribución de las venillas de magnetita del Proyecto Morocha.

## Capítulo 6: Mineralización

### 6.1 Introducción

En el pórfido Morocha se han identificado tres eventos de mineralización importantes que han sido determinados por el logeo geológico, ICP, estudios petrográficos y microscópicos. Éstos están ligados a la intrusión de los diferentes pulsos magmáticos, los cuales están asociados al desarrollo de las alteraciones hidrotermales y al desarrollo de venillas.

### 6.2 Eventos de mineralización

#### Primer evento

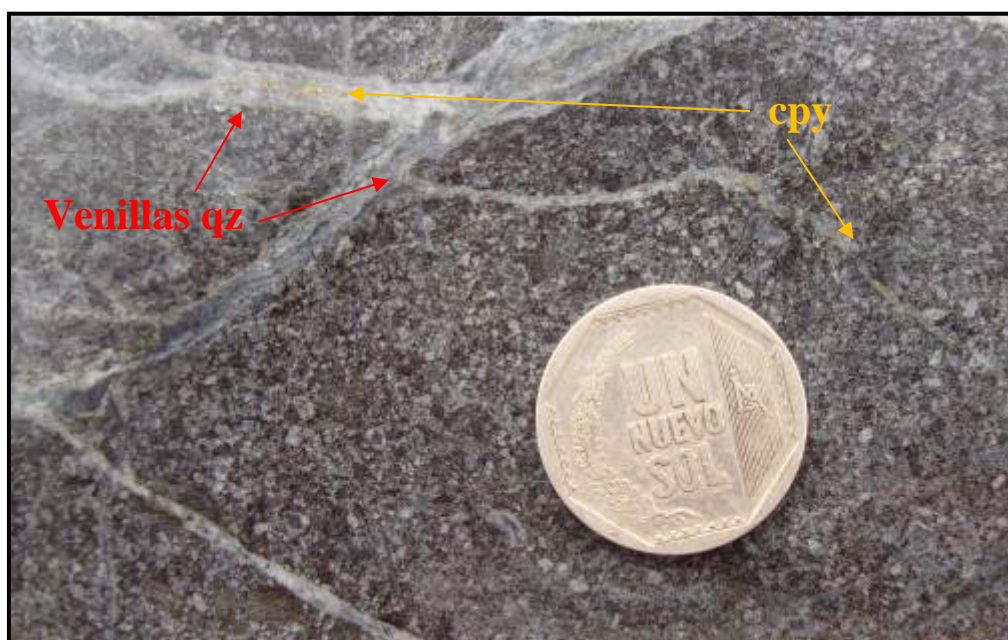
Este evento está relacionado a la intrusión de la microgranodiorita principal (T-MGD), que fue la primera en generarse en el sistema porfirítico. En ella se desarrolla una alteración potásica moderada a intensa, predominando la biotita secundaria sobre el feldespato potásico asociado a la magnetita. En este evento se desarrollan venillas de cuarzo, biotita y de magnetita, llegando en algunos sectores hasta de 20%; estas venillas se generaron en varios estadios por las diferentes características que presentan.

Las venillas de cuarzo en su mayoría son tipo A y B, y están compuestas por venillas de cuarzo bandeado  $\pm$  feldespato potásico  $\pm$  magnetita  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita. Éstas venillas en su mayoría están cortando a venillas tempranas de biotita (reemplazada por clorita)  $\pm$  magnetita  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita. A su vez las venillas de magnetita son de generación pre y post que las venillas de cuarzo ya se encuentran cortadas y son cortadas a la vez por las diferentes generaciones de las venillas de cuarzo, donde predominan los ensambles de magnetita – feldespato potásico  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita. Es un importante evento de mineralización en el sistema, con los valores más altos de Au y

Cu de hasta 1.07g/t Au y 0.4% Cu. La presencia de calcopirita y pirita generalmente se presenta en venillas, pero también se presenta de forma diseminada en la matriz.



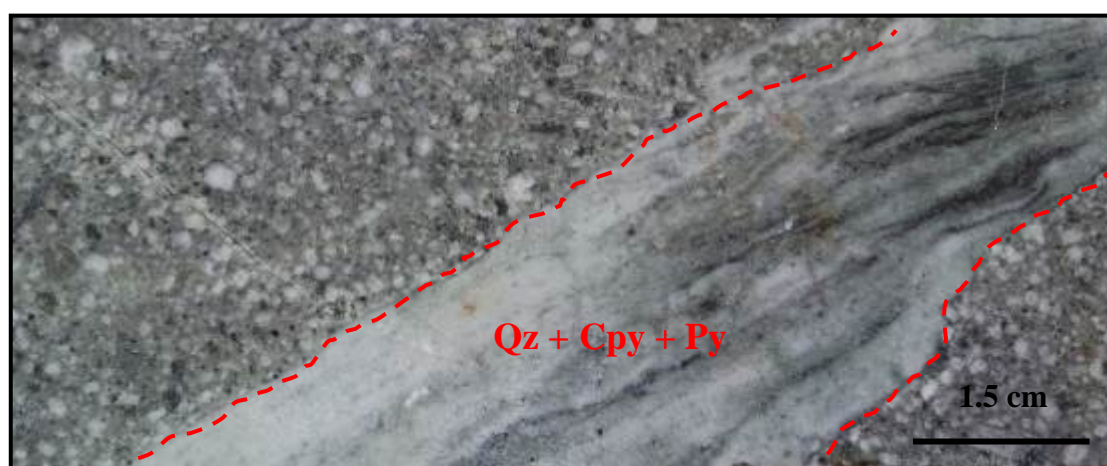
**Foto N° 24:** Fotografía de una muestra de sondaje, nótese la presencia de venillas de magnetita con halos de feldespato potásico, en la microgranodiorita principal (T-MGD), con alteración potásica moderada de feldespato potásico – biotita.



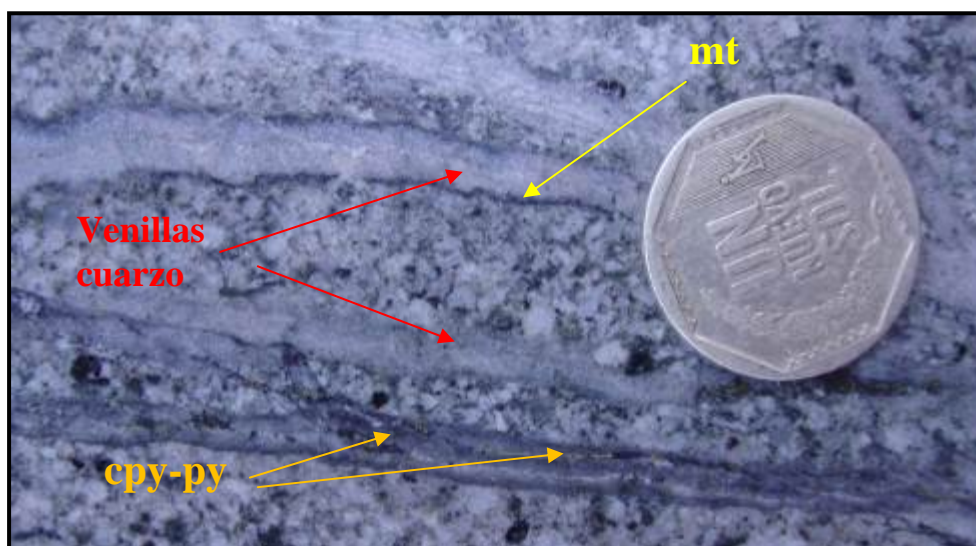
**Foto N° 25:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (212.40m), nótese la presencia de venillas de cuarzo - calcopirita, en la microgranodiorita principal (T-MGD), con alteración potásica intensa de biotita. Contiene 0.7g/t Au; 0.14% Cu.

## Segundo evento

Es el evento que se genera con la intrusión de la microgranodiorita intramineral (T-IGD), con desarrollo de alteración potásica. Ésta también se encuentra afectando a la microgranodiorita principal (T-MGD), debido a que se observa la sobreimposición de esta alteración sobre la alteración potásica inicial y el desarrollo de venillas. Se caracteriza por presentar un menor desarrollado, en la densidad de venilleo a comparación del primer evento. Las venillas tipo A y B son características de este evento con un potencia de hasta 5 cm en promedio. Estas incluyen las de cuarzo-calcopirita-magnetita, cuarzo-feldespato potásico-magnetita, cuarzo-calcopirita-pirrotita, cuarzo-pirita± calcopirita, cuarzo-pirita, clorita-epidota-magnetita±calcopirita y venillas bandeadas de cuarzo-feldespato potásico-calcopirita-magnetita. La mineralización en este evento también se observa en forma diseminada de magnetita-calcopirita-bornita dentro de la matriz. Este evento es sobreimpuesto por una alteración clorítica que se sobreimpone a la alteración potásica.



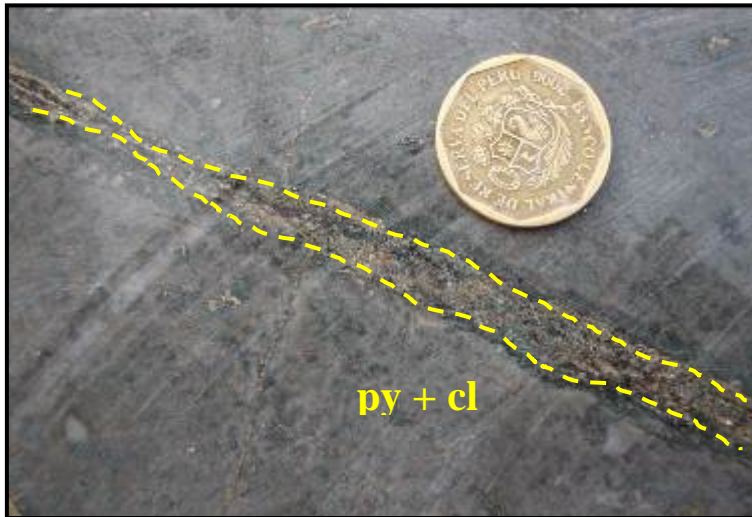
**Foto N° 26:** Fotografía de una muestra de sondaje, nótese la presencia de venilla de cuarzo bandeado con calcopirita y pirita, la microgranodiorita intramineral (T-IGD), presenta alteración potásica débil.



**Foto N° 27:** Fotografía de una muestra de sondaje, nótese la presencia de venillas de cuarzo tipo B principalmente con presencia de pirita y calcopirita en la microgranodiorita intramineral (T-IGD), con alteración potásica moderada.

### **Tercer evento**

Es el último evento reconocido y se presenta en la microgranodiorita intramineral (T-IMGD), con desarrollo de la alteración clorítica. Se caracteriza por presentar el ensamble de clorita-arcillas-pirita±calcopirita. En este evento predomina la pirita sobre la calcopirita. La pirita se presenta en forma disemina y en venillas, en las venillas ocurre con halos de clorita de hasta 2cm de potencia. Se presenta en los halos de alteración potásica. También presenta carbonatos y zeolitas como evento retrógrado, las cuales ocurren rellenando fracturas y espacios abiertos en la matriz. Se presenta como el evento de menor mineralización económica de Au – Cu.

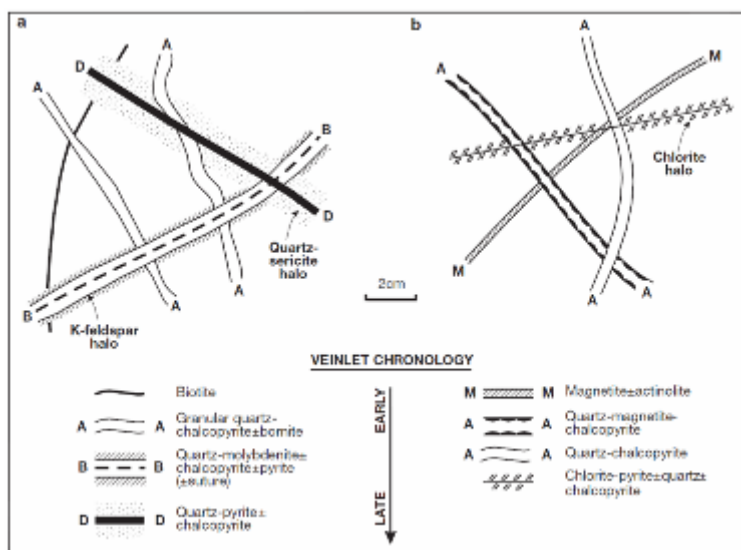


**Foto N° 28:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-001 (212.40m) en la microgranodiorita principal (T-MGD), nótese la intensa alteración clorítica. Venillas de pirita con halo de clorita. Contiene 0.02 gr/t Au y <0.01% Cu.

### 6.3 Tipos de venillas

Se ha realizado este estudio en base al trabajo de Gustafson y Hunt (1975) y de Sillitoe (2010). Se observa que el desarrollo de las diferentes tipos de venillas está relacionado a diferentes fases de las intrusiones del sistema porfírico. Diferentes tipos de venillas presentan mineralización de Au – Cu en diferente grado, las cuales están asociadas al tipo de roca como a la alteración desarrollada.

Se ha realizado la clasificación de venillas en base a la clasificación de Sillitoe (2010), donde se muestra el origen cronológico de estas venillas:



**Figura N° 17:** Esquema de venilleo típico para depósitos porfíricos ricos en oro. Tomado de Sillitoe (2010).



**Foto N° 29:** Fotografía de afloramiento. Se observa el desarrollo de las venillas de cuarzo tipo A, formando un “sheet veins”, dentro de la T-IGD, con desarrollo de alteración potásica moderada de Fk – bt.

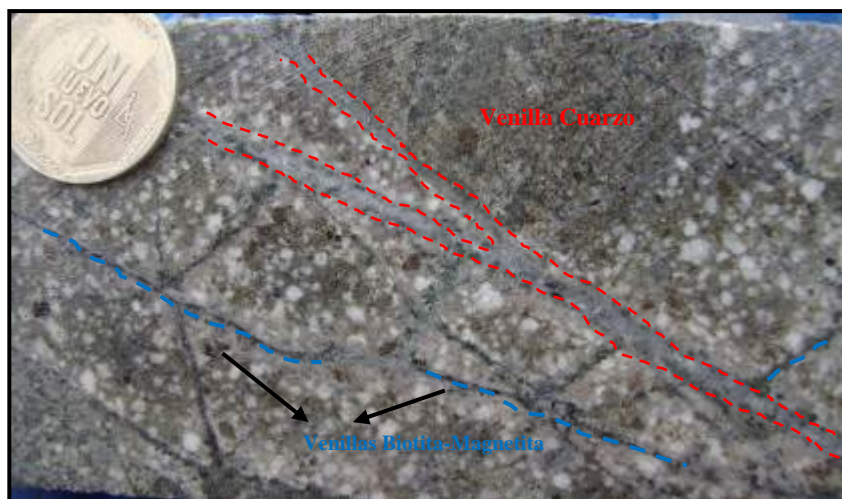
Se ha identificado y clasificado las diferentes tipos de venillas que se generaron en el desarrollo del sistema porfirítico del proyecto Morocha, que a continuación se describe:

- Venillas biotita.
- Venillas magnetita.
- Venillas cuarzo.
- Venillas tardías.

### **6.3.1 Venillas de Biotita (EB)**

Este tipo de venillas son las primeras en desarrollarse en el sistema porfirítico, se puede identificar tanto en la microgranodiorita principal (T-MGD) y en la fase intramineral (T-IGD). Presentan un ensamble de biotita-magnetita-cuarzo±calcopirita, y tiene en promedio 5 mm de espesor. Generalmente se encuentran cortadas por las venillas de cuarzo, magnetita.





**Foto N° 30:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (12.80m). Presenta venillas de biotita cortada por venillas de cuarzo tipo B en la IGD, con alteración clorítica sobreimpuesta a una alteración potásica débil.

### 6.3.2 Venillas de Magnetita (MT)

Se desarrolla tanto en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). Está asociada a la presencia de alteración potásica moderada. Presentan el ensamble de magnetita – feldespato potásico  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita, magnetita-calcopirita y magnetita-feldespato potásico, en promedio presentan hasta 3 cm de espesor. Mayormente se encuentran cortadas por las venillas de cuarzo, pero en algunos sectores se observan lo contrario, lo que indicaría las diferentes generaciones de estas venillas en los diferentes pulsos intrusivos.

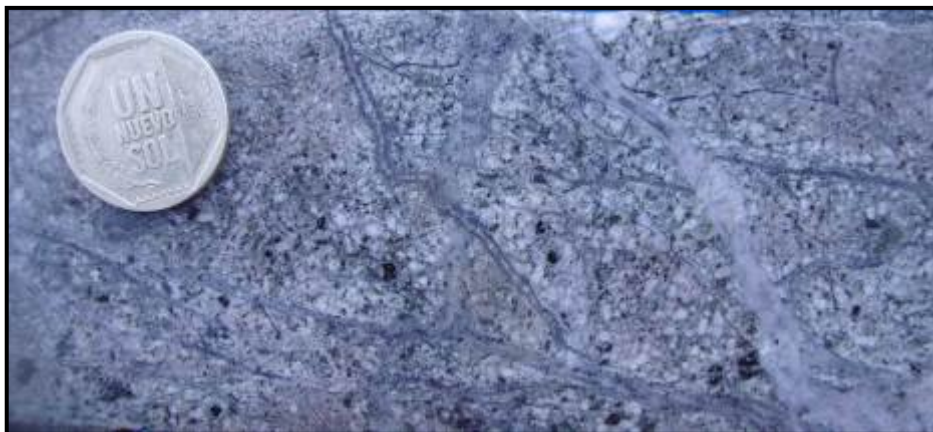


**Foto N° 31:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (127.40m). Presenta venillas de magnetita desplazadas por venillas de cuarzo tipo B, en una intensa alteración potásica. Contiene 0.75ppm Au y 0.29% Cu.

### 6.3.3 Venillas de Cuarzo (QZ)

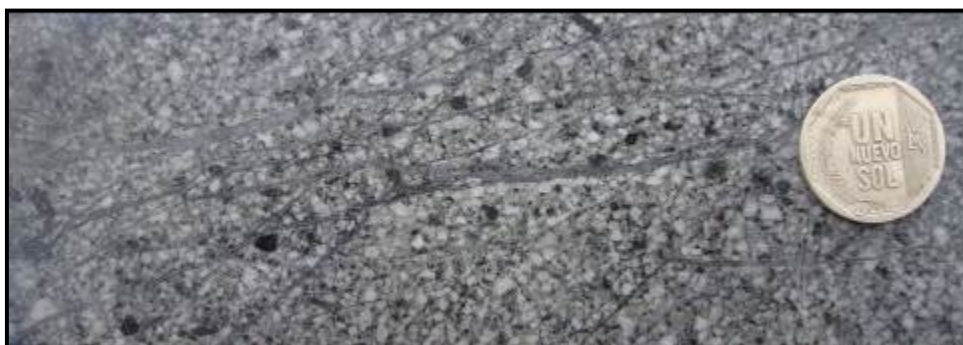
Son las más desarrolladas en el proyecto Morocha, se han identificado varias etapas de generación de venillas de cuarzo en los diferentes pulsos intrusivos, siendo las principales las del tipo A y B. Estas se desarrollan tanto en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD) asociadas con la alteración potásica. Entre los principales ensambles tenemos venillas de cuarzo – feldespato potásico – magnetita  $\pm$  calcopirita, cuarzo  $\pm$  calcopirita, cuarzo – pirita  $\pm$  calcopirita en las del tipo A. Mientras que las de cuarzo – calcopirita – magnetita, cuarzo – calcopirita  $\pm$  pirrotita, cuarzo bandeado – feldespato potásico – calcopirita – magnetita en las del tipo B principalmente.

Las venillas tipo A se caracterizan por presentarse en forma sinuosa de potencias de hasta 5cm, de tonalidades blanquecinas a grises, se encuentran asociadas con magnetita, pirita y calcopirita. Y las venillas tipo B generalmente se presentan en forma continua (rígidas), con potencias de hasta 2 cm en promedio. Presenta tonalidades translúcidas a grises, presentan una asociación de pirita y calcopirita principalmente.



**Foto N° 32:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (69.00m) en la T-IGD. Se observa la generación de múltiples venillas de cuarzo (Tipo A y B). La alteración potásica con feldespato potásico es intensa. Contiene 0.41ppm Au y 0.17% Cu.

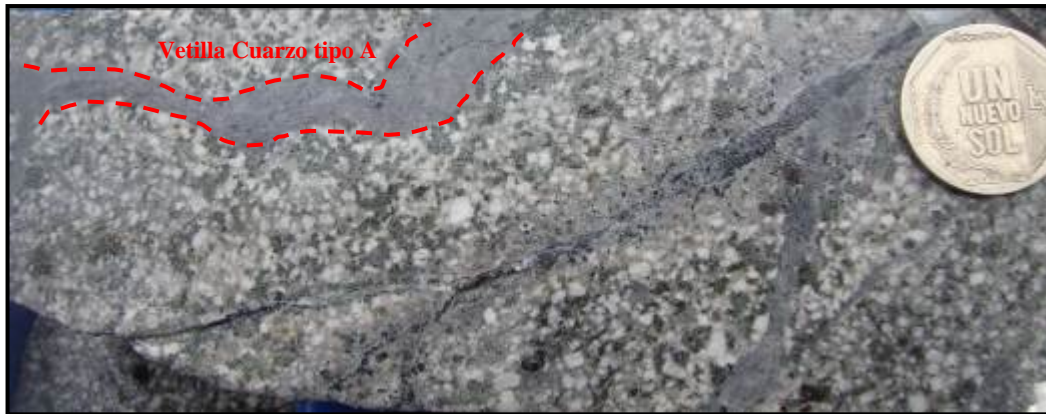
Algunas de ellas se generaron tanto en la fase principal (T-MGD), en la intramineral (T-IGD) como en la fase tardía (T-LGD), decreciendo en su intensidad y en el contenido de mineralización de Au - Cu. En la fase más importante de venilleo se puede observar zonas hasta con 20% de intensidad denominadas zonas de stockwork fuerte, la cual está asociada con una alteración potásica en la fase principal como en la fase intramineral (T-IGD).



**Foto N° 33:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (38.00m) en la T-IGD. Se observa la generación de múltiples venillas de cuarzo del tipo B. Contiene 0.14ppm Au y 0.07%Cu.

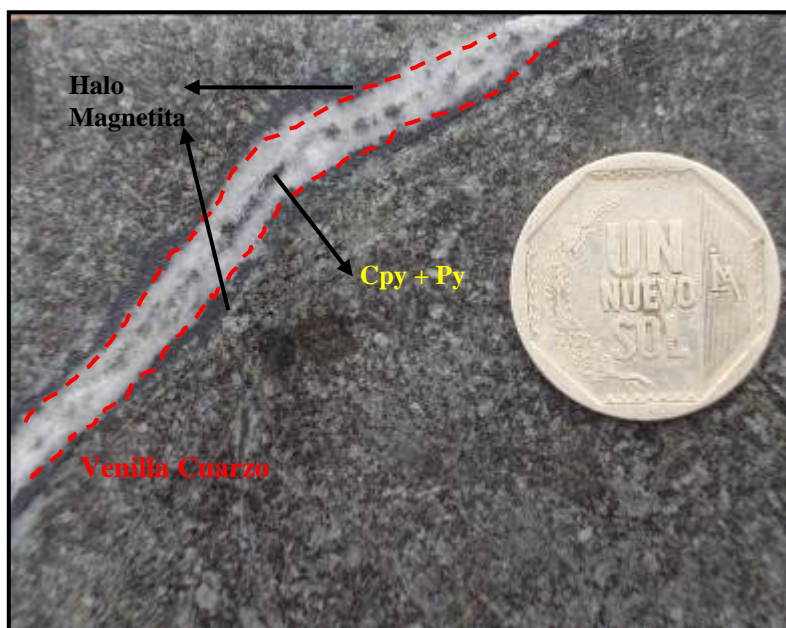
Mayormente predominan las venillas de cuarzo tipo B sobre las de tipo A, pero existen zonas con presencia de venillas de cuarzo tipo A en la fase intramineral (T-IGD)

donde estas predominan, pero la intensidad de venilleo es bajo  $<2\%$ . Se caracterizan por presentar cuarzo - pirita - calcopirita, presentándose con formas sinuosas y un ancho promedio de 2cm.



**Foto N° 34:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (34.00m) en la T-IGD. Se observa la presencia de venilla de cuarzo tipo A. Contiene 0.16 ppm Au y 0.08% Cu.

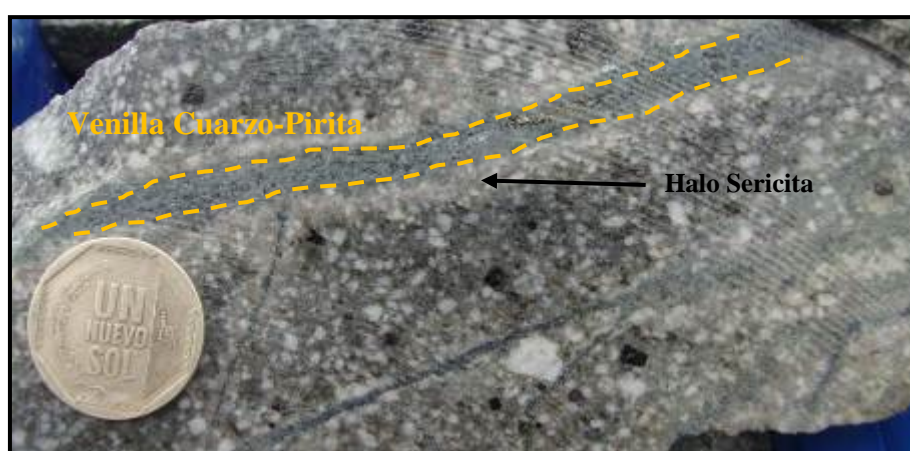
Existen algunas venillas de cuarzo con sutura de sulfuros (calcopirita y pirita) y halos de magnetita, que son menos frecuentes, las cuales se desarrollan en la fase principal (T-MGD), con alteración potásica de biotita.



**Foto N° 35:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (281.30m) en la fase T-MGD. Se observa la presencia de una venilla de cuarzo tipo A con halo de magnetita y con sutura de magnetita y calcopirita. Contiene 0.25 ppm Au y 0.1% Cu.

### 6.3.4 Venillas Tardías (QSP)

Se desarrollan en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). Se caracteriza por presentar el ensamble cuarzo – sericita – pirita. Está asociado con la presencia de la alteración clorítica, la cual se superpone a la alteración potásica inicial. A su vez se encuentran cortando a todas las venillas antes descritas, siendo su ocurrencia poco frecuente en el proyecto Morocha.



**Foto N°36:** Fotografía de una muestra del sondaje MOR-002 (13.60m). Venilla de cuarzo-pirita con halo de sericita, ésta venilla se genera a partir de una venilla de magnetita inicial.



**Figura N°18:** Plano de zonamiento de minerales del proyecto Morocha.

## 6.4 Secuencia paragenética

Se ha elaborado la siguiente tabla de secuencia paragenética, tomando en cuenta los diferentes pulsos intrusivos, alteraciones hidrotermales y tipo de venillas, identificados en los trabajos de mapeo, logeo geológico y a observaciones macroscópicas y microscópicas. La tabla N°1 muestra la secuencia de evolución del sistema porfirítico.

	Temprana	Tardía
<b>Fases intrusivas</b>		
Microgranodiorita principal (T-MGD)	██████████	
Microgranodiorita intramineral (T-IGD)		██████████
Microgranodiorita tardía (T-LGD)		██████████
Dique diorítico (T-DDIO)		██████████
<b>Ensambles alteración</b>		
Skarn (Sk)	███	
Silicificación (Si)	███	
Potásica biotita (K_bt)	██████████	
Potásica feldespato-biotita (K_fk_bt)	██████████████████	
Fílica (Fi)		██████████
Clorítica (Cl)		██
<b>Paragénesis venillas</b>		
Biotita temprana (EB)	██████████████████	
Magnetita (MT)	██████████████████	
Stockwork cuarzo (QZ)	██████████████████████████████	
Tardías (QSP)		██████████████████████████████████████
<b>Mineralización</b>		
Au	██████████████████████████████	
Cu	██████████████████████████████	
Mo	██████████	?

**Tabla N°1** Secuencia paragenética mostrando el tiempo de la actividad magmática, hidrotermal y de mineralización en el proyecto tipo pórfido Au – Cu Morocha.

## 6.5 Estudios microscópicos de minerales

La descripción se realizó a partir de secciones delgadas y pulidas utilizando los microscopios NIKON modelo ECLIPSE E200, del Laboratorio de Microscopia de la Universidad Nacional de Ingeniería. Las muestras seleccionadas presentan diferentes contenidos de Au - Cu en las diversas fases intrusivas con distintos grados de alteración potásica principalmente y con presencia de venillas de cuarzo y magnetita, de variada densidad.

Claramente se observa el ensamble de calcopirita – pirita en las venillas de cuarzo tipo A y B, que están presentes en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD) con alteración potásica de feldespato potásico – biotita, estas zonas contienen hasta 1.00 g/t Au y 0-4 % Cu. Asimismo se presenta la pirita y calcopirita en la matriz microcristalina. Ambas se diferencian por el color que presentan, mientras que la pirita presenta un color amarillo pálido la calcopirita presenta un color amarillo intenso característico.

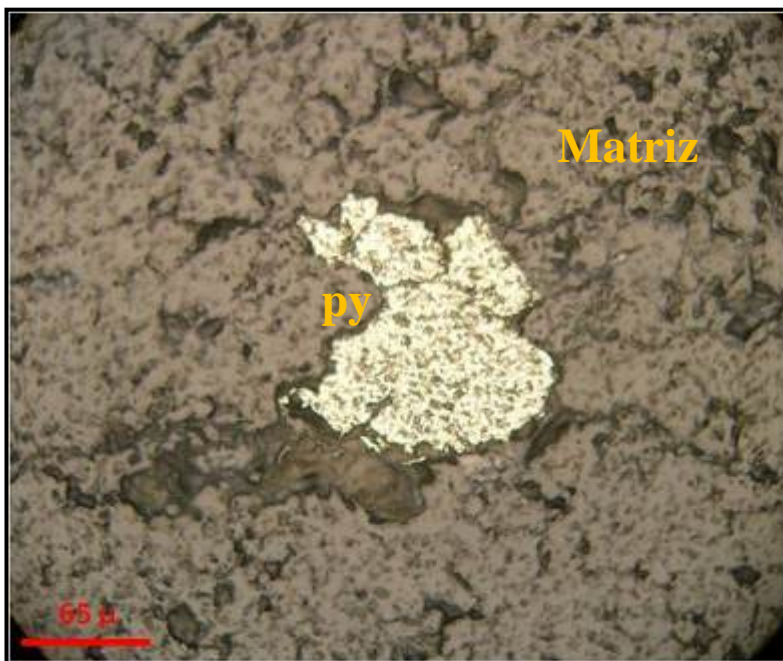
Mientras que la asociación de magnetita – calcopirita se presenta tanto en venillas como diseminada, en algunas zonas se presentan intercrecidos. La magnetita presenta una tonalidad gris metálica bien característica, mientras que la calcopirita presenta una tonalidad amarilla intensa. Se reconoció tanto en la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD), con contenido variable de Au – Cu dependiendo de la intensidad de alteración potásica y de la presencia de venillas de magnetita principalmente.

La presencia de bornita como mineral primario, ocurre en venillas de cuarzo bandeado en la fase intramineral (T-IGD). Tiene una coloración azul pálida en la parte central y una tonalidad rosada en los bordes, siendo reemplaza por calcopirita en forma



parcial. La bornita no presenta un desarrollo importante en el proyecto Morocha a comparación de la pirita y calcopirita.

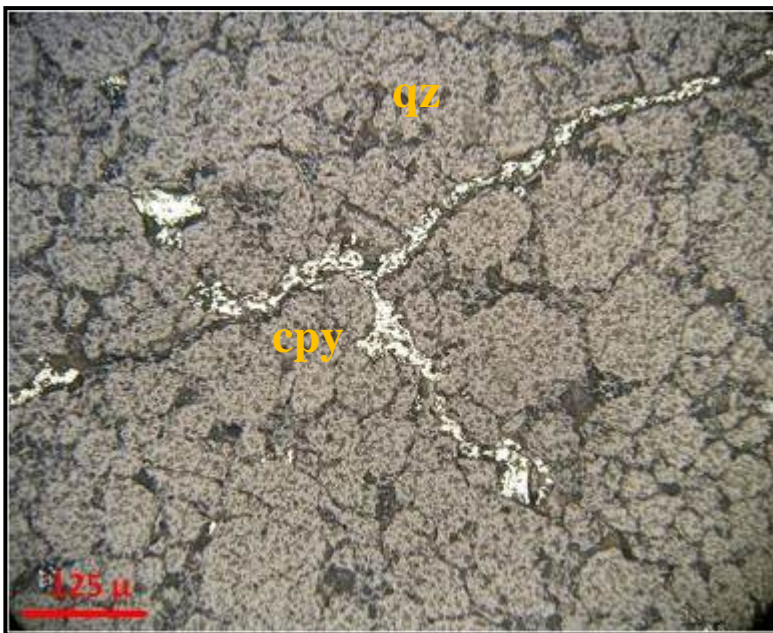
### Descripción de Muestras:



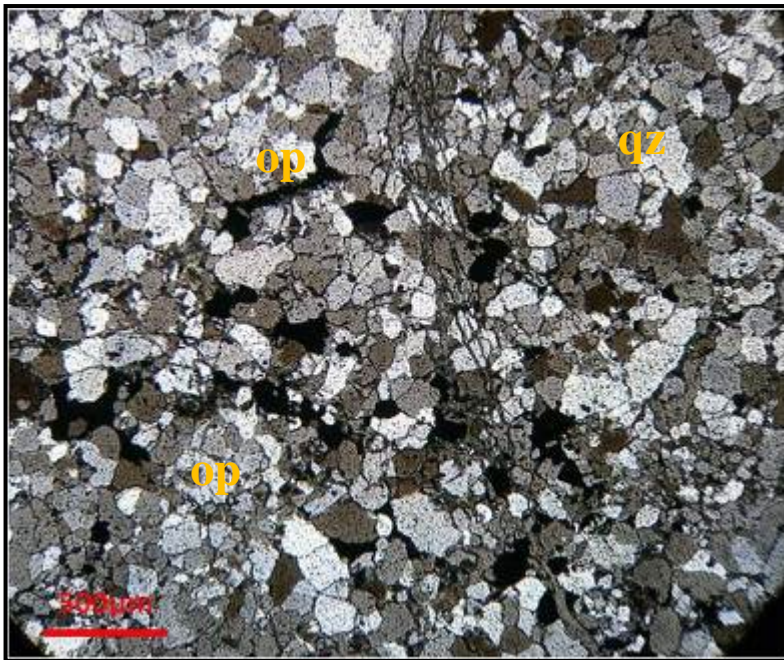
**Fotomicrografía N° 7:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Grano de pirita en matriz de plagioclasa – cuarzo – biotita - feldespato potásico - magnetita de textura fina. (Sección pulida de la foto N°13).



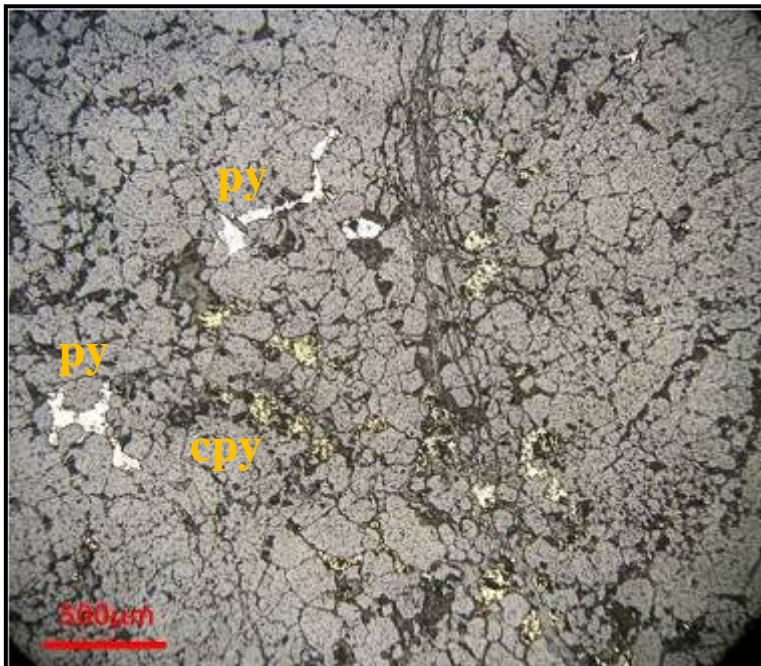
**Fotomicrografía N° 8:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Venilla de cuarzo de textura equigranular, con presencia de minerales opacos (cpy). (Sección delgada de la foto N°22).



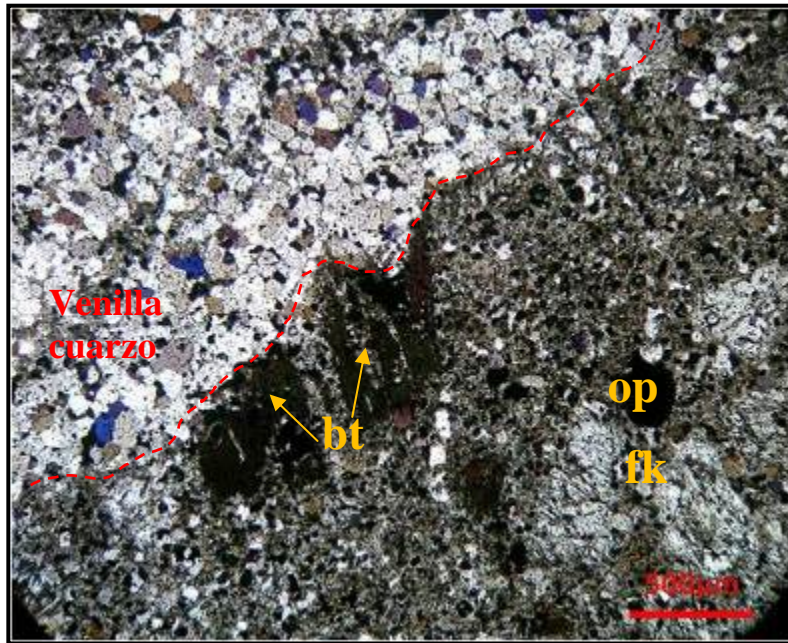
**Fotomicrografía N° 9:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Venilla de calcopirita en vena de cuarzo. (Sección pulida de la fotomicrografía N°7).



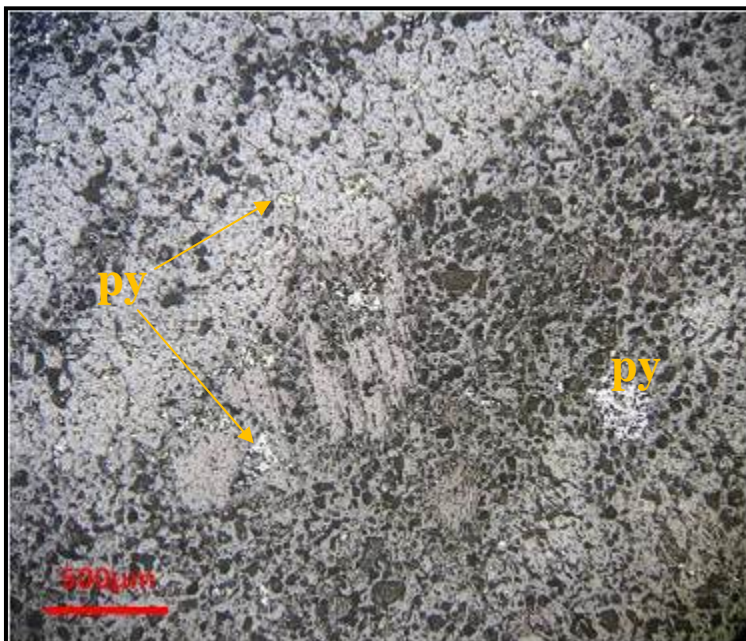
**Fotomicrografía N° 10:** Luz transmitida. Nicoles cruzados. Venilla de cuarzo de textura equigranular, con presencia de minerales opacos (py-cpy). (Sección delgada de la foto N° 37).



**Fotomicrografía N° 11:** Luz reflejada. Nicos paralelos. Presencia de calcopirita y piritita diseminada en venilla de cuarzo. (Sección pulida de la fotomicrografía N°9).



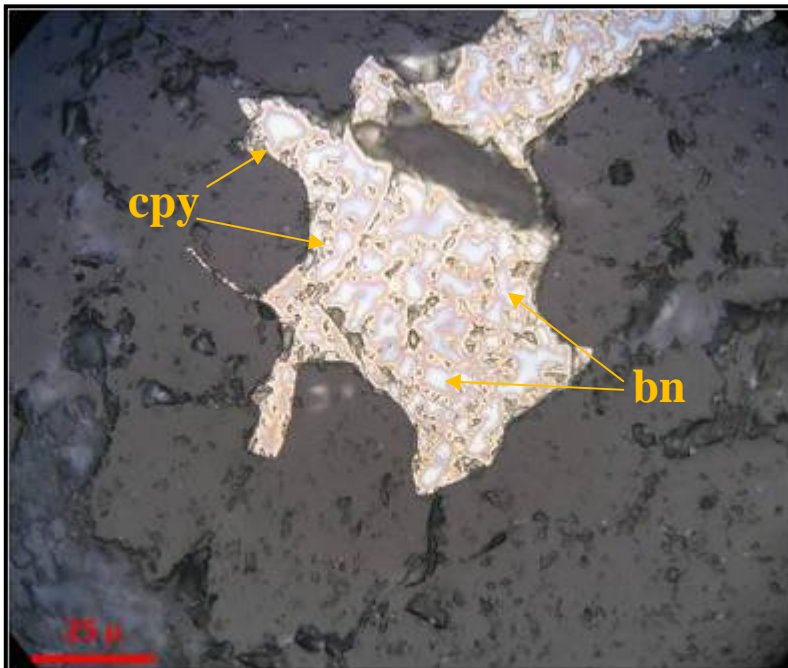
**Fotomicrografía N° 12:** Luz transmitida. Nícoles cruzados. Venilla de cuarzo tipo A de textura equigranular, en la parte superior derecha, fenocristales de biotita y ortosa en matriz microcristalina con presencia de minerales opacos tanto en venilla como en la matriz. (Sección delgada de la foto N° 23).



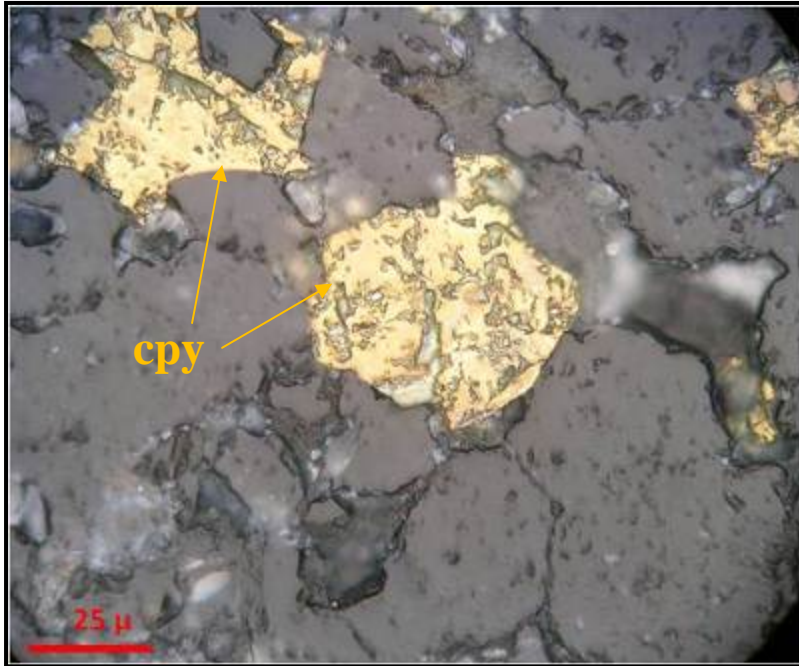
**Fotomicrografía N° 13:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Presencia de pirita en venilla de cuarzo y en la matriz. (Sección pulida de la fotomicrografía N°11).



**Foto N° 37:** Microgranodiorita intramineral (T-IMG) con alteración potásica. Venillas de cuarzo-magnetita-pirita-calcopirita. Muestra de sondaje.



**Fotomicrografía N° 14:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Grano de bornita reemplazado parcialmente por calcopirita en la venilla de cuarzo. (Sección pulida de la foto N°37).



**Fotomicrografía N° 15:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Grano de calcopirita dentro de la venilla de cuarzo. (Sección pulida de la foto N° 37).



**Fotomicrografía N° 16:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Intercrecimientos de magnetita y calcopirita en la matriz microcristalina. (Sección pulida de la foto N° 13).

## Capítulo 7: Geoquímica

### 7.1 Introducción

El análisis de los datos de geoquímica tienen como objetivo identificar las anomalías geoquímicas y cuáles fueron los posibles controles de la mineralización de oro y cobre en el proyecto Morocha. Cabe mencionar que la recolección de muestras de superficie fueron efectuados desde la fase inicial de la exploración geológica en los años 2007 y 2008, hasta las muestras tomadas en la campaña de perforación realizadas en el 2010, todos estos trabajos fueron realizados por el grupo de geólogos de exploración de Minas Conga.

### 7.2 Análisis Estadístico

En el proyecto Morocha se han tomado muestras tanto en la fase de mapeo como en la fase de perforación. En la primera fase se tomó muestras de canales, trincheras, rock chips y algunas muestras selectivas mientras que, los de la segunda fase se muestreó en todos los sondajes, de acuerdo a normas establecidas en geología. Para esto se tomó en cuenta la litología y sus contactos, tipos e intensidades de las alteraciones hidrotermales y venillas, así como también la observación visual del contenido de calcopirita, bornita y pirita.

Etapa de muestreo	Número
Superficie	221
Sondaje	835
<b>Total</b>	<b>1056</b>

**Tabla N° 2:** Cuadro general de las muestras geoquímicas tomadas.

Histogramas

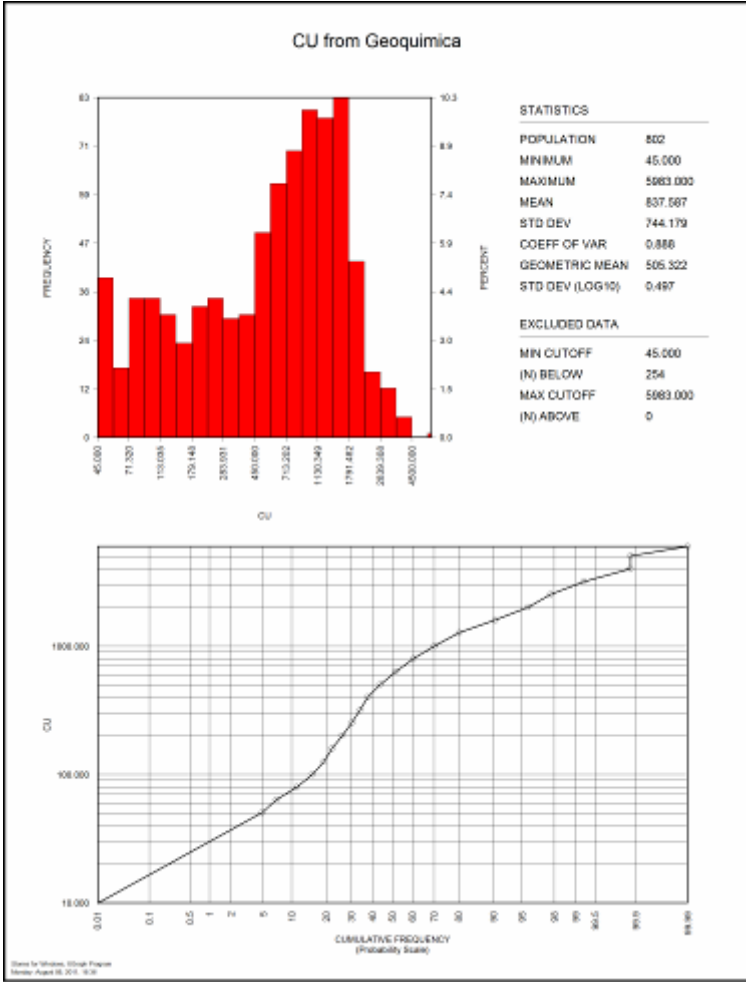
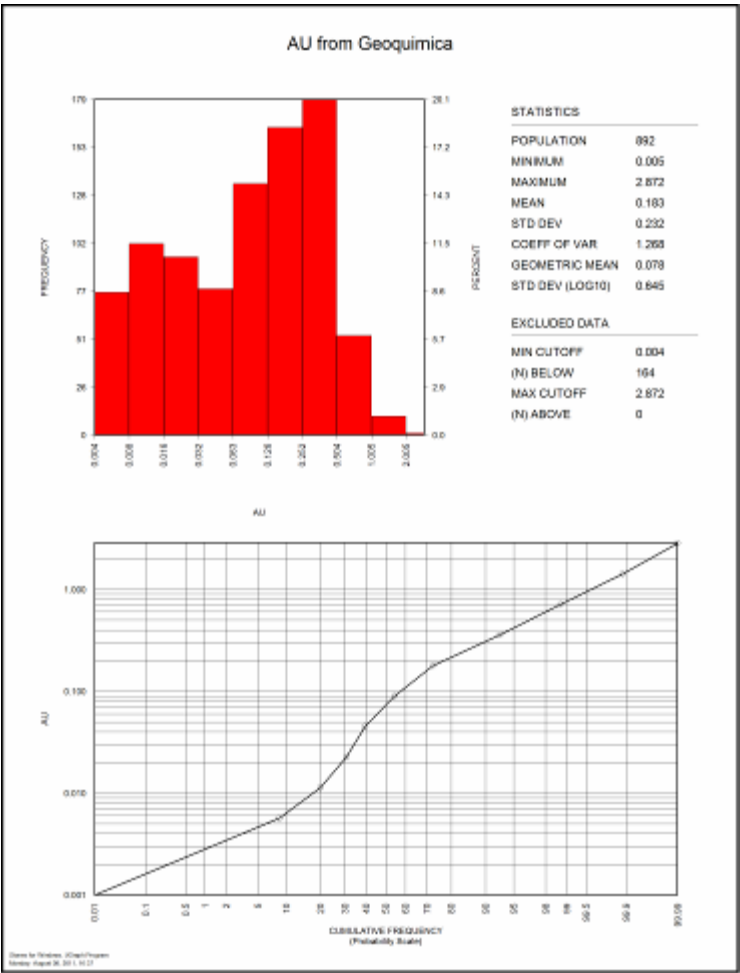


Figura N° 19: Cuadro de histogramas mostrando la distribución de Au y Cu.



## **Análisis de los histogramas**

A partir de estos histogramas de Au y Cu se han establecidos rangos que serán usados para el contorneo geoquímico de planta y sección. Se ha tratado de lograr un histograma unimodal ajustando al eje del espaciamiento de los valores en el histograma, con ello se ha ido variando también la frecuencia acumulativa, para a partir de los cuales establecer los 6 intervalos de clases al 60% de la población total (sugerida por Newmont - N. Mendoza, 2005), porcentaje a partir del cual se consideran valores de los elementos por encima de su distribución normal.

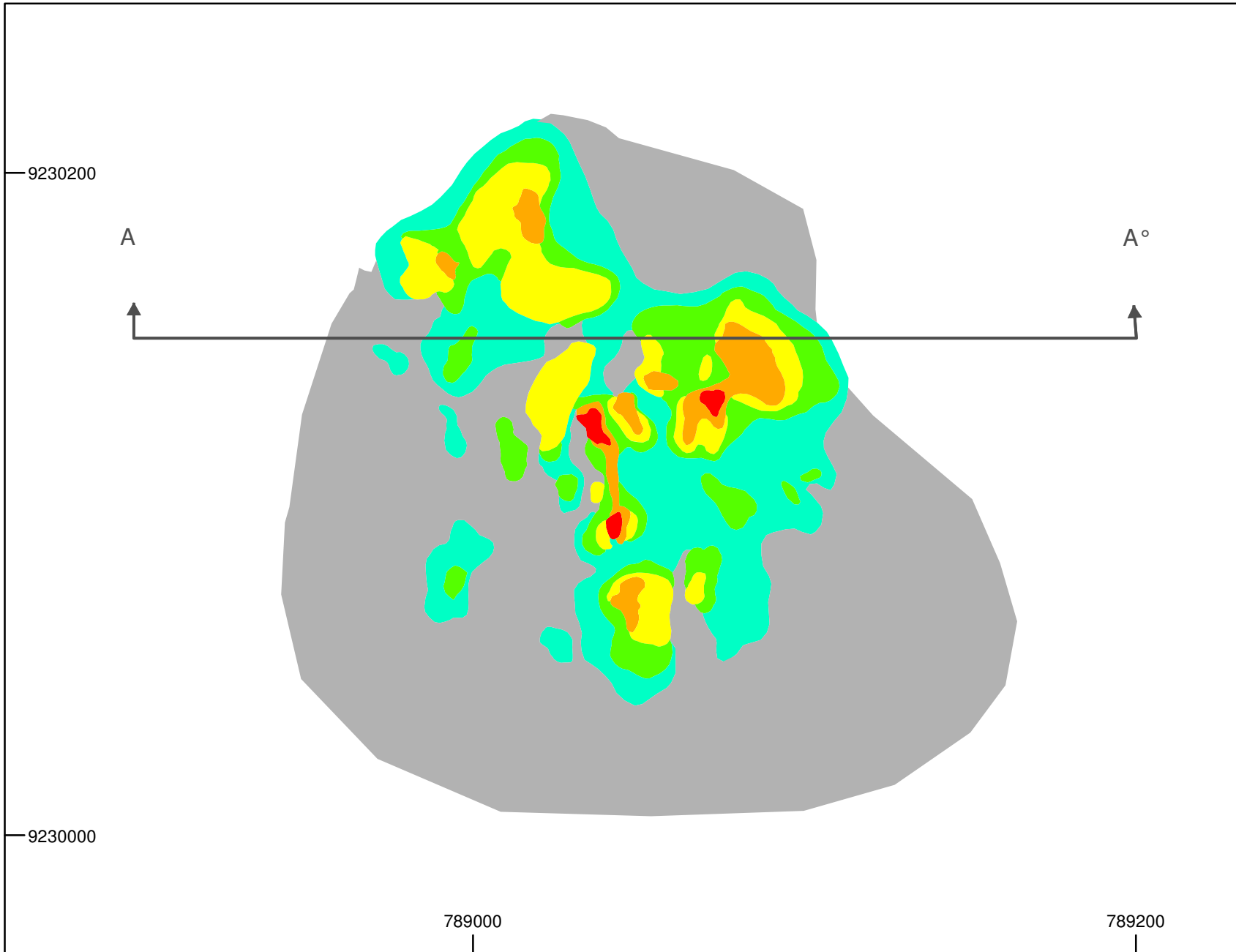
1. **Oro (Au):** El histograma muestra una distribución unimodal mostrando un sesgo hacia los valores bajos. Presentando un valor medio de 0.18 ppm Au asociado principalmente a la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD) y la fase de la brecha intrusiva (T-BXI), relacionada a la alteración potásica, presentando un valor máximo de 2.87 ppm Au asociada a la fase intramineral con alteración fílica con fuerte control estructural.
2. **Cobre (Cu):** El histograma muestra una distribución unimodal homogénea, la cual muestra un sesgo hacia los valores bajos. El valor medio es 0.08% Cu, con un valor máximo de 0.59 % el cual muestra una buena correlación con el Au.

## 7.3 Geoquímica

### 7.3.1 Interpretación de planos y secciones geoquímicas

Estos planos geoquímicos de isovalores fueron elaborados por interpretación de la geoquímica tomando como base la litología y alteración, todas las muestras equivalen a afloramientos de rocas y muestras de sondajes CORE (02) y RCD (04). A continuación se muestran las principales anomalías:

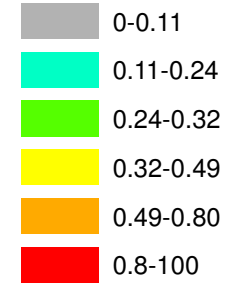
**Oro (Au):** Los valores mayores a 0.11 ppm Au muestran una ligera orientación hacia el NNW en un área de 180 m x 100 m en planta y está asociado con la microgranodiorita intramineral (T-IGD) con alteración potásica con contenido de venillas de cuarzo y venillas de magnetita. Los valores mayores a 0.32 ppm Au presentan una tendencia similar NNW dentro de la fase intramineral (T-IGD) con alteración potásica de feldespato potásico – biotita en una zona de 3 a 5 % de venillas de cuarzo. La fase tardía (T-LGD) y la fase de brecha (T-BXI) presentan valores muy bajos en superficie. Asimismo en profundidad los valores continúan hasta 250 m, presentándose los valores más altos de hasta 2.87 ppm Au en la microgranodiorita principal (T-MGD) con alteración potásica de biotita y en la brecha intrusiva (T-BXI) con 1.17 ppm Au. Estos valores altos de la fase principal son discontinuos ya que la fase principal se presenta como bloques dentro de la fase intramineral (T-IGD). Mientras que la brecha (T-BXI), presenta fragmentos tanto de la fases principal e intramineral como fragmentos de skarn mineralizados.



### LEYENDA

Geoquímica

Au ppm



Linea de sección A - A°

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MINERA YANACOCHA S.R.L.

Plano Contornos Geoquímicos  
Au ppm

AUTOR: MIGUEL ALIAGA

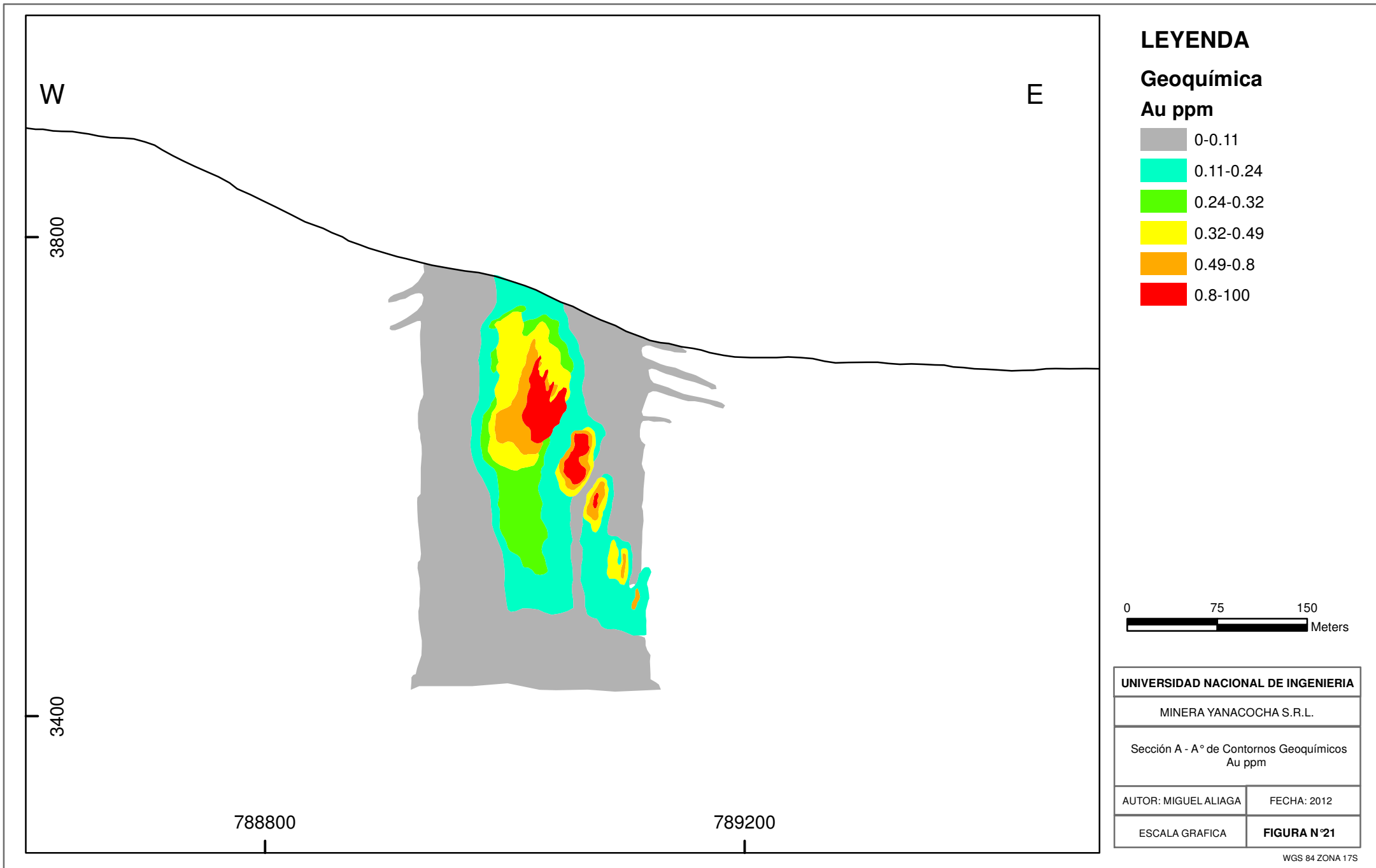
FECHA: 2012

ESCALA GRAFICA

FIGURA N°20

WGS 84 ZONA 17S

Figura N°20: Plano contornos geoquímicos Au del proyecto Morocha.



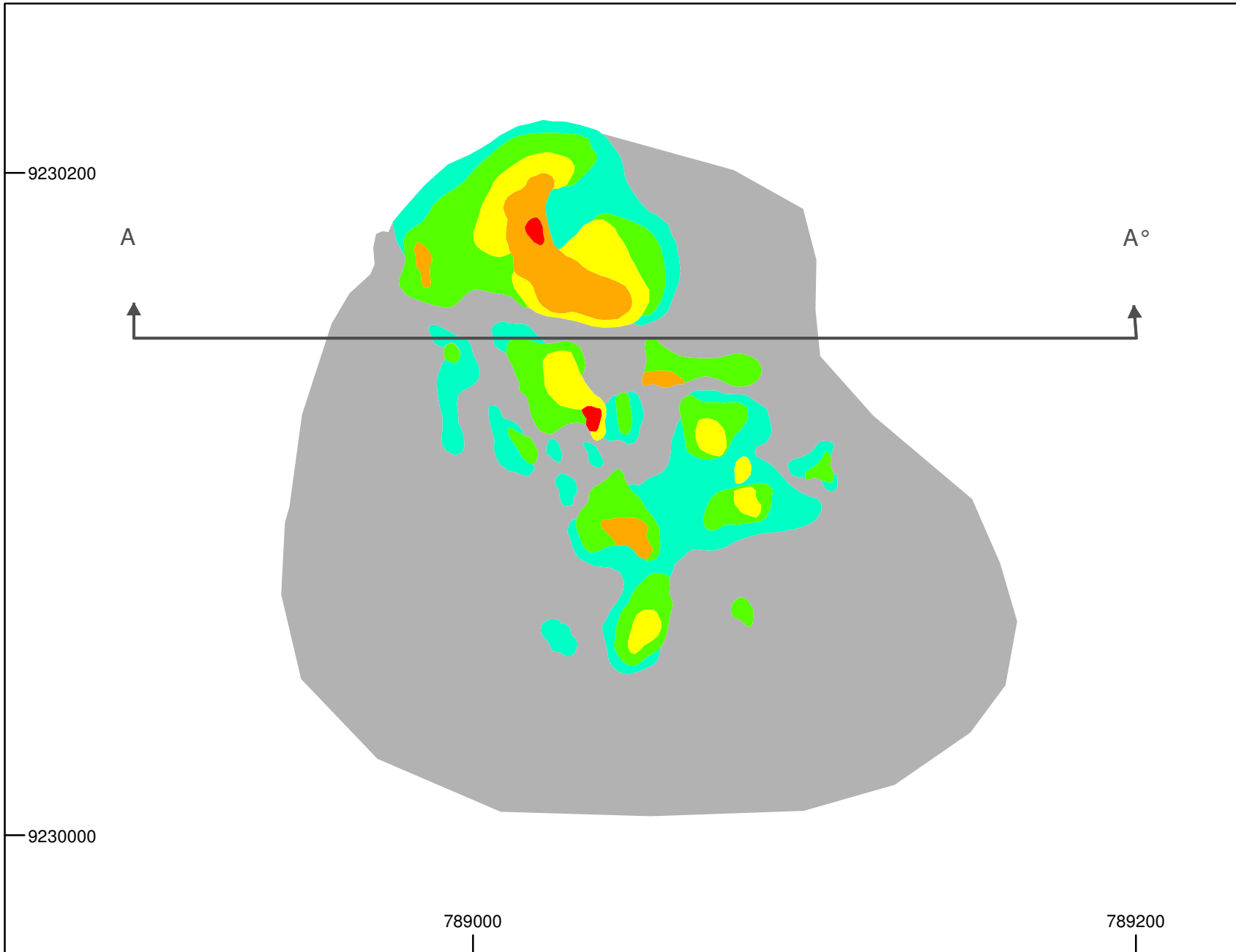
**Figura N°21:** Sección contornos geoquímicos Au del proyecto Morocha.

**Cobre (Cu):** Los valores por encima de 800 ppm Cu al igual que el oro muestran una ligera tendencia al NNW en un área de 160 m x 70 m. Los valores mayores a 1250 ppm están relacionados a la presencia de venillas de cuarzo – calcopirita – pirita en la parte norte en la fase intramineral (T-IGD). Mientras que, la fase tardía (T-LGD) y la fase de brecha (T-BXI) no presentan valores anómalos de cobre, ya que en estos afloramientos el sulfuro que predomina es la pirita, presentándose la calcopirita de manera menos frecuente.

En profundidad los valores mayores a 800 ppm Cu se encuentran hasta los 260 m. Los valores más altos están relacionados a la fase principal (T-MGD) y a la brecha intrusiva (T-BXI) con valores de hasta 3978 ppm Cu en la fase principal y 4295 ppm Cu en la fase de la brecha.

El oro y el cobre presentan buena correlación tanto en superficie como en profundidad relacionada a las fases principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). La brecha intrusiva (T-BXI) en superficie no presenta valores anómalos debido a que no se observa fragmentos de las fases tempranas, sino predominan de la fase tardía (T-LGD), mientras que en profundidad los valores son altos debido a que aumenta la concentración de fragmentos de las fases tempranas.

El proyecto presenta un ratio de Au: Cu de 3:1 en las diferentes fases intrusivas, que es similar a los depósitos de Chailhuagón y Perol dentro del distrito de Minas Conga.



**LEYENDA**

**Geoquímica**

**Cu ppm**

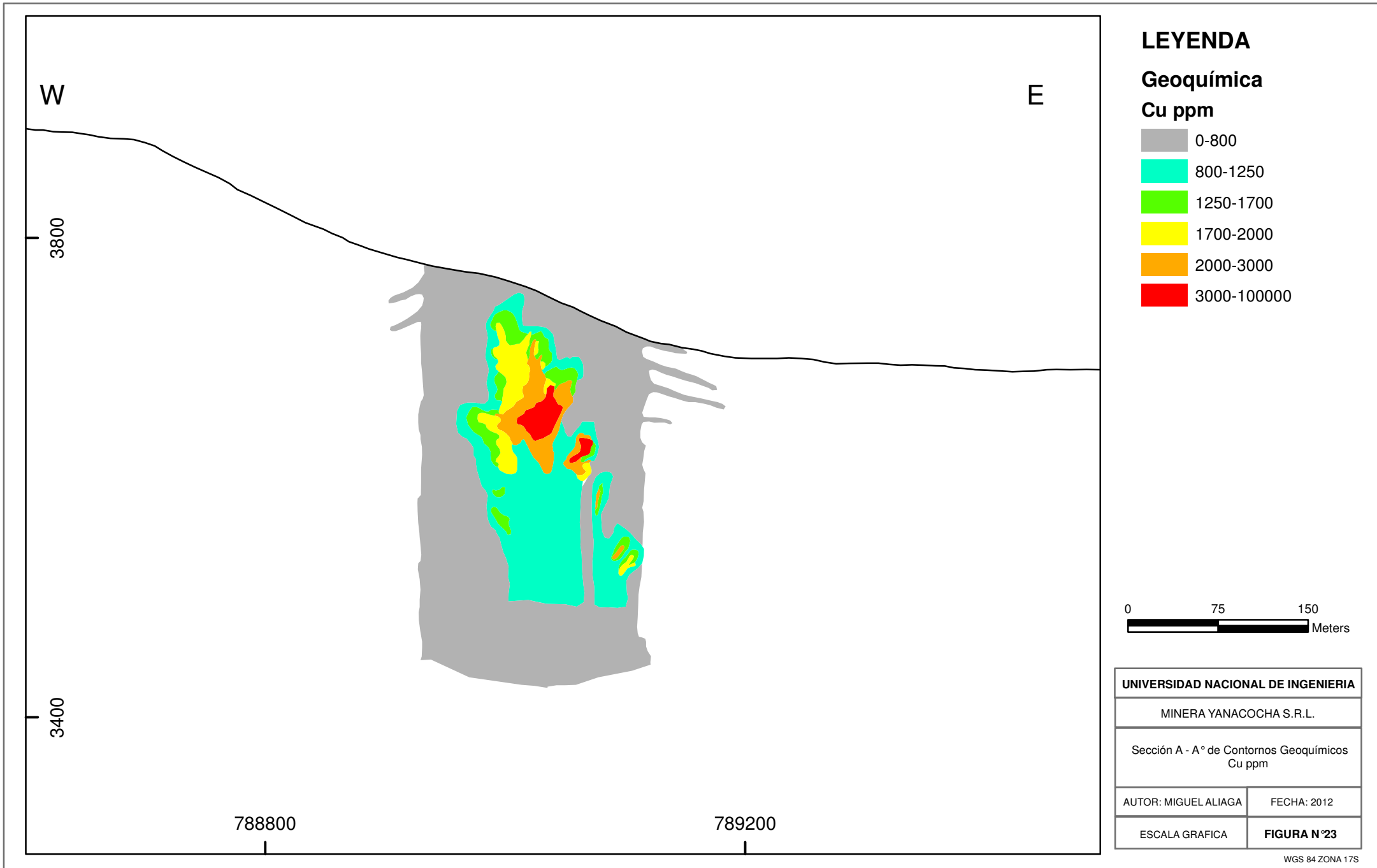
- 0-800
- 800-1250
- 1250-1700
- 1700-2000
- 2000-3000
- 3000-10000

Linea de sección A - A°

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
MINERA YANACOCHA S.R.L.	
Plano Contornos Geoquímicos Cu ppm	
AUTOR: MIGUEL ALIAGA	FECHA: 2012
ESCALA GRAFICA	<b>FIGURA N°22</b>

WGS 84 ZONA 17S

**Figura N°22:** Plano contornos geoquímicos Cu del proyecto Morocha.

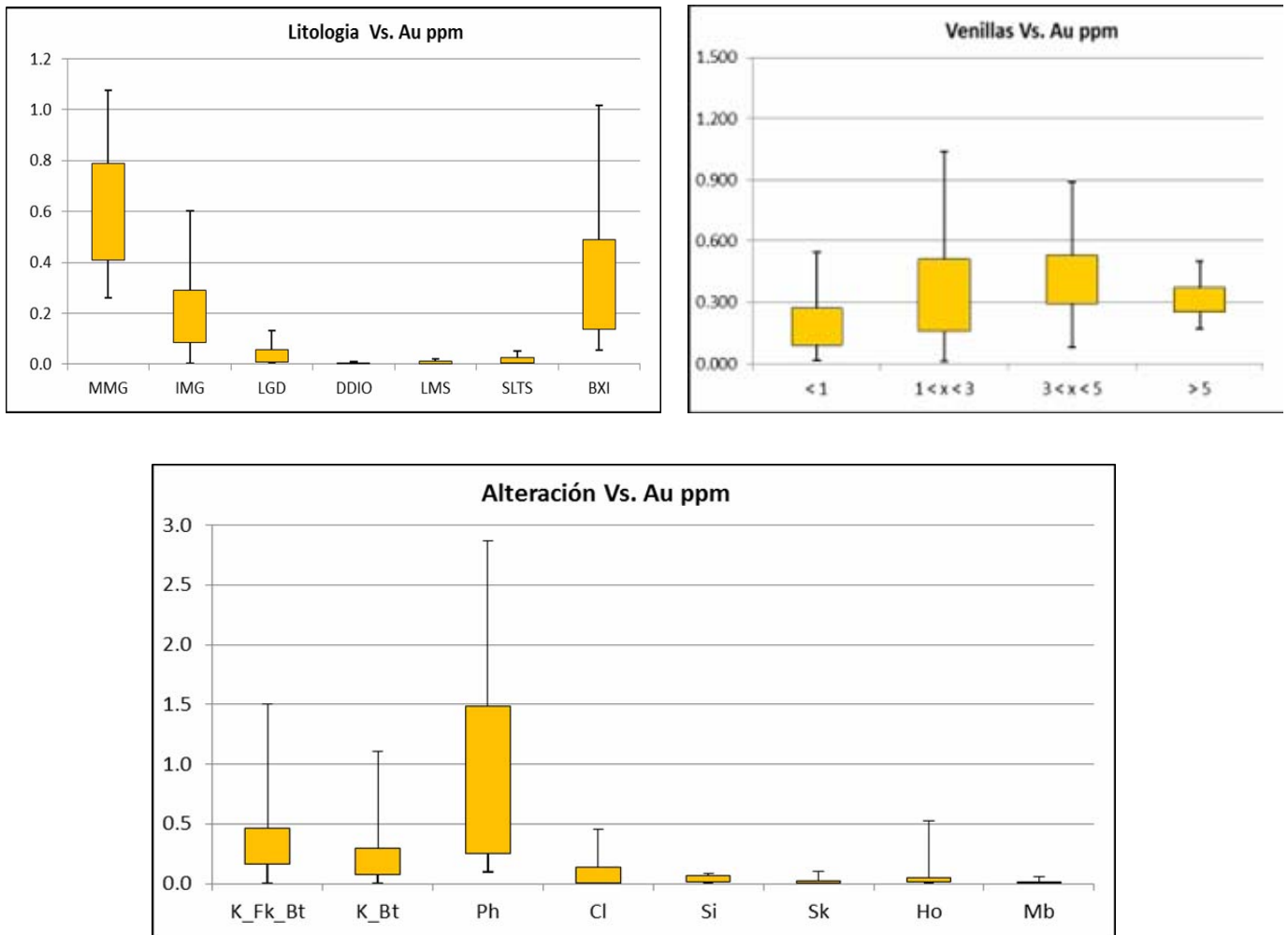


**Figura N°23:** Sección contornos geoquímicos Cu del proyecto Morocha.

#### 7.4 Tratamiento estadístico de resultados

Se han elaborado cuadros estadísticos para los elementos de Au y Cu, realizados tanto para litología, alteración y concentración de venillas considerando las muestras de superficie de sondajes.

**Au:**



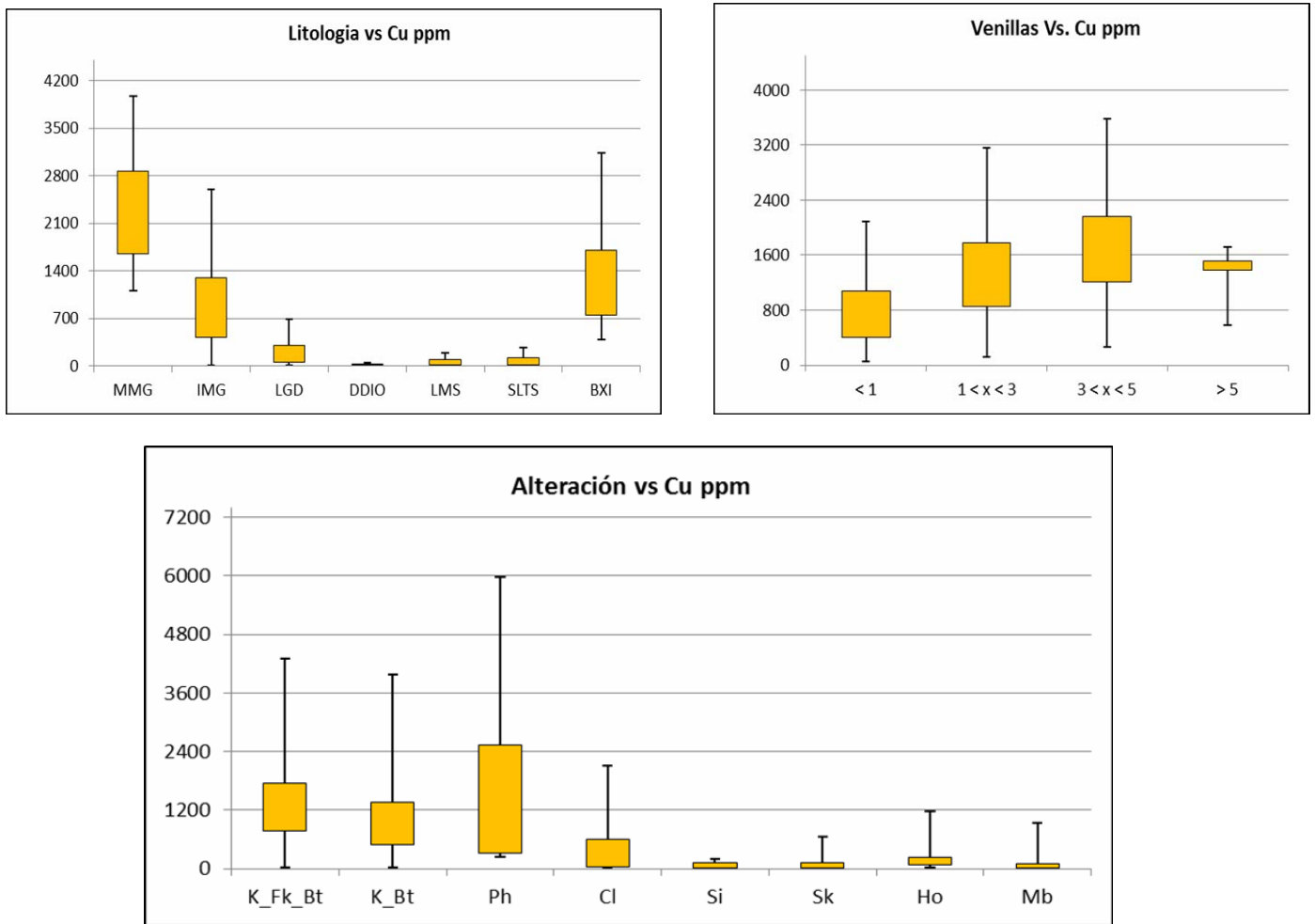
**Figura N° 24:** Cuadros estadísticos de la distribución de Au en los diferentes campos.



Dentro de la litología se observa claramente la disminución en el contenido de Au desde la fase temprana hasta la fase tardía. La fase de la microgranodiorita principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD) presentan los valores más altos de oro en un rango de 0.4 – 0.8 ppm Au en la fase principal y de 0.1 – 0.3 ppm Au en la fase intramineral. La brecha (T-BXI) presenta valores entre 0.18 – 0.47 ppm Au en promedio debido a la presencia de fragmentos de las fases principal e intramineral.

En las alteraciones hidrotermales la alteración más importante es la filica con valores entre 0.35 – 1.5 ppm Au, la cual ocurre de manera restringida en el proyecto Morocha asociado a estructuras. La alteración potásica de feldespatos potásicos – biotita y de biotita varía en un rango de 0.05 – 0.48 ppm Au relacionado a las fases principal e intramineral. Las demás alteraciones presentan valores muy bajos, donde la alteración clorítica presenta valores de hasta 0.2 ppm Au en promedio.

Dentro de las venillas se han considerado tanto las venillas de cuarzo como las de magnetita. Los valores entre 0.3 – 0.5 ppm Au están relacionados a una intensidad de venilleo entre 1 – 3 %, la cual se da en la fase intramineral (T-IGD) con alteración potásica de feldespatos potásicos – biotita.

**Cu:**

**Figura N° 25:** Cuadros estadísticos de la distribución de Cu en los diferentes campos.

Los resultados para el Cu son muy similares a los obtenidos en el Au, ya que estos presentan una buena correlación.

La fase principal (T-MGD) presenta los valores más altos que están en un rango entre 2000 - 2800ppm Cu. Tanto la fase intramineral (T-IGD) y tardía (T-LGD) presentan valores más bajos que la principal, diferenciándose ambas por el menor contenido que ocurre en la tardía que varía entre 45 - 300ppm Cu. La fase de brecha intrusiva (T-BXI) presenta valores entre 720 - 1600ppm Cu debido a que contiene fragmentos de la fase principal (T-MGD) que tiene calcopirita en venillas y en forma

diseminada. En las rocas sedimentarias no se observa un contenido importante de Cu, en esta zona predomina la pirita sobre la calcopirita.

La alteración fílica presenta valores entre 400 – 2500 ppm Cu relacionado a la ocurrencia de calcopirita de grano grueso en venillas de cuarzo. Tanto para la alteración potásica de feldespato potásico y biotita los valores son similares entre 500 – 1400 ppm Cu debido al ensamble de magnetita – calcopirita que ocurre en la matriz tanto de la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD).

La ocurrencia de Cu en las venillas es de 800 – 2000 ppm Cu en una intensidad entre 1 – 5 %, relacionado a la ocurrencia de venillas de cuarzo y de magnetita con presencia de calcopirita y bornita en menor proporción.

## Capítulo 8: Geofísica

### 8.1 Introducción

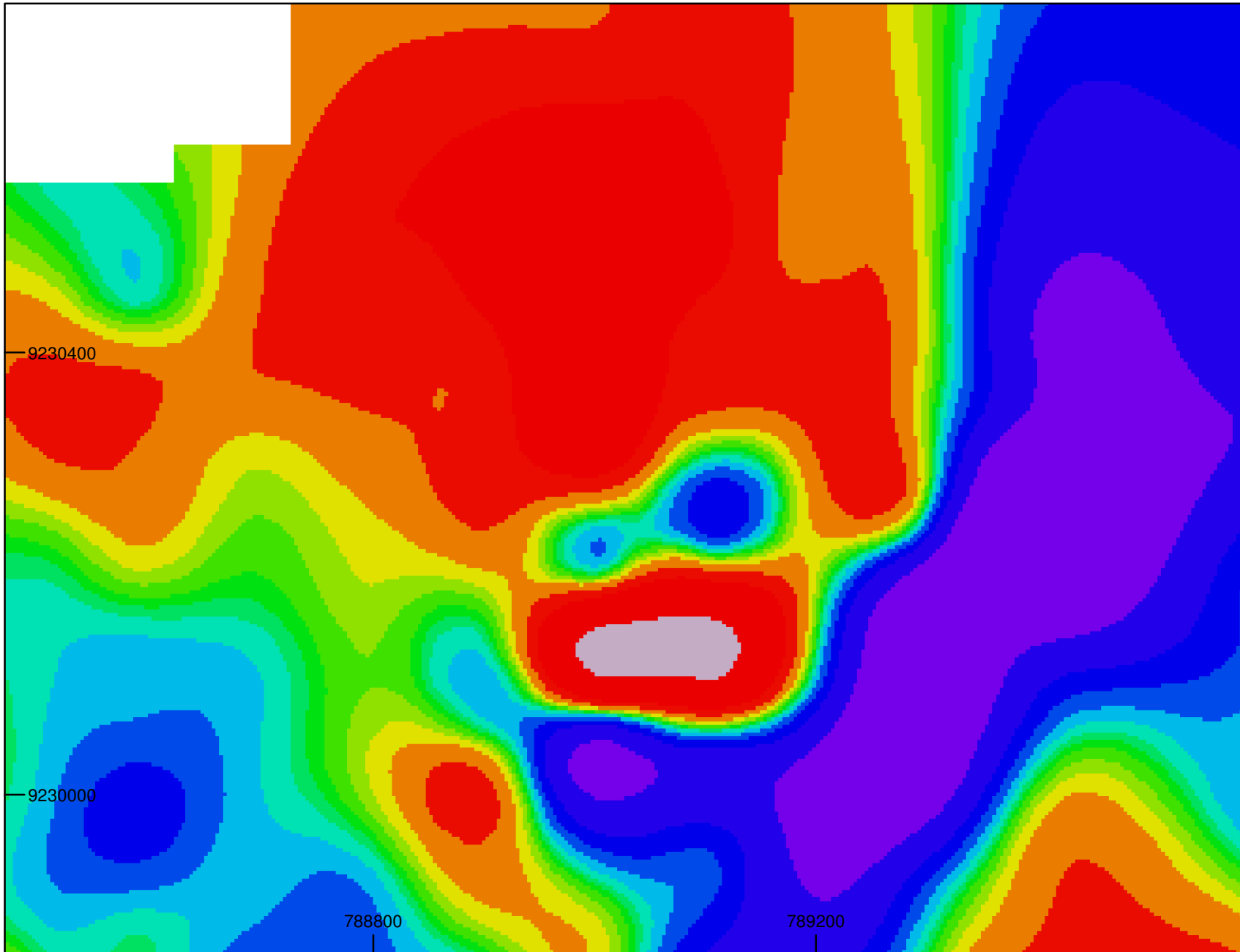
La geofísica realizada en el proyecto Morocha fue realizada en el 2007 y 2008 por Minera Yanacocha S.R.L. Los trabajos consistieron en estudios de magnetismo terrestre (GMAG) y eléctricos de inducción polarizada (IP), que tuvieron por objetivo determinar las zonas con anomalías magnéticas y zonas con anomalías de cargabilidad y con ello definir un patrón geofísico del Pórfido Au – Cu Morocha relacionado a la mineralización.

### 8.2 Magnetismo terrestre (GMAG)

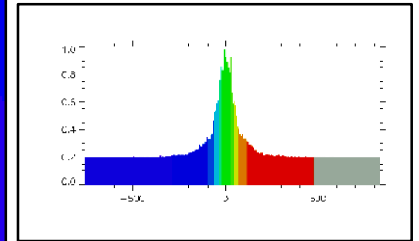
Los resultados del trabajo de GMAG son mostrados en los siguientes estudios: Reducido al Polo (RTP) y Señal analítica (ANSIG). Mediante estos métodos se busca determinar las propiedades magnéticas de las rocas tanto sea el magnetismo remanente o la susceptibilidad magnética. Estas anomalías magnéticas están relacionadas a la mineralización de Au - Cu en sistemas tipo pórfido, donde la magnetita hidrotermal en la alteración potásica puede ser identificada con anomalías magnéticas altas (Terry Hoschke, 2008).

#### **GMAG\_RTP**

Presenta cuatro áreas con anomalía magnética  $>110$  nT, tres de las cuales se encuentran cubiertas o con presencia de rocas sedimentarias, y una de ellas se encuentra en las fases intrusivas con alteración potásica relacionada con mineralización económica de Au – Cu. Dicha área presenta un área de 120 m x 235 m de forma circular con elongación al este-oeste. Esta anomalía muestra similitud con los demás sistemas porfiríticos dentro del distrito Minas Conga, como lo son Amaro y Chailhuagón.



## LEYENDA



0 80 160 Meters

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MINERA YANACOCHA S.R.L.

Plano GMAG RTP

AUTOR: MIGUEL ALIAGA

FECHA: 2012

ESCALA GRAFICA

**FIGURA N°26**

WGS 84 ZONA 17S

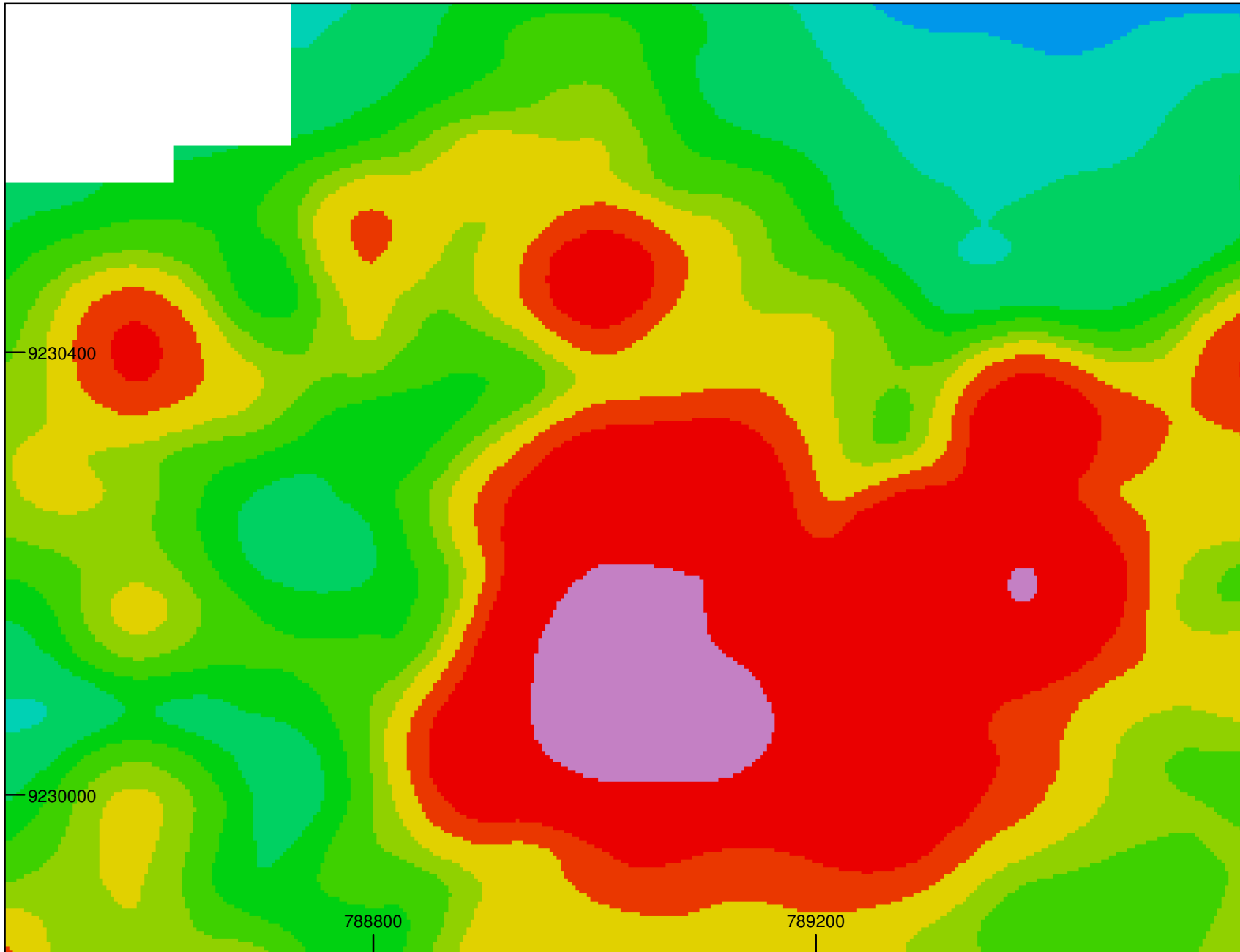
**Figura N°26:** Plano geofísico de GMAG RTP del proyecto Morocha.

La zona presenta buena relación con la alteración potásica en la fase intramineral (T-IGD), la cual consta de magnetita como principal mineral magnético y está asociada a la presencia de mineralización económica de Au – Cu. En los sondajes se evidenció la presencia de fragmentos de skarn de magnetita dentro de la fase de brecha (T-BXI), lo que hace notoria esta anomalía.

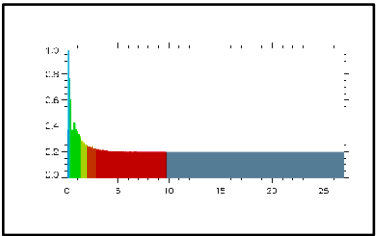
Se observa que la anomalía magnética alta, presenta buena correlación con la presencia de alteración potásica que fue mapeada en superficie con mineralización de Au – Cu. Esta herramienta ayuda a delimitar la extensión del cuerpo magnético, la cual fue evidenciada por los sondajes diamantinos. Dentro del proyecto se observa áreas con anomalías magnéticas altas que se encuentran cubiertas o con presencia de rocas sedimentarias, que en profundidad podrían estar relacionadas a cuerpos intrusivos con mineralización del tipo pórfido Au – Cu. La forma y geometría de la gran mayoría de los cuerpos en esta región del norte del Perú y dentro del distrito de Minas Conga son de forma cilíndrica, lo que nos permite delimitar la forma de los mismos tanto en horizontal como verticalmente.

### **GMAG\_ANSIG**

Presenta un área anómala de 190 m x 180m de forma circular mayor a 10nT, similar a la anomalía magnética del GMAG\_RTP. Esta anomalía muestra similitud con los demás sistemas porfiríticos dentro del distrito Minas Conga, como lo son Chailhuagón, Perol, Chasu, Amaro y Lindero. La zona presenta buena relación con la presencia de alteración potásica, la cual consta de magnetita principalmente y está asociada a la presencia de mineralización económica de Au – Cu.



## LEYENDA



0 80 160 Meters

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MINERA YANACOCHA S.R.L.

Plano GMAG\_ANSIG

AUTOR: MIGUEL ALIAGA

FECHA: 2012

ESCALA GRAFICA

**FIGURA N°27**

WGS 84 ZONA 17S

**Figura N°27:** Plano geofísico GMAG\_ANSIG del Proyecto Morocha.

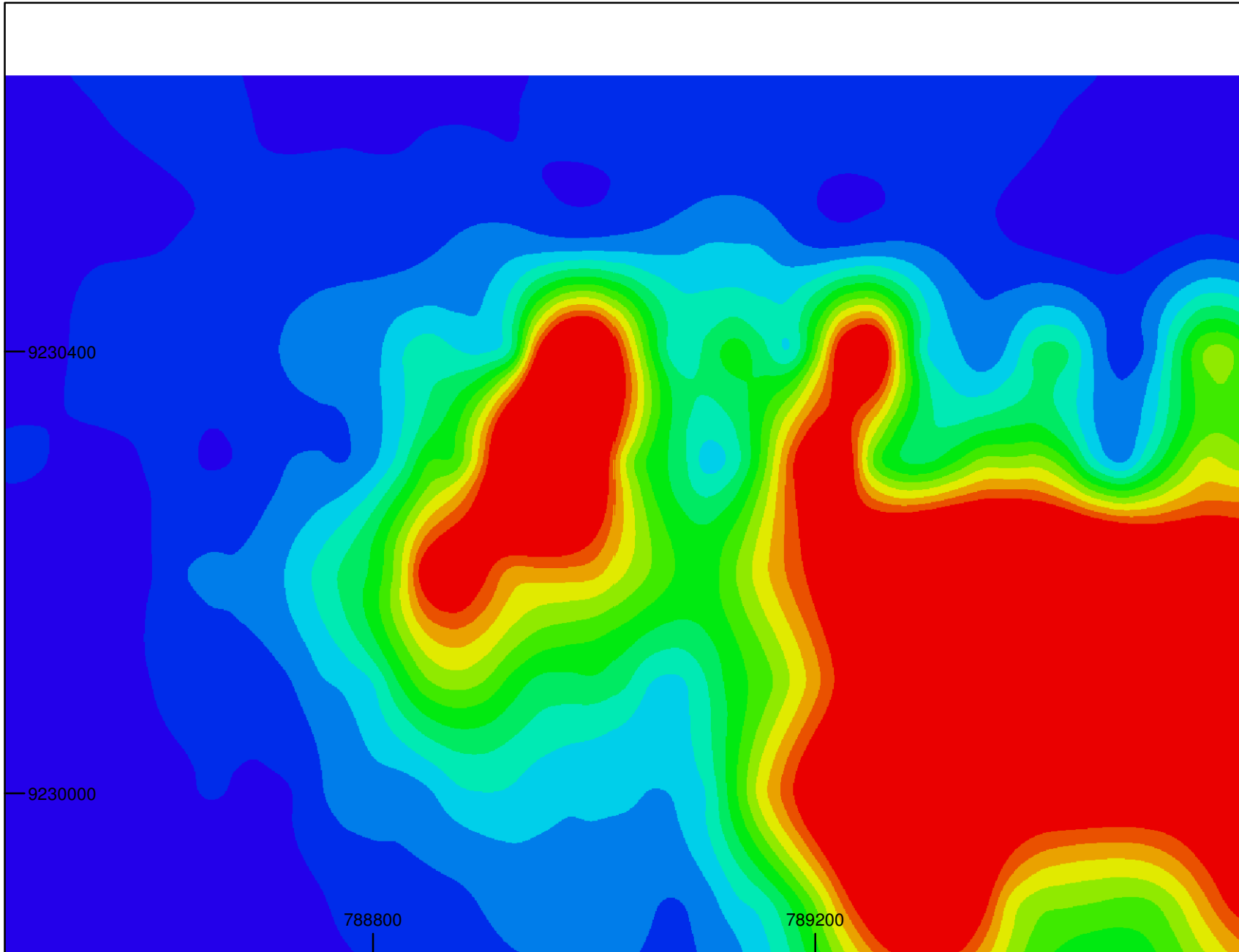
### **8.3 Polarización inducida (IP)**

Los resultados obtenidos se presentan en los estudios de cargabilidad y resistividad, en base a la configuración polo – dipolo (PD). Mediante estos métodos eléctricos se determina si existen variaciones eléctricas en las rocas y minerales, generadas por un campo artificial eléctrico, creado en la superficie por el paso de una corriente en el subsuelo. Esta propiedad eléctrica es aplicada a sistemas tipo pórfido con mineralización de Au – Cu.

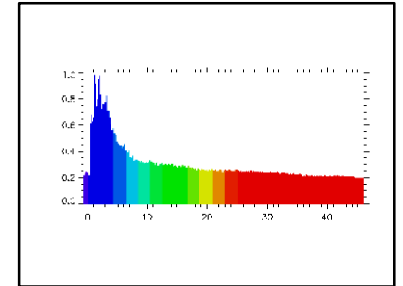
#### **Cargabilidad**

Se presentan zonas con anomalías altas  $> 23$  mV/V, las cuales se ubican en los bordes de las anomalías magnéticas de GMAG\_RTP y GMAG\_ANSIG, en forma de halos. Se observa en estas zonas el incremento de pirita y la disminución de la calcopirita. La parte central es dominada por el ensamble de pirita - calcopirita la cual presenta valores entre 12 mV/V y 19 mV/V. Tanto en superficie como en profundidad, los valores altos  $> 23$  mV/V se presentan en la zona de contacto entre las rocas intrusivas y las sedimentarias, esto obedece a la presencia de pirita  $> 5$  % que ocurre de forma diseminada en el mármol y hornfels.





## LEYENDA



0 80 160 Meters

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MINERA YANACOCHA S.R.L.

Plano IP\_CARGABILIDAD

AUTOR: MIGUEL ALIAGA

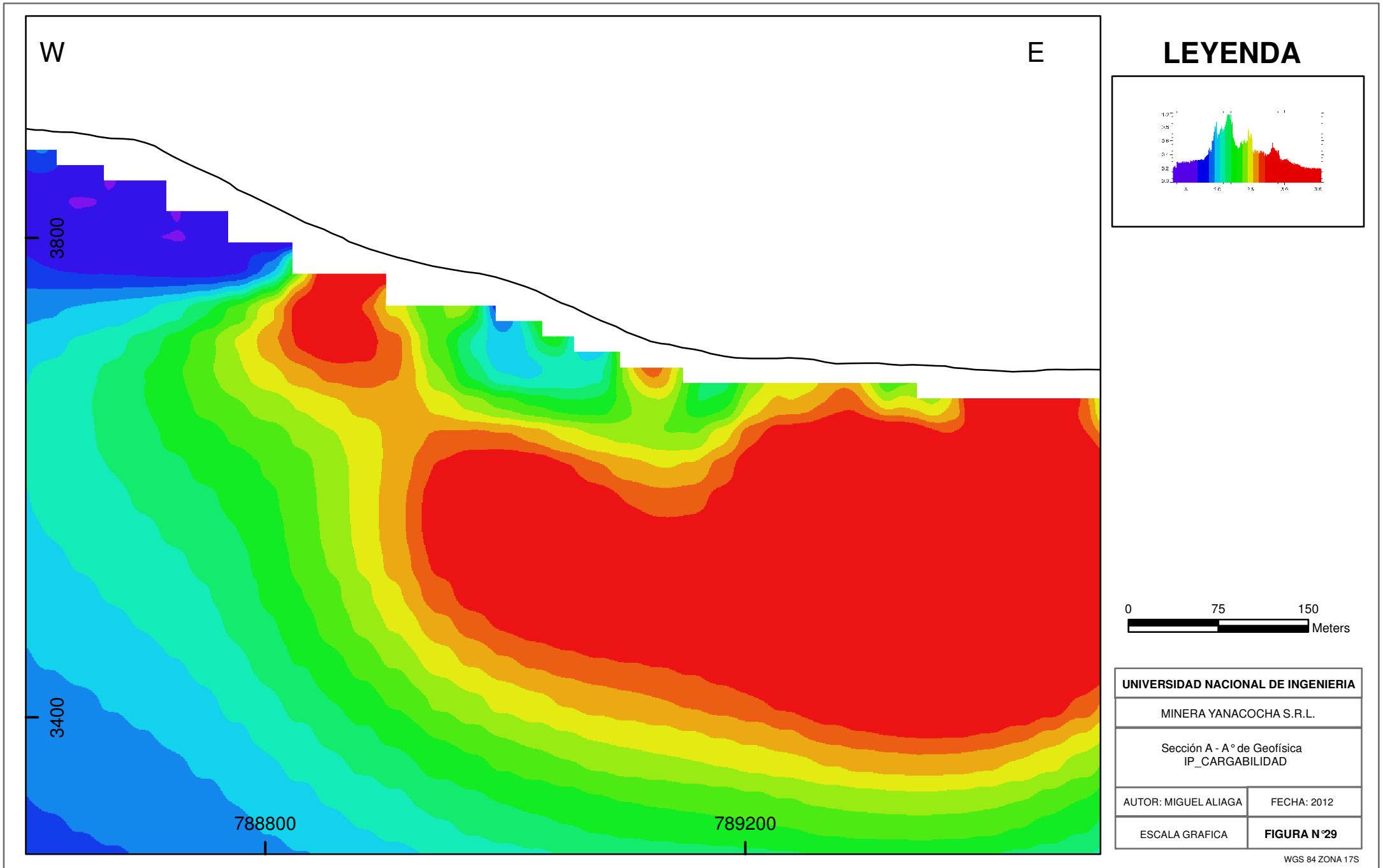
FECHA: 2012

ESCALA GRAFICA

**FIGURA N°28**

WGS 84 ZONA 17S

**Figura N°28:** Plano geofísico de Cargabilidad del proyecto Morocha.



**Figura N°29:** Sección de cargabilidad del Proyecto Morocha.

## **Capítulo 9: Controles de Mineralización**

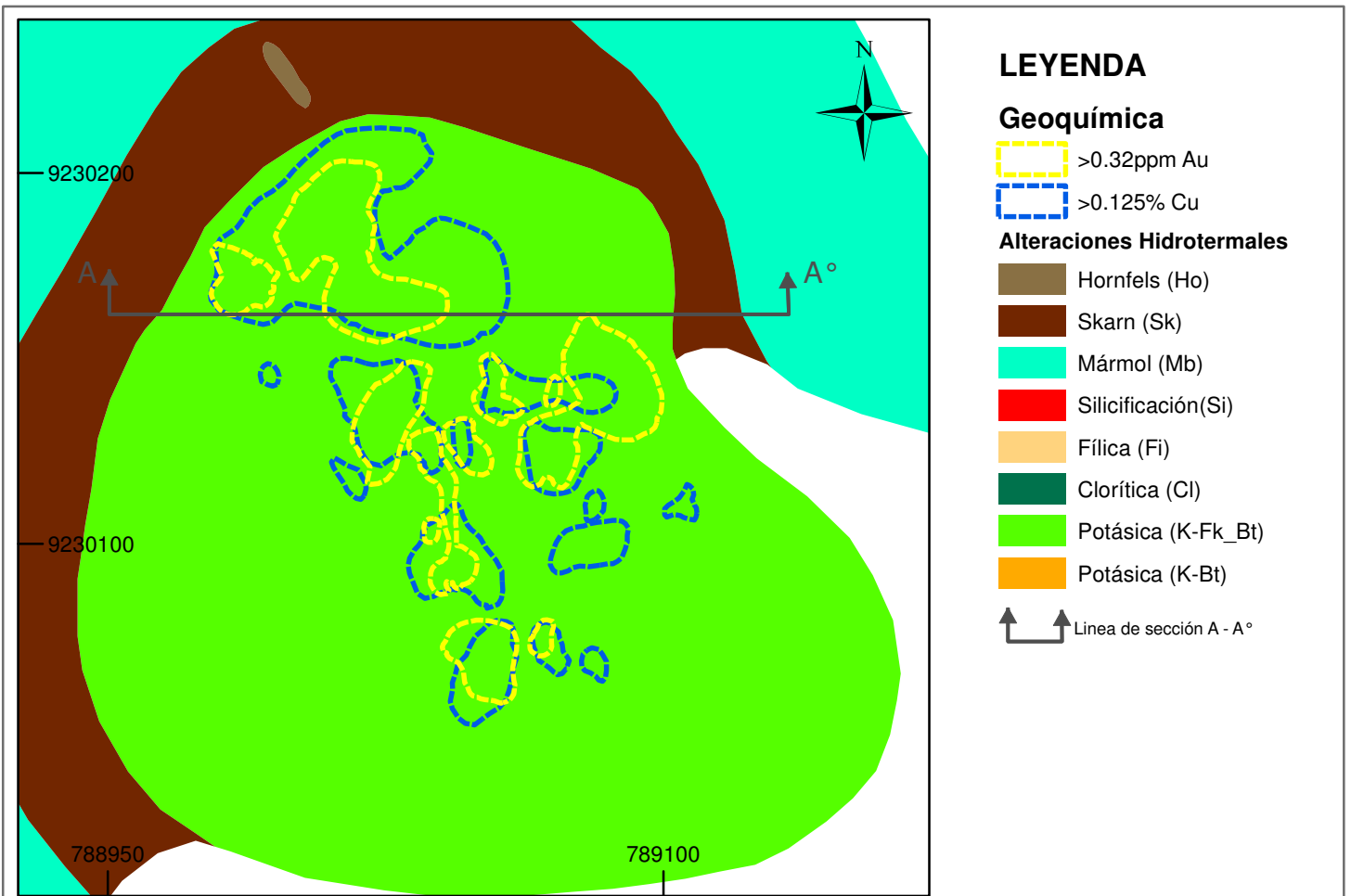
### **9.1 Introducción**

Los controles de mineralización para el Pórfido Au – Cu Morocha, lo ejerce una combinación de factores litológicos, de alteración, tipo, intensidad de venillas y el estructural, propiamente dicho, que en sectores debido a la combinación de los mismos ha generado zonas de mineralización económica de Au y Cu importante. A continuación se describen los principales controles de mineralización:

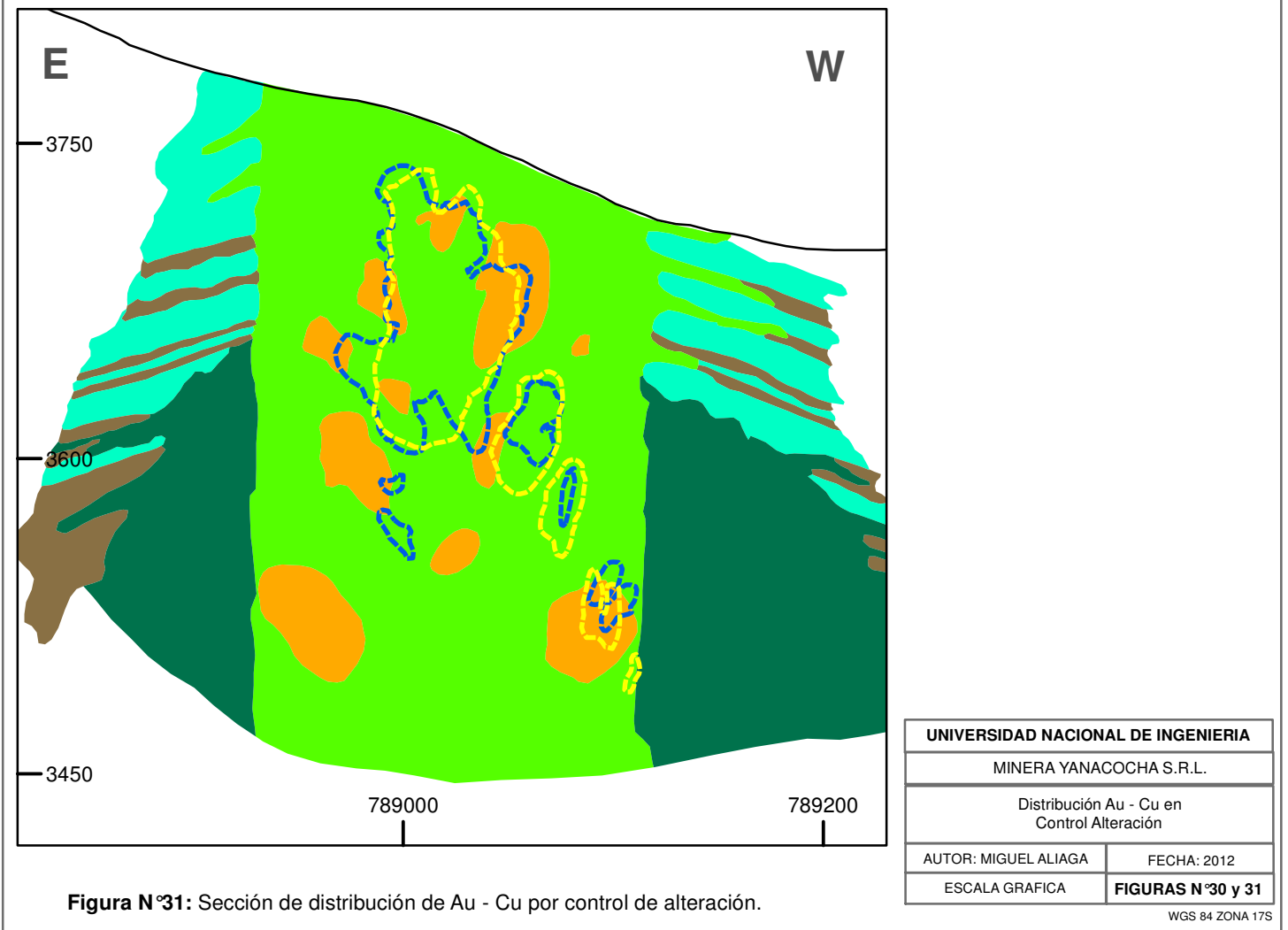
- Control de alteraciones hidrotermales
- Control litológico
- Control estructural

### **9.2 Control de alteraciones hidrotermales**

La alteración principal y con mayor desarrollo, es la alteración potásica que se genera en las fases intrusivas iniciales de la microgranodiorita principal e intramineral (T-MGD e T-IGD), mientras que la microgranodiorita tardía (T-LGD) no presenta esta alteración muy desarrollada. El ensamble de biotita secundaria – magnetita - feldespato potásico – cuarzo, que está asociado con la mineralización de Au – Cu. La alteración potásica de feldespato potásico – biotita, predomina en la fase intramineral (T-IGD) con valores en promedio de 0.35 ppm Au y 0.13 % Cu. La alteración potásica de biotita, se desarrolla en la fase principal (T-MGD) con valores en promedio de 0.28 ppm Au y 0.10 % Cu. Esta alteración presenta ocurrencia de calcopirita – pirita – bornita en forma diseminada en la matriz y en venillas de cuarzo y magnetita.



**Figura N°30:** Plano de distribución de Au - Cu por control de alteración.



**Figura N°31:** Sección de distribución de Au - Cu por control de alteración.

La alteración clorítica ocurre como halos de manera concéntrica y como superposición a la alteración potásica, presentando valores de  $< 0.1$  ppm Au y  $< 0.06$  % Cu.

El desarrollo de la alteración fílica quedó restringida a estructuras y aparece como superposición a la alteración potásica, donde ocurre presencia de venillas de cuarzo con granos de calcopirita gruesa, presenta los valores más altos de Au-Cu de hasta 2.87 ppm Au y 0.59 % Cu. La alteración skarn se presenta con el ensamble de magnetita – granates – epidota –pirita  $\pm$  calcopirita y se presenta como fragmentos dentro de la brecha intrusiva (T-BXI), la cual presenta mineralización de Au – Cu, lo que indicaría que existen niveles profundos con esta alteración y mineralización. El mármol y hornfels ocurren de manera concéntrica a la alteración potásica y clorítica, donde no se presenta mineralización económica de Au – Cu importante con valores en promedio de 0.009 ppm Au y 0.007 % Cu.

### **9.3 Control Litológico**

La fase de la microgranodiorita principal (T-MGD), posee valores de hasta 1.07 ppm Au y 0.38 % Cu. Esta fase fue interceptada como bloques o fragmentos dentro de la fase de la microgranodiorita intramineral (T-IGD) y dentro de la brecha intrusiva (T-BXI). La fase intramineral (T-IGD) presenta valores en promedio de 0.21 ppm Au y 0.09 % Cu, siendo esta unidad la más desarrollada en el proyecto relacionada con la alteración potásica de feldespato potásico – biotita. La fase de brecha (T-BXI) presenta valores en superficie de 0.16 ppm Au y 0.08 % Cu en promedio y en profundidad de 0.45 ppm Au y 0.15 % Cu en promedio, este incremento se manifiesta por la presencia de fragmentos de la fase principal (T-MGD) y de fragmentos de skarn, donde se observa el incremento de la calcopirita (hasta 2 %).

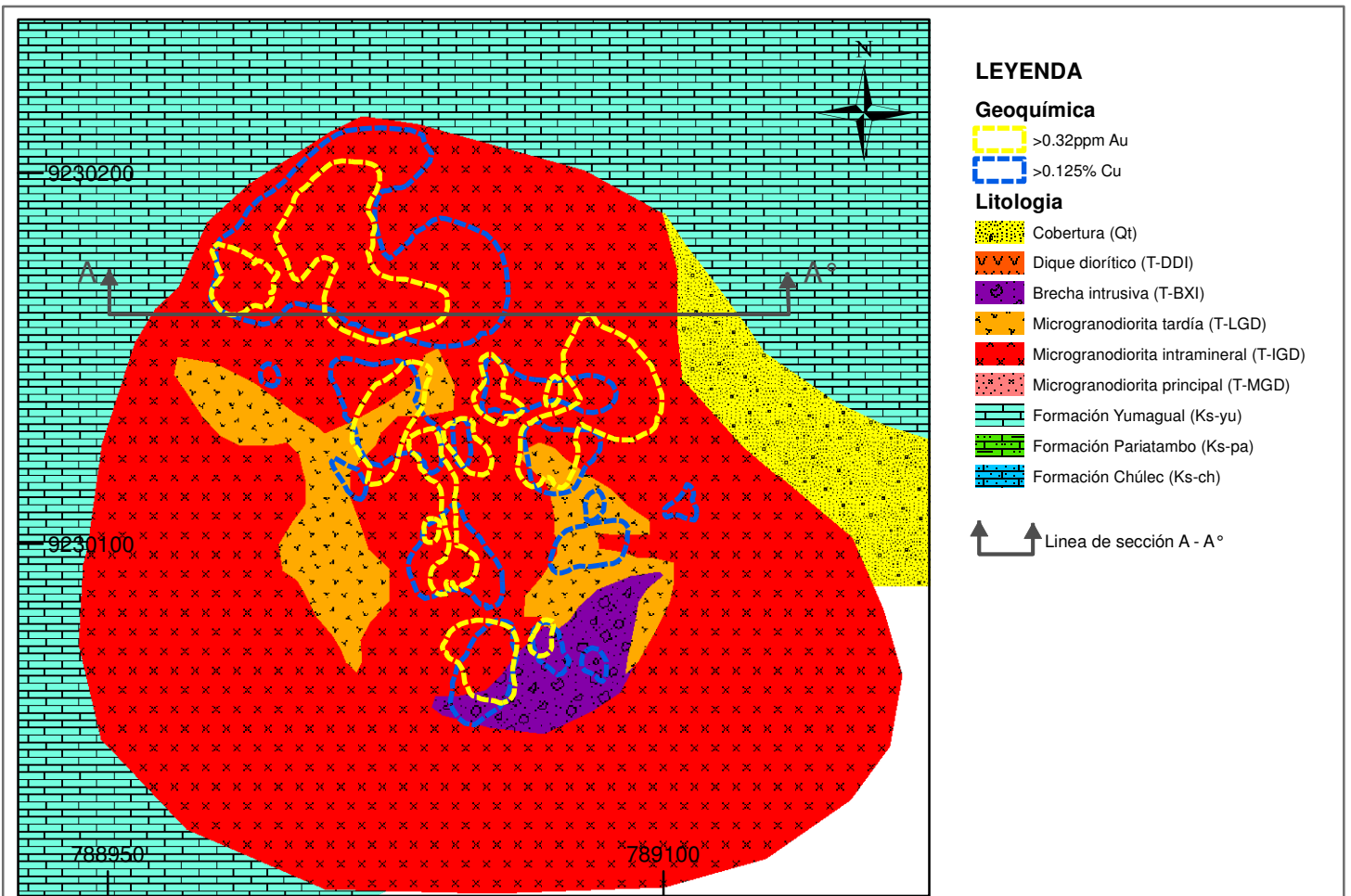


Figura N°32: Plano de distribución de Au - Cu por control de litológico.

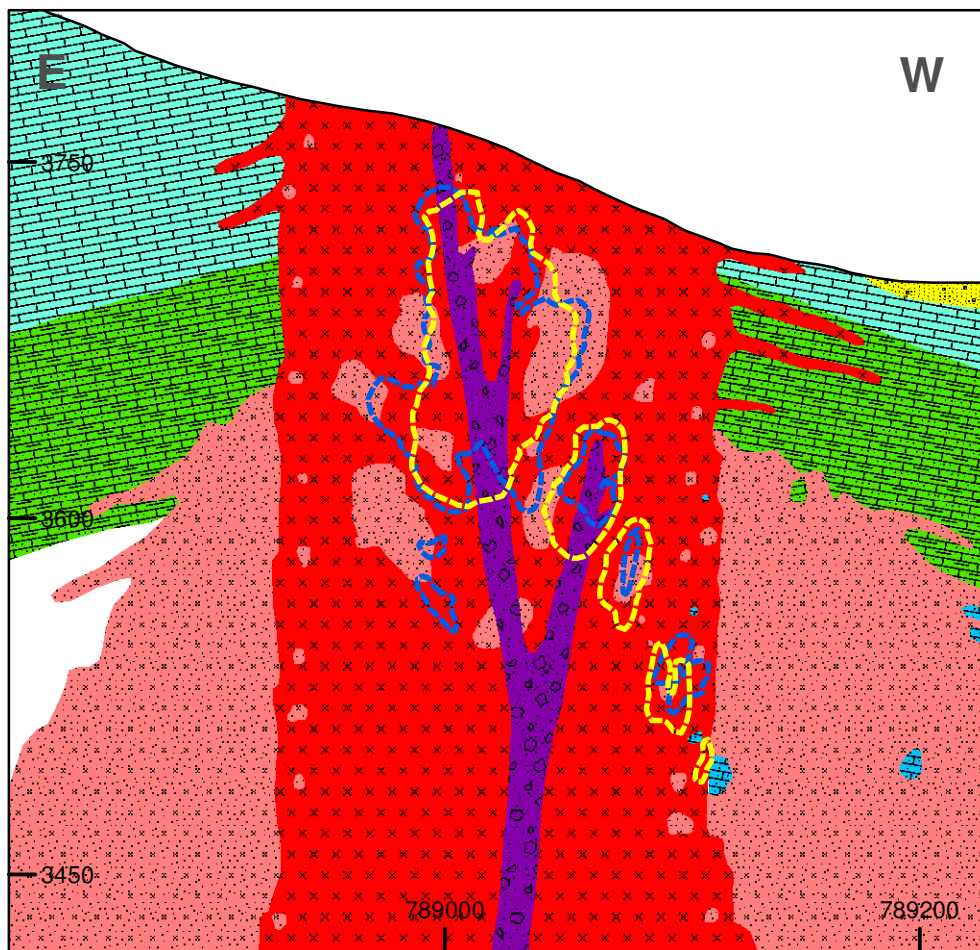
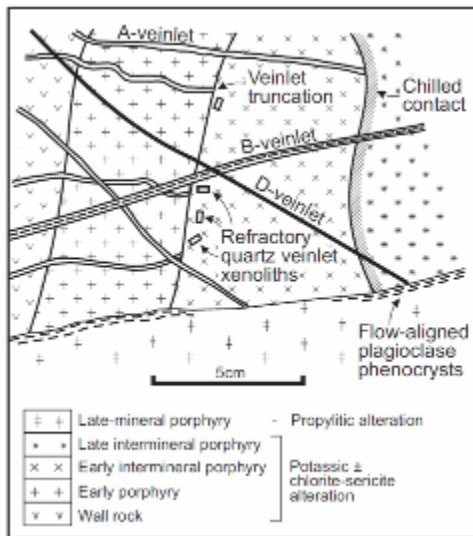


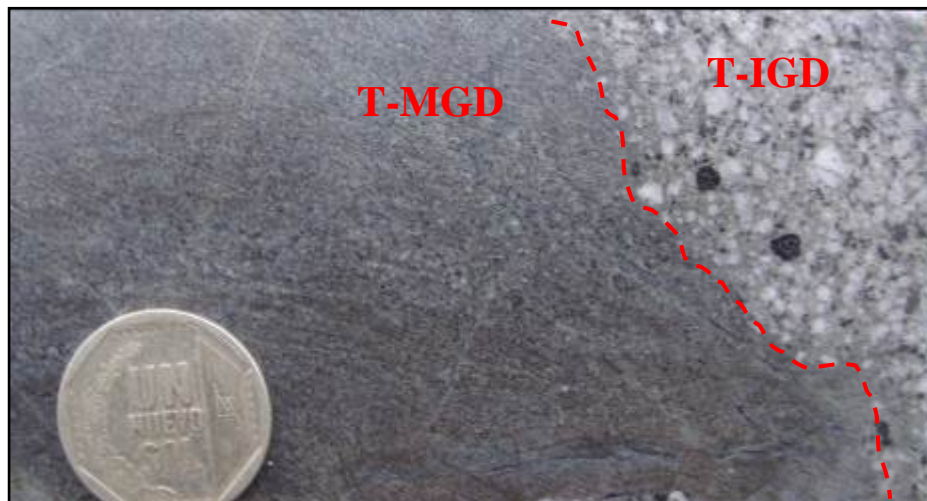
Figura N°33: Sección de distribución de Au - Cu por control de litológico.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
MINERA YANACOCHA S.R.L.	
Distribución Au - Cu en Control Litológico	
AUTOR: MIGUEL ALIAGA	FECHA: 2012
ESCALA GRAFICA	FIGURAS N°32 y 33

A su vez la fase tardía (T-LGD) presenta valores en promedio de 0.05ppm Au y 0.02 % Cu que representa la fase que menos contenido de Au – Cu aporta al sistema. Las unidades sedimentarias presentan valores de hasta 0.16 ppm Au y 0.09 % Cu de manera restringida relacionado a niveles de areniscas silicificadas con presencia de venillas de pirita, en promedio presentan valores de 0.015 ppm Au y 0.008 % Cu.



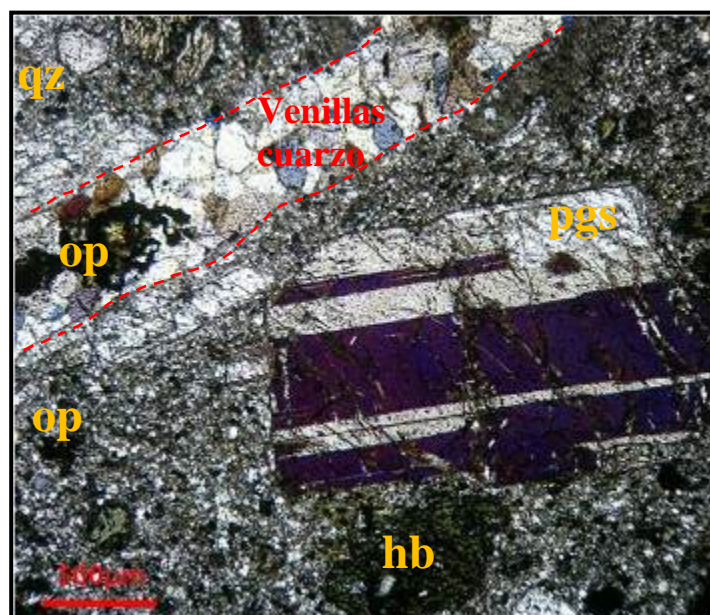
**Figura N° 34:** Criterios de diferenciación de órdenes de fases Intrusivas. (Tomado de Sillitoe 2010).



**Foto N° 38:** Foto de una muestra de sondaje. Contacto entre la fase principal (T-MGD) e intramineral (T-IGD). Se observa que la fase principal es cortada por la fase intramineral.

La clasificación de las 3 fases intrusivas (principal, intramineral y tardía) se realizó en asociaciones comunes en textura, venilleo, alteración, mineralización y contenido geoquímico de Au y Cu principalmente. La fase principal (T-MGD) se caracteriza por presentar mayor diseminación de calcopirita – pirita – bornita que en venillas, la presencia de venillas de cuarzo tipo A y venillas de magnetita son las más abundantes. En la fase intramineral (T-IGD) la mineralización también se presenta de manera diseminada y en venillas en similar proporción, donde prevalecen las venillas de cuarzo tipo A y B sobre las de magnetita. Para la fase tardía (T-LGD) prevalece la pirita sobre la calcopirita tanto de forma diseminada como en venillas, éstas por lo general son de pirita con halos de clorita.

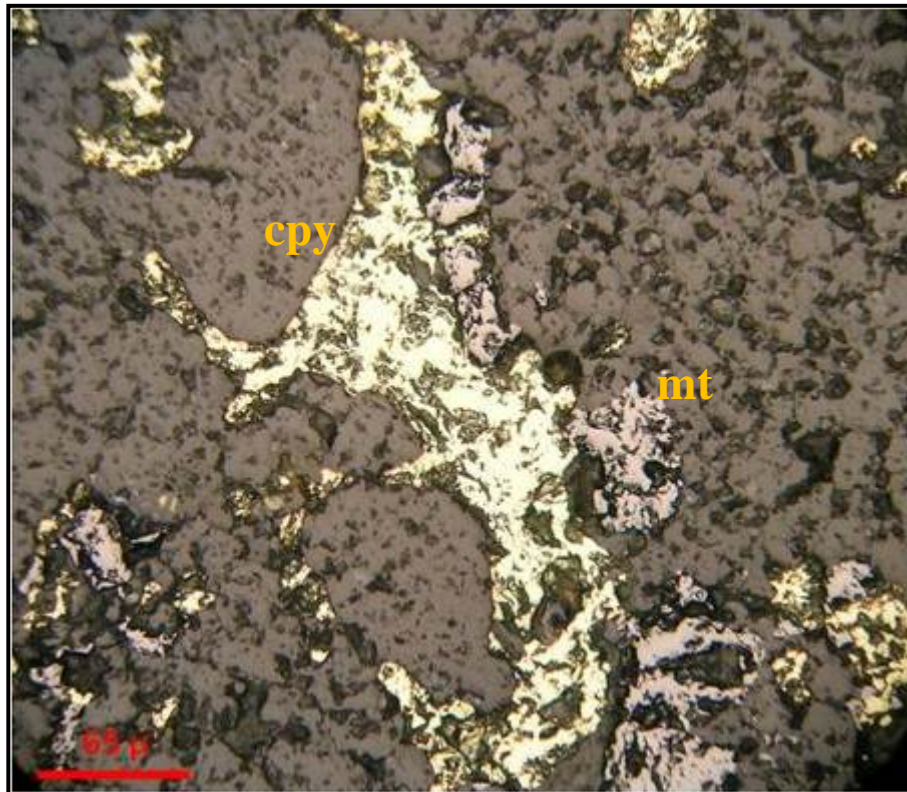
La composición de estas 3 fases son de granodiorítica, diferenciándose entre ellas por la textura, tamaño de granos, entre otros. Esta composición ha favorecido el desarrollo de la mineralización tipo pórfido Au – Cu en el proyecto Morocha, al igual que en el depósito Chailhuagón de similar composición.



**Fotomicrografía N° 17:** Luz transmitida. Nicoles cruzados. Cristal de Plagioclasa, notándose la macla polisintética, en una matriz fina compuesta de cuarzo, ortosa, anfíbol, biotita. En la parte superior izquierda venilla de cuarzo-sulfuros. Muestra de la microgranodiorita intramineral (T-IGD).



Dentro de las fases intrusivas principal e intramineral (T-MGD e T-IGD) se ha desarrollado la alteración potásica en diferentes intensidades, donde la presencia de magnetita tanto venillas, como en la matriz presenta una correlación alta con calcopirita, la cual está asociada a la mineralización de Au – Cu del yacimiento.

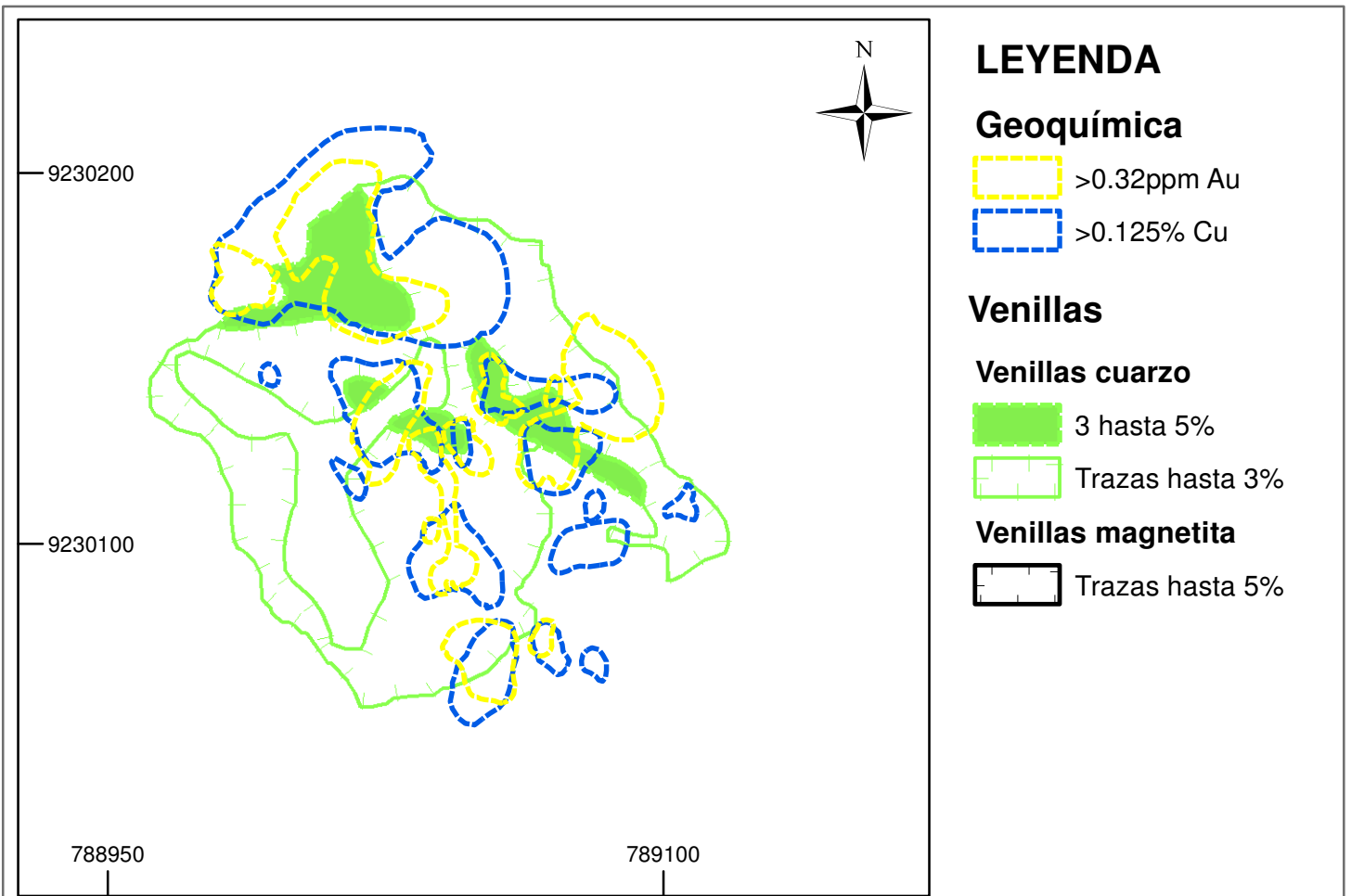


**Fotomicrografía N° 18:** Luz reflejada. Nícoles paralelos. Reemplazamiento de calcopirita y magnetita en una venilla de cuarzo. Relacionado a mineralización de Au – Cu en el proyecto Morocha.

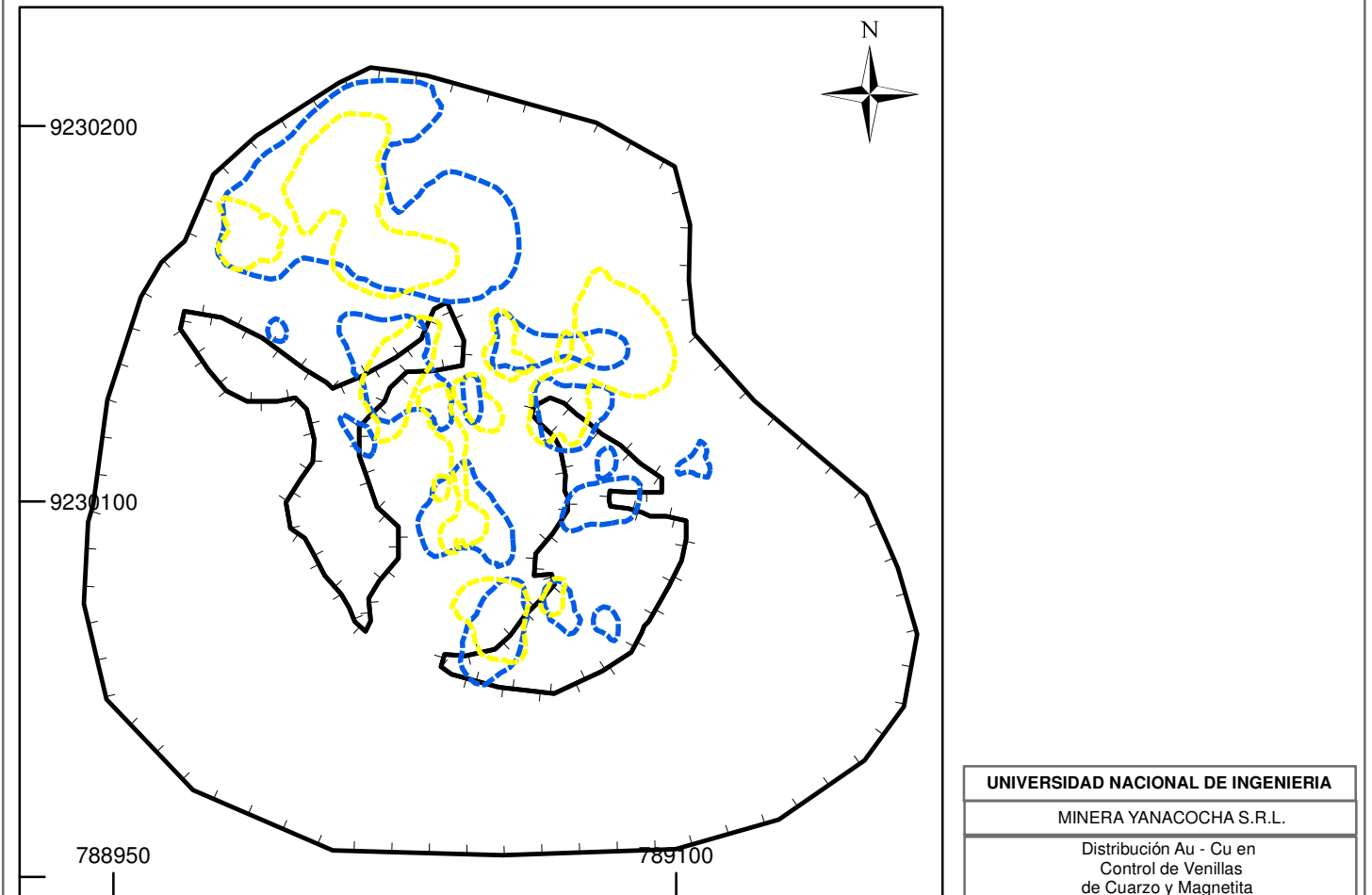
#### 9.4 Control estructural

La formación del pórfido Morocha se fue controlada por una intersección de estructuras que favorecieron el emplazamiento del cuerpo intrusivo mineralizado en sus diferentes fases con mineralización tipo pórfido Au – Cu. La principal estructura regional es la Falla Punre – Chanquis que controla el emplazamiento regional de cuerpos intrusivos mineralizados de edad Miocénica como lo son Michiquillay, El Galeno, Chailhuagón, Perol, Amaro entre otros, el cual se presenta con una orientación NWW-NNW, asimismo se presentan estructuras andinas de orientación NW las cuales son anticlinales y sinclinales principalmente, así como por las estructuras o corredores NS como es el corredor Pampachica - Morocha dentro del distrito Minas Conga.

A escala local se observan por la presencia de venillas de cuarzo y magnetita principalmente que han rellenado sistemas de fracturamiento favorable a la mineralización. Así las venillas como cuarzo presentan una orientación N345°W preferentemente ocurren en la fase principal e intramineral (T-MGD e T-IGD) con alteración potásica, mientras en la fase tardía (T-LGD) está ausente. Estas venillas presentan calcopirita – pirita – bornita y se han logrado reconocer diferentes ensambles, predominando las venillas tipo B sobre las A. Donde el incremento de las venillas de cuarzo llega ser >3% se presentan con valores hasta de 1.12 ppm Au y 0.12 % Cu Y las venillas de magnetita presentan una orientación de N15°E, relacionadas principalmente a la alteración potásica en la fase principal e intramineral (T-MGD e T-IGD). No se presenta en la fase tardía (T-LGD).



**Figura N°35:** Plano de distribución de Au - Cu por control de venillas de cuarzo.



**Figura N°36:** Plano de distribución de Au - Cu por control de venillas de magnetita.

## **Capítulo 10: Génesis y Modelo Preliminar del proyecto Morocha**

### **10.1 Introducción**

La génesis y evolución del sistema porfirítico está controlado por estructuras regionales y locales que permitieron el emplazamiento de rocas intrusivas relacionadas a un sistema porfirítico con mineralización económica de Au – Cu.

### **10.2 Génesis y Evolución del Yacimiento**

La génesis y evolución geológica es interpretada en base a las observaciones de campo e interpretaciones realizadas en gabinete. A continuación se detalla una evolución preliminar del sistema:

La historia de formación, emplazamiento, mineralización y tipos de alteración encontradas en este pórfido son el producto de la evolución de un sistema dinámico, en el cual sucesivas intrusiones (fases intrusivas), cargadas cada una de fluidos magmáticos, van desarrollando las zonas de alteración de acuerdo a un patrón espacial relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y lugares. Se resume lo siguiente:

#### **Fase Temprana**

Se desarrolla el emplazamiento del intrusivo principal (T-MGD) de probable edad Miocénica en rocas sedimentarias de las Formaciones Pariatambo y Yumagual del Cretáceo Medio a Superior, las cuales han sido plegadas y falladas por diferentes fases tectónicas. Este cuerpo intrusivo de composición diorítica a granodiorítica es reconocido por presentar textura porfirítica de grano fino a medio, con alteración potásica de biotita principalmente, y por venillas de altas temperaturas como son las de

biotita, magnetita y cuarzo del tipo A y B. La ocurrencia de pirita – calcopirita ocurre de manera diseminada y en venillas durante esta fase.

### **Fase Intramineral**

Se desarrolla el emplazamiento del intrusivo intramineral (T-IGD), el cual corta a la fase principal. Presenta textura porfirítica de grano medio, de composición granodiorítica. Se encuentra con alteración potásica de feldespato potásico – biotita, la cual está sobreimpuesta por una alteración clorítica débil a moderada. Presenta mayor contenido de venillas de cuarzo tipo A y B decreciendo las venillas de magnetita. La ocurrencia de pirita – calcopirita – bornita se encuentra principalmente en venillas y de forma diseminada.

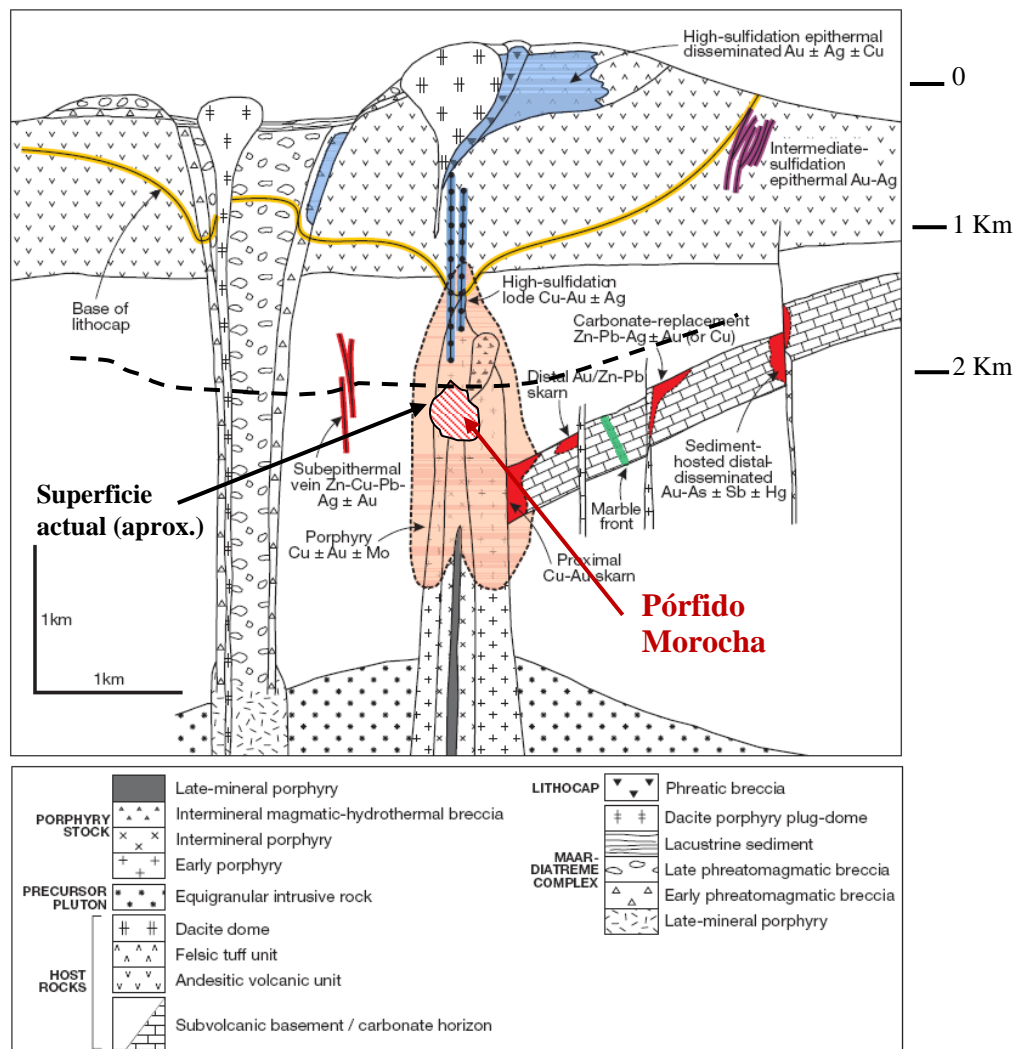
### **Fase tardía**

Se desarrolla el emplazamiento de la fase tardía (T-LGD), la que se presenta en forma de diques cortando la fase principal e intramineral. Presenta también textura porfirítica y es también de composición granodiorítica. Desarrolla una alteración potásica débil sobreimpuesta por una alteración clorítica. Presenta menor densidad de venilleo que las fases anteriores. Predomina la presencia de pirita sobre la calcopirita.

A su vez se desarrolla el emplazamiento de una fase de brecha (T-BXI), la cual contiene fragmentos y/o bloques de las fases temprana, intramineral y tardía, que representa el evento final del sistema porfirítico.

### 10.3 Modelo preliminar del proyecto Morocha

En base a todas las observaciones de campo y trabajos de gabinete se realiza un modelo preliminar del proyecto Morocha. Se ha considerado las diferentes fases intrusivas, los ensambles y tipos de alteración, tipo e intensidad de venillas, presencia de calcopirita, pirita y bornita y el contenido de Au-Cu. Como se puede observar en la Fig. N°41, el yacimiento Morocha, se habría formado aproximadamente a 2 Km de profundidad por el ascenso de magmas y fluidos mineralizantes que en condiciones físicas y químicas apropiadas, permitieron la formación del yacimiento:



**Figura N° 41:** Modelo geológico preliminar del proyecto Morocha. (Referencia de la sección, Sillitoe 2010).

## Capítulo 11: Conclusiones

### 11.1 Conclusiones

- La alteración potásica de los diferentes pulsos intrusivos controlan la mineralización de Au-Cu en el proyecto Morocha.
- Cada pulso intrusivo ha generado su propia alteración y mineralización, siendo el evento con mayor mineralización de Au - Cu la fase principal y en menor cantidad la fase tardía.
- La asociación de calcopirita-magnetita está asociada directamente con la presencia de Au - Cu.
- Las anomalías magnéticas altas del GMAG-ANSIG define mejor al cuerpo mineralizado que las anomalías magnéticas del GMAG-RTP, dando una forma cilíndrica a los cuerpos intrusivos mineralizados.
- Las anomalías altas de cargabilidad se encuentran en los bordes de la anomalía magnética y es relacionado directamente con la mayor presencia de pirita en las rocas intrusivas como en las rocas sedimentarias calcáreas alteradas.
- La relación de Au-Cu es de 3-1, clasificándolo al Proyecto Morocha como un Pórfido de Cu rico en Au, similar a los demás pórfidos distrito de Minas Conga.
- Zonas con mayor concentración de venillas de cuarzo-calcopirita-pirita-magnetita tienen mayor contenido de Au - Cu.
- Los ensambles de alteración que se presentan, el contenido de venillas, las señales geofísicas muestran que nos encontramos cerca a las raíces del sistema porfirítico.

## 11.2 Recomendaciones

- Se recomienda expandir la investigación del blanco o target, en los alrededores del Proyecto Morocha teniendo en cuenta los resultados de los estudios geofísicos y geoquímicos, para interpretar y definir mejor el potencial que puede tener la mineralización en este proyecto.
- Debido a la presencia de fragmentos de Skarn de magnetita-calcopirita-granates en la brecha intrusiva, se recomienda identificar niveles calcáreos favorables dentro de la Formación Pariatambo, que pudieran ser investigados mediante la evolución y de este modo incrementar el valor del proyecto con blancos o targets para Skarn.
- Para proyectos del tipo pórfido Au-Cu se recomienda hacer sondajes diamantinos ya que los taladros de aire reverso, no ayudan a definir las relaciones de corte entre los diferentes pulsos intrusivos generados.



## Bibliografía

Barra R. A., 2006: Geología, alteración y mineralización del prospecto de cobre Atutema, IV Región, Chile. Memoria para optar el título de geólogo. Universidad de Chile.

Benavides V., 1999: Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. ECONOMIC GEOLOGY, Special publication number 7, p. 61-107.

Chirif L. H., 2010, Microscopía Óptica de Minerales. Boletín N° 1 Serie J Tópicos de Geología.

Cooke D., Hollings P., 2005: Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls

Davis R., 2002: Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of The Cajamarca Mining district, Northern Peru

Hedenquist J. W., 2000: Observations from the Yanacocha and Minas Conga properties, Northern Peru: Relationships between epithermal and porphyry environments. Report to Minera Yanacocha, p. 24-29

Hedenquist J. W., 2000: Estilos de yacimientos epitermales y su relación con pórfidos de Cu-Au. Short course to Newmont Mining Corporation.

Heinrich E. Wm., 1970: Identificación Microscópica de los Minerales.

Llosa F., Veliz J., 2000: Geología, alteración y mineralización de los pórfidos de Au – Cu de Minas Conga, Norte del Perú (Cajamarca)

Longo T., 2005: Evolution of volcanism and hydrothermal activity in the Yanacocha Mining District, Northern Peru. Unpublished PhD. Thesis, Oregon State University.

Mackenzie W. S., 1997: Atlas en color de Rocas y Minerales en Lámina Delgada.

Marquina R. M., 2009: Control Estructural y Potencial Exploratorio del distrito minero Conga, Cajamarca – Perú

Merino D., Aliaga M., 2010: Morocha Au-Cu Porphyry prospect Minas Conga Area.

Mendoza I. N., 2010: Geology, grade distribution, and metal ratios at The Amaro Gold-Copper porphyry deposit, Minas Conga District, Cajamarca province, Peru

Noble D. C., Mckee E. H., Mourier T., and Mérgar F., 1999: Cenozoic stratigraphy, Magmatic activity, compressive deformation, and uplift in northern Peru. Geological Society of America Bulletin, v. 102, p 1105-1113.

Perkin D., Henke K. R., 2004: Minerals in Thin Section.

Petersen U., 1999: Magmatic and Metallogenic evolution of the central Andes. *ECONOMIC GEOLOGY*, Special publication number 7, p. 109-153.

Pracejus Bernhard, 2008: *The Ore Minerals under the Microscope An Optical Guide*.

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: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 105, n. 1, p. 43-68.

Rivera C. R., 2008: *Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Miocénicos del Norte del Perú – Región Cajamarca*.

Seedorf E., Dilles J. H., Proffett J. M., Einaudi M. T., 2005: Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features. *ECONOMIC GEOLOGY*, 100<sup>th</sup> Anniversary Volume, p. 251-298.

Sillitoe, R. H., 2010: Porphyry copper systems: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 105, n. 1, p. 3-41.

Tuner, S. J., 1997: *The Yanacocha Epithermal Gold Deposit, Northern Peru: High Sulphidation Mineralization in a flow dome setting*. Unpublished PhD Thesis. Colorado School of Mines, Colorado, USA.

## Apéndice

	25		40		50		60		75	
3 columnas	0	25	0	40	0	50	0	60	0	75
	25	75	40	80	50	83	60	87	75	92
	75	100	80	100	83	100	87	100	92	100
4 columnas	0	25	0	40	0	50	0	60	0	75
	25	68	40	74	50	79	60	83	75	89
	68	89	74	91	79	93	83	94	89	96.4
	89	100	91	100	93	100	94	100	96.4	100
5 columnas	0	25	0	40	0	50	0	60	0	75
	25	65	40	72	50	77	60	81	75	88
	65	85	72	88	77	90	81	92	88	95
	85	95	88	96	90	96.7	92	97.3	95	98.3
	95	100	96	100	96.7	100	97.3	100	98.3	100
6 columnas	0	25	0	40	9	50	0	60	0	75
	25	64	40	71	50	76	60	81	75	88
	64	83	71	86	76	89	81	91	88	94
	83	93	86	94	89	95.2	91	96.4	94	97.6
	93	97.6	94	98.1	95.2	98.4	96.4	99	97.6	99.2
	97.6	100	98.1	100	98.4	100	99	100	99.2	100
7 columnas	0	25	0	40	0	50	0	60	0	75
	25	62	40	70	50	75	60	80	75	87
	62	81	70	85	75	88	80	90	87	94
	81	91	85	93	88	94	90	95.6	94	97.2
	91	96	93	97	94	97.6	95.6	98.1	97.2	98.8
	96	98.8	97	99	97.6	99.2	98.1	99.4	98.8	99.6
	98.8	100	99	100	99.2	100	99.4	100	99.6	100

Rangos estadísticos para el tratamiento de datos geoquímicos. (Owen, Newmont\_2001).