

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



**“MODELO GEOLÓGICO DEL PROYECTO AURÍFERO
TIPO ‘HIGH SULFIDATION’
DE ARNACOCHA”
DISTRITO MINERO DE YANACOCHA – CAJAMARCA**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Nirio Mendoza Inca

LIMA - PERÚ

2005

INDICE

| | |
|-----------------|--|
| Dedicatoria | |
| Agradecimientos | |
| Abstract | |
| Resumen | |

CAPITULO I

GENERALIDADES

| | | |
|-----|---|---|
| 1.1 | UBICACIÓN Y ACCESO | 1 |
| 1.2 | CLIMA, VEGETACIÓN Y RECURSOS | 1 |
| 1.3 | ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 2 |
| 1.4 | DATOS HISTÓRICOS | 2 |
| 1.5 | PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO Y OBJETIVOS | 5 |
| 1.6 | METODOLOGÍA DEL TRABAJO | 5 |

CAPITULO II

GEOLOGÍA REGIONAL Y DISTRITAL

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 2.1 | GEOLOGÍA REGIONAL | 7 |
| 2.2 | SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA..... | 8 |
| 2.2.1 | Basamento Cretácico | 8 |
| 2.2.2 | Volcánicos Llama | 8 |
| 2.2.3 | Volcánicos Porculla | 9 |
| 2.2.4 | Volcánicos Huambos | 9 |
| 2.3 | GEOLOGÍA DISTRITAL | 12 |
| 2.4 | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 12 |

CAPITULO III

GEOLOGÍA DE ARNACOCHA

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | CARACTERÍSTICAS DEL DEPÓSITO | 15 |
| 3.2 | LITOLOGÍA MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA | 25 |
| 3.2.1 | Rocas Porfiríticas | 25 |
| 3.2.2 | Secuencias Volcanoclásticas | 35 |
| 3.2.3 | Brecha Hidrotermal, Freatomagmáticas y ‘Crakel Brecha’ | 40 |
| 3.3 | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 48 |
| 3.4 | ALTERACIONES HIDROTERMALES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS | 50 |
| 3.4.1 | Sílice Granular | 50 |
| 3.4.2 | Sílice Vuggy | 51 |
| 3.4.3 | Sílice Masiva | 51 |
| 3.4.4 | Argílica Avanzado | 51 |
| 3.4.5 | Argílica | 52 |
| 3.4.6 | Propilítica | 52 |
| 3.5 | MINERALIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA..... | 54 |

CAPITULO IV

PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | GEOQUÍMICA SUPERFICIAL Y DE SONDAJES | 55 |
| 4.2 | GEOQUÍMICA DE SUPERFICIE | 56 |
| 4.2.1 | Metodología | 56 |
| 4.2.2 | Análisis estadístico | 56 |
| 4.2.3 | Análisis de planos geoquímicos | 66 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3 | PERFORACIÓN DIAMANTINA EN SUS DIFERENTES FASES..... | 76 |
| 4.4 | GEOQUÍMICA DE SONDAJES..... | 77 |
| 4.4.1 | Metodología | 77 |
| 4.4.2 | Análisis estadístico | 77 |
| 4.4.3 | Análisis de secciones geoquímicas | 87 |

CAPITULO V

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS EN YANACocha | 103 |
| 5.2 | INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS DE ARNACocha...104 | |

CAPITULO VI

INTERPRETACIÓN, DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTA DEL MODELO GEOLÓGICO DE ARNACocha

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.1 | SECCIONES GEOLÓGICAS | 114 |
| 6.2 | EVOLUCIÓN GEOLÓGICA..... | 115 |
| 6.3 | SECUENCIA PARAGENÉTICA | 118 |
| 6.4 | MODELO GEOLÓGICO | 118 |
| 6.5 | ARNACocha DENTRO DEL CONTEXTO METALOGENÉTICO DEL DISTRITO DE YANACocha | 119 |

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------|-----|
| 7.1 | CONCLUSIONES | 123 |
| 7.2 | RECOMENDACIONES..... | 124 |

ANEXO

- Tabla 1: Cutoffs geoquímicos usados para el Distrito de Yanacocha
- Tabla 2: Comparación de la distribución de los elementos geoquímicos por alteración en Yanacocha
- Cuadro 1: Cuadro de nomenclatura de rocas porfíricas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

- Figura N° 1: Plano de ubicación de Yanacocha en el Perú
- Figura N° 2: Zona de subducción
- Figura N° 3: Diagrama esquemático de los Volcánicos Terciarios en el Norte del Perú
- Figura N° 4: Plano geológico distrital
- Figura N° 5: Plano litológico y estructural de Arnacocha
- Figura N° 6: Plano de alteración de Arnacocha
- Figura N° 7: Plano de isovalores de ley X espesor
- Figura N° 8: Columna estratigráfica
- Figura N° 9: Diagrama de rosas
- Figura N° 10: Densidad de polos
- Figura N° 11: Plano geoquímico del oro
- Figura N° 12: Plano geoquímico de la plata
- Figura N° 13: Plano geoquímico del mercurio
- Figura N° 14: Plano geoquímico del arsénico
- Figura N° 15: Plano geoquímico del antimonio
- Figura N° 16: Plano geoquímico de bario
- Figura N° 17: Plano geoquímico de telurio
- Figura N° 18: Plano geoquímico de cobre
- Figura N° 19: Plano geoquímico de zinc
- Figura N° 20: Plano geoquímico de bismuto
- Figura N° 21: Plano geoquímico de plomo
- Figura N° 22: Plano de targets geoquímicos
- Figura N° 23: Modelo de bloques de oro
- Figura N° 24: Modelo de bloques de plata
- Figura N° 25: Modelo de bloques de mercurio

Figura N° 26: Modelo de bloques de arsénico
Figura N° 27: Moldeo de bloques de potasio
Figura N° 28: Modelo de bloques de manganeso
Figura N° 29: Modelo de bloques de telurio
Figura N° 30: Modelo de bloques de cobre
Figura N° 31: Modelo de bloques de zinc
Figura N° 32: Modelo de bloques de plomo
Figura N° 33: Modelo de bloques de bismuto
Figura N° 34: Moldeo de bloques de titanio
Figura N° 35: Modelo de bloques de estaño
Figura N° 36: Modelo de bloques de fósforo
Figura N° 37: Modelo de bloques de níquel
Figura N° 38: Modelo de bloques de cobalto
Figura N° 39: Modelo de bloques de cromo
Figura N° 40: Modelo de bloques de estroncio
Figura N° 41: Modelo de bloques de bario
Figura N° 42: Modelo de bloques de antimonio
Figura N° 43: Modelo de bloques de vanadio
Figura N° 44: Modelo de zoneamiento geoquímico
Figura N° 45: Rangos de resistividad geofísica
Figura N° 46: Plano geofísico de TDEM_100m
Figura N° 47: Plano geofísico de TDEM_200m
Figura N° 48: Plano geofísico de TDEM_300m
Figura N° 49: Plano geofísico de gravity survey
Figura N° 50: Plano geofísico de IP_resistivity
Figura N° 51: Plano geofísico de Total field ground magnetic
Figura N° 52: Sección de gravity survey
Figura N° 53: Sección de total Field Ground Magnetic
Figura N° 54: Evolución geológica I
Figura N° 55: Evolución geológica II
Figura N° 56: Evolución geológica III
Figura N° 57: Evolución geológica IV
Figura N° 58: Secuencia paragenética
Figura N° 59: Modelo litológico
Figura N° 60: Modelo de alteraciones
Figura N° 61: Modelo geológico de Arnacocha

LISTA DE FOTOS

Foto N° 1: Vista panorámica del proyecto

Foto N° 2: Contactos litológicos

Foto N° 3: Diques cortando tufos

Foto N° 4: Muestra de mano del dique de la foto N° 3

Foto N° 5: 'Ribts' o costillas

Foto N° 6: Flow banding vertical

Foto N° 7: Acercamiento de la foto N 6

Foto N° 8: Flow banding horizontal

Foto N° 9: Borde del flujo dómico con autobrechas

Foto N° 10: Brecha freatomagmática

Foto N° 11: Unidad porfirítica La

Foto N° 12: Inyección del magma en las unidades porfiríticas

Foto N° 13: La en taladros

Foto N° 14: Muestra de Pad

Foto N° 15: Muestra de mano de la foto N° 7

Foto N° 16: Textura de flow banding en profundidad

Foto N° 17: Brecha intrusiva

Foto N° 18: Muestra de mano de la foto N° 8

Foto N° 19: Muestra de mano de la unidad Cp

Foto N° 20: Muestra de core de los diques Yand

Foto N° 21: Muestra de mano de los tufos de cristales

Foto N° 22: Muestra de Cxs. Tuff en core ARN-008

Foto N° 23: Depositación gradacional de cristales y tufos gruesos a finos

Foto N° 24: Cxs. tuff con fragmentos < 1cm

Foto N° 25: Brecha piroclástica o Txl

Foto N° 26: Brecha hidrotermal

Foto N° 27: Vetillas o 'veins' de sílice criptocristalina

Foto N° 28: Brecha freatomagmática heterolítica

Foto N° 29: Brecha freatomagmática con mayor transporte

Foto N° 30: Brecha freatomagmática tardía

Foto N° 31: Crakel brecha

Foto N° 32: Sílice granular

Foto N° 33: Sílice vuggy

Foto N° 34: Sílice masiva

Foto N° 35: Alteración argílica

LISTA DE MICROFOTOGRAFÍAS

- Microfotografía N° 1: Sección delgada de la foto N° 4
- Microfotografía N° 2: Sección delgada de la foto N° 11
- Microfotografía N° 3: Sección delgada del flow banding vertical
- Microfotografía N° 4: Sección delgada de la foto N° 18
- Microfotografía N° 5: Sección delgada de la foto N° 19
- Microfotografía N° 6: Sección delgada en Yand
- Microfotografía N° 7: Sección delgada en Cx. tuff
- Microfotografía N° 8: Sección delgada con Na-alunita
- Microfotografía N° 9: Superficie pulida, mostrando Py gel (coloidal)
- Microfotografía N° 10: Sección delgada de la foto N° 22, con fragmentos alterados
- Microfotografía N° 11: Sección delgada donde se observa fragmentos silicios
- Microfotografía N° 12: Superficie pulida en la que se observa oro en forma de gancho en brecha hidrotermal
- Microfotografía N° 13: Sección delgada de la foto N° 26
- Microfotografía N° 14: Superficie pulida, microfotografía tomada en otro campo de la microfotografía N° 12, mostrando sulfuros
- Microfotografía N° 15: Superficie pulida, mostrando relictos de Py-Cpy
- Microfotografía N° 16: Sección delgada, mostrando fragmentos con alunita (aln)
- Microfotografía N° 17: Sección delgada, mostrando fragmentos subredondeados
- Microfotografía N° 18: Sección delgada, mostrando fragmentos en matriz de sulfuros
- Microfotografía N° 19: Sección delgada, vetillas de sílice cortando piritita de dos generaciones.
- Microfotografía N° 20: Sección delgada, en Cxs. tuff mostrando un cx. de anfíbol alterado.
- Microfotografía N° 21: Sección delgada, mostrando moldes de cristales en matriz alterados a aln-sílice.

LISTA DE TABLAS:

- Tabla N° 1: Número total/tipos de muestreos geoquímicos superficial
- Tabla N° 2: Correlación de Pearson para 8 elementos en óxidos
- Tabla N° 3: Correlación de Pearson para 32 elementos en domos y bordes del domo
- Tabla N° 4: Correlación de Pearson para 32 elementos en taladros

ABSTRACT

The Arnacocha Project corresponds to a group of high sulfidation epithermal deposits in the Yanacocha District aligned within the Maqui Maqui sub-district and located within the regional mineralized trend known as the “Yanacocha-Chicama Structural Corridor”.

In this study, the area was divided in three zones of interest with the objective to better explain their geologic characteristics.

Arnacocha is located at the eastern border of the Miocene calc-alkaline volcanic complex of the Yanacocha District. Radiometric age dates of the volcanic complex range from 20Ma to 8Ma. The volcanic strata at Arnacocha are probably related to the distal part of San Jose volcanic center or the Colorado Diatreme because the dominant rocks are medium grained to fine crystal tuffs with rare coarse pyroclastic layers in the upper part of the stratigraphy column. This sequence is intercalated with effusions from volcanic domes and is cut by numerous intrusions.

The magmatic events were followed by hydrothermal circulation and the formation of narrow hydrothermal breccias related mainly to successive phases of the “Tectonica Quechuanas”. Alteration and mineralization were preferentially emplaced in the tuff units and in minor proportions within hydrothermal and phreatomagmatic breccias.

The ore body is oriented nearly east-west and has two levels; the lower level wedges downward thus indicating the probable source of mineralization.

It is clear that E-W and N-S pre-mineral structures provided subsequent controls to the mineralization. At deeper structural intersections along the Arnacocha Fault, mineralization as oxides and mixed sulfides remains open.

The main gold ore body (Zone of Interest I) is related to massive silica, while the Zone of Interest II is mainly related to advance argillic alteration.

In the lower parts of Zones I and II there is a thin (5-10meter) horizon of sulfides dominated by pyrite with minor quantities of calcosite, although microscopic studies reveal remnants of chalcopyrite and tetrahedrite in oxidized hydrothermal breccias.

Following a 34-hole drilling program (totaling 7,723 meters), reserves calculated in Arnacocha are 41,500 ounces gold at a grade of 1.33 g/T Au in oxide, based on a gold price of US \$325 / ounce. Bottle and column leach tests yielded gold recoveries of 78.1% and 80.7% respectively from oxide material.

The location of the Arnacocha deposit near the Maqui Maqui facilities will make the mining project feasible.

RESUMEN

El Proyecto Arnacocha corresponde al conjunto de depósitos epitermales del tipo ácido sulfato del distrito Minero de Yanacocha alineado dentro del sub-distrito de Maqui-Maqui y ubicada dentro del lineamiento regional conocido como Corredor Estructural Yanacocha-Chicama.

En el presente trabajo la zona de estudio se ha creído conveniente dividir en tres áreas de interés con la intención de explicar mejor sus respectivas características geológicas.

Arnacocha se sitúa en el borde Este del complejo volcánico Miocénico calco-alcalino del distrito de Yanacocha. Las edades radiométricas de las rocas volcánicas varían desde los 20 Ma hasta los 8 Ma. Los estratos volcánicos probablemente son relacionados a la parte distal del centro volcánico más próximo San José, Maqui Maqui o Colorado Diatrema, ya que el material volcánico predominante consta de tufos de cristales de grano medio a fino con escasas capas de piroclásticos gruesos en la parte superior. Esta secuencia es intercalada por efusiones dómicas y cortada por numerosas intrusiones. Los eventos magmáticos fueron seguidas por hidrotermalismo y diques de brechas hidrotermales relacionados principalmente a los sucesivos eventos de fases tectónicas Quechuanas.

La alteración y mineralización fueron emplazadas preferencialmente en los niveles de tufos y en menor proporción, en las estructuras de brechas hidrotermales y freatomagmaticas. El cuerpo mineralizado tiene una orientación casi E-W en dos niveles que en profundidad se acuña notándose probables fuentes de la mineralización.

Es claro que los rasgos estructurales pre-minerales E-W y N-S eran controles a la mineralización y que pasando la falla Arnacocha en profundidad existe zonas abiertas de mineralización tanto en óxidos como en material de sulfuros y óxidos mixtos.

El principal cuerpo de oro (Zona de Interés I) esta relacionada a un nivel de sílice masiva, mientras que en la zona de interés II, la mineralización esta relacionada a un nivel de alteración argílico avanzado.

En las partes más inferiores de las zonas I y II existe un nivel muy delgado (5-10m de espesor) de sulfuros dominado por pirita con menores cantidades de calcosita?, aunque estudios microscópicos revelan remanentes de calcopirita, tetraedrita en brechas hidrotermales oxidadas.

Un total de 34 taladros (7,723 metros lineales) fueron perforados durante las campañas de exploraciones. Las reservas calculadas en Arnacocha son 41, 500 onzas de oro con una ley promedio de 1.33 g/T en óxidos, basado en un precio de oro de US \$325 / onza. Las pruebas de lixiviación de oro por botella y columna arrojan recuperaciones de 78.1% y 80.7% respectivamente para material en óxido.

Por estar ubicado cerca de las instalaciones de la ex-mina Maqui Maqui, haría factible su minado.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN Y ACCESO

El Proyecto Arnacocha se encuentra hacia el extremo Este del distrito Minero de Yanacocha, el cual está ubicado en la zona norte de la Cordillera de los Andes, en el Distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca. Las instalaciones de la mina empiezan a unos 25 Km. al NNE de la ciudad de Cajamarca; con respecto a Lima se ubica a una distancia aproximada de 800 km. hacia el Norte y está centrado sobre una latitud de 6°58' S y una longitud de 78°30' E y una elevación que fluctúa entre 3500 - 4200 msnm.

Para acceder a la mina se usa la carretera Cajamarca-Hualgayoc hasta el Km. 35, de ahí se toma el desvío hacia el Este. Desde la ciudad de Cajamarca hasta llegar al proyecto de Arnacocha se hace un total de 56 Km. de recorrido; los primeros 25 Km. son asfaltados y los restantes afirmados pero que debido al mantenimiento que se le da se encuentra en óptimas condiciones carrozables.

1.2 CLIMA, VEGETACIÓN Y RECURSOS

El distrito minero se encuentra sobre una superficie puna de rasgos geomorfológicos no tan accidentados. El clima es frío con lluvias estacionales que duran desde Noviembre a Marzo (verano austral), con temperaturas que oscila entre 3° y 21°C. La vegetación típica es el ichu y pastos naturales que son usadas por los lugareños en la crianza de vacunos, ovinos y en menor proporción auquénidos. Hay escasa presencia de árboles o arbustos que por lo general crecen en las quebradas aunque en los alrededores de la mina existe agresiva campaña de reforestación.

El potencial minero por metales base y metales preciosos susceptibles de explotación masiva en la región de Yanacocha y alrededores fue presentada por primera vez por **Víctor Hollister** (1962), desde ese entonces hasta la fecha numerosas empresas han explorado en la zona confirmando el gran potencial minero de la región y que sólo esperan precios estables de los metales en los mercados mundiales para entrar en desarrollo.

Debido a las dimensiones y al tipo de mineralización, en Yanacocha la explotación se lleva a cabo en **open pit** (tajo abierto) y con tecnología de punta haciendo un hincapié especial en el cuidado medio ambiental.

1.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En los alrededores de la mina, se llega a observar las siguientes unidades geomorfológicas: superficies de erosión, áreas glaciadas y más abajo valles.

Las superficies de erosión de relieve suave y poco accidentada presentan diferentes superficies de erosión a distintos niveles y los cuales están relacionados a los levantamientos de los Andes, la disposición escalonada de las superficies de erosión sugiere intermitentes periodos de estabilidad y ascensión rápida de la región. Éstas superficies peneplanizadas de edad Mioceno Medio a Superior (Estadío Puna), ha sido modificada en el sector Este del distrito por una glaciación Pleistocénica (**Wilson y Coronado, 1970**). Es posible reconocer superficies de erosión glacial (estrías en superficie de las rocas), depósitos morrénicos y abanicos fluvio-glaciares en las zonas de cuencas o en zonas de quebradas en "U".

El Estadío Chacra comprende muchas superficies que forman valles anchos como el de Cajamarca, también pequeñas terrazas los cuales han sido aprovechadas por algunas aldeas agrícolas tal como se observan en la carretera de penetración desde Pacasmayo hacia Cajamarca. Así mismo se tiene áreas que han sido cubiertas por tufos ignimbríticos de edad Mioceno Tardío a Plioceno los cuales han sido cortadas por el Estadío Cañón, como por ejemplo en el sector norte del distrito minero donde las quebradas son encañonadas (**Fararr y Noble, 1976**).

Como el distrito se ubica en un Divertium Aquarium, las aguas drenan hacia dos cuencas; el Pacífico (ríos del lado Oeste) y hacia el Atlántico (ríos del lado Este, Norte y Sur-este), pero cabe mencionar que la dirección de drenaje ha ido cambiando a medida que los Andes se levantaban, llegando en muchos casos a cambiar de sentido.

1.4 DATOS HISTÓRICOS

Los trabajos de prospección y actividad minera en el distrito de Yanacocha fueron empezados desde tiempos muy remotos. Se tiene una serie de trabajos desde las épocas pre-incas a coloniales en los Cerros Quillish, Maqui Maqui, Carachugo por cinabrio, cobre y sílice calcedónica.

Las actividades de prospección continuaron en los siglos XIX - XX en especial en la era moderna con la llegada de numerosas empresas extranjeras, es así que Newmont hace su primera visita en 1983 y en 1984 se firma Joint Venture con CEDIMIN, Buenaventura y Newmont empezándose una agresiva campaña de mapeo y muestreo geoquímico descubriéndose anomalías fuertes de plata y valores débiles de oro.

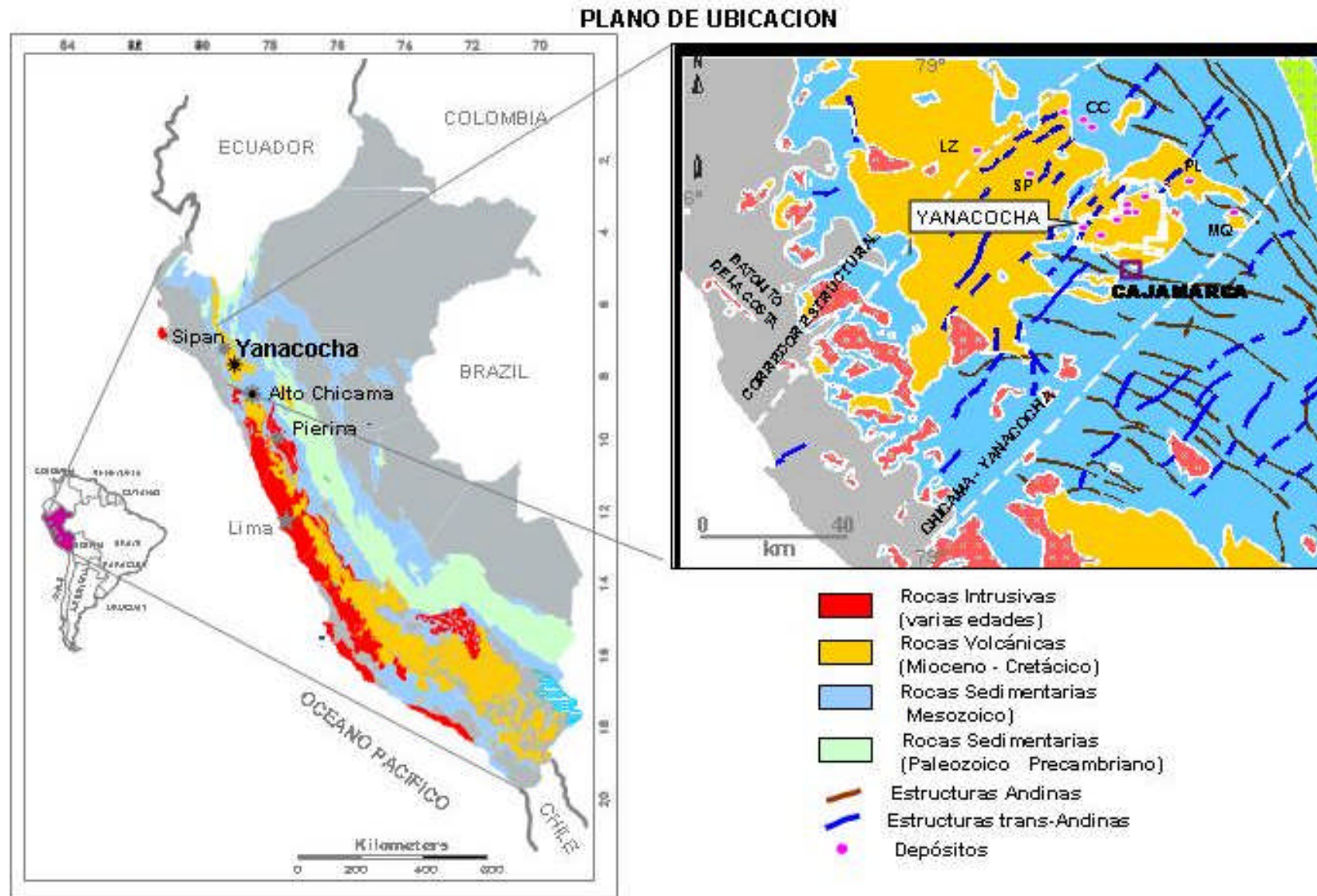


FIGURA N° 1

Hacia 1985, Newmont ejecuta los primeros taladros dando como resultado angostos cuerpos de plata y oro, lo cual fue suficiente indicio como para determinar en 2 años de reconocimiento sistemático fuertes anomalías de oro.

En 1986, la campaña de perforación continuó descubriéndose los depósitos de Yanacocha Norte y Sur.

En 1990 se continua con una agresiva campaña de perforación con la intención de delinear los cuerpos mineralizados de Carachugo, también se perforaron los primeros 8 taladros en Maqui Maqui Sur con muy buenos resultados. Se empieza también con los estudios de factibilidad poniéndose en prueba una planta piloto de lixiviación de 15 000 toneladas de mineral con una recuperación del 83%.

La operación minera a gran escala empezó en 1993, con la primera barra de oro obtenida el 7 de Agosto de ese mismo año. La primera mina en entrar en producción fue Carachugo con 82 500 onzas recuperadas en ese año. La segunda mina Maqui Maqui, comenzó a explotarse en 1994 y el primer millón de onzas se completó el 3 febrero de 1996. En 1997 se puso en producción dos nuevas minas San José y Cerro Yanacocha, llegándose a producir más de un millón de onzas, convirtiéndose en la primera mina de América del Sur en alcanzar dicha marca. En ese mismo año se descubre La Quinoa (depósito fluvio-glacial) con más de 10 millones de onzas de oro además de otros dos depósitos, El Tapado y Chaquicocha Sur.

Si bien los últimos años no se ha tenido grandes descubrimientos, entre 2003 y 2004 se ha tenido dos nuevos descubrimientos como son los depósitos de Antonio y Giuliana con más de un millón de onzas de Au en óxidos.

Actualmente el distrito se ha dividido en dos zona de operaciones: **Operaciones Distrito Este**, constituido por los tajos del Cerro Yanacocha Sur y Oeste y Carachugo, **Operaciones Distrito Oeste** que incluye la mina de La Quinoa, Tapado y Cerro Negro. El ratio entre desmonte: mineral es de 2.0:1.0, la ley promedio de mineral explotado en 2004 fue de 0.9 gr/t Au.

Las reservas reportadas hasta el momento en óxidos (out crop) van en el orden de 13 millones de onzas con una pequeña cantidad de transicional debajo de la zona de óxidos y con probable potencial en zona de sulfuros con altas leyes que actualmente se encuentra en evaluación. En la Quinoa (material fluvio-glacial) se tiene un total de 7 millones de onzas en reservas.

Yanacocha es uno de los mayores productores de oro a bajo costo en el mundo, con un costo efectivo de \$165/onza en 2004.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO Y OBJETIVOS

Son muchas las discusiones y dudas que surgieron cuando se empezó a trabajar en este proyecto; así, durante el mapeo, logueo y relogueo respecto al horizonte favorable para la alteración y mineralización?, cuántas unidades porfíricas existen? y si estas son pre o post mineral al igual que las estructuras, cuántos eventos de mineralización existen? y si las unidades que llamamos tufos son de la misma composición que las unidades porfíricas, existe alguna correlación geoquímica y geofísica entre las zonas alteradas o no?, cual es la secuencia paragenética? y por último si existe la posibilidad de incrementar las zonas mineralizadas o no.

Después de estas preguntas el principal objetivo de este trabajo es elaborar el modelo geológico preliminar del proyecto y sirva para seguir explorando dentro del proyecto y alrededores.

Así mismo este trabajo de investigación sirva para optar el título de Ingeniero Geólogo.

1.6 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Los trabajos de campo y gabinete se detallan en las líneas de abajo.

- **Bibliografía:** Como un paso previo a todos los trabajos, fue necesario recopilar todos los reportes, planos y estudios existentes hasta ese entonces de la zona.
- **Mapeo:** Se efectuó un mapeo rápido de los accesos para las nuevas plataformas y un remapeo de zonas problemáticas. Todos los mapeos de litología, estructuras y alteración se efectuó a escala 1/2000 utilizando como base el ortofoto de la zona.
- **Geoquímica:** A la par que se efectuaba el mapeo se hizo muestreos selectivos en algunas estructuras alteradas dentro de los porfíricos frescos, algunos canales y rock chips dentro de las zonas alteradas en tufos. También se escogió algunos taladros claves para geoquímica. Todos estos fueron enviados por 32 elementos (ICP). La prospección geofísica fue levantada durante la campaña del 2000.
- **Perforación diamantina:** Los primeros taladros se efectuaron en el año 2000 y continuando en los años 2001 y 2002 con un total de 34 taladros. Previa a la

perforación se construyeron plataformas de 10x15 cada una con sus respectivas poza de lodos siguiendo un exigente estándares medio ambientales y de seguridad.

- **Estudios petrográficos y minerográficos:** Fueron seleccionados un total de 16 muestras entre core y muestra de superficie escogidas de zonas no definidas. Los estudios fueron efectuados en el Laboratorio de Mineralogía de la Universidad Nacional de Ingeniería y en el INGEMMET por el suscrito con la ayuda de los jefes de ambos laboratorios.
- **Elaboración de planos y secciones geológicas:** Una vez mapeado y compilado todos los mapeos de afloramiento se efectuó los planos interpretativos litológicos, estructural y de alteración. Con la información de los logueos y relogueos se elaboró un total de 10 secciones NS y a partir de los cuales se efectuó la sección típica 28 000 EW (A-A').
- **Reporte final:** En base a las observaciones y resultados de toda la información anterior se procedió a escribir el informe final que se plasma con la impresión y entrega del presente trabajo.

CAPITULO II

GEOLOGÍA REGIONAL Y DISTRITAL

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El Distrito Minero de Yanacocha y el Proyecto Arnacocha como parte de éste distrito, se encuentra dentro de los complejos de pilas volcánicas e intrusivas del Cenozoico y rocas sedimentarias del Mesozoico de la fosa tectónica occidental peruana. Estos dos tipos de secuencias albergan un conjunto de depósitos que van desde una serie de depósitos tales como sulfuros masivos (Tambogrande), polimetálicos (Hualgayoc), sistemas de pórfido Cu-Mo-Au (La Carpa, Michiquillay, El Galeno, Perol, Chailhuagon...) y sistemas epitermales (Sipán, La Zanja, Tantahuatay...) que pertenecen al Segmento Norte, subdivisión de las provincias metalogénicas subparalelas a la costa peruana hecha por **Soler (1986)** y muchos otros ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes y que se extienden subparalelamente a la costa sudamericana y su origen asociados a márgenes destructivos de colisión de placas (ver figura N° 2).

El paquete de los volcánicos Terciarios que en conjunto conforman el Grupo Calipuy el cual se divide en los Volcánicos Llama, Formación Porculla y Formación Huambos (**Wilson, 1985 a**) y encima de las cuales sobreyace la secuencia de los volcánicos denominado Complejo Volcánico de Yanacocha 'YCV' (**T. Longo 2003, en publicación**). Es decir a diferencia de la típica teoría en donde se pensaba que los 'YCV' era parte de los volcánicos de la Formación Porculla y encima de ellas recién se depositaba los volcánicos de la Formación Huambos, estudios efectuados y publicados por **D. Noble** en 1999 (ver figura N° 3), dentro de lo que se denomina Huambos en su área típica reporta 40 MA y que de acuerdo a dataciones hechas por **T. Longo** (2002-2003) dentro del Distrito Minero de Yanacocha y alrededores, las edades varían desde 20 MA hasta los 8.6 MA.

En la región existen numerosos rasgos estructurales que han propiciado a la formación del ambiente geológico local. Yanacocha esta localizada cerca de una importante intersección de lineamientos andinos y tras andinos. En las inmediaciones de Cajamarca el trend trasandino es la que controla la formación del YCV (**Turner, 1997**), conocido también como el Corredor Chicama-Yanacocha (**Quiroz, 1997**), mientras que el trend andino esta expresado por la orientación NNW a WNW de los ejes de plegamiento de rocas Mesozoicas y la alineación de intrusiones Terciarias en el área de Cajamarca

(**Wilson 1985**). Numerosos autores que han trabajado especialmente al Norte del Perú (**Steinman, 1929; McKee and Noble, 1989; Noble et al., 1990**) han reconocido eventos orogénicos que han sido llamados como los correspondientes a las fases Incaica y Quechua.

2.2 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

2.2.1 Basamento Cretácico

Estratigráficamente las secuencia más bajas (inferiores) están representadas por unidades calcáreas y clásticas muy finos y gruesos cuyas edades van desde Jurásico-Cretácico (**Benavides, 1956**). Las rocas silicio clásticas consisten de cuarcitas, limolitas, lutitas algo calcáreas del Cretáceo Inferior (Grupo Goyllarisquizga) (**Wilson 1985**), así la unidad más inferior (Fm. Chimu) se hallan mejor expuestos en los alrededores de Cajamarca, aflorando las demás unidades clásticas, margosas y calcáreas que corresponde a períodos de regresión y trasgresión marina aflorando a pocos kilómetros al Norte y Sur del distrito los cuales están intensamente plegadas y falladas (Deformación Peruana). Estos basamentos cretácicos son cortados y cubiertos posteriormente por los volcánicos correspondientes al Ciclo Magmático Andino.

2.2.2 Volcánicos Llama

Son volcánicos que representa a una fase de vulcanismo continental cuyo foco principal estuvo situado en la parte occidental de la región. Hacia la parte distal Oeste de la sección Llama-Bambamarca estos volcánicos sobreyacen discordante a los estratos marinos del Cretáceo; son volcánicos poligénicos de composición de fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, emanadas desde diferentes centros volcánicos. Las dataciones radiométricas (K-Ar) efectuadas por **D. Noble (1999)**, dentro de esta formación arrojan 54.8+- 1.8 y 44.2+- 1.2 MA. La alteración pervasiva que presenta en partes estos volcánicos, podría ser el resultado de un gran sistema hidrotermal presumiblemente cogenético con el Batolito de Chota, parte de la Fm. Chota, que en su mayoría es volcanoclástico y cuyas dataciones arrojan valores entre 50 y 44 MA y que equivaldría a la parte distal oriental de flujos de cenizas riolíticos y unidades volcánicas dacíticas de Fm. Llama. Sin embargo en algunos cortes de carretera entre Cajamarca y Yanacocha existen depósitos de avalancha de andesitas y sedimentos volcánicos

débilmente alterados pseudo estratificados llamados Volcánicos Tembladera (**L. Reyes, 1980**) y son equivalentes a la Fm. Llama (**J. Wilson, 1984**).

2.2.3 Volcánicos Porculla

Hacia el noreste del pueblo de Llama, existen paquetes de rocas los cuales fueron mapeados por **Wilson (1984)** como la Fm. Porculla. Esta unidad sobreyace con cierta discordancia angular a rocas tan diferentes como el metamórfico precámbrico, paleozoico, mesozoico y a los volcánicos Llama.

En base a las observaciones hechas por **Reyes (1980)** y **Wilson (1984)**, ésta unidad volcánica consiste principalmente de material piroclástico riolítico a riodacítico acompañada de lavas andesíticas, brechas, tufos y material volcánico reabajado de composición intermedia.

S. Turner (1997) sostiene que correspondiente a la parte inferior de esta secuencia es donde se ubicaría los volcánicos denominados como “Yanacocha Volcanic Complex” de edad Miocénica, pero de acuerdo a la ubicación con las dataciones radiométricas hechas para muestras en su área tipo, los Volcánicos Porculla estaría ubicada en un rango entre 44 y 39 MA (ver Fig. N° 3). Esta formación es cubierto parcialmente concordante y en partes con una discordancia angular por los Volc. Huambos.

2.2.4 Volcánicos Huambos

En su área tipo consiste en una gruesa capa de unidades de tufo y flujos de ceniza riolítico de aprox. de 150m de espesor, bien estratificadas totalmente frescos, cuyas dataciones hechas por **D. Noble (1999)** arrojan edades desde los 39.3+-1.0 a 35.4+- 1.2 MA. Esta unidad sobreyace directamente sobre Porculla, pero al Este del pueblo Huambos la Fm. Huambos sobreyace a la Fm. Llama con una discordancia angular de 90°.

Estos volcánicos tienen la propiedad de ser fácilmente trabajadas razón por la que las antiguas poblaciones hicieron uso de ello para construir las famosas “ventanillas” (nichos).

La Fm. Huambos se habría desarrollado en una etapa posterior a los comienzos del levantamiento andino (**Wilson 1984**).

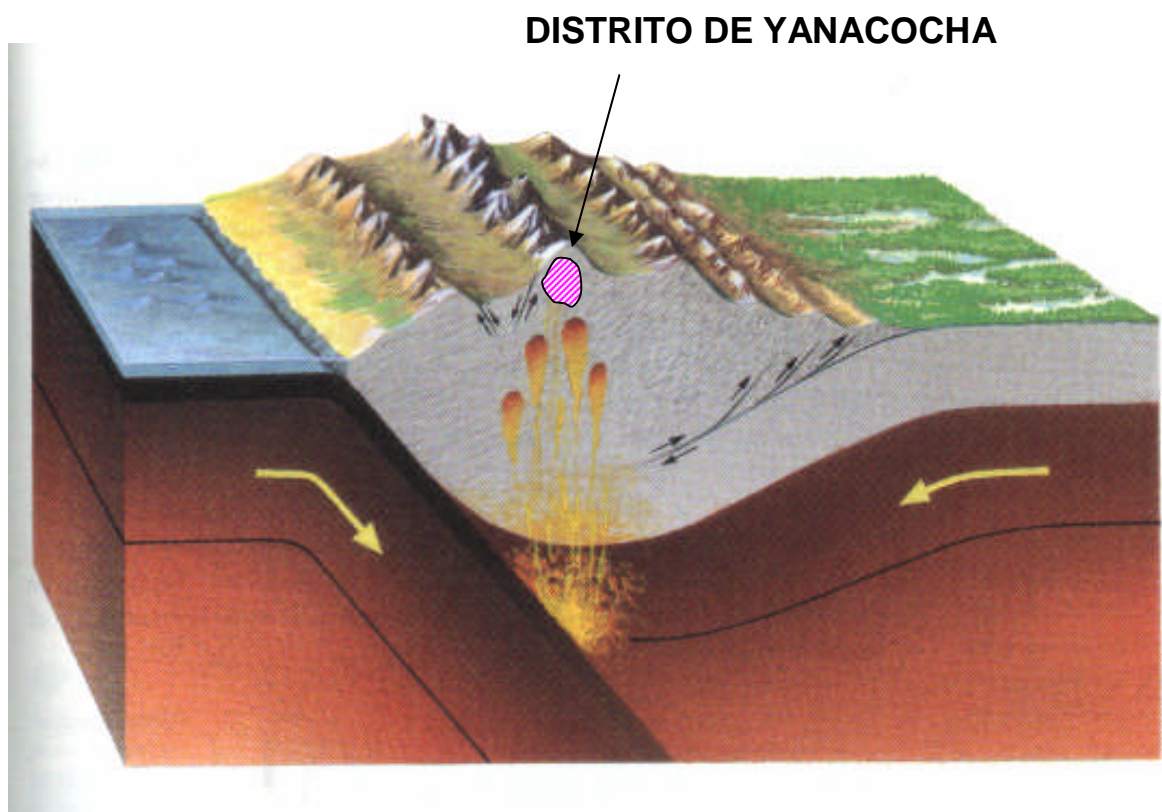


FIGURA N° 2: Ambiente tectónico de la orogenia andina relacionada con las rocas volcánicas e intrusivas que dan origen a los yacimientos hidrotermales Terciarios ubicados en los márgenes continentales del arco magmático circumpacífico (ejm. Yanacocha).

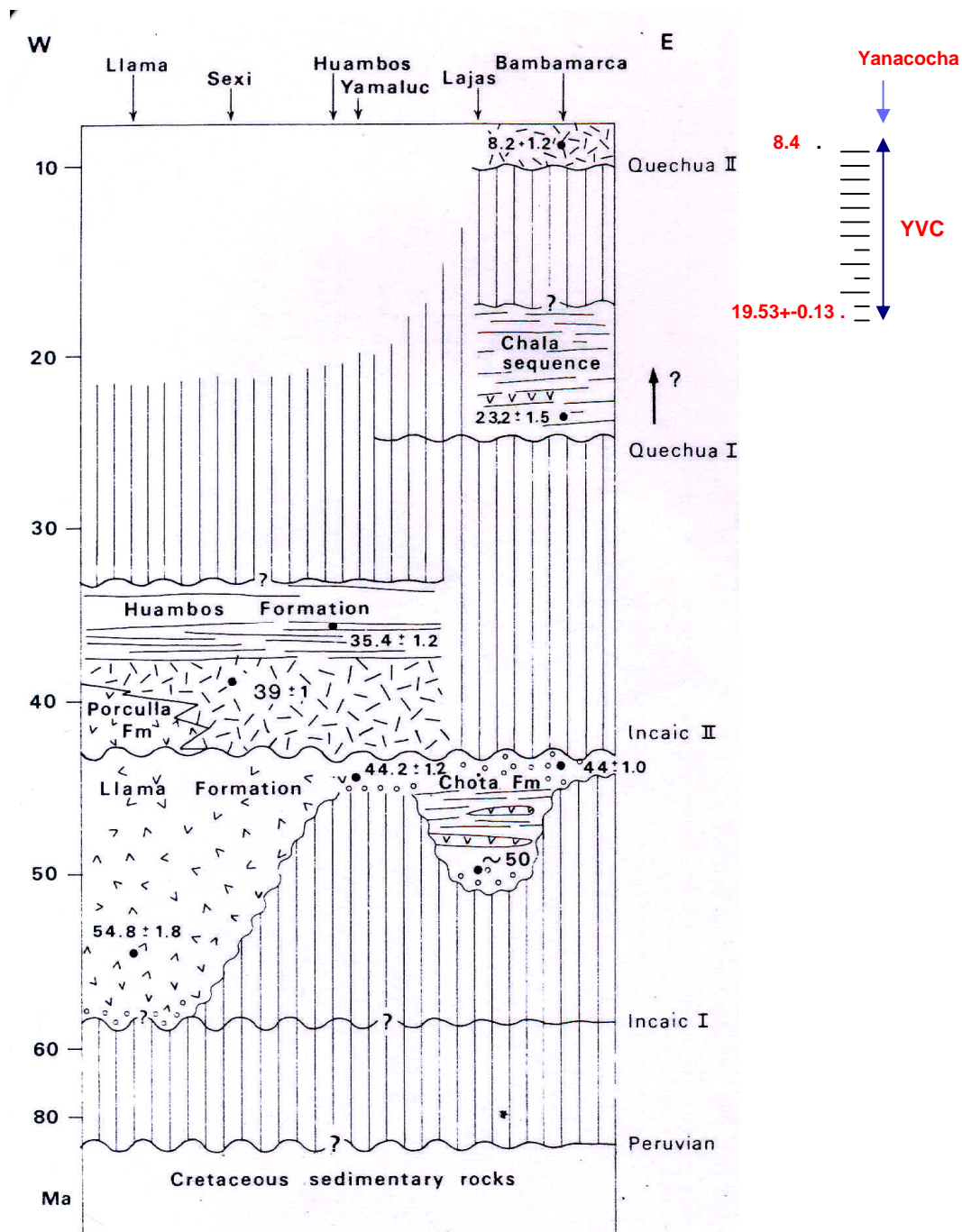


FIGURA N° 3: Diagrama esquemático para el área de Llama-Bambamarca de las unidades volcánicas Terciarias y su relación con las unidades del Distrito Yanacocha (modificado de D. Noble y et. al 1999).

2.3 GEOLOGÍA DISTRITAL

El conjunto de sistemas que comprende Yanacocha y desarrollados en el Mioceno Medio a Superior, según dataciones de **S. Turner** y **T. Longo (1997, 2001)** las edades están comprendidas entre 19.53 a 8.4 MA. y que abarca desde eventos volcánicos efusivos a explosivos; principalmente andesíticos y en menor proporción dacítica, que en conjunto fue llamado por primera vez como 'YVC' por **S. Turner (1997)**.

La roca huésped por excelencia son las unidades piroclásticas o tufáceas, seguida de brechas mineralizadas (controles locales) que le dan un mayor valor económico a todos los depósitos.

El Distrito tiene un marcado alineamiento en la dirección NE, dirección en la cual se alinean el conjunto de los depósitos con sus respectivos zoneamientos de ácido-sulfato y que fue registrado por la geofísica (**Airborne Magnetic Survey**). Existen depresiones circulares siguiendo un rumbo en N50E (**A. Quiroz, 1997**). Producto del stress originado dentro de éstas estructuras existen un marcado juego de estructuras en la dirección N-W que controla principalmente grandes cuerpos de brechas (freáticas, hidrotermales y freatomagmáticas como en la Mina Yanacocha). Como un tercer juego de estructuras aunque en menor intensidad son las de dirección E-W.

Las unidades establecidas de acuerdo al programa de relagueo llevado en 2002 (**P. Rogowsky**) son las que actualmente se vienen usando para todo el distrito con algunas variaciones en cada uno de los proyectos.

Cada yacimiento tiene un origen propio, con un zoneamiento típico de alteración desde un centro silicio gradando a argílica avanzada (cuarzo-alunita-caolín-pirofilita), argílica (arcillas) y una muy débil alteración clorítica. El grado de oxidación, brechamiento (hidrotermal), fracturamiento son guías y controles locales de mineralización.

2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

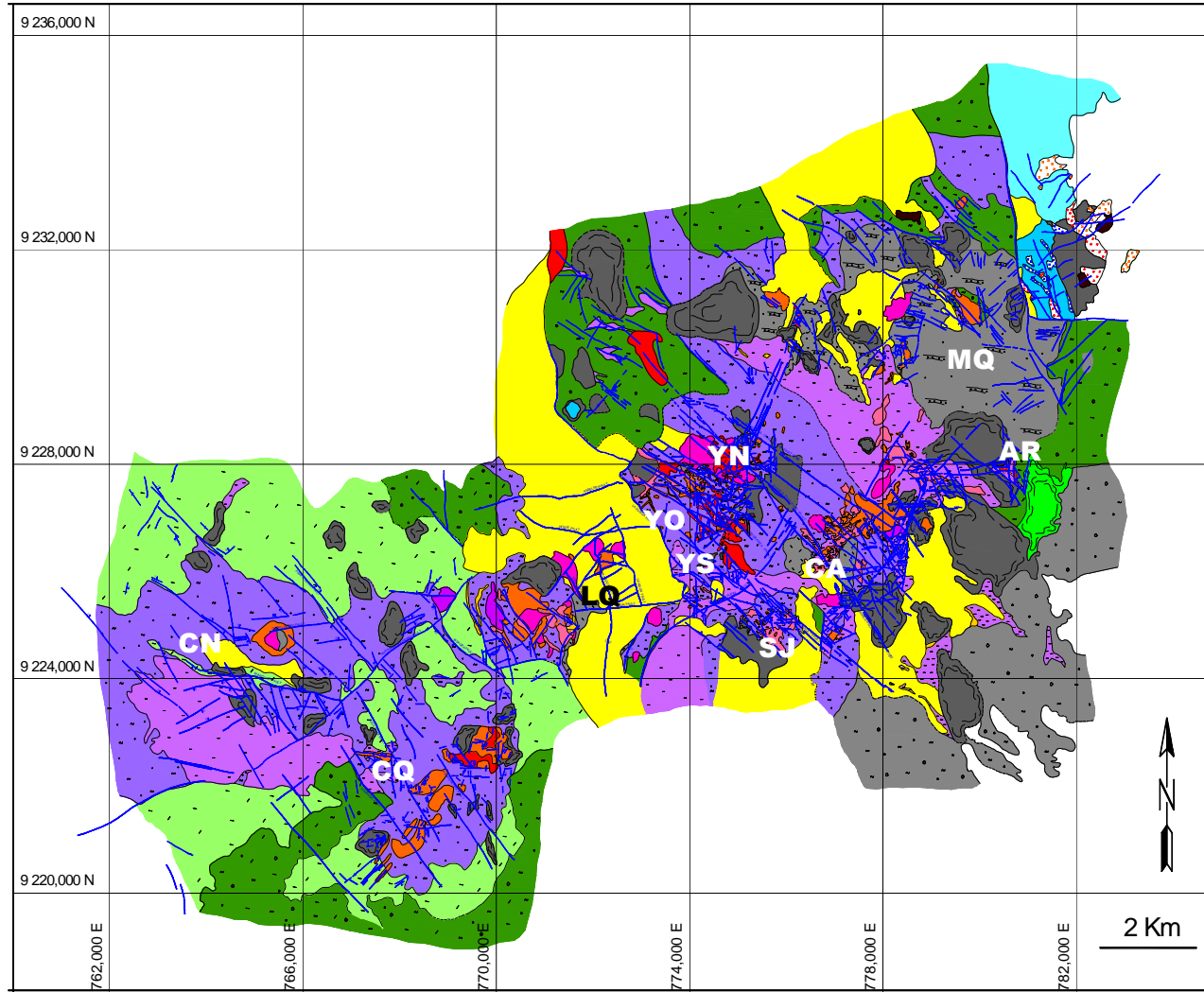
Regionalmente, el Distrito Minero esta localizado dentro de una importante intersección de lineamientos andinos y tras andino. Las estructuras en el basamento Cretácico que reflejan el trend andino expresado por la orientación NNW a WNW de los ejes de plegamiento de rocas Mesozoicas (observados en los alrededores del distrito a unos 20 y 25km al Norte y Nor-este) así como intrusiones Terciarias en el área de Cajamarca (**Wilson 1985**) es el resultado de convergencia de placas con sigma 1 de orientación NE (**F. Breit, 2001**) ; mientras que el patrón trasandino, más conocido como el

Corredor Chicama-Yanacocha se evidencia por el desplazamiento del litoral peruano y el lineamiento ENE del Distrito de Yanacocha (**A. Quiroz 1997**).

Las estructuras pre y sin mineral del Mioceno Medio (11-12 MA), desarrollados en la rocas huésped de Yanacocha son el resultado de una simple zona de cizalla, debido a esfuerzos en la dirección E-W, originando importantes rasgos de dirección N60W (Ej. Boundary Fault, Diablo Pacifico Fault) que fue interpretado e inferida en la interpretación del mapa regional a escala 1:25 000 por **T. Longo y L. Teal (2000)**. Los esfuerzos sigma 1 en la dirección EW originaron fallas normales y tensionales que controlan en menor proporción la mineralización tal como sucede por ejemplo en Arnacocha. La información de airborne- magnetic (1:100 000) muestra un alto magnético aprox. en la dirección EW. Las estructuras post mineral en la dirección Norte-Sur originadas por esfuerzos de sigma 1 de dirección NW, cuya edad propuesta de 10-8.4 MA esta basada en la datación del Ypb (unidad porfírica con fenocristales de biotita) por **S. Turner (1997)** y que corresponderían a la fase Quechua II.

PLANO GEOLOGICO DISTRITAL

YANACOCHA DISTRICT – GENERALIZED–STRATIGRAPHIC COLUMN (APRIL 2003*)
DEPOSIT HOST ROCKS



(Compilado por T. Lonao, L. Teal, J. Gomez, 2003)

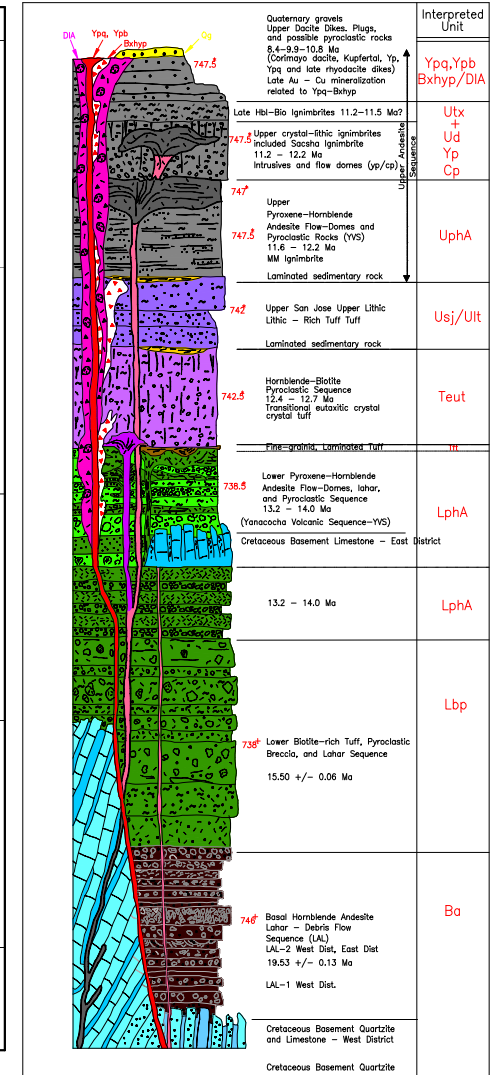


FIGURA N° 4

CN: Cerro Negro, CO: Cerro Quillish, LQ: La Quinua, YO: Yan, Oeste, YS: Yan, Sur, YN: Yan, Norte, SJ: San José, CA: Carachugo, MQ: Maqui Maqui, AR: Amacocho

CAPITULO III

GEOLOGÍA LOCAL DE ARNACOCHA

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL DEPÓSITO

El proyecto Arnacocha está ubicado al extremo Este del distrito minero de Yanacocha, hacia el Sur-Este de la ex-mina Maqui Maqui y que hacia el Oeste se une aparentemente con el proyecto de Quecher Norte (Ver foto N° 1, fig. N° 4).

El proyecto se ha dividido en tres zonas de interés (ver fig. N° 5, foto N° 1), todas ubicadas dentro de los tufos de cristales y piroclásticos muy finos, de origen explosivo con escasos fragmentos líticos, alterados por procesos endógenos a un sistema ácido sulfato los cuales fueron seguidas por eventos de mineralización. El área principal (zona de interés I) y que es la que contiene el cuerpo principal de Au (con orientación casi E-W) presenta dos niveles, siendo el nivel superficial la principal y que se prolonga en profundidad a dos cuerpos más pequeños. La segunda zona está pasando la falla Arnacocha y cubierto por las unidades porfiríticas relacionadas a eventos de domos, los niveles tufáceos alterados alojan un cuerpo delgado de Au aún abierto en mineralización, lo cual quedaría por explorar. La tercera zona de interés, hacia el Oeste, queda expuestos remanentes aparentemente de secuencias delgadas de tufos alterados pero sin valores anómalos por Au. Cabe resaltar la presencia de al menos cuatro centros volcánicos poligenéticos efusivos: Domo Qda. Ocucho Machay, Domo Qda. Arnacocha, Domo Ocucho, Domo Quecher Este (**S. Moore, 2001**) los cuales están rodeando, cortando y cubriendo en gran parte a las unidades tufáceas en los cuales se emplazan los distintos proyectos de la zona. Como un indicador pre-sistema y pre-mineral de las unidades porfiríticas relacionadas a los domos es la presencia de costillas o 'ribs' dentro de estas (ver foto N° 5) con débil anomalía en Au, así también los bordes del domo alterado. El otro indicador, que estos domos son pre-sistema y pre-mineral es que las partes correspondientes a los extremos, zona de autobrecha, (ver foto N° 9) si bien son heterolíticos no presentan fragmentos alterados alguno.

La topografía actual del proyecto es ondulada debido a la intemperización sufrida por las unidades porfiríticas que en gran parte subyacen a las unidades tufáceas quedando como rasgos sobresalientes (topografía positiva) las unidades alteradas.

VISTA PANORAMICA DEL PROYECTO ARNACOCHA
(Foto tomada mirando de Sur a Norte)
Foto N°1



 **Zona de Interés I**

 **Zona de Interés II (cubierto)**

 **Zona de Interés III**

LITHOLOGIC AND STRUCTURAL INTERPRETIVE MAP

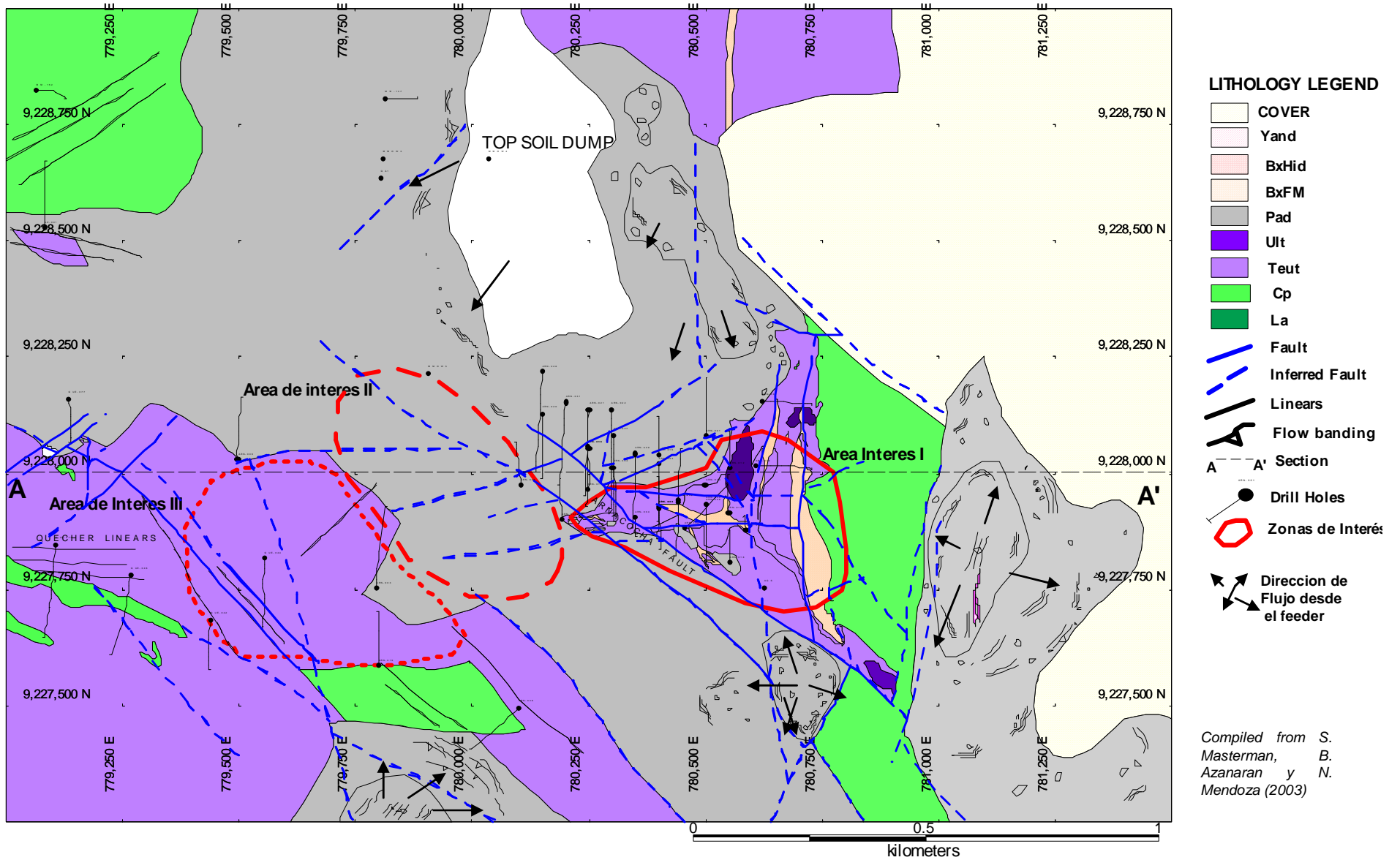


FIGURA N 5

Compiled from S. Masterman, B. Azanaran y N. Mendoza (2003)

ALTERATION INTERPRETIVE MAP

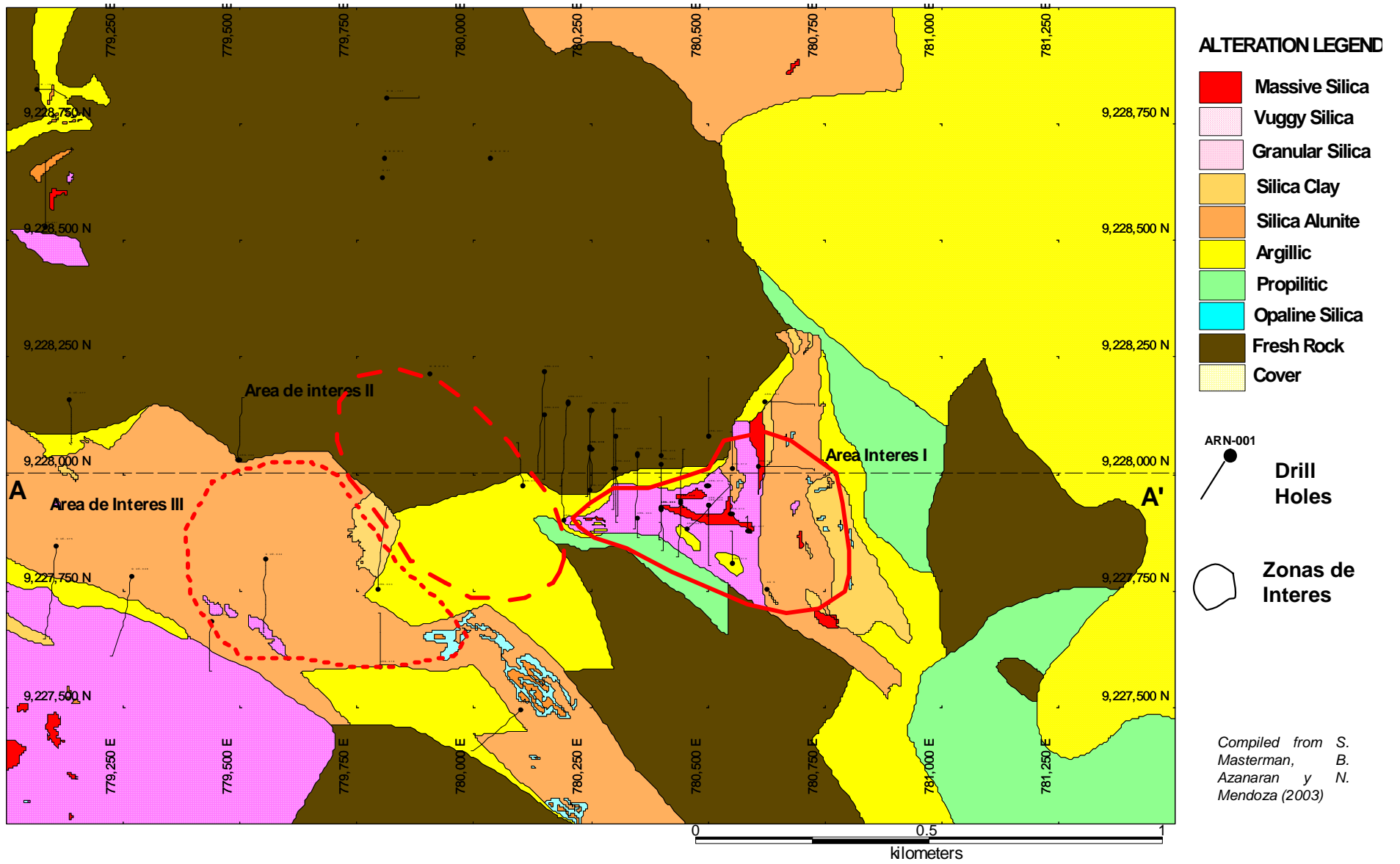


FIGURA N 6

PLANO DE ISOVALORES DE LEY x ESPESOR

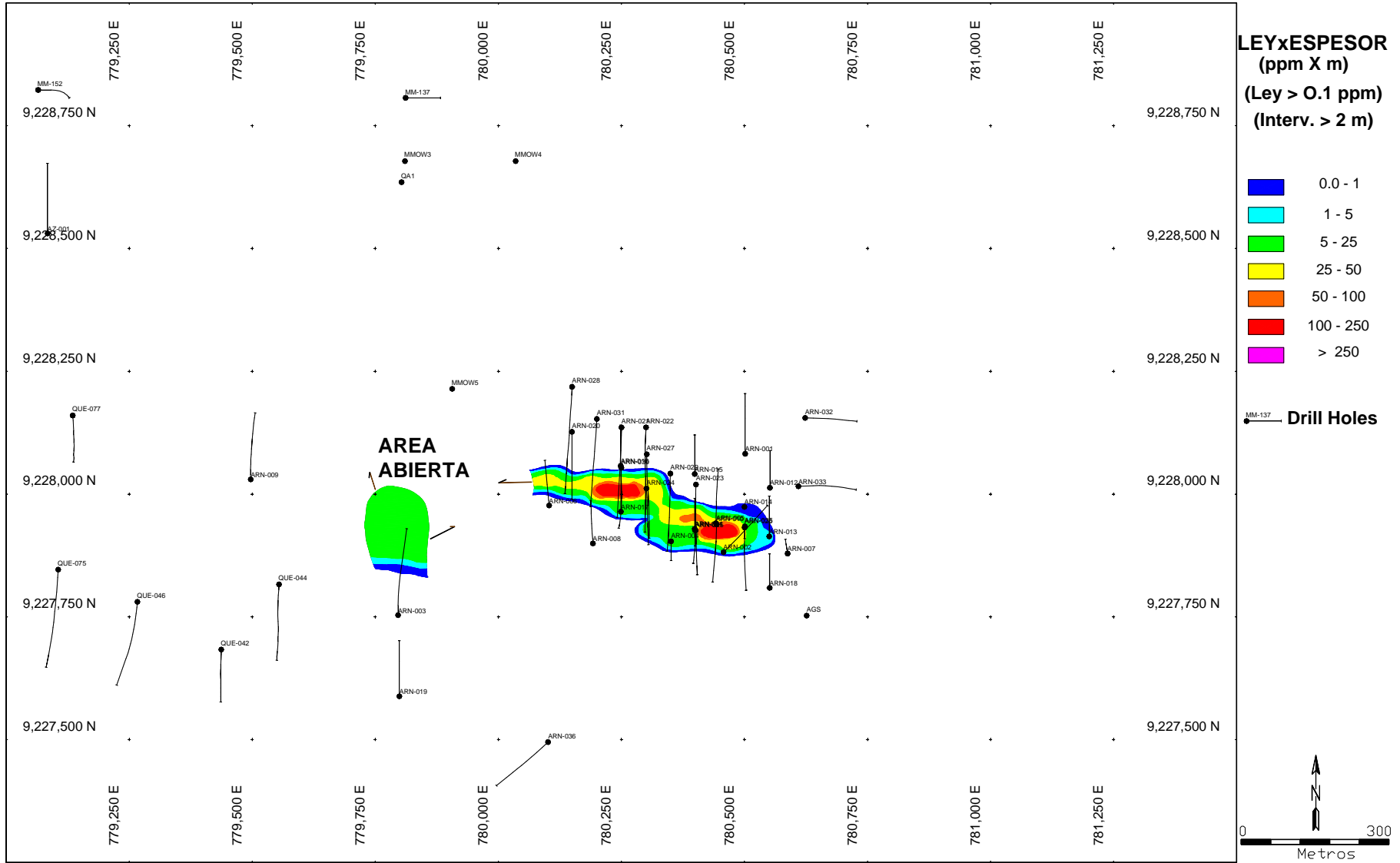


FIGURA N 7

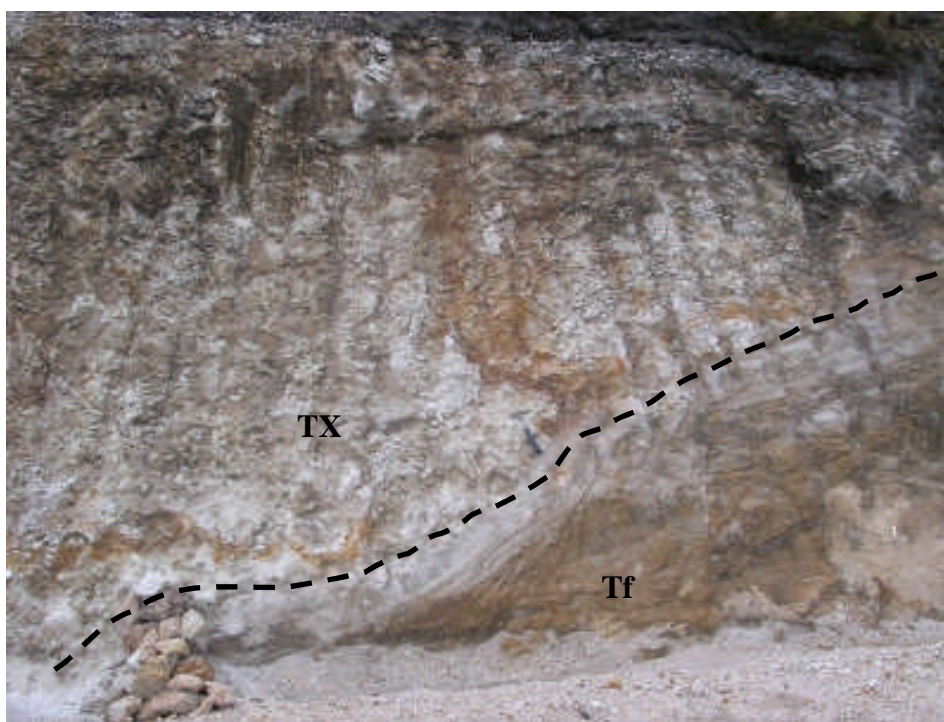


Foto N°2: En la foto, se muestra el contacto subhorizontal de los tufos de cristales (Tx) con un nivel de los tufos más finos (Tf). Ambas corresponden al Teut (alteración SG a SMG).

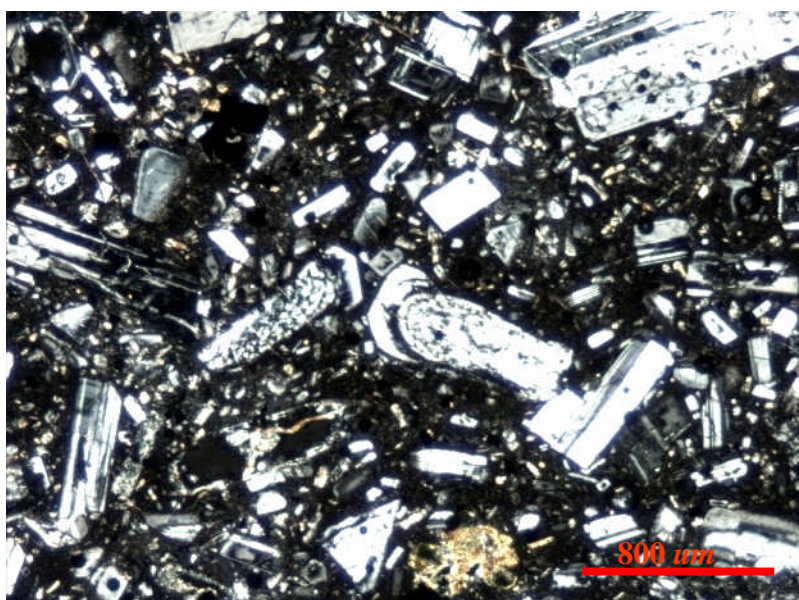


Foto N° 3: Diques porfíricos tardíos (Pad), intruyendo a los tufos de cristales oxidados.



Foto N° 4: Muestra de mano del dique de la foto anterior N°3. Nótese el carácter porfírico con la presencia de ferro magnesianos (hornblenda en color oscuro) y cristales de Plg en color blanco todo ello en matriz textura fanerítica.

Pad (dique)



Macrofotografía N° 1: Luz transmitida. Nícoles Cruzados.

Vista de la textura porfídica, cristales y fenocristales de plagioclasa (Plg) y en menor proporción anfíboles, piroxenos, magnetita primaria, en matriz fanerítica. Plg alterándose a cly y sericita?. Al parecer existe una magnet. secundaria (ferromagns. alterándose) y alrededor de ésta hematina (coloración rojiza), presencia de opacos. En otros campos presenta fragmentos ricos en anfíboles también alterándose a cly.



Foto N° 5: 'Rib' o costilla con alteración SC, que se desarrollan en estructuras dentro del Pad. Se interpreta que estos rib son conductos de una fuente hidrotermal existentes en partes bajas (T. Klein) o serían manifestación de una reactivación del sistema. Los muestreos arrojan valores anómalos por Au (<100ppb).

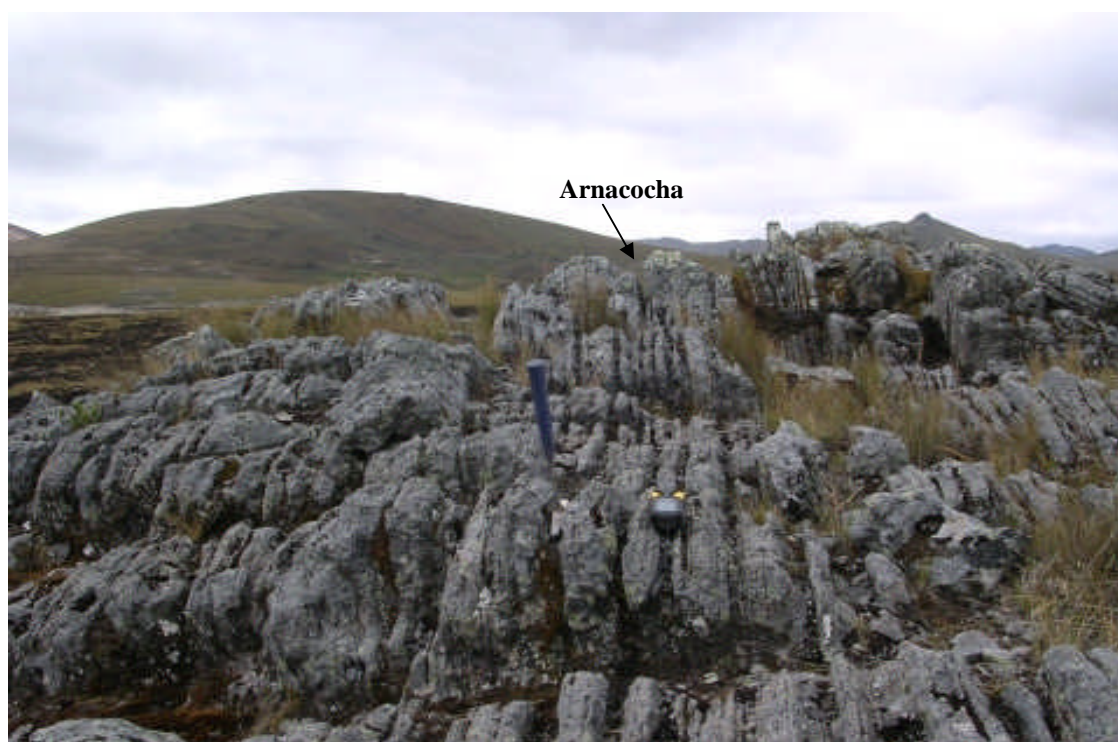


Foto N°6: Flow banding vertical correspondiente al cuello o feeder del domo Ocucho (Pad) apuntando hacia Arnacocha



Foto N° 7: Acercamiento de la foto anterior N° 6, en donde se muestra el carácter de foliación de flujo (vertical).



Foto N° 8: En primer plano se muestra las capas de foliación de flujo casi horizontal apuntando hacia Arnacocha.



Foto N° 9: Fragmentos subredondeados principalmente monolíticos (andesíticos) englobados en matriz de la misma composición, totalmente frescos. Nótese el carácter brecha de flujo de los fragmentos que correspondería a los bordes de los domos (auto brecha).



Foto N° 10: Mirando de norte hacia el sur. Afloramiento de cuerpo de brecha casi vertical, cortando a la secuencia de volcanoclásticos.

3.2 LITOLOGÍA MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA

3.2.1 Rocas Porfiríticas

De acuerdo a la tabla de clasificación para texturas de rocas de origen magmático convencional (ver anexo, cuadro N° 1) todas las rocas porfiríticas encontradas en el proyecto son de carácter pórfido andesítico, es decir la presencia de fenocristales y cristales es en cierta forma es mayor que la matriz (con ciertas excepciones) y que varía desde subvolcánico a volcánico. A continuación se mencionará las unidades de textura porfirítica que aflora en más del 60% del área total del proyecto tanto en profundidad como en superficie (desde los más tempranos hasta los más tardíos).

- **LA - Lower andesite basamento**

Esta es una secuencia de hornblenda a hornblenda-biotita lava andesítica, con niveles de tufos líticos andesíticos (*J. Rogowsky, 2003*). Los líticos son autoclastos o fragmentos de la roca del basamento cretácico (cuarcita, arenisca o argillita). En Arnacocha todos los taladros perforados tanto dentro del cuerpo principal del depósito como al lado W de la **Falla Arnacocha** terminan al tope del gran paquete denominado "Lower Andesite", sobre la cual subrayase las secuencias de tufos huéspedes de mineralización en todo el distrito de Yanacocha. En Arnacocha se caracteriza por presentar autoclastos (20-30%) dando una textura de pseudo-fiammes (fragmentos poco consolidados envueltos por la oleada porfirítica) suspendidos en matriz de fenocristales o glomeroporfirítica subhedrales > eudrales (hornblenda, plagioclasa). Ver foto N° 11 y microf. N° 2.

- **Cp - Carachugo porphyritic**

Originalmente llamado así, a diques andesíticos hallados en Carachugo y después usado en Yanacocha para cualquier dique, sill o cuerpos andesíticos en varios eventos (*J. Rogowsky 2003*) cuya característica principal es la presencia de cristales de tamaño homogéneo, con presencia de algunos fenocristales principalmente de plagioclasa y en menor cantidad hornblenda y biotita dentro de una matriz fanerítica a afanítica. En Arnacocha, aflora hacia el lado Este en contacto con los tufos de cristales y piroclásticos finos. Al otro lado de la falla Arnacocha también aflora esta unidad, principalmente alterada a SC o SA. Ver foto N° 19, y microf. N° 5.

- **Pad - Complejo de domos - Qda. Arnacocha**

Llamado así a todos los porfiríticos de composición hornblenda-piroxeno andesítico; relacionados a domos tempranos y tardíos en el área y en los cuales al menos se ha identificado una de estas características (**S. Moore, 2001**): un interior porfirítico uniforme, muy pocos fragmentos (excepto en los márgenes), foliación de flujo, contacto claro con los tufos, brecha intrusiva gruesa en los bordes, típicamente alterado a argílico pasando a roca fresca en el interior (magnética), contraste entre el domo y los tufos previamente alterados (domos tardíos) , la geometría mapeada define un gran cuerpo o masa intrusiva dentro de las rocas piroclásticas tempranas. Relacionada a estructuras o bordes del domo con limitada alteración SA, SOP. Por lo observado en el campo y testigos de taladros son poligénicas. Ver fotos N° 11, 12 y 16.

- **Yand-Yanacocha andesite**

Diques de andesita muy angostos, frescos; de color gris oscuro con algunos fenocristales 1-3mm de plagioclasa, hornblenda y biotita en matriz afanítica. Probablemente el último evento intrusivo al igual que en las demás partes del distrito. En Arnacocha con menos de 5 metros de espesor se encontró cortando a toda la secuencia de tufos alterados y porfiríticos. Fue reconocida inicialmente en el tajo de Yanacocha Sur. Cabe señalar que después de chequear las secciones delgadas hechas a muestras típicas, éstas muestran una textura de fragmentos de cristales de rotos lo que también nos haría postular la probabilidad de que se trata de tufisitas, es decir secuencia de unidad fragmental de un vulcanismo muy profundo, llamado también tufos intrusivos. Ver foto N° 20, microf. N° 6.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE ARNACOCCHA

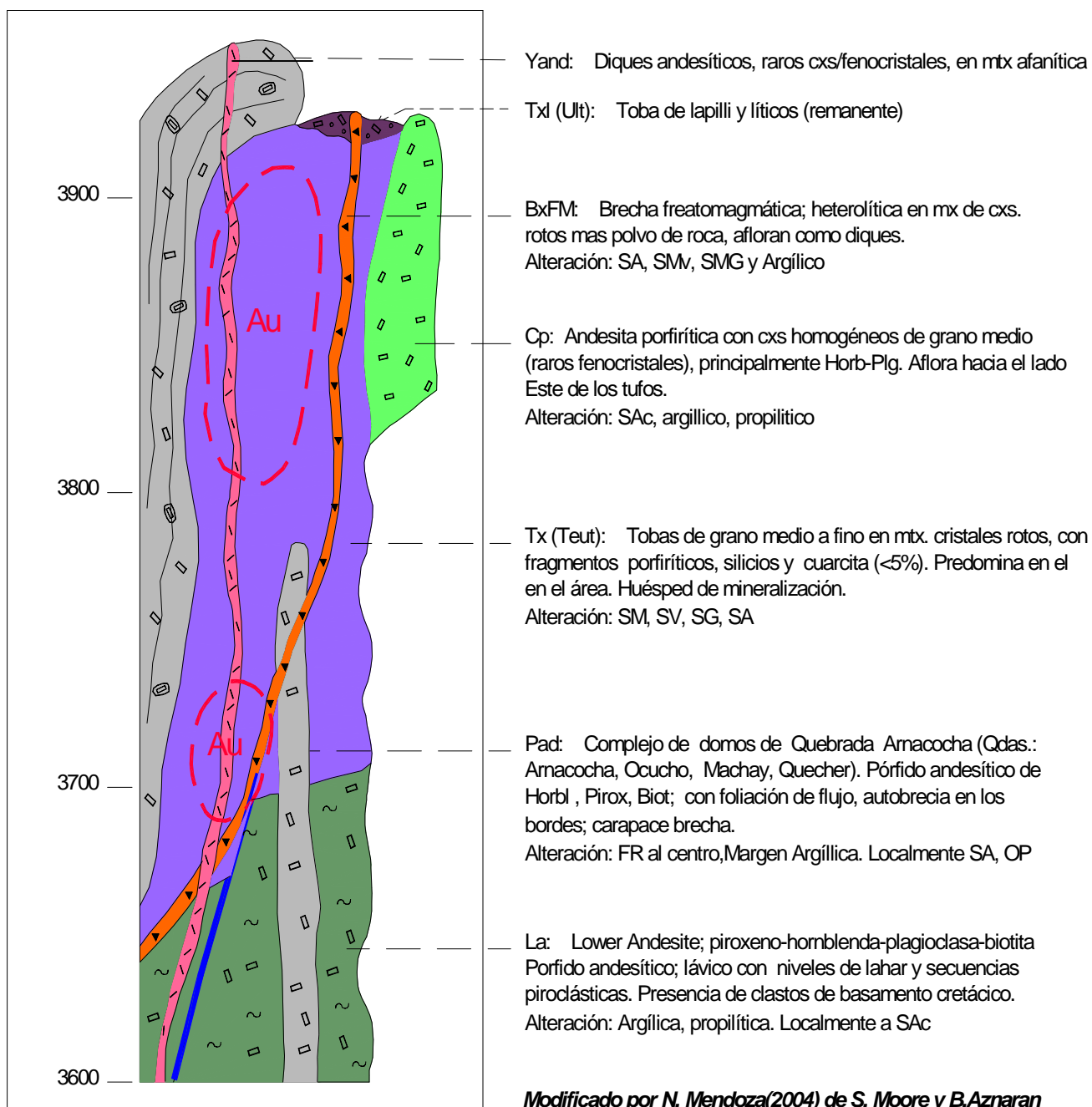


FIGURA N° 8

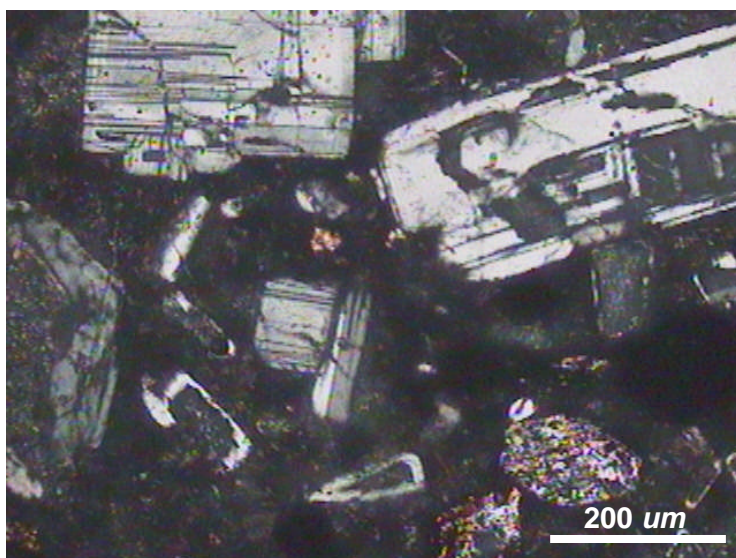
MISCELÁNEO DE FOTOS



Foto N°11: Unidad porfirítica con inyección de flujos porfiríticos cortando a otros aun inconsolidados.

LA (Basamento andesítico)

ARN-022, 328.20m



Microfotografía N°2: Luz transmitida. Nicoles cruzados.

Fenocristales eudrales de Plg con su zoneamiento, cuyos bordes están alterándose a cly. Abajo hacia la derecha (pardo) anfíboles con mayor alteración a arcillas. En oscuro biotita y opacos; englobados en matriz fanerítica.



Foto N° 12: Inyección de unidad porfírica. Fíjese el alineamiento de cxs. totalmente frescos.

ARN-03; 350 m.

La

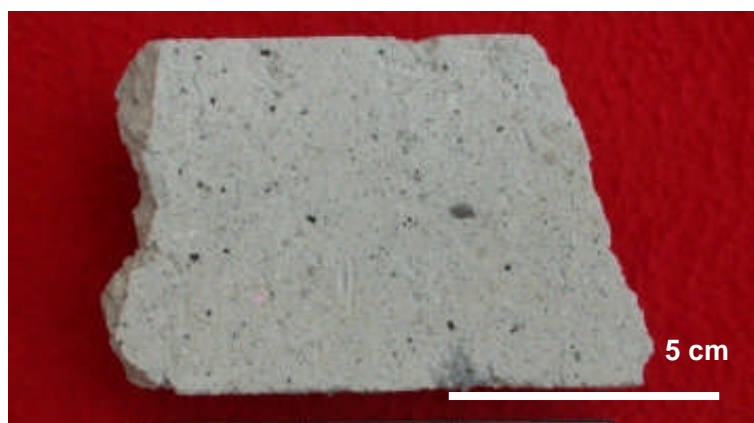


Foto N° 13: Cristal de ferromagnesianos y feldespatos en matriz fanerítica, ligeramente argilizada

ARN-14; 333.40m

La

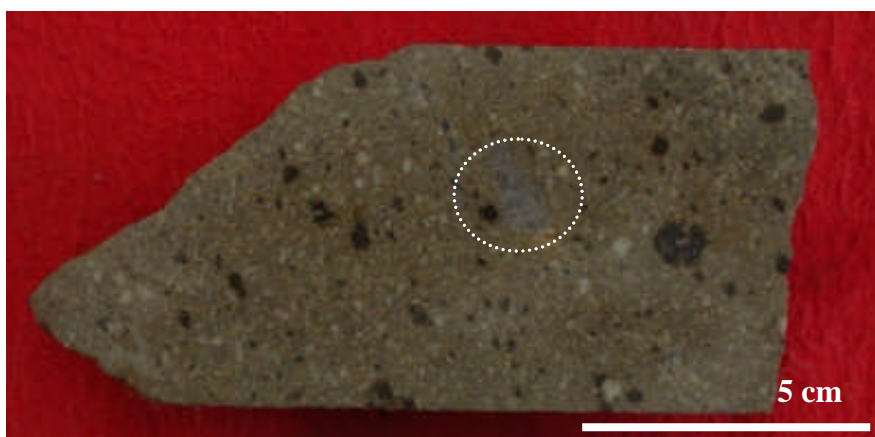


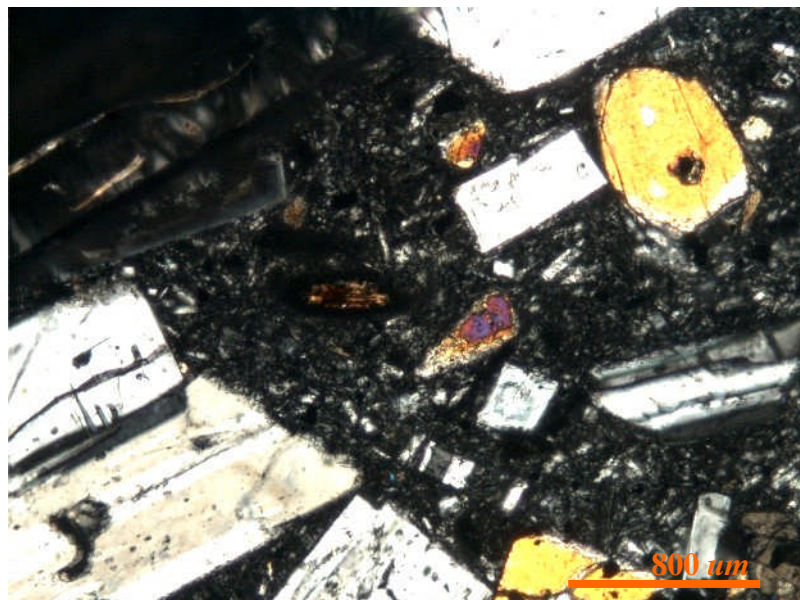
Foto N° 14: Fenocris. de Horb, Plg, Bt en matriz fanerítica, en círculo blanco fragmento de cuarcita

ARN-09; 54.7m

Pad



Foto N° 15:
 Fenocristales de Plg,
 Horb, Bt alineados
 Muestra de mano de
 superficie correspondiente
 al centro del domo. Ver
 foto N° 7. **Pad**



Microfotografía N° 3: Luz transmitida. Nícoles cruzados.
 Cristales de Plg. alineados matriz de cristales finos.
 Presencia de oxihornblenda
 (Sección delgada de la foto de arriba).
Pad.

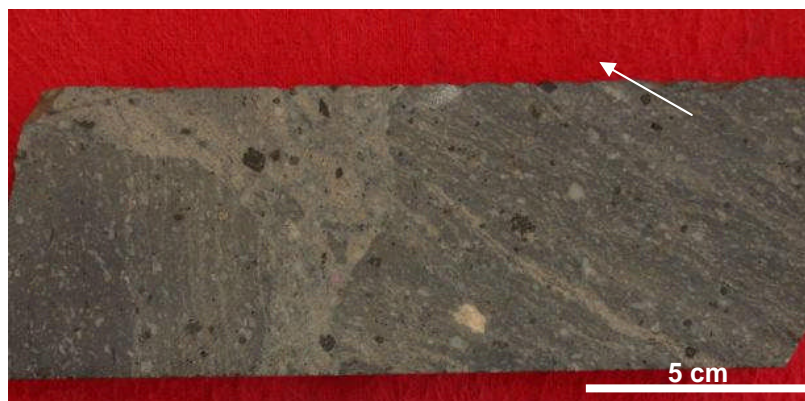


Foto N° 16: Textura porfirítica con flow banding, cortadas por otra unidad porfirítica (inyección de magma).
ARN-03; 246.3m
Pad

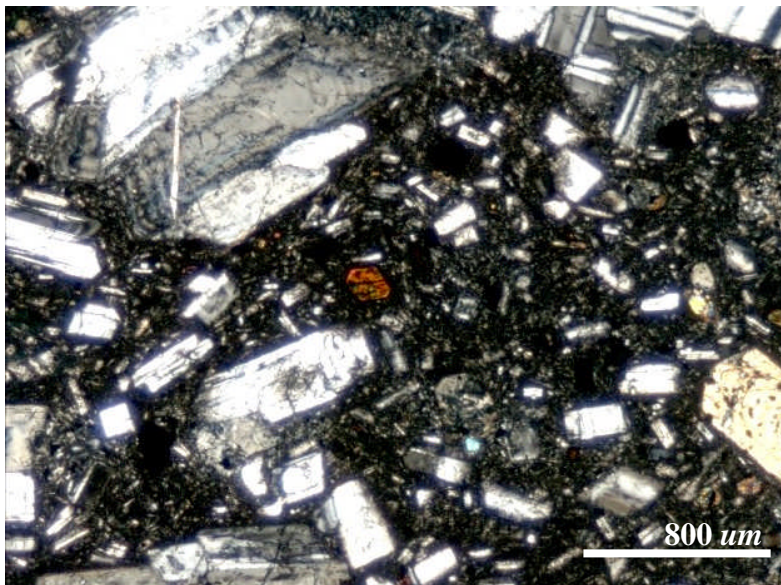


Foto N° 17: Brecha Intrusiva dentro de la secuencia porfirítica Pad. Fijese la matriz porfirítica con fenocristales de ferro magnesianos englobando también fragmentos porfiríticos.
ARN-03; 170.90m
Pad



Foto N°18: Muestra de mano de la foto N° 8. Fíjese alineamiento de cxs. de Plg, ferromagnesianos.

Pad



Macrofotografía N° 4: Luz transmitida, Nícoles Cruzados.
Fenocristales de Plg y hornblenda de menor tamaño en matriz fina fanerítica de feldespatos. Nótese el alineamiento de cristales
(Sección delgada de la muestra foto N° 18-arriba)

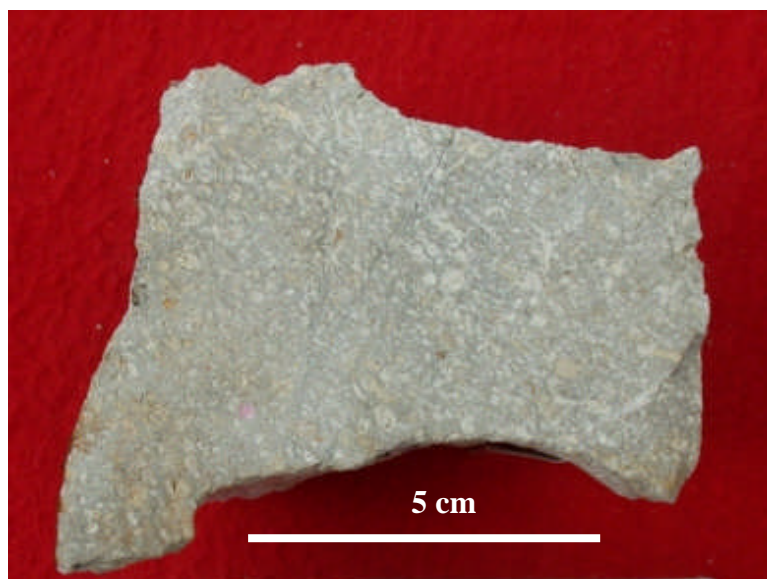
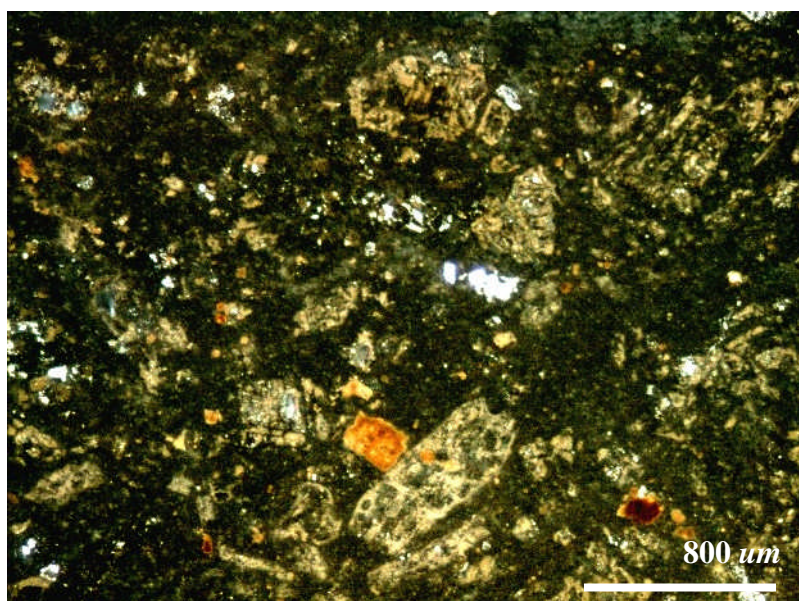


Foto N° 19: Nótese la textura porfírica homogénea (cristales en color blanquecino) englobados en matriz fanerítica.

Ubicación
27 000E, 28 000N
Cp

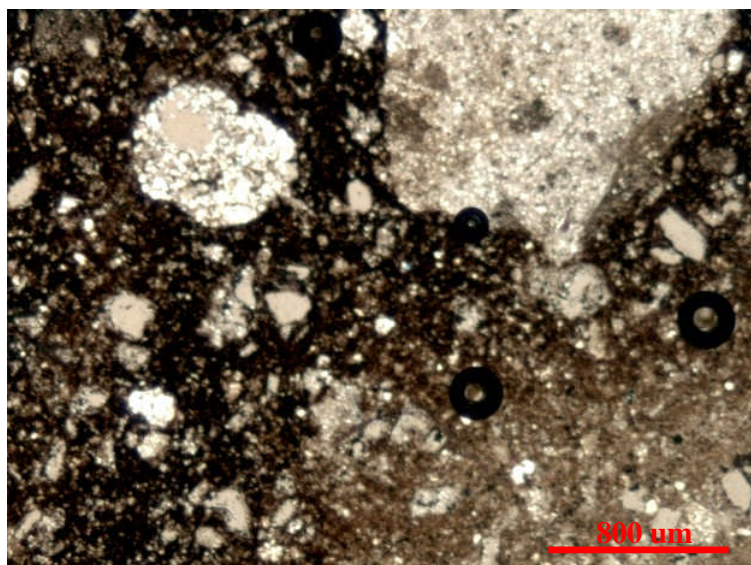


Microfografía N° 5: Luz transmitida. Nícoles cruzados (desviación angular 85, con distorsión de colores). Nótese la textura de cristales subhedrales corroídos por alteración (cly) en matriz fanerítica. En otra vista se observa cristales alistonados, (Sección delgada de la muestra foto N° 19 - arriba)



Foto N° 20: De color oscuro, con presencia de cxs < 5mm de Plg en matriz afanítica, Se encuentra cortando a los tufos y porfiríticos dómicos.
ARN-010; 31.50m.

Yand



Microfografía N° 6: Luz transmitida. Nicoles cruzados.
Fragmentos y presencia de cristales subhedrales en matriz afanítica, probable tufisitas?
Sección delgada de la muestra foto N° 20 - arriba

3.2.2 Secuencias Volcanoclásticas

- **Teut (tx)**

Esta es una secuencia de tufo de cristales, el cual presenta cristales corroídos y rotos de plagioclasa principalmente, biotita y hornblenda, escasa presencia de fragmentos silicificados y cuarcitas. Puede estar intercalada con niveles de ceniza o cristales muy finos. En Arnacocha es la principal roca huésped para la mineralización. Ver fotos abajo.

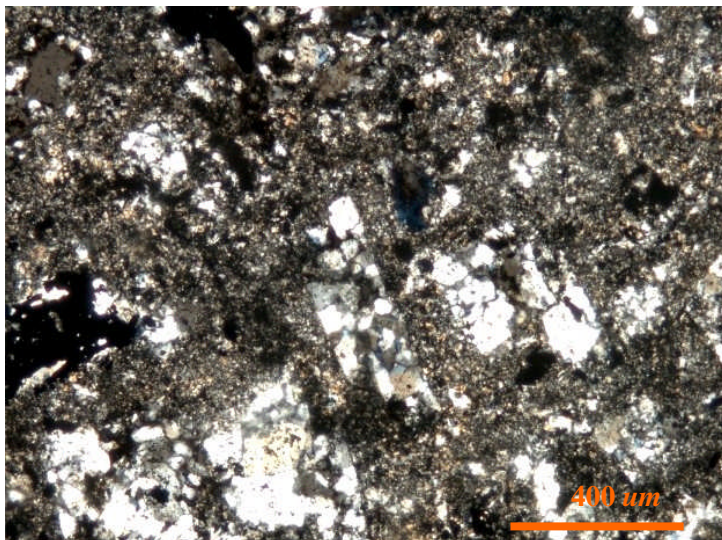
- **Ult (txl)**

Definida su unidad típica en la mina San José llamada también Usj y se caracteriza por presentar abundante lapillis (2-3 cm) orientados y fragmentos líticos pre-silicificados en matriz rico en cristales. En Arnacocha quedan remanentes y solamente en un área muy reducida de la parte superior, pudiendo gran parte haber sido erosionado. Ver fotos y microfotografías abajo.

MISCELÁNEO DE FOTOS



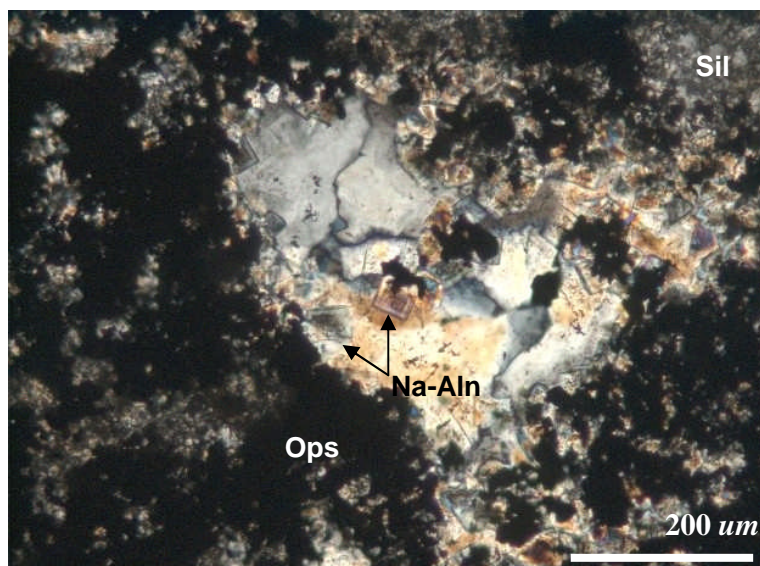
Foto N° 21: Tufo de cristal de textura fina, en la cual se observa numerosas vetillas de Py y Py+Sil.
ARN-09, 378.6m
Tx



Microfotografía N° 7: Luz transmitida. Nícoles cruzados. Fenocristales de Plg alterados a sílice, en partes Aln. La matriz es principalmente sílice, con algo de cly (puntitos resaltantes en color más intenso). En color más oscuro opacos (py).

ARN-009; 378.6m

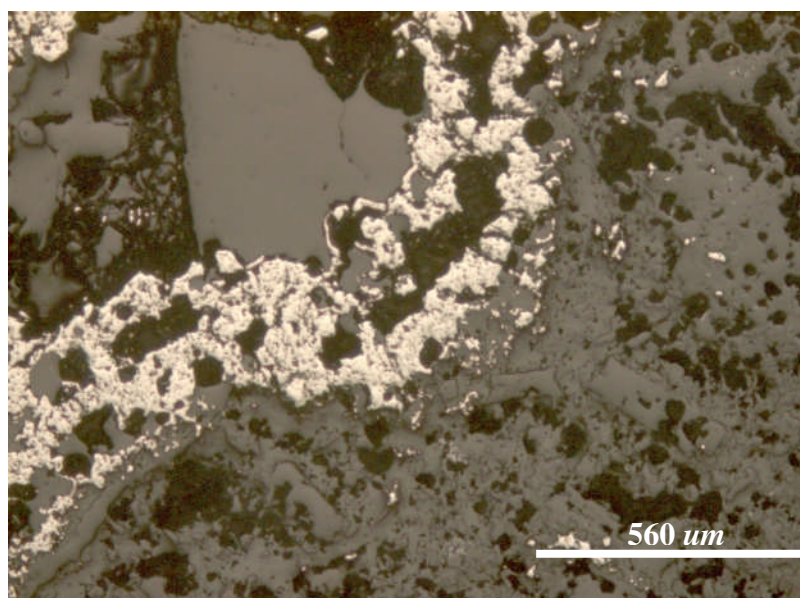
Sección delgada de la muestra foto N° 21



Microfotografía N° 8: Luz reflejada. Nícoles cruzados. En color oscuro presencia de opacos (Ops), más hacia los extremos presencia de sílice y englobados en matriz de Ops, al medio en colores más intenso presencia de alunita, con geometría cúbica, natroalunita (Na-Aln).

ARN-009; 378.6m.

Superficie pulida de la muestra foto N° 21.



Microfotografía N° 9: Luz reflejada. Nícoles paralelos. Py gel (coloidal) relleno las fracturas producidas en el cuerpo silicificado.

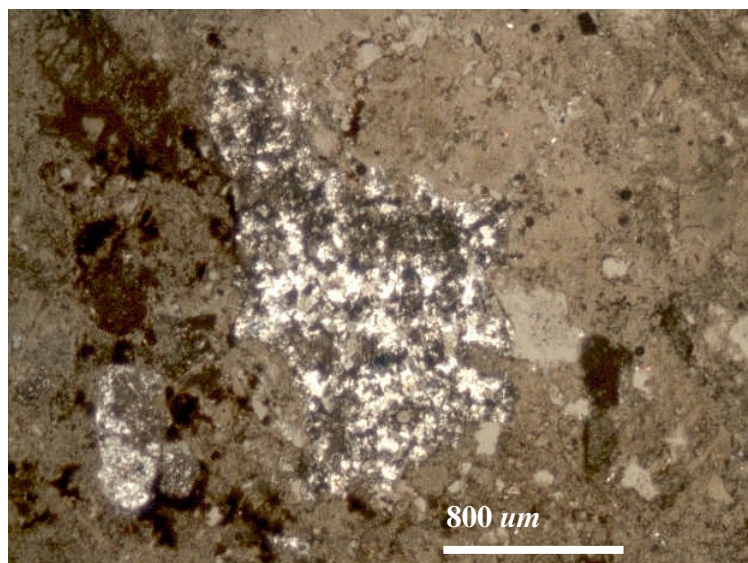
ARN-009, 378.60m

Superficie pulida de la muestra foto N° 21.



Foto N° 22: Presencia de numerosos fragm. líticos gris a blanquecinos (en círculos blancos) englobados en matriz fina y cristales rotos.
ARN-08; 206.8m

Tx



Microfografía N° 10: Luz transmitida. Nícoles cruzados. (Desviación angular 85).
Nótese al centro fragmento silicificado y cristales corroídos en matriz alterado a sílice (distorsión de color).
ARN-008; 206.8m
Sección delgada de la muestra foto N° 22-arriba.

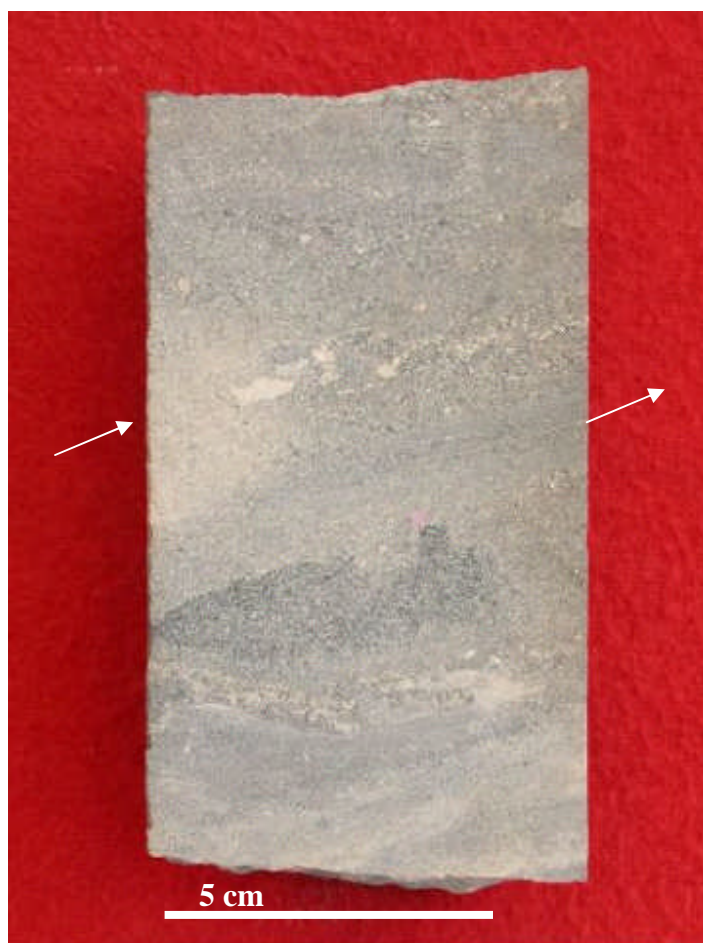
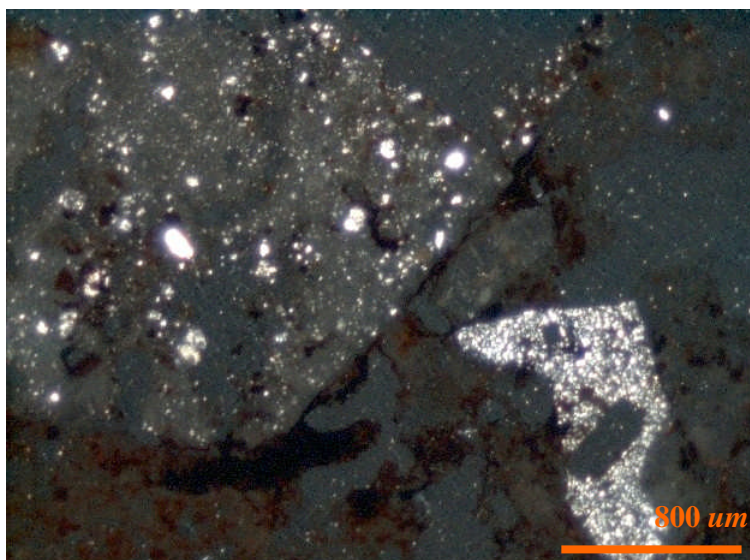


Foto N° 23: Fragmento de core, que muestra la depositación gradacional de secuencia de tufos de cristales finos y otros más gruesos englobando algunos fragmentos.
ARN-08; 243.50m
Tx (Teut)



Foto N°24: Presencia de numerosos fragmentos silicios menor a 1cm en matriz de cristales finos, cenizas?

Ubicación
20151E, 27414N
Tx



Macrofotografía N° 11:

Luz transmitida. Nícoles cruzados.
Nótese los fragmentos alterados a sílice. Presencia de algunos cristales silicificados en matriz silicificado.
Sección delgada de la muestra foto N° 24-arriba.

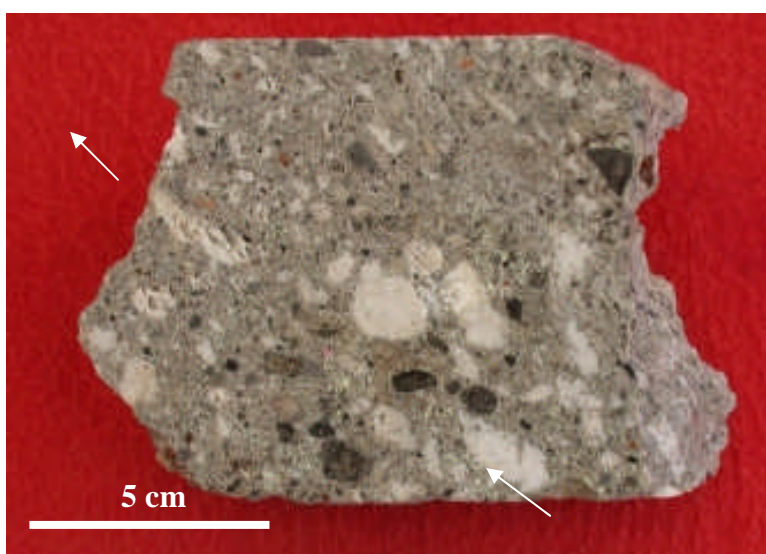


Foto N°25: Fragm. Heterolíticos (silicios grises, blanquecinos y porfiríticos) en matriz de cristales rotos. Nótese alineamiento de fragmentos aun inconsolidados otros totalmente consolidados
ARN-35; 20.30m
TxI (Ult)

3.2.3 Brecha Hidrotermal, Freatomagmática y 'Crakel Brecha'

- **BxFM: Brecha Freatomagmática**

Definida en el sub-distrito de Yanacocha como una brecha heterolítica con fragmentos subredondeados en matriz de polvo de roca más matriz juvenil. En Arnacocha se presenta como diques tardíos producto de la reactivación del volcanismo y al menos dos generaciones, ya que una de ellas ha tenido mayor transporte y la otra no; atravesando toda la secuencia existente hasta ese entonces. La alteración es principalmente argílica y menor proporción SC. Ver foto N° 28, microf. N° 16.

- **Brecha Hidrotermal**

Se emplazan en estructuras muy reducidas en forma de canales sub-verticales y que surgen de profundidades. Su característica principal es que la matriz de estas brechas es sílice, sulfuros y/o sulfosales, ésta matriz en muchos casos se encuentran oxidados. En Arnacocha la matriz de estas brechas se encuentran rellenos por baritina, sulfuros o sílice criptocristalina opalinica; la primera es uno de principales estadios con enriquecimiento por oro. Ver foto N° 26 y microf. N° 12.

- **'Crakel Brecha'**

Es una brecha de fragmentos soportados, con escaso movimiento por lo que la matriz es también escasa. En Arnacocha se presenta en la parte central y en los bordes de la brecha freatomagmática de la zona de interés I. El espacio existente entre los fragmento soportados esta relleno principalmente por limonita.

Ver fotos N° 31 y microf. N° 20.

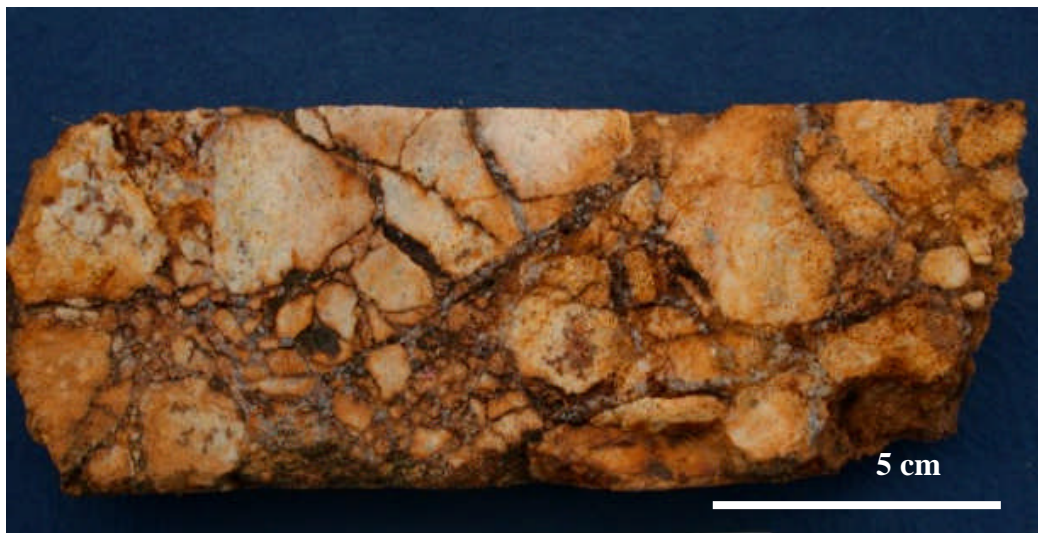
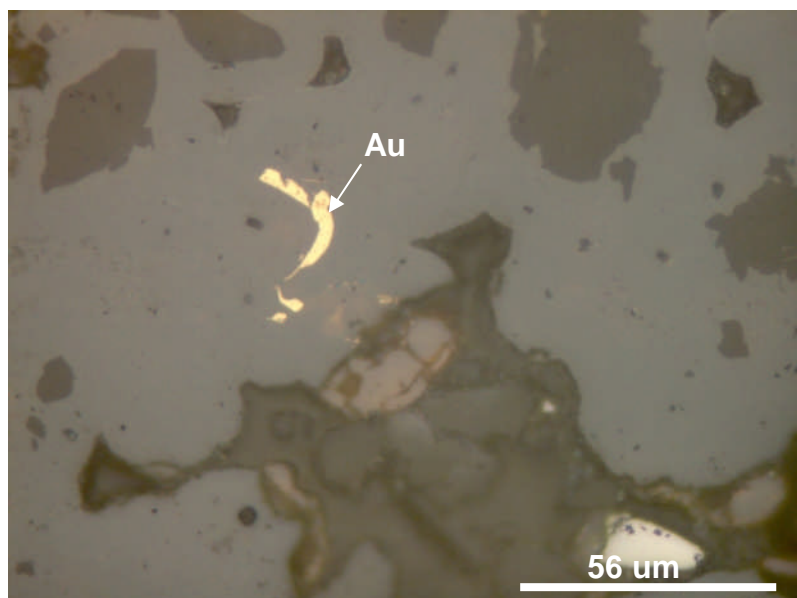
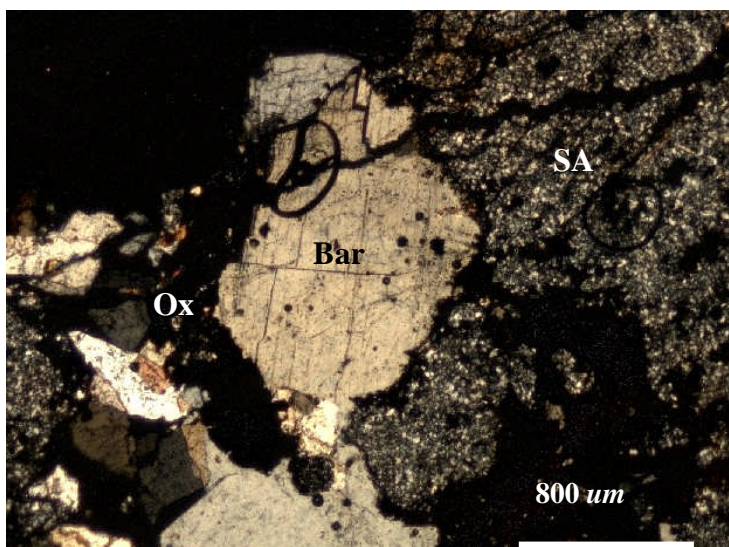
MISCELANEO DE FOTOS

Foto N°26: Brecha hidrotermal emplazada en Tx, fijese los espacios entre fragmentos rellena por limonita (óxidos) + baritina.
ARN-29; 132.50m con 14.7g/t Au

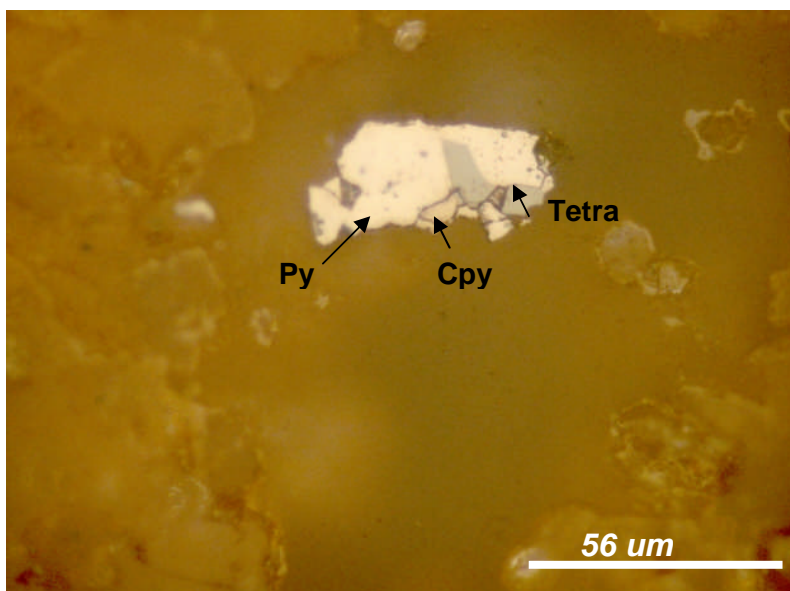


Microfotografía N° 12 : Luz reflejada. Nicoles paralelos.
Obsérvese el Au en forma de gancho en ganga de limonita el cual rellena fracturas de baritina
Superficie pulida de la muestra foto N° 26-arriba.



Microfotografía N° 13: Luz transmitida. Nicoles cruzados. Baritina mostrando clivaje en dos direcciones, bordeado por Oxs. Se observa también presencia de alteración Sil>Aln en la roca cajaTx.

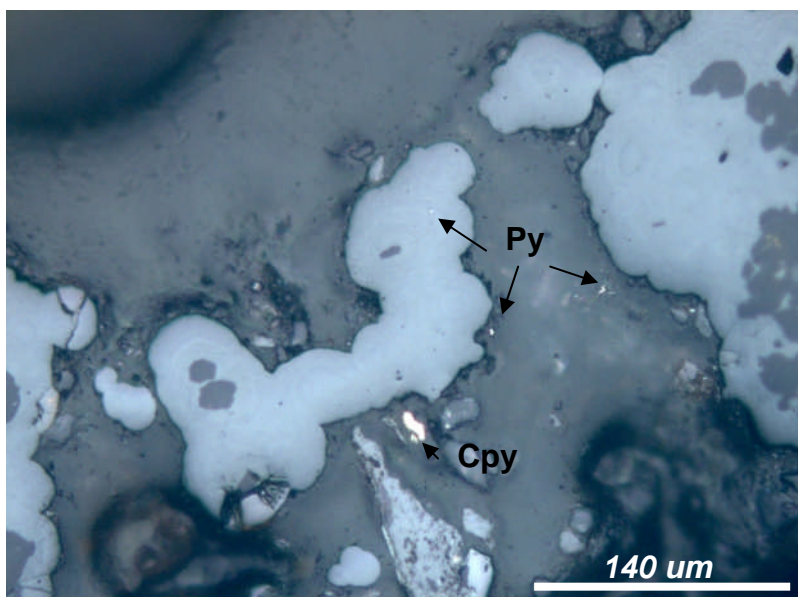
ARN-029, 132.50m.
Sección delgada de la foto N° 26 - arriba



Microfotografía N° 14: Luz reflejada. Nicoles paralelos. Py-Cpy-tetraedrita (Tetra) englobado en ganga translúcida (óxidos + baritina)

ARN-029, 132.50m

Superficie pulida de la muestra foto N° 26-arriba



Microfotografía N° 15: Luz reflejada. Nicoles cruzados. Relictos de pirita (Py) y calcopirita (Cpy) en óxidos (ganga)

ARN 29, 132.50m

Superficie pulida de la muestra foto N° 26 - arriba



Foto N° 27: Inyección de sílice gris criptocristalina.
cortando a SMA (sílice masiva con alunita)

ARN-09, 340 m

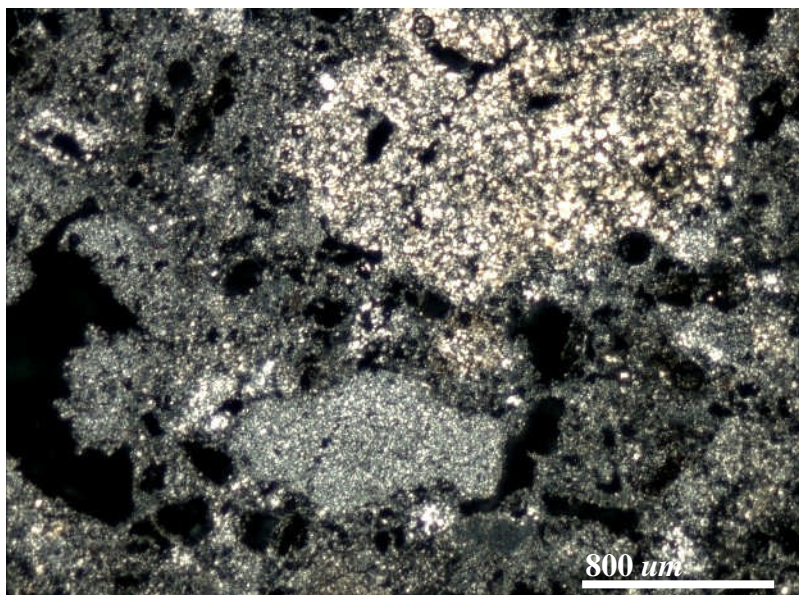
Tx



Foto N°28:
Fragmentos heterolíticos, subredondeados englobados en matriz juvenil (oquedades) y polvo de roca.

Ubicación: 20789E,
28120N

BxFM



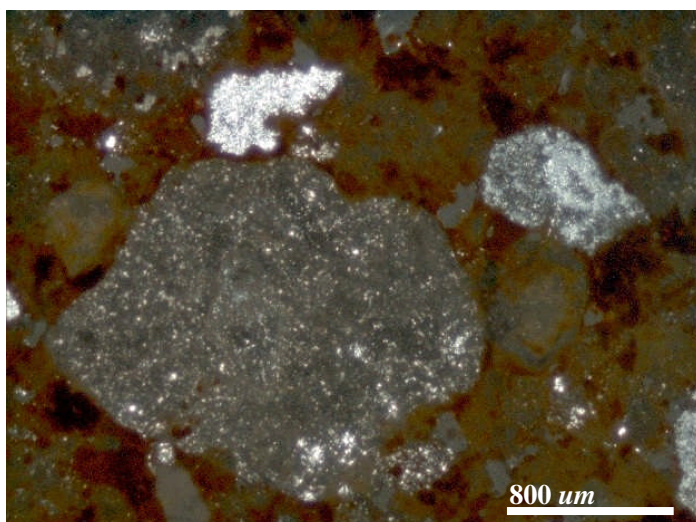
Macrofotografía N° 16:

Luz transmitida.
Nícoles cruzados.
Fíjese en primer plano numerosos fragmentos alterados a sílice y sílice-alunita. En la matriz predomina sílice con trz de Aln.

Sección delgada de la muestra foto N°28 - arriba.



Foto N° 29: Fragmentos subredondeados y heterolíticos en matriz mixta (polvo de roca+cristales rotos)
 A diferencia de la brecha, foto N° 28, ésta es de mayor energía.
 20694E; 28114N
 Brecha Freatomagmática (**BxFM**)



Macrofotografía N° 17: Luz transmitida. Nícoles cruzados. Fragmentos sobredondeados alterados a sílice y en menor proporción a Aln? En otra vista se observa cristales rotos y subhedrales en la matriz. Nótese en color rojizo la presencia de óxidos.

Sección delgada de la muestra foto N° 29 – arriba.

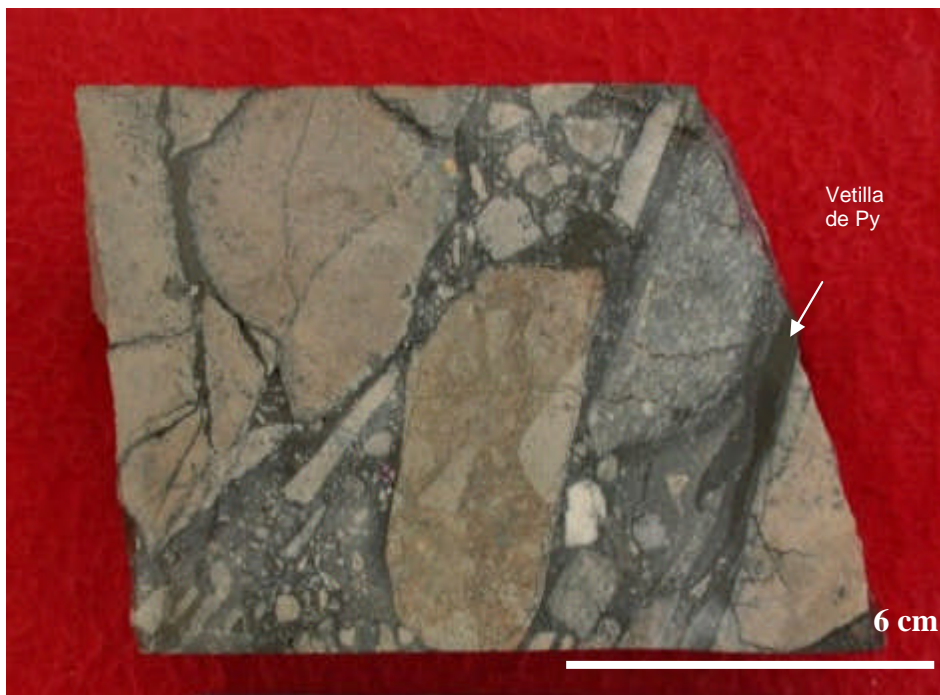
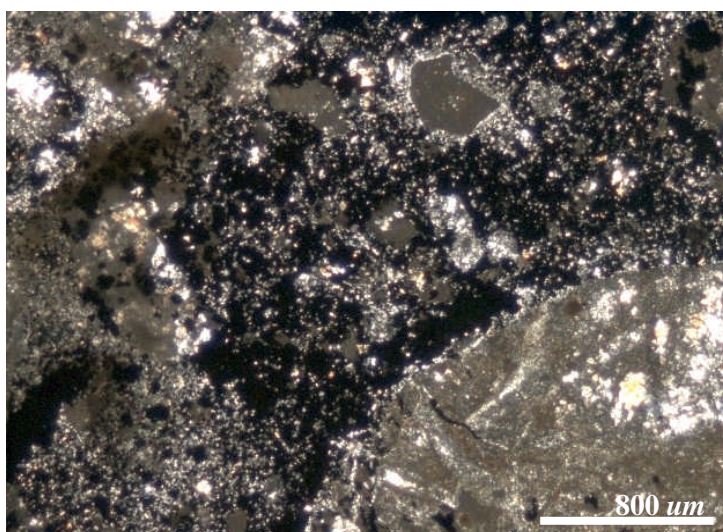
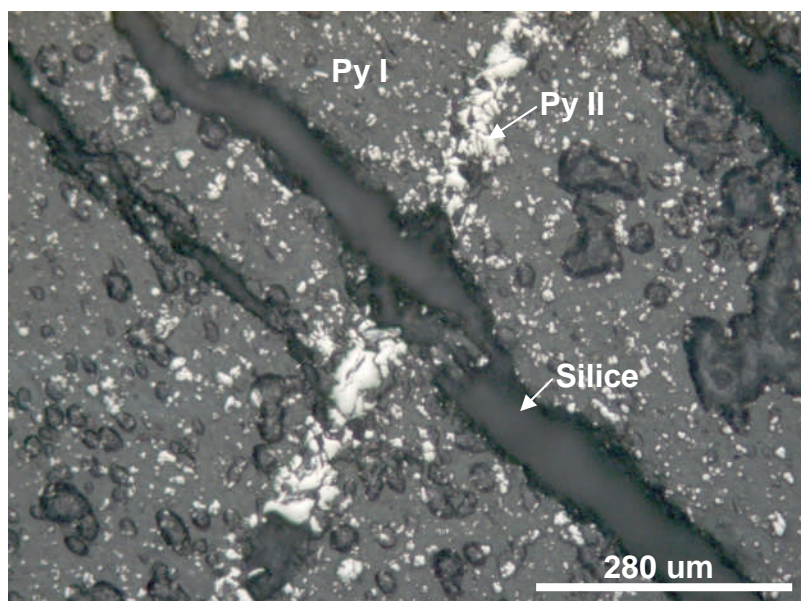


Foto N° 30: Fragmentos de brecha (al centro), silíceos y porfiríticos en matriz de cristales (agregados blanquecinos) con pirita diss. Inyección de pirita en vetillas.
ARN-06; 247.60m
BxFM: Brecha Freatomagmática con poca energía



Microfografía N° 18: Luz transmitida. Nicoles cruzados. Nótese la textura de brecha, los fragmentos alterados a sílice y en menor proporción a arcillas. La matriz es principalmente opacos, aunque hay presencia de puntos de arcilla (cristales alterados).

Sección delgada de la muestra foto N° 30.



Microfotografía N° 19: Luz reflejada. Nicoles paralelos. Fractura rellena por sílice cortando a dos generaciones de Py: PyII (vetillas), PyI (diss)
ARN-06, 247.60m

Superficie pulida de la muestra foto N° 30 - arriba.

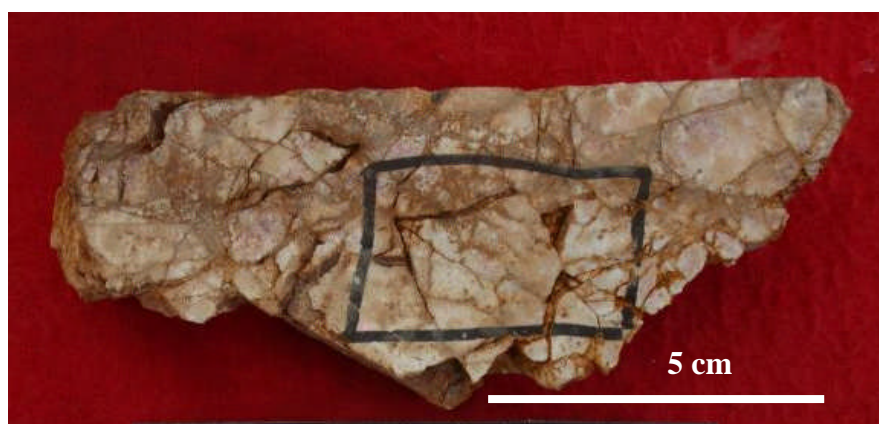
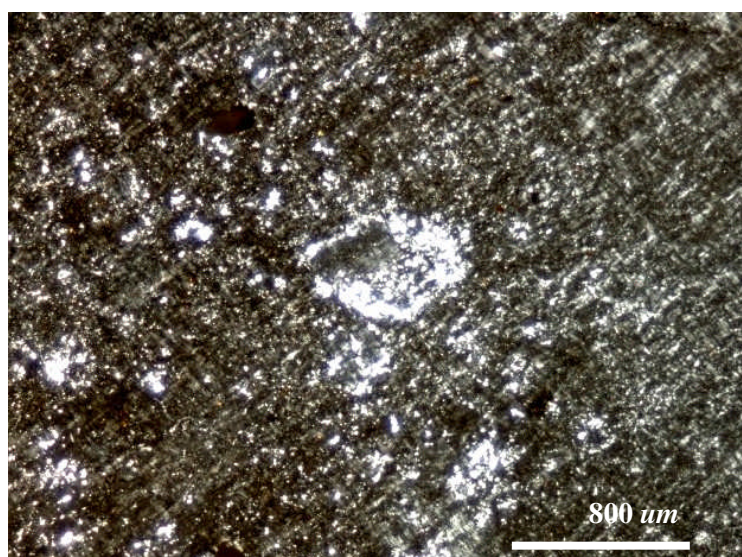


Foto N° 31: 'Crakel brecha' emplazada en los tufos finos. Fíjese los fragmentos soportados de la brecha.

ARN-22, 286.10m



Microfotografía N° 20: Luz transmitida. Nicoles cruzados. Fíjese al centro un cristal de anfíbol totalmente alterado a sílice englobado en mtx. casi afanítica también alterada a sílice y menor proporción a Aln. En otras vistas se observa fragmentos de sílice.

ARN-22, 286.10m
Sección delgada de la muestra foto N° 22-arriba.

3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras medidas y observadas en el campo son predominantemente de alto ángulo en las direcciones E-W y N-S; sin embargo la ortofoto muestra un tercer patrón estructural N-W al igual que en otras partes del distrito, reflejada por las quebradas (zonas de debilidad) con algunos N-S.

Las estructuras de dirección E-W, al parecer son pre-minerales (al igual que en otros proyectos del Distrito); éstos sirven como un pequeño corredor estructural tal que limita la mineralización con esta orientación. Si bien se encuentra abierta la mineralización hacia el lado Oeste, por el Este se encuentra limitado por estructuras de orientación N-S. En la intersección las estructuras E-W y N-S, es donde se concentra las mejores leyes de acuerdo a la interpretación de planos de superficie y secciones.

Existe la **Falla Arnacocha** de rumbo N60W (similar a la dirección de las principales estructuras distritales) con probable movimiento oblicuo (doble: dextral e inversa) el cual se ha interpretado a partir del contacto litológico que se observa en el campo y secciones geológicas. Hacia el lado Oeste pasando esta falla aparentemente se desplaza y es profundizada las secuencias de tufos favorables los cuales fueron cubiertos por los diferentes pulsos de los complejos de domos Arnacocha pre-mineral y probable post-mineral pero en menor proporción. Las demás estructuras que se obtienen en las secciones geológicas (Fig. N°67) son producto de la interpretación a partir de los logueos y mapeos. Existe un cuerpo de brecha de origen freatomagmática con orientación casi N-S, cuyo emplazamiento fue controlado por estructuras del mismo sentido y al parecer se conecta con estructuras de brecha del Proyecto Pachanes ubicada al Norte del Proyecto Arnacocha. Al observar el diagrama de rosas procesadas para todas las estructuras con el software DIPS manifiesta las características mencionadas, a partir del stereonet que nos muestra la densidad de polos, podemos mencionar que en un 80% son estructuras subverticales. Ver figuras N° 9 y 10.

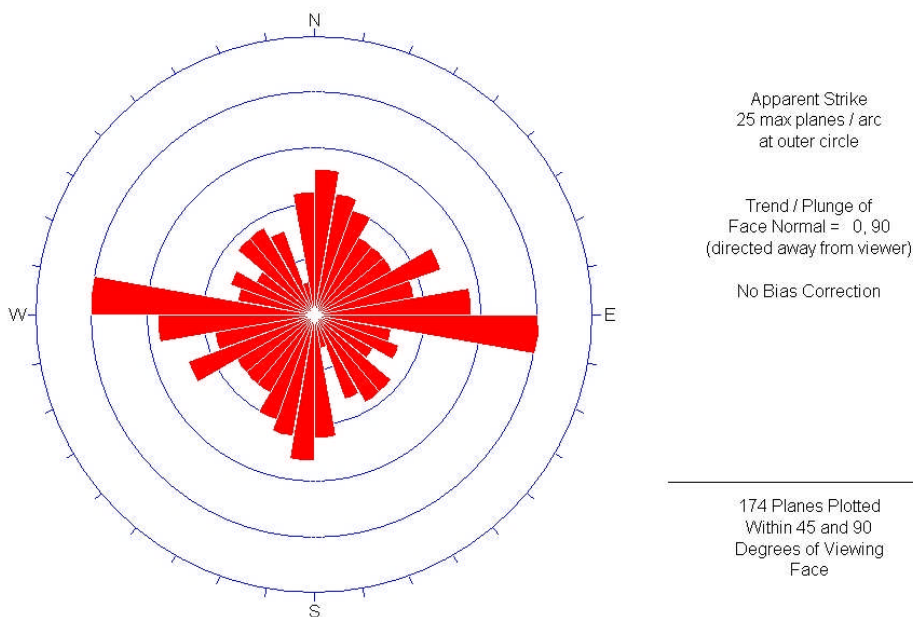


Figura N° 9: El diagrama estructural de Rosas que evidencia 3 principales sistemas de fracturamiento: a) Sistema preferencial casi E-W (185°) en su mayoría fallas y que se alinean con las estructuras encontradas en Quecher; b) Sistema casi N-S ($5-10^\circ$) de segundo orden constituídas por fallas y juntas, c) Sistema N-W ($50-60^\circ$) de tercer orden y que se alinean con las principales estructuras distritales (**Fallas Carachugo-Yanacocha, Diablo Pacífico**).

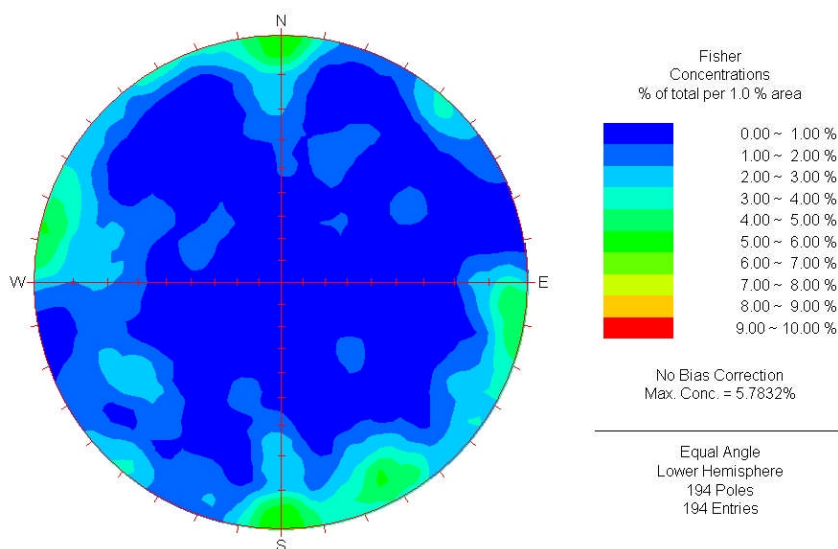


Figura N° 10: Stereonet, mostrando densidad de polos, a partir del cual se puede observar la predominancia vertical-subvertical de las estructuras

3.4 ALTERACIONES HIDROTERMALES MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA

Son numerosos los factores que intervienen en la formación de los minerales de alteración en sistemas hidrotermales; estos fueron clasificados en 7 categorías principales (**Brown, 1978**): temperatura, solución química, concentración de la solución, composición de la roca hospedante, cinética o velocidad de alteración, la duración de la actividad y permeabilidad del medio. A esto habría de agregarle las fluctuaciones del nivel del paleotabla en el tiempo y que al final de cuentas controla el nivel de alteración. Como no todos los factores intervienen o se dan con las mismas características, es por esto que observamos a veces zoneamientos incompletos/irregulares de un sistema de alta sulfuración en un mismo distrito como es Yanacocha.

Se ha observado dentro del zoneamiento la existencia de interrupciones debido a controles estructurales que permiten el ascenso de fluidos hidrotermales ácidos y que ocasionan sobreimposición de alteraciones a las originales tal como menciona geólogos en otras partes del distrito (**M. Ruti, 2002**).

En las siguientes líneas se detallan las alteraciones encontradas en el proyecto y alrededores.

3.4.1 Sílice Granular

La sílice granular bordea a la zona de sílice masiva y es la que predomina en este proyecto. Las texturas originales en este tipo de alteración es difícil reconocer, quedando testigo solamente los líticos de lo que alguna vez fueron unidades piroclásticas. Es por lo general deleznable con presencia de óxido en TR o 1.

La lixiviación ácida ocurre cuando volátiles ascendentes tales como SO_2 al encontrar agua meteórica, reaccionan formando H_2SO_4 y H_2S . La lixiviación del ácido sulfúrico sobre la roca caja resulta en la formación de sílice granular, por encima de la napa freática, donde las soluciones tienen $\text{pH} < 2$ y baja temperatura (**R. Sillitoe, 1996**). A veces sobre la sílice granular se produce una sobre imposición de alteración sílice (textura sílice masiva granular), ya que al formarse un horizonte de sílice granular esta se convierte en buen reservorio de agua. Cuando existe una zona muy caliente, soluciones ricos en sílice y/u oro, P, T, pH es forzada a que la sílice u oro se redeposite dentro de la sílice granular permeable. Dependiendo de cuanto sílice es disuelto dentro de la solución hidrotermal, la sílice granular se convierte en más masiva o parcialmente masiva (**T. Klein, 2000**), conservando en muchos casos cierta textura granulosa.

3.4.2 Sílice Vuggy

Llamada también sílice oquerosa, pues su característica principal es que presenta cavidades producto de la lixiviación de los fenocristales de la composición original de la roca, dejando su matriz un cuarzo microgranular poco competente.

La alteración sílice vuggy es observada en el proyecto dentro de los tufos de cristales y aparentemente tiene un control estructural ya que tienen la geometría de pequeños cuerpos verticales.

Este tipo de alteración se forma al igual que la sílice masiva por debajo de la napa freática (**Sillitoe, 1996**). Algunos autores mencionan, que la sílice vuggy es una fase de transición que ocupa el espacio entre la sílice granular y ensamblajes de alto pH como SA y SC (**T. Klein, 2000**).

3.4.3 Sílice Masiva

En sección se observa que ésta es la alteración que aloja el mayor cuerpo de oro dentro de este proyecto y que está ubicada en la parte central del mismo (ver figuras N° 11, 23, 60). Se caracterizan por ser compactas, criptocristalinas que a veces hace difícil apreciar la textura original de la roca.

A diferencia de la SG, la sílice masiva se forma por debajo del nivel freático (**R. Sillitoe, 1996**) casi en las mismas condiciones de pH y temperatura en la que se forma la SG. Existen áreas dentro de esta alteración que se presenta muy fracturado debido a hidrofracturamientos con presencia de baritina, limonita, sulfuros. Ver fotos N° 26, 31.

Dentro de esta clasificación se incluye la sílice opalina, aunque aparece en áreas muy reducidas. La deposición de esta sílice está asociado a temperaturas muy bajas y que tal vez correspondería a las fases finales del sistema con sobre imposición sobre la alteración primaria. Este tipo de sílice también se ha observado en áreas muy reducidas dentro de las unidades porfiríticas, que podíamos interpretar como la parte más distal y fría de un sistema existente en profundidad o pequeñas reactivaciones de la misma.

3.4.4 Argílica Avanzada

La alteración argílica avanzada más predominante es la sílice-alunita y en menor proporción sílice-arcillas. Esta alteración por lo general bordea a todo el depósito del proyecto aunque hay presencia irregular de cuerpos de sílice-alunita dentro de las zonas de sílice granular y masiva lo que nos hace pensar la existencia de varias etapas de

alteración (sobreimposición). La matriz de las unidades tufáceas es sílice mientras que los cristales están alterados a alunita (pH 2-3) y/o arcillas (pH 3-4).

Las arcillas que las lecturas de PIMA revelan son caolinita y montmorillonita principalmente, mientras que el XRD arroja la presencia de esmectita y caolinita. Ver foto N° 23.

3.4.5 Argílica

Esta alteración se observa principalmente en los porfíricos relacionados a domos, sub-volcánicos y el basamento andesítico, especialmente en contacto con las unidades tufáceas. Existen diques de brechas freatomagmáticas tardías en los cuales se observa también esta alteración. Los cristales alterados (caolín) son de color blanquecino en matriz gris plomiza (esmectita, caolín, dickita, montmorillonita junto a piritita). Se forman alrededores de un pH 4 y bajas temperaturas. Ver foto N° 35.

4.4.2 Propilítica

En el área existe una incipiente alteración propilítica dentro de las unidades porfíricas y bordeando a la argílica. Si bien no se tiene la seguridad de la presencia de cloritas producto de la alteración de las biotitas o hornblenda, la coloración verdusca nos hace pensar su probable existencia, pero si se puede observar biotita y hornblenda siendo reemplazados por Py, parcial o totalmente y carbonatos.

El resto de las unidades porfíricas se hallan completamente frescos y de ahí el magnetismo que presenta (presencia de magnetita primaria y secundaria?).

MISCELÁNEO DE FOTOS



Foto N° 32: Sílice granular deleznable, formado en un medio gaseoso muy ácido

ARN-21; 155.0m
TxI

**Foto N° 33:**

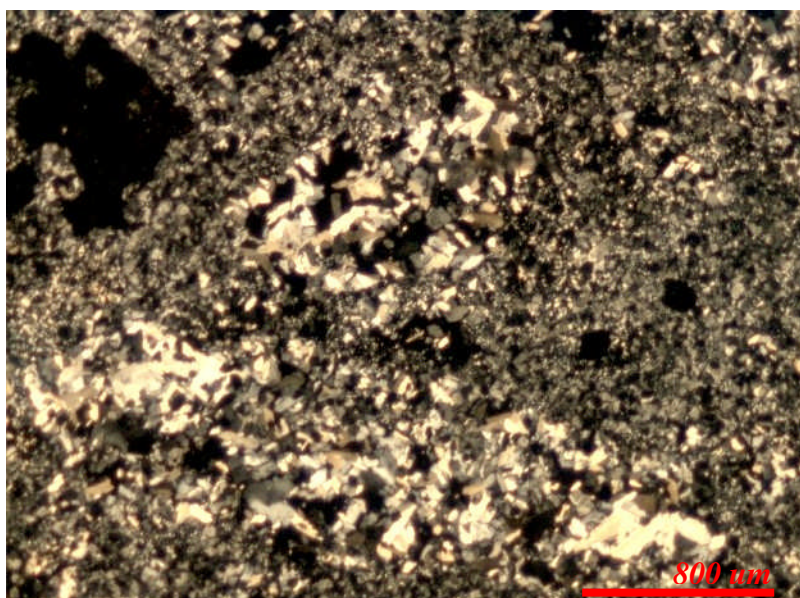
*Alteración sílice
vuggy(1)
Vease las
oquedades*

*ARN-03, 275.7m
Txl*



Foto N° 34: *Alteración
sílice masiva, en partes
criptocristalina.*

*ARN-03, 319.30m
Tx*

**Macrofotografía**

N° 21: *Luz
transmitida. Nícoles
cruzados.
Nótese en primer plano
los moldes de
fenocristales rotos
reemplazados por
alunita (Aln) y la matriz
silicea.*

*Sección delgada de
muestra foto N° 34 -
arriba*



Foto N° 35: Brecha
Freatomagmatica
con alteración
argílica (cly+Py)

ARN-22; 348.90m

3.5 MINERALIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA.

Después de las interpretaciones efectuadas, el principal cuerpo de oro se halla dentro del SM y en menor proporción en SA o SG. Con algunas excepciones, la presencia de óxidos tiene relación directa con el aumento o disminución de la ley de oro. La asociación a baritina es un buen indicador de la presencia de Au, al igual que en otros depósitos del distrito. Casi todas las áreas dentro de los tufos (zona I, II, III) están oxidadas, observándose escasos remanentes de sulfuros, principalmente Py y como probable zonas de enriquecimiento Cc, Cv, junto con el azufre.

En función a la importancia se ha creído conveniente subdividir los minerales en:

Metálicos:

Principales: oro, plata

Secundarios: pirita, calcopirita, cobres grises (tetraedrita), calcosita y covelita (muy escaso).

No metálicos:

Principales: cuarzo, alunita, caolín?

Secundarios: esmectita, montmorillonita, baritina, hornblenda, plagioclasa, biotita, cloritas?

Accesorios: limonita, jarosita, baritina, cinabrio, azufre.

CAPITULO IV

PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA

4.1 GEOQUÍMICA SUPERFICIAL Y DE SONDAJES

Como se sabe uno de los primeros trabajos exploratorios junto con el mapeo es el muestreo geoquímico de superficie para tener una idea inicial de posibles zonas con anomalías por el elemento buscado (Au) y su posible correlación geoquímica de los distintos elementos guías con los cuales está asociado. La geoquímica de sondajes nos permitirá conocer si los patrones establecidos en superficie para el Au tienen el mismo comportamiento o distinto en profundidad.

Si bien se hizo un tratamiento estadístico para obtener rangos propios para Arnacocha, en muchos casos fue necesario usar o ajustar al rango distrital obtenidos por **B. Leach y J. Martínez (2001)** con la intención de obtener consistencia de nuestra interpretación. Ver tabla 1 del anexo.

En Yanacocha, entre los años 2002 y 2003 se llevó acabo una agresiva campaña de geoquímica aplicada a domos (dentro y bordes de domo). Después de varios estudios (Domos Hornamo, Montura, La Casita, Mandrake...etc.) se llegó a la conclusión de que existían elementos con cierta correlación dentro de los domos y en los bordes y que estos se volvían a repetir en cada estudio así; **Zn, V, Mn, Ti, Co, Ni, P y Sr** de los cuales **Zn, V, Mn, Ti, Co, P, Ni** identificaban a la roca fresca porfirítica. El **Sr, K** indican zona alterada a arcillas, mientras que los indicadores de los bordes del domo eran **Sn, Se, Sb, Mo, Hg, TI** con una correlación por debajo de moderado con el Au (**J. Trujillo, J. Espinoza, 2003**). Estos mismos patrones geoquímicos es la que se pone en manifiesto en Arnacocha, especialmente en los bordes y las unidades dómicas porfiríticas que sobreyace a los tufos.

Los rangos de valores experimentales del grado de correlación para los elementos son como sigue:

0.70~1.00 MUY BUENA CORRELACIÓN

0.50~0.69 BUENA CORRELACIÓN

0.30~0.49 MODERADA CORRELACIÓN

Cabe resaltar que si bien se tiene muestreo en suelos (BLEG-stream sediments) para nuestra interpretación no ha sido incluido, ya que estos permiten establecer anomalías del orden regional.

4.2 GEOQUÍMICA DE SUPERFICIE

4.2.1 Metodología

Los muestreos iniciales de superficie se efectuaron dentro de los afloramientos alterados y oxidados; principalmente muestreo sistemático tal que permitió identificar anomalías geoquímicas, casi simultáneamente muestreos selectivos (para definir posibles controles de mineralización). Todas estas muestras fueron enviadas, por criterios que se usaban en ese entonces, por un paquete de 8 elementos al igual que los taladros del año 2000-2001. Gran parte de los posteriores muestreos de superficie fueron enviados por un paquete de 32 elementos, razón por la que el tratamiento estadístico de los resultados de superficie se haya dividido en dos grupos; la base de datos que corresponde al envío inicial por **8 elementos** (ver tabla N° 2) y que corresponde mayormente a la zona de tufos alterados (**oxidados**) y la base de datos de **32 elementos** (Ver tabla N° 3) que corresponde al muestreo en la zona de contacto y porfiríticos (**domos**) principalmente.

En el cuadro adjunto se presenta el número total de muestras así como el tipo para ambas base de datos.

| TIPO DE MUESTRA | NUMERO |
|-----------------|-------------|
| Selectivos | 774 |
| Canales | 127 |
| Taludes | 614 |
| Trincheras | 149 |
| Líneas | 414 |
| TOTAL | 2078 |

TABLA N° 1

4.2.2 Análisis Estadístico

Los resultados geoquímicos de los diferentes tipos de muestreo efectuados desde la fase inicial de exploración hasta los tomados por mi persona fueron revisados, identificándose valores negativos (valores por debajo del límite de detección) los cuales fueron cambiados por la mitad de su valor absoluto.

Los histogramas de abajo fueron elaborados para los dos tipos de base de datos tratados (óxidos & borde de domo) con la finalidad de encontrar similitudes o diferencias, confirmándonos que para cada base de datos los elementos presentan distintos histogramas, aunque con algunas similitudes. Cabe mencionar que los valores por debajo del límite de detección distorsionan el histograma.

- **Análisis de Histogramas**

Se ha preparado histogramas para los primeros 9 elementos (Au, Ag, As, Sb, Pb, Cu, Ba, Hg, Zn) analizados en la zona de óxidos (8surface) y comparado con los obtenidos correspondiente a domos (32surfdomo), ambos histogramas difieren uno del otro. A partir de la frecuencia acumulativa para los 9 primeros elementos de la data 8surface (en óxidos) se ha establecido intervalos los cuales serán usados para el contorno de la geoquímica de superficie. Se ha tratado de lograr un histograma unimodal ajustando el eje del espaciamiento de los valores en el histograma, con ello se ha ido variando también la frecuencia acumulativa a partir de los cuales establecer los 6 intervalos de clase al 60% de la población total (sugerida por Newmont para Au) porcentaje a partir del cual se consideran valores de los elementos por encima de su distribución normal. Los histogramas preparados para los óxidos y los porfiriticos domos difieren para un mismo elemento, como era de esperarse y lo que es más aun todos los indicadores estadísticos para la data en óxidos son varias veces mucho más que los del domo.

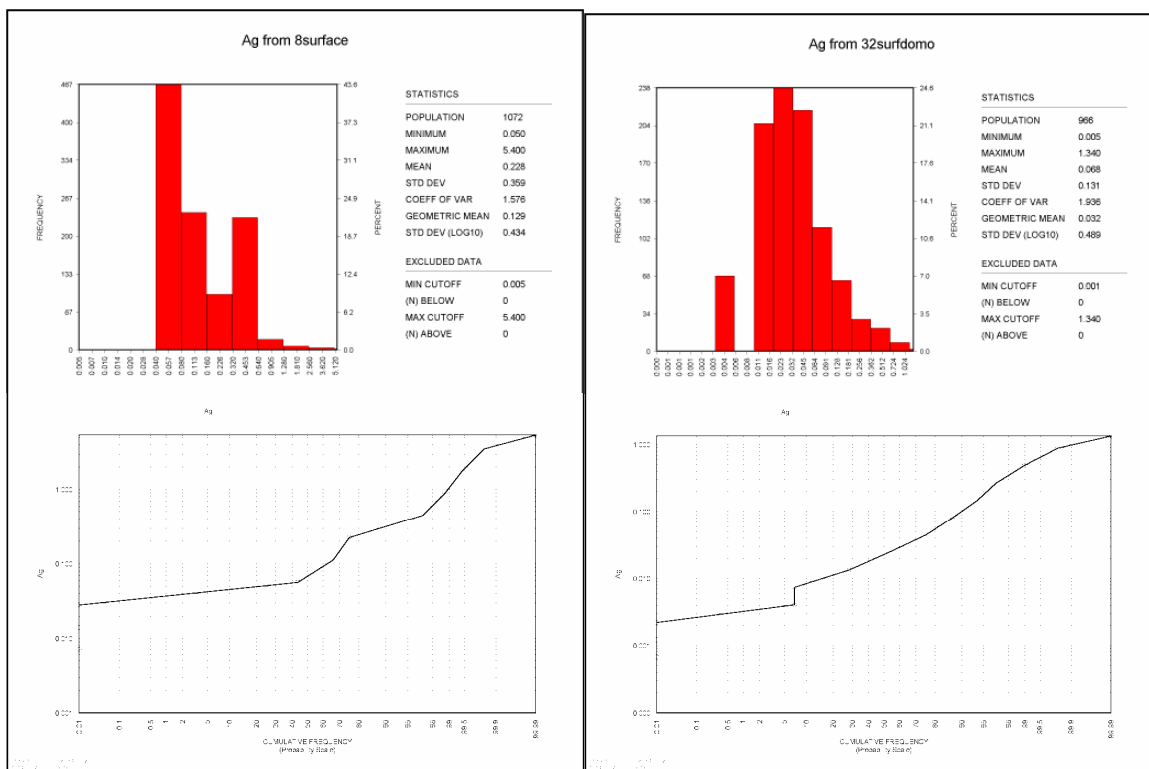
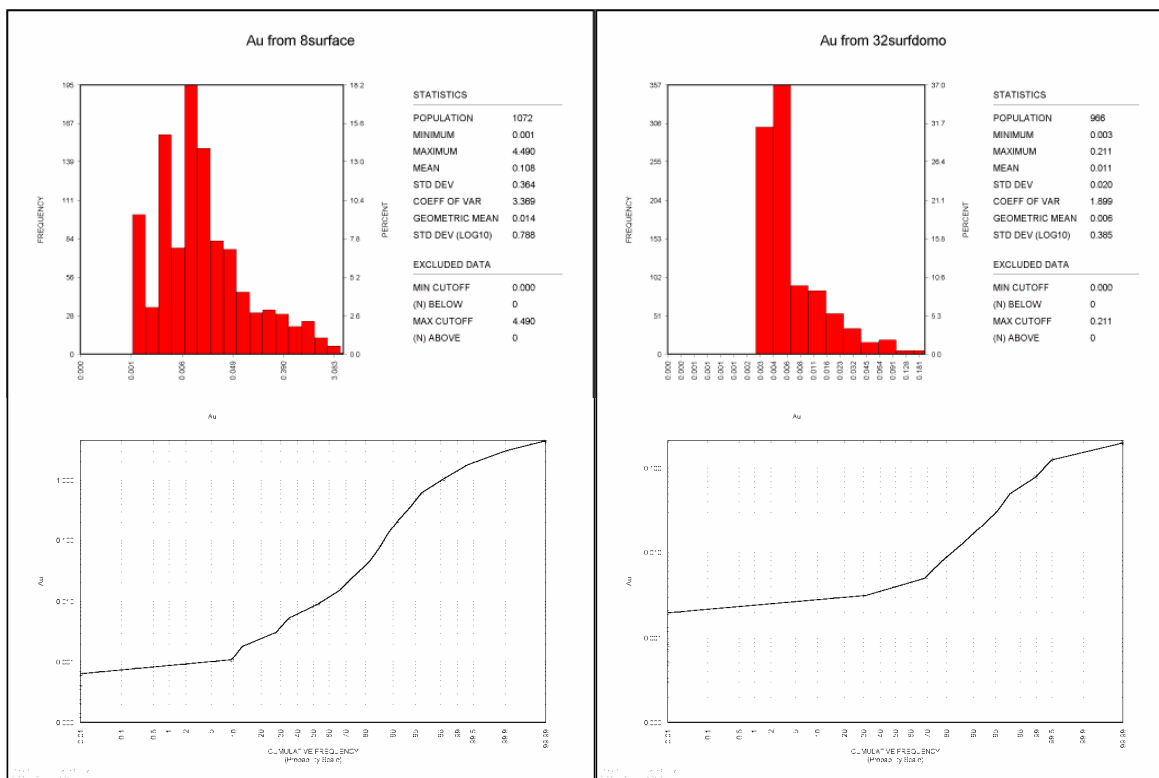
1. **ORO:** El histograma para el oro a partir de la data 8surface (en óxidos) se muestra unimodal con un pequeño sesgo hacia valores bajos, mientras que el histograma para la data **32surfdomo** se muestra totalmente sesgado hacia valores bajos.
2. **PLATA:** El histograma para la data de 8surface (en óxidos) realmente no es claro, mientras que para la zona de domos es totalmente sesgado hacia valores negativos (por debajo de límite de detección).
3. **ARSENICO:** El histograma correspondiente a los óxidos no es muy definido, debido a que está afectado por los valores por debajo del límite de detección, aunque aparentemente tiende a ser unimodal mientras que el correspondiente a domos es unimodal.

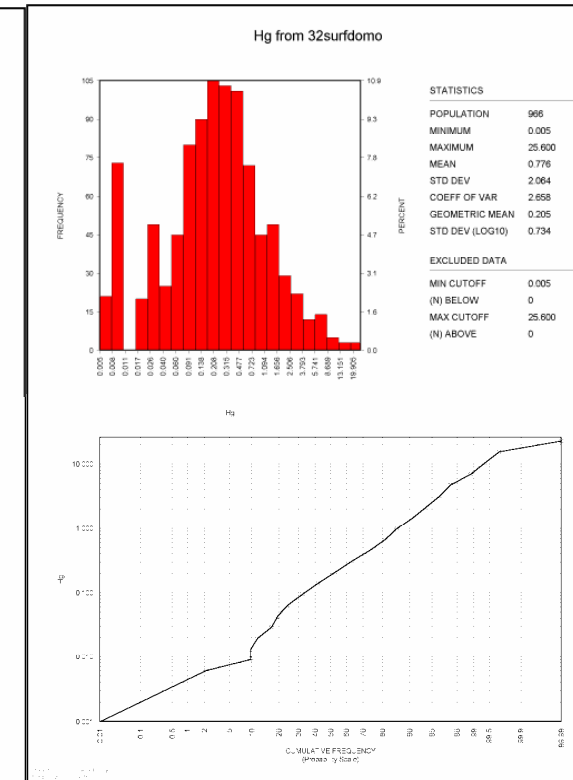
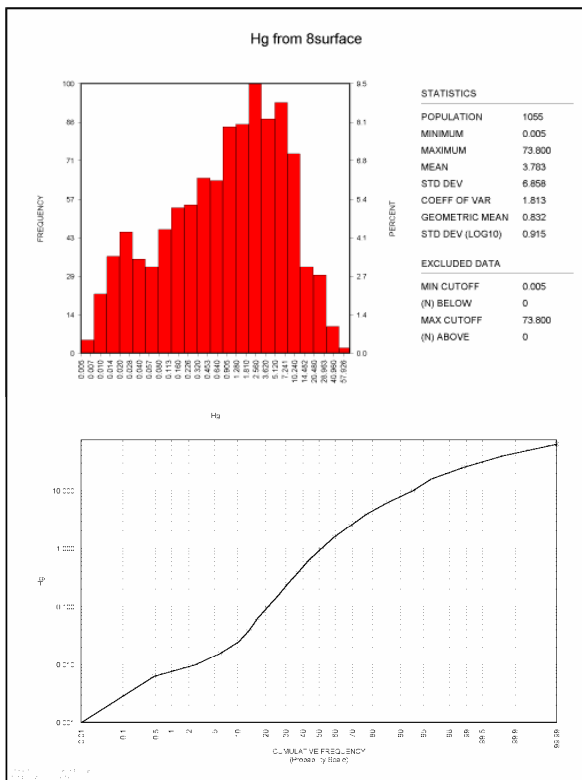
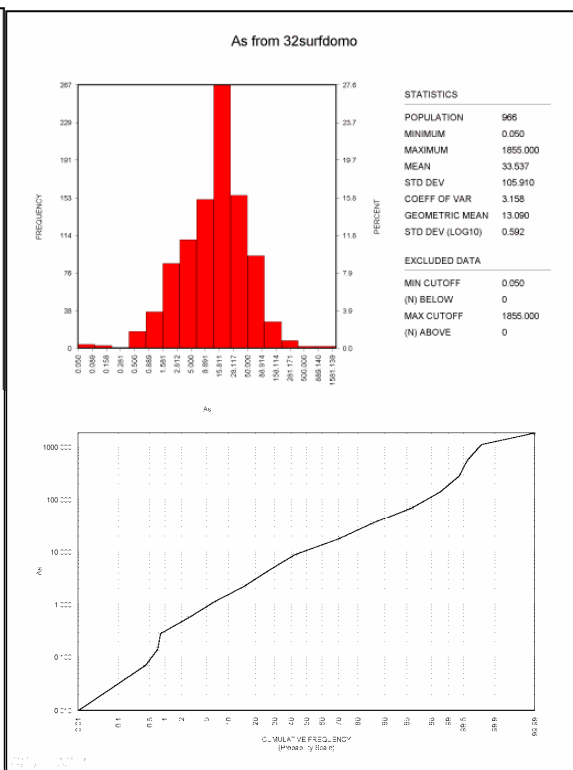
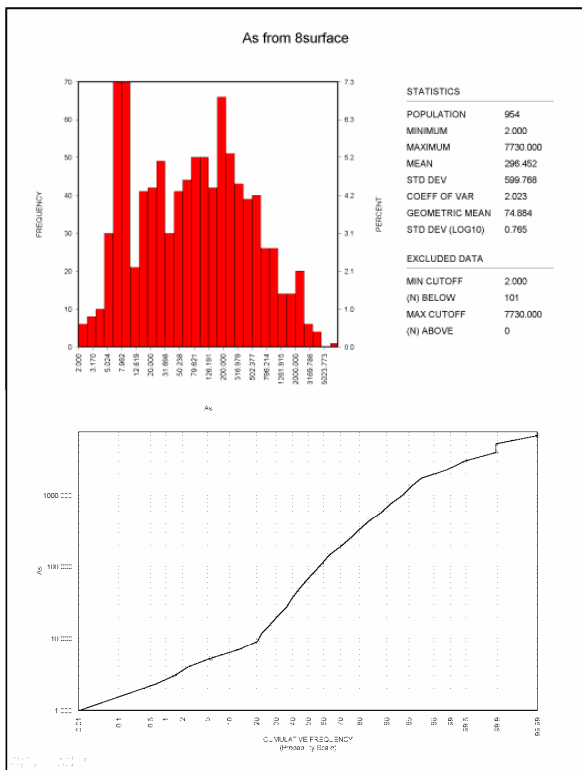
4. **MERCURIO:** El histograma correspondiente a los óxidos se muestra casi unimodal con cierto sesgo hacia los valores altos, mientras que el correspondiente al domo es unimodal.
5. **BARIO:** El correspondiente a los óxidos se muestra bimodal, esto se explicaría porque existiría un Ba primario del sistema y un segundo evento de Ba relacionado a estructuras hidrotermalizadas, mientras que los del domo se muestra unimodal con un ligero sesgo hacia valores altos.
6. **PLOMO:** Ambos histogramas son unimodales con ligeros sesgos hacia valores bajos y altos para la zona de óxidos y domos respectivamente. La media correspondiente de los óxidos es el doble que los del domo.
7. **COBRE:** El histograma correspondiente para los óxidos es ligeramente bimodal, al parecer esto se debería a que en ciertas zonas del área oxidada hay mayores concentraciones de Cu; mientras que es unimodal en lo correspondiente a los domos es decir la existencia de cobre sin ser removilizado (zona de sulfuros).
8. **ANTIMONIO:** Ambos histogramas presentan cierta distorsión debido a los valores por debajo del límite de detección. Aparentemente el histograma correspondiente a los óxidos presenta histograma unimodal, mientras que el correspondiente a los domos presenta un histograma unimodal sesgado hacia los valores bajos.
9. **ZINC:** Los histogramas correspondientes en ambos ambientes han sufrido pequeños distorsiones por los valores negativos, pero en general el histograma para la zona de óxido es unimodal mientras que para la zona de domos es bimodal.

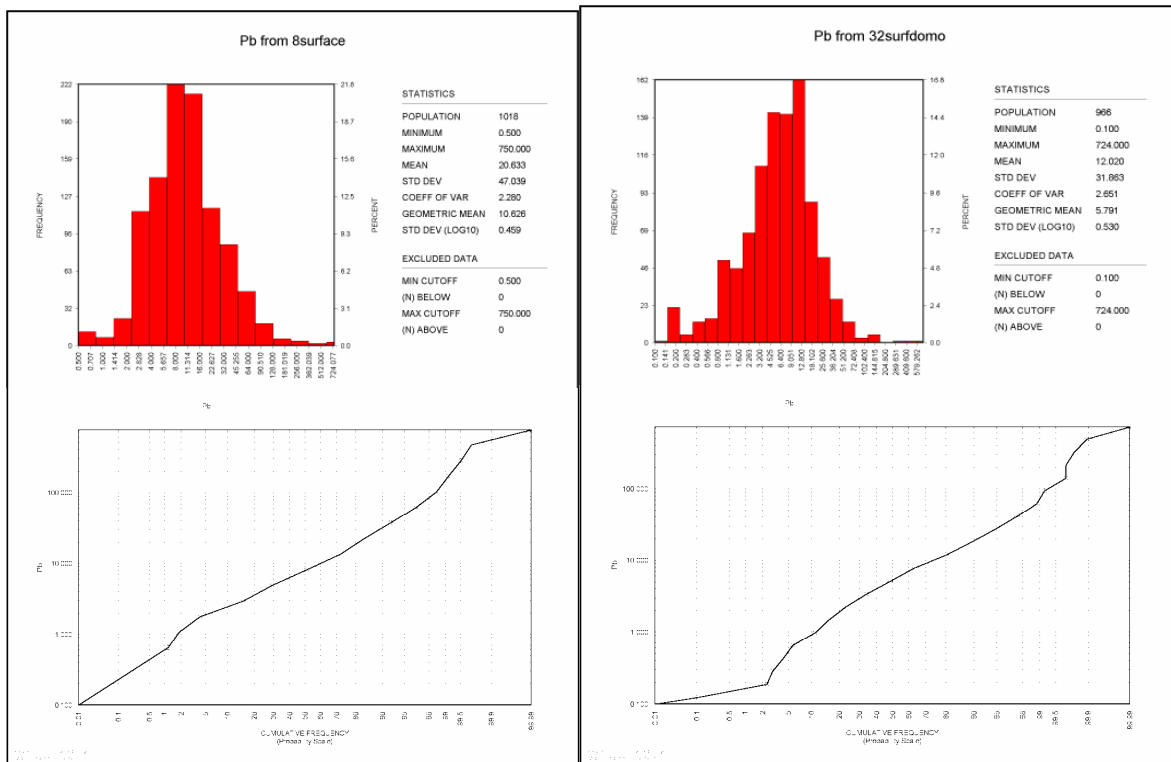
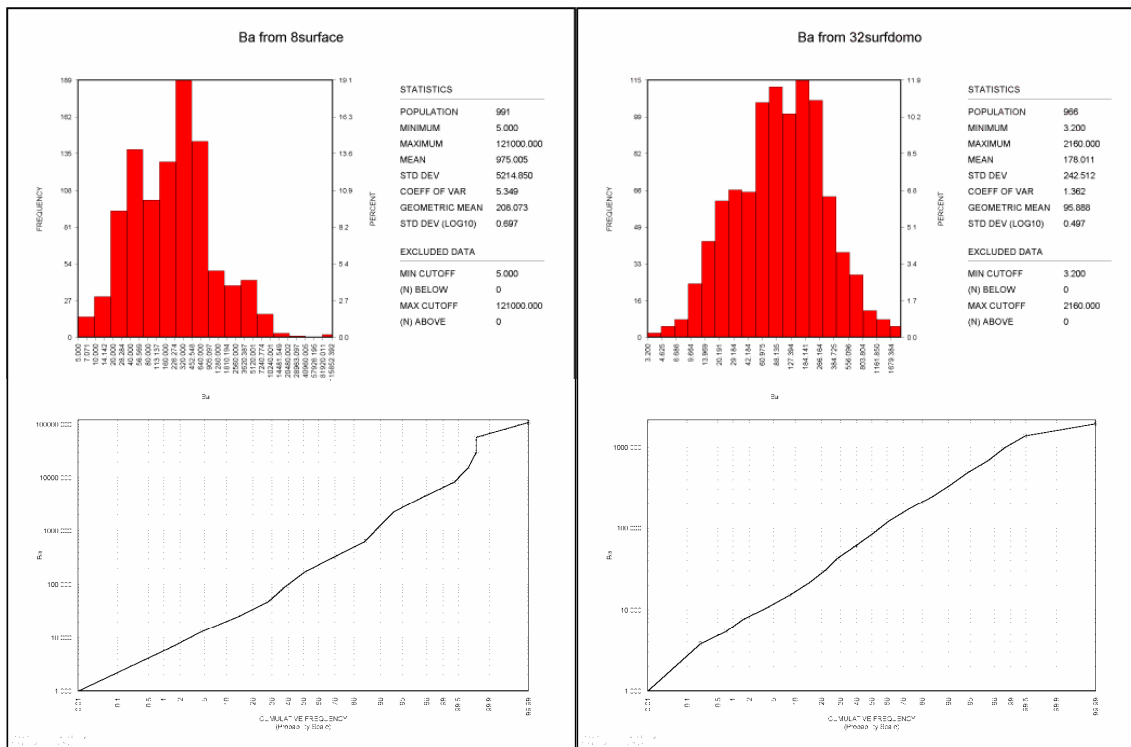
A continuación se presenta los 9 primeros juegos de histogramas comparativos que se elaboró para la base de datos de **8 elementos (óxidos) & histograma para 32 elementos (bordes domo)**.

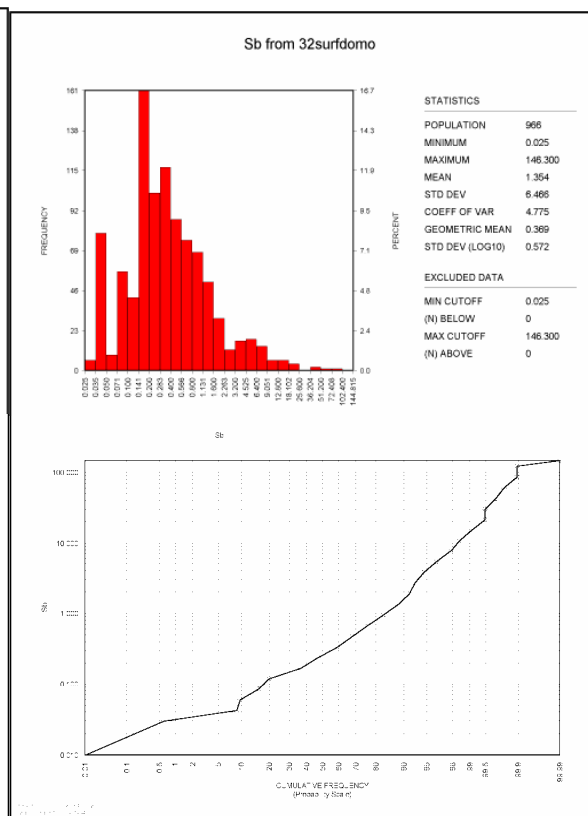
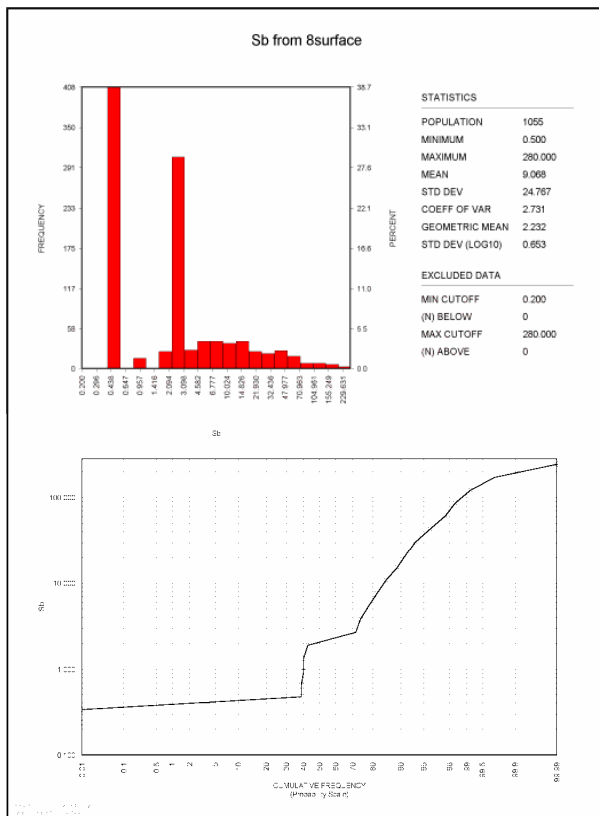
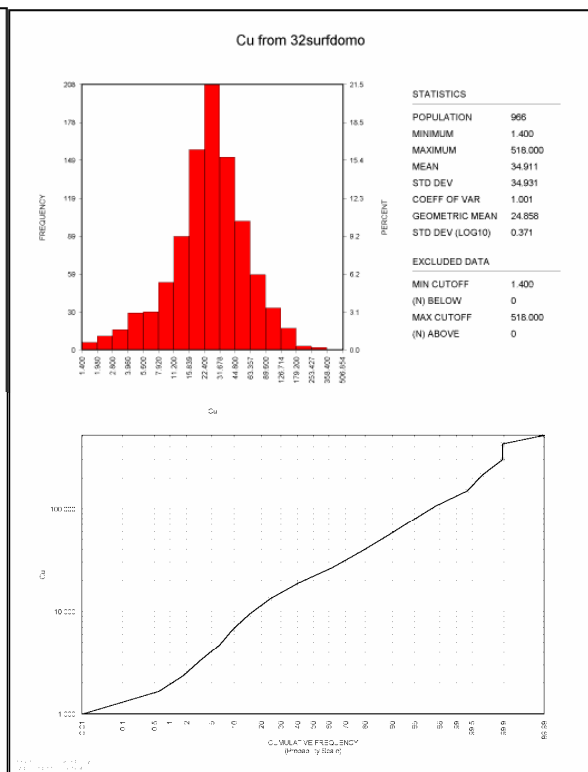
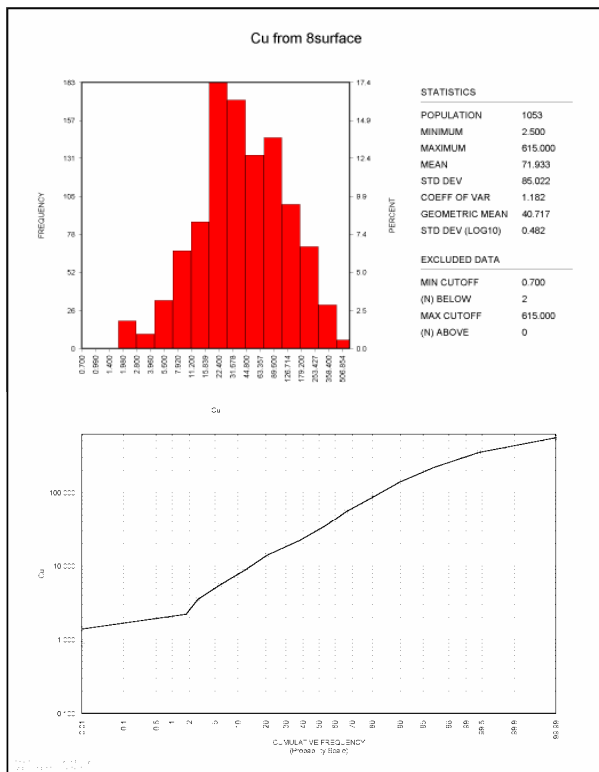
En la sección correspondiente a geoquímica de taladros se usará los restantes elementos.

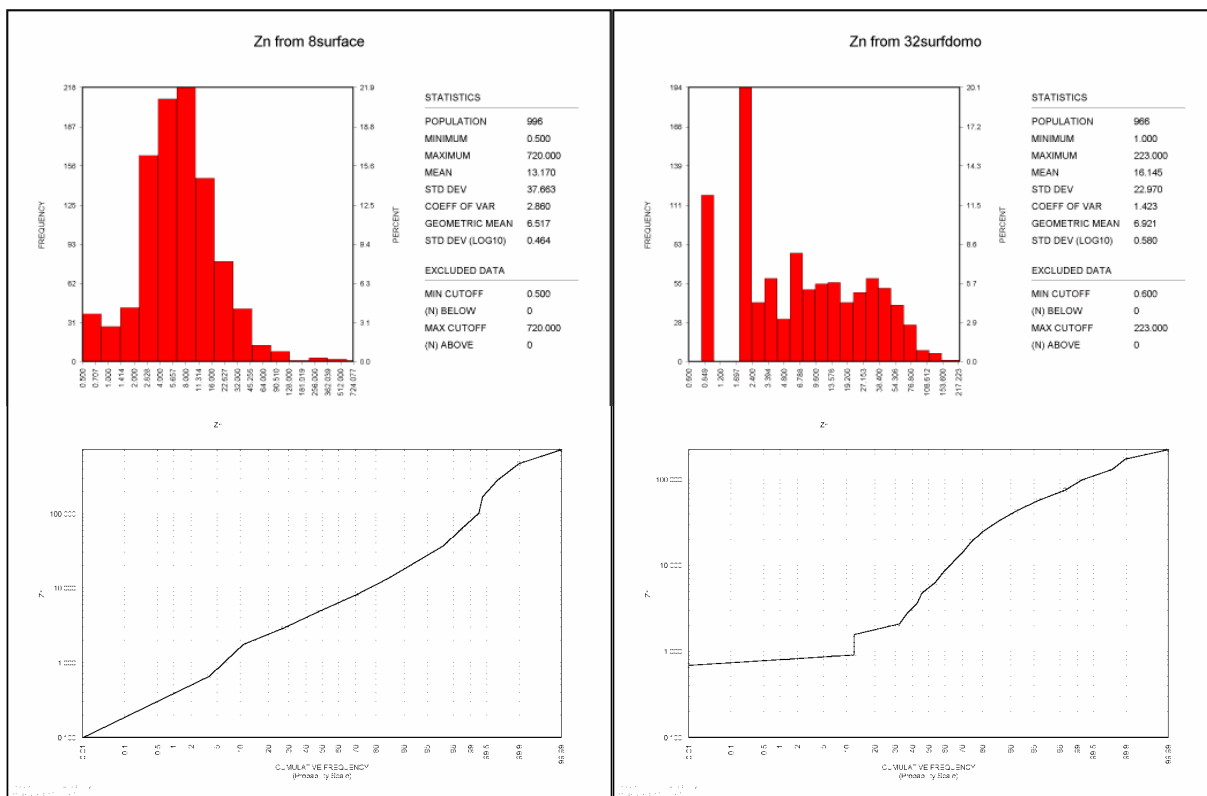
HISTOGRAMAS: OXIDOS (8 surface) & DOMOS-BORDES DOMO (32urfdomo)











• **Análisis de Correlación**

Se ha elaborado matrices de correlación de Pearson para las dos bases de datos mediante el paquete **Systat** (tablas N° 2, 3). A partir de estas matrices correlación se observa lo siguiente.

MATRIX DE CORRELACION DE PEARSON 8 ELEMENTOS(ppm)
(zona de óxidos-tufo)

| | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| AG | 1 | | | | | | | | |
| AS | 0.067 | 1 | | | | | | | |
| AU | 0.104 | 0.41 | 1 | | | | | | |
| BA | -0.011 | 0.073 | 0.025 | 1 | | | | | |
| CU | 0.15 | 0.464 | 0.219 | 0.215 | 1 | | | | |
| HG | 0.079 | 0.166 | 0.025 | 0.214 | 0.294 | 1 | | | |
| PB | 0.116 | 0.231 | 0.042 | -0.006 | 0.125 | 0.008 | 1 | | |
| SB | 0.057 | 0.632 | 0.431 | 0.085 | 0.306 | 0.12 | 0.157 | 1 | |
| ZN | 0.051 | -0.01 | -0.033 | -0.015 | 0.054 | -0.079 | 0.271 | -0.032 | 1 |
| | AG | AS | AU | BA | CU | HG | PB | SB | ZN |

0.70~1.00 Muy buena correlación

0.5~0.69 Buena correlación

0.3~0.49 Moderada correlación

Tabla N° 2

De la tabla N° 2:

- Elementos con **correlación directa con el Au**: Sb{0.632} > As{0.41} > Cu{0.219} > Ag{0.104} > Ba{0.025} (tufos alterados y oxidados).
- Elementos con **correlación inversa con el Au**: Zn{-0.033} > Pb{0.042} (borde y parte de los porfiríticos dómicos).

De la tabla N° 3:

- Los escasos elementos con regular **correlación directa con Au**: Pb > K > Sr; pertenecería a bordes alterados-argilizados del domo, principalmente.
- Elementos con **correlación inversa al Au**: Cr > Zn > Co > Ti > Mn > Ni > P > Zr > Bi > V (porfirítico dómico no alterados).

- **Elementos Afines**

Después de efectuar una interpretación rápida a partir de las tablas de matrices de correlación, se han identificado las siguientes familias de elementos afines:

De la tabla N° 2:

- Sb-As-Cu: Son los tríos o elementos más afines, manteniendo de moderada a alta correlación, esto se entiende porque se ha detectado presencia de sulfosales en los estudios microscópicos.
- Sb-As-Pb: mantienen baja a moderada correlación
- Hg-Cu-Ba: estos tres elementos son los de más baja correlación.

De la tabla N° 3:

- V-Sc-Ce ; Ti-V-Zn ; Zn-V-Li ; Ti-V-Li ; Ti-V-Sc: Estos tríos mantienen una muy buena correlación (esto se explica porque correspondería a zonas frescas).
- Mn-Zn-Tl: este trío manifiesta una moderada afinidad
- Zn-Mn-V: El Zn con Mn y Mn con V poseen una baja a moderada afinidad pero el Zn con V una alta afinidad
- V-Li-Cs: moderada afinidad
- K-Sr-Ce: moderada afinidad
- V-Co-Zn: este trío posee moderada afinidad

- Ti-V-Mn: de baja a moderada afinidad
- Ni-Mn-Co: mantienen de baja a moderada afinidad.

Los tríos de afinidad establecidas y que continúan abajo corresponderían a zonas de **contacto** entre el **domo y tufos**.

- Sb-As-Cu: se asemeja mucho al nivel de afinidad mostrado en la zona de óxidos (mineralización primaria de sulfosales: tetraetrita, enargita?)
- Te-As-Cu: manifiestan de moderada a fuerte afinidad, especialmente entre As y Cu (borde del domo o estructuras)
- Sb-Bi-As: moderada afinidad
- Sb-Bi-Cu: poseen de baja a moderada afinidad.

4.2.3 Análisis de Planos Geoquímicos

La elaboración de planos de isovalores geoquímicos fueron contorneados manualmente a partir de los valores ploteados en programas propios con los que trabaja la empresa y una vez establecido los nuevos intervalos a partir de los histogramas y frecuencias acumulativas. La mayor cantidad de datos para la elaboración de estos contorneos provienen principalmente de la geoquímica enviados hasta el año 2001 (zona de óxidos), en menor cantidad las datos posteriores de los muestreos en zonas correspondientes en los porfiríticos dómicos.

A continuación se describen anomalías para cada uno:

- **ORO(Au)**

Los valores por encima de 0.1 ppm (100 ppb) tienen una clara tendencia E-W seguida aunque en menor proporción por una segunda tendencia casi N-S ambos dentro de la alteración sílice masiva(SM) rodeada por sílice granular (SG). Corresponde a la zona de interés I. Ver figs. N° 6, 11.

- **PLATA(Ag)**

Se observa que la anomalía por este elemento abarca una buena área, bordeando a la zona anómala por Au, también mostrando dos zonas anómalas, con tendencias NS asociada a estructuras y al probable cuerpo de brecha (al NE de la zona principal del proyecto) y la otra anomalía de tendencia EW y que coincide en parte con la zona anómala de Au. Ver fig. N° 12.

- **MERCURIO(Hg)**

Si bien las anomalías >1 ppm de mercurio cubre casi toda la zona anómala por Au y que coincide con la zona alterada, los valores altos de este elemento se hallan hacia el Este con tendencia N-S y en menor proporción con tendencia E-W. Cabe resaltar la anomalía con tendencia N-W (estructural) dentro de la zona III pero muy reducida en alteración SA. Ver fig. N° 13.

- **ARSÉNICO(As)**

Existe una buena anomalía también en las tendencias EW, NS la cual se superpone a lo anomalía del Au y parcialmente a las zonas anómalas de mercurio, lo cual nos estaría indicando una buena correlación y débil correlación respectivamente entre ambos elementos. Más hacia el Sur-Este de la zona I, existe una clara tendencia NW. Hacia el extremo Oeste de la zona III, también presenta una pequeña zona anómala por As. Ver fig. N° 14.

- **ANTIMONIO(Sb)**

El antimonio muestra una buena correlación con el Au al igual que con As con tendencias E-W y en menor grado con tendencia N-W. Hay zonas muy reducidas con anomalías por éste elemento dentro de la zona III. Ver fig. N° 15.

- **BARIO(Ba)**

Si bien en la figura N° 16 se muestra también la tendencia casi E-W y N-S de éste elemento, las mayores anomalías se ubican al sur-este de la zona anómala de oro, de ahí que se expresa la baja correlación entre ambos elementos; pese a que los primeros muestreos en superficie indicaban valores altos de oro directamente relacionadas a brechas con bario. De usarse los intervalos distritales para el contorneo de este elemento estableceríamos anomalías muy reducidas.

- **TELURO(Te)**

Se cuenta con pocos datos para este elemento, aunque con ello se puede interpretar que la anomalía tiene una tendencia similar que los elementos mencionados arriba, especialmente con el Au. En la zona III es considerable la anomalía para este elemento. Ver fig. N° 17.

- **COBRE(Cu)**

La anomalía de cobre principalmente bordea a la zona anómala por Au con ligera tendencia N-S, E-W y tiene una moderada correlación con As y Sb, lo que indicaría su relación a algunos sulfosales.

- **ZINC(Zn)**

Este elemento cubre una gran zona anómala, cuyas concentraciones fuertes se encuentran en las partes periféricas de todas las anomalías antes mencionadas arriba y que corresponde a las unidades porfíricas relacionada a domos alterados a argílico y un incipiente propilítico. Cabe resaltar que se extiende ésta anomalía hacia la zona de interés II-III (cuyos datos de geofísica TDEM arrojan valores resistivos), indicándonos una posible zona mineralizada en profundidad? Ver fig. N° 19.

- **BISMUTO(Bi)**

Con los pocos datos con el que se cuenta, no se puede apreciar la tendencia final, pero al parecer la tendencia es también es E-W y N-S como las anomalías que muestran la mayoría de los elementos arriba mencionados. Ver fig. N° 20.

- **PLOMO(Pb)**

Los valores anómalos establecidos a partir de la base de datos (histogramas) para el proyecto muestran una pobre tendencia E-W y N-S. El elemento que mejor correlación posee con el Pb es el As; bordea a la zona anómala con Au. En la zona III, existe unas pequeñas áreas con anomalía con tendencia N-W que también coincide con el As. De acuerdo a los rangos distritales este elemento mostraría anomalías muy puntuales. Ver fig. N° 21.

BLANCOS GEOQUÍMICOS:

Si bien no hay mejor guía para una prospección por depósitos epitermales de oro que el mismo elemento (**C. Velazco, 2001**), pero cuando estos no son conspicuos se recurre al análisis de elementos guías.

En la figura N° 22, se ha establecido tres blancos geoquímicos, los cuales se describen a continuación.

- **TARGET 1:** Es la zona donde se observa la correlación directa del Au con Sb, As, Cu, Ag y Ba. A partir de esto se trata de buscar los mismos patrones

geoquímicos en el proyecto. Este blanco fue perforado entre 2000-2001 y se encuentra dentro de la zona de interés I.

- **TARGET 2:** Es la zona que más se parece en cuanto posee los mismos patrones geoquímicos que el Target 1, excepto oro, aunque cabe mencionar que en esta área no se ha efectuado muestreo selectivo detallado que nos permita detectar oro.

- **TARGET 3:** Este target es inferido a partir de las observaciones hechas para el zinc en el TARGET 1. Como se observa en la figura N° 19, el Zinc bordea a la zona anómala por Au y alterada. En este target se infiere que éste mismo concepto se puede cumplir pero indicándonos en sentido vertical, es decir el zinc reflejando zonas alteradas pero en profundidad, además algunos muestreos selectivos arrojan en esta área algo de valores por Au, este target se encuentra entre las zonas de interés I y III,.

Hay que destacar que a ambos extremos del proyecto que correspondería a los proyectos Quecher y Pachanes existe algunos valores anómalos por Au, de ahí que merezca reestudios respectivos.

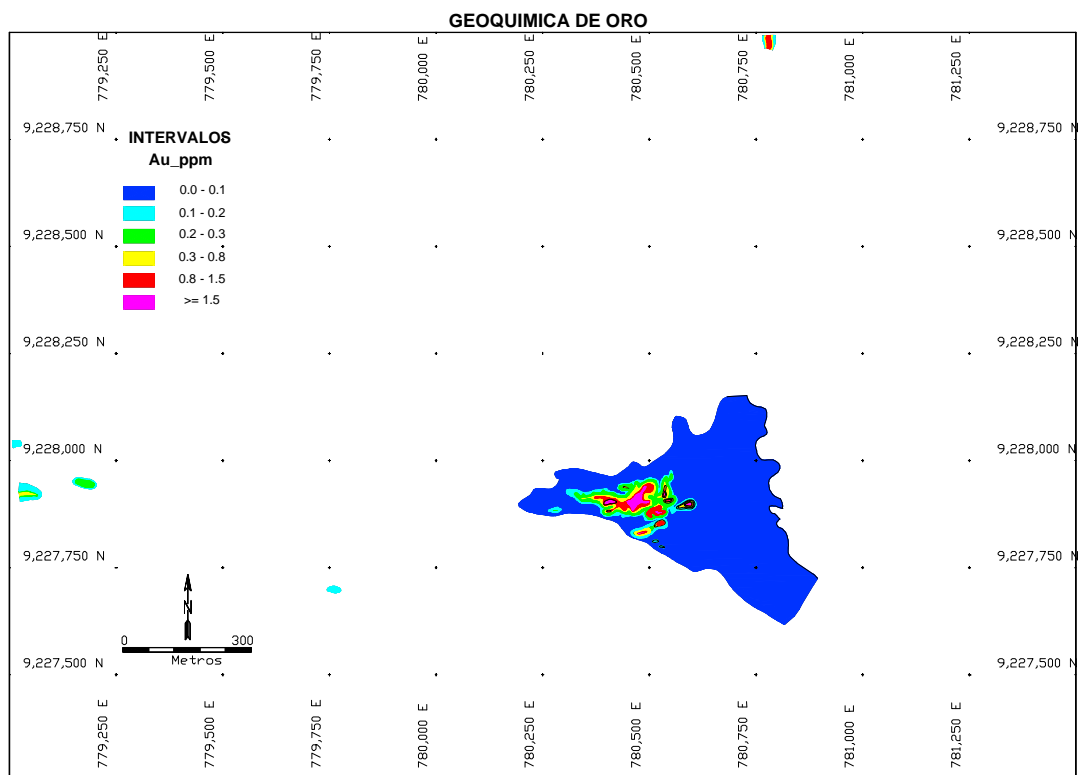


Figura N° 11

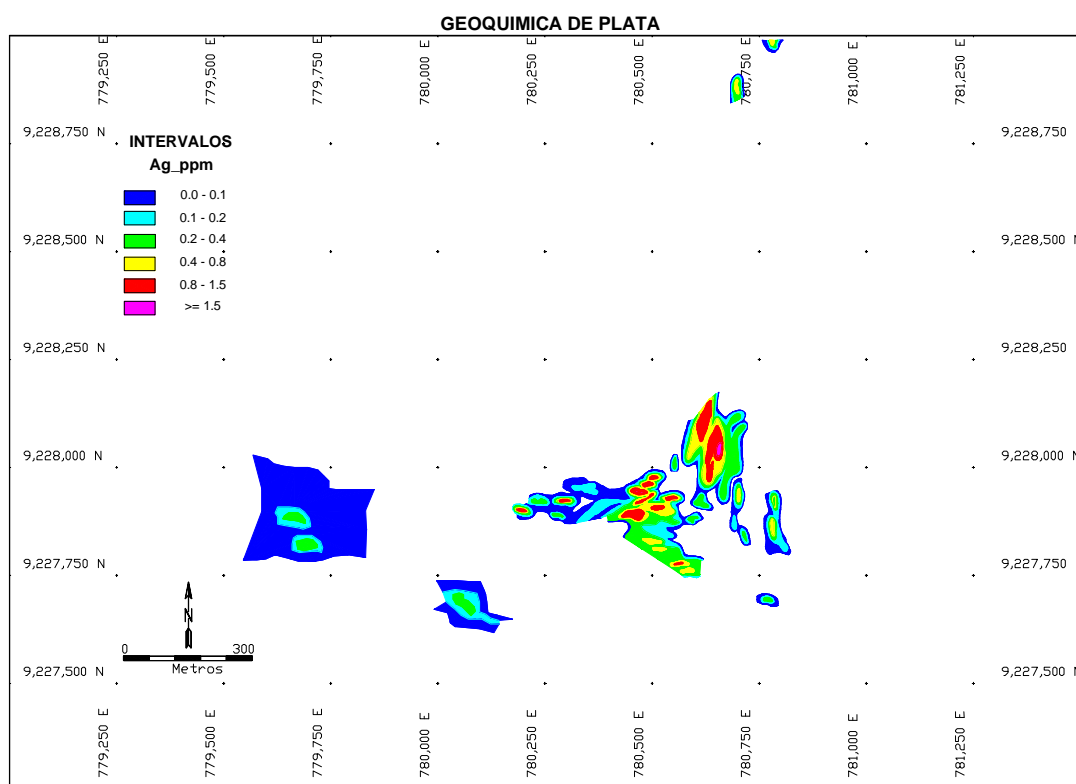


Figura N° 12

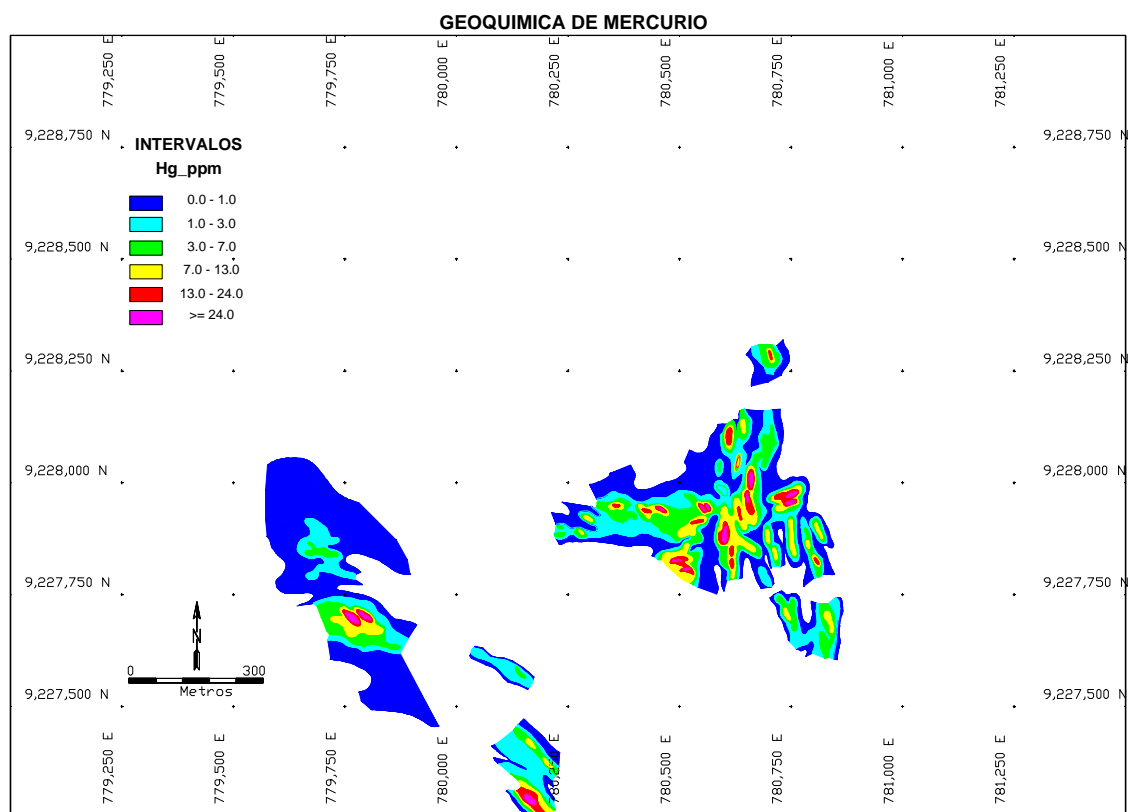


Figura N° 13

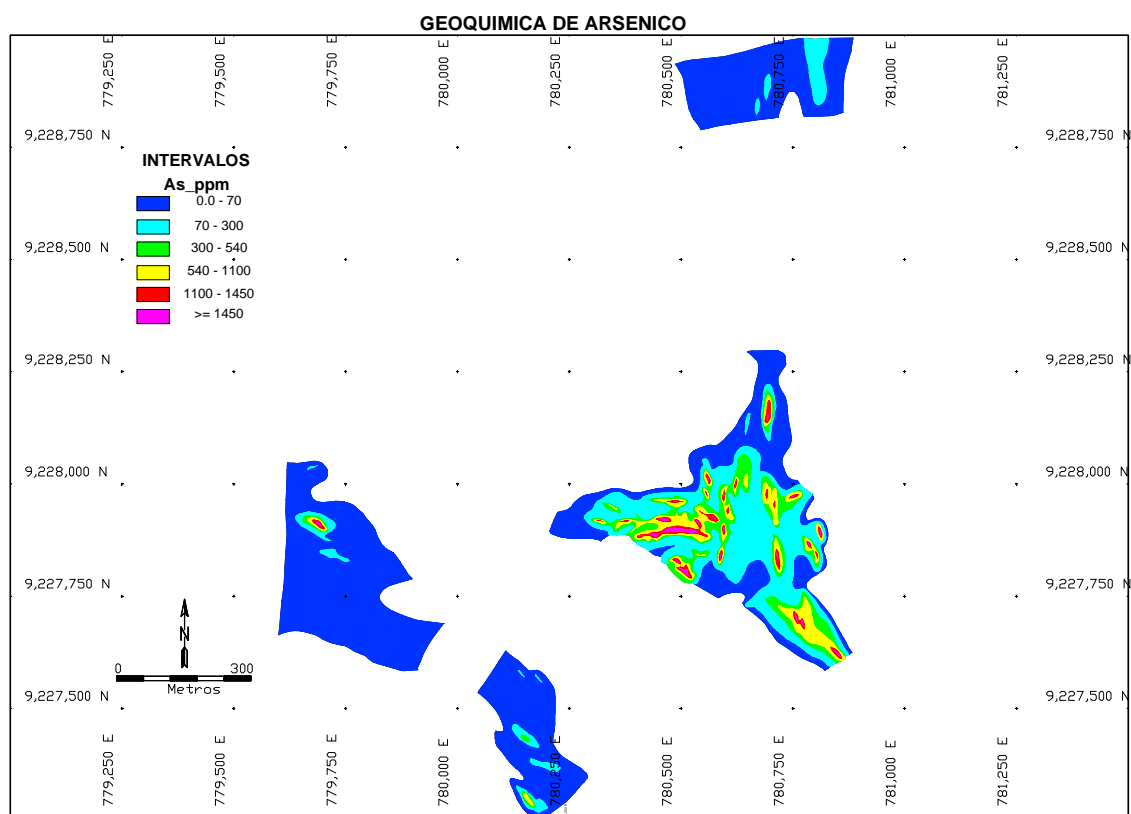


Figura N° 14

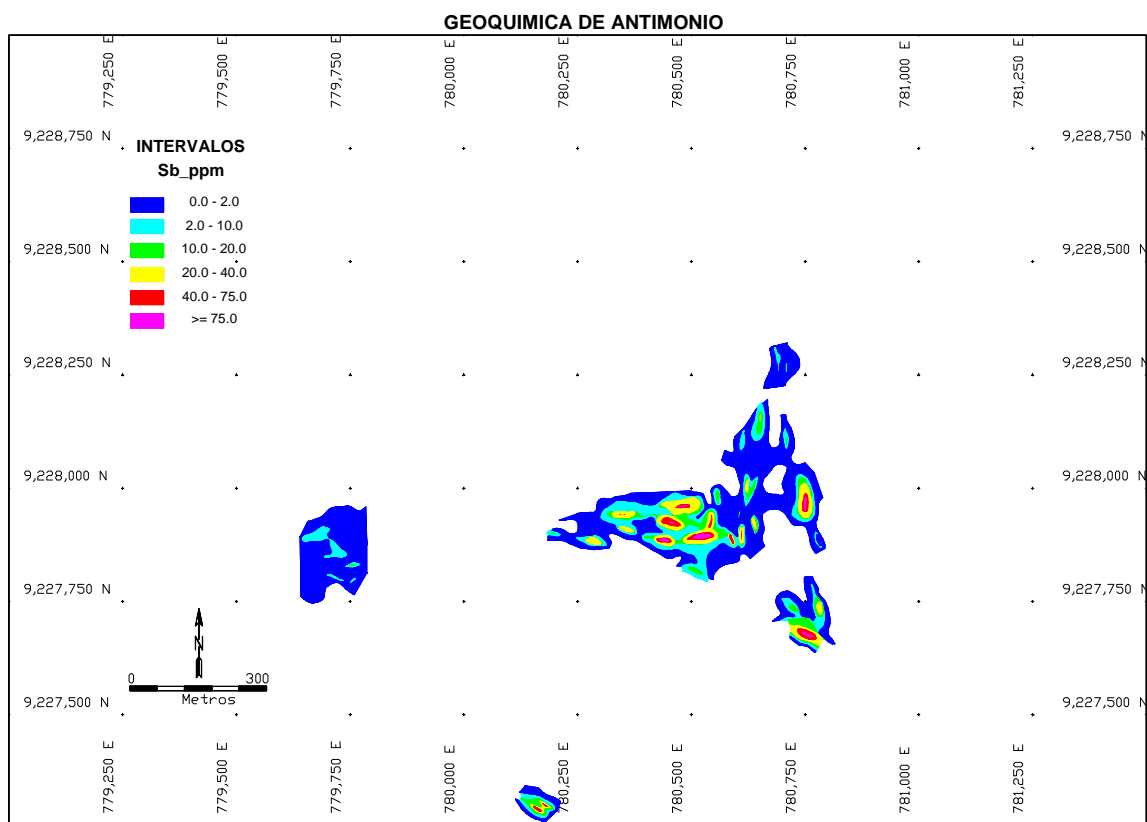


Figura N° 15

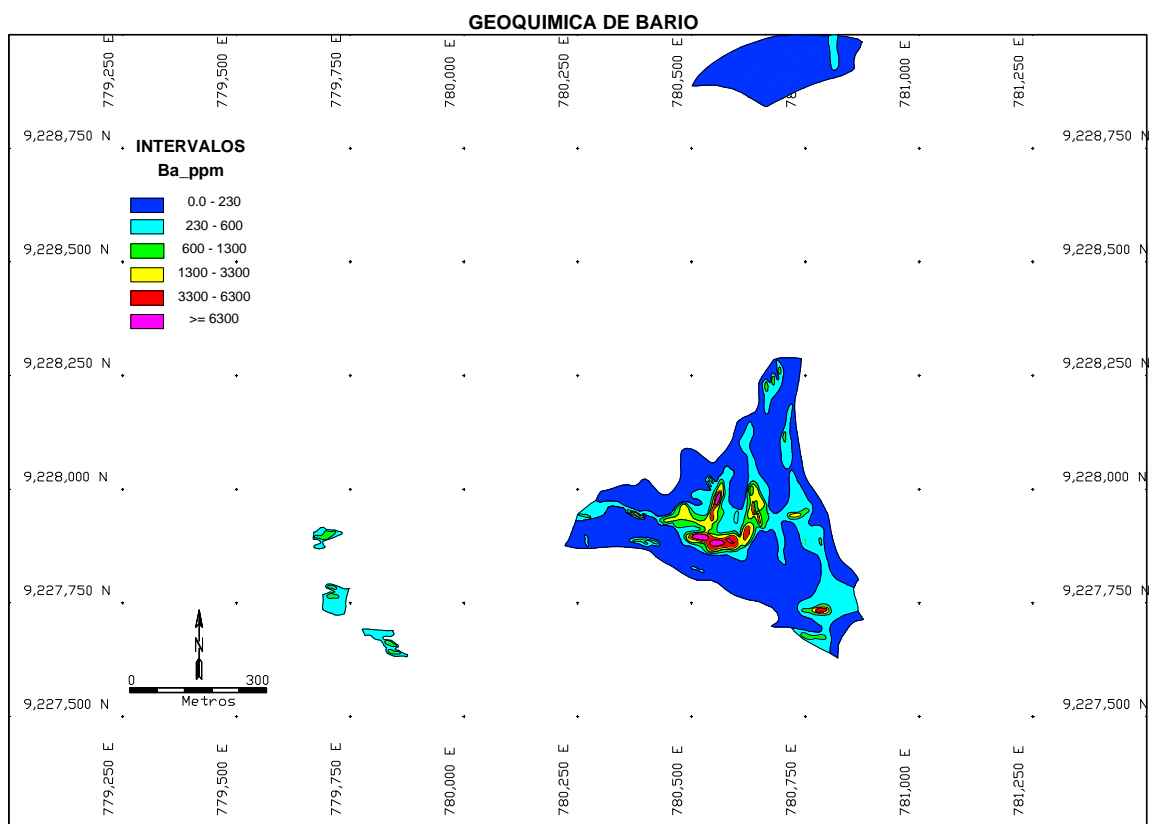


Figura N° 16

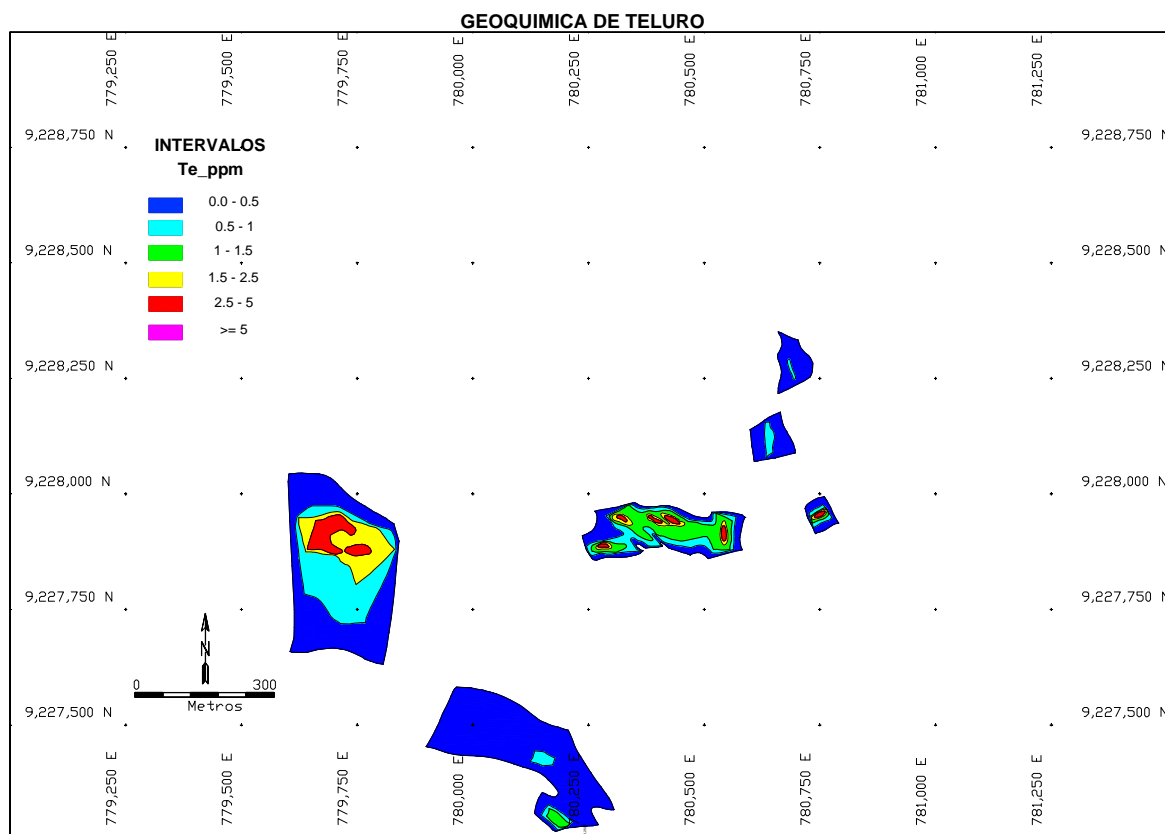


Figura N° 17

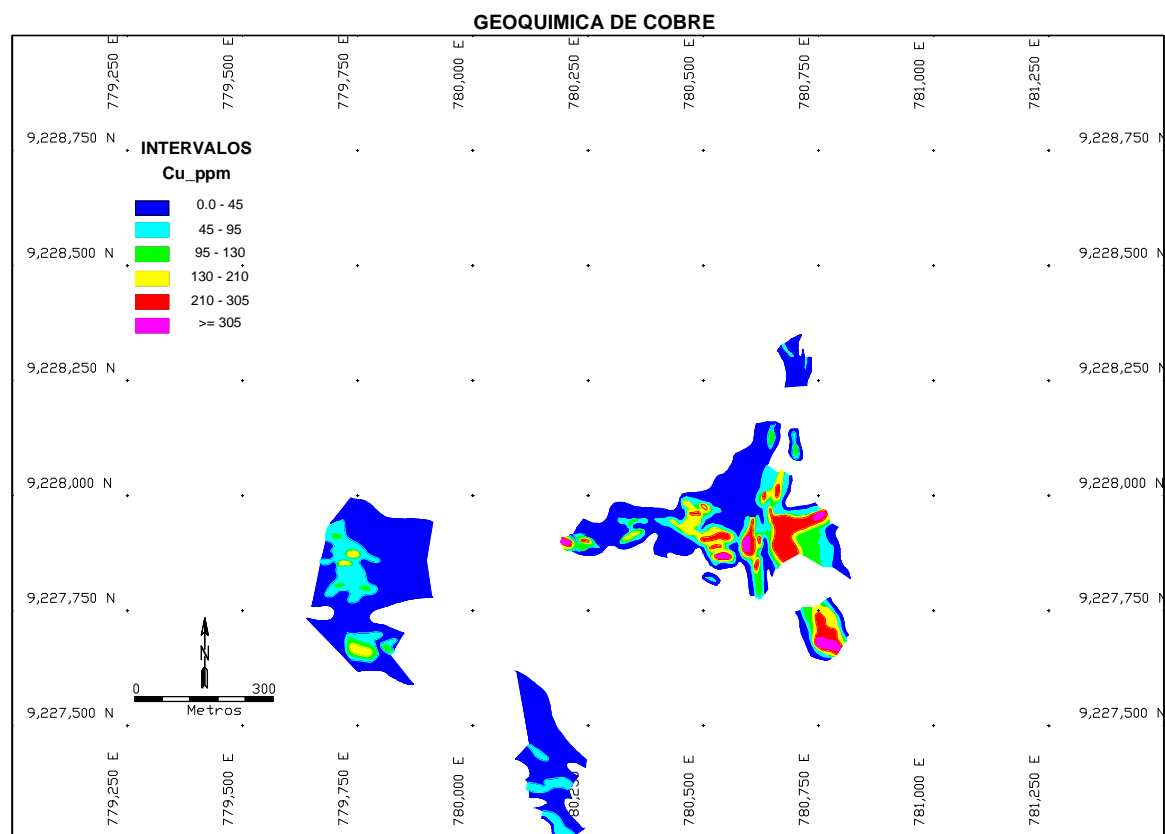


Figura N° 18

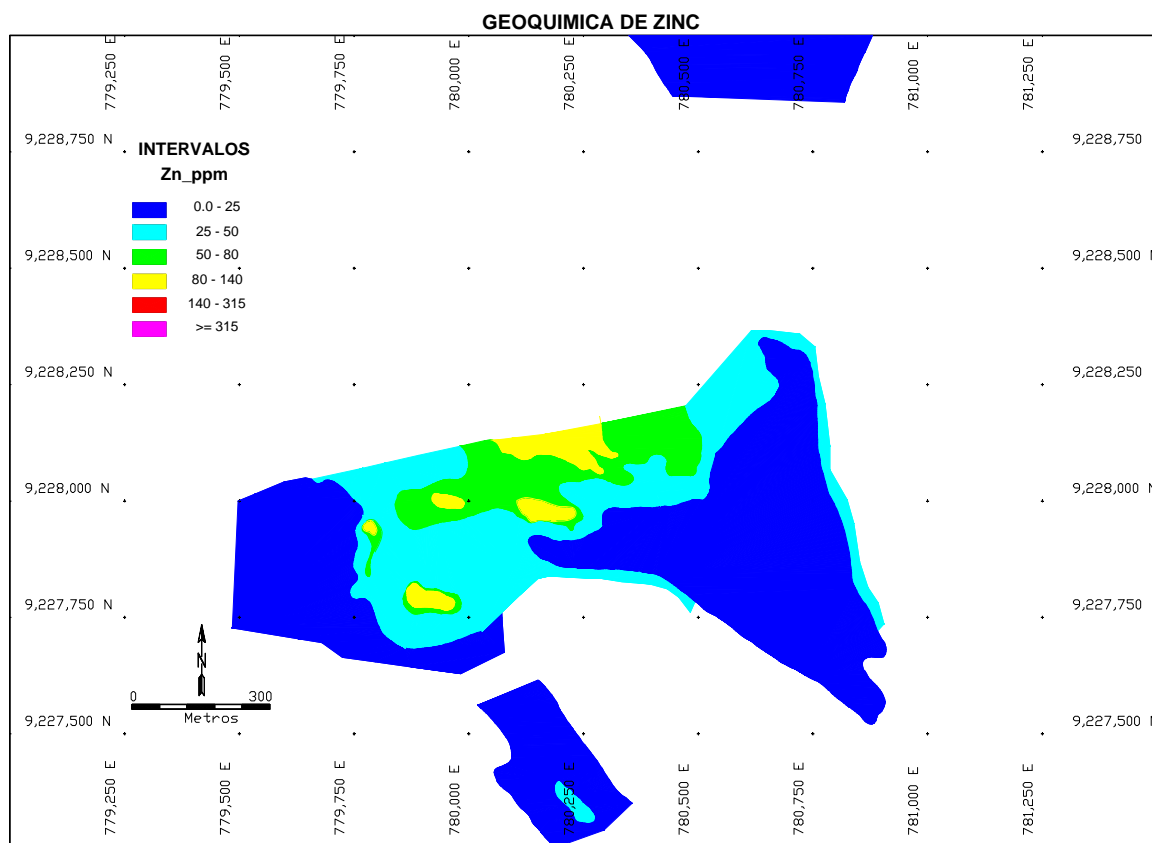


Figura N° 19

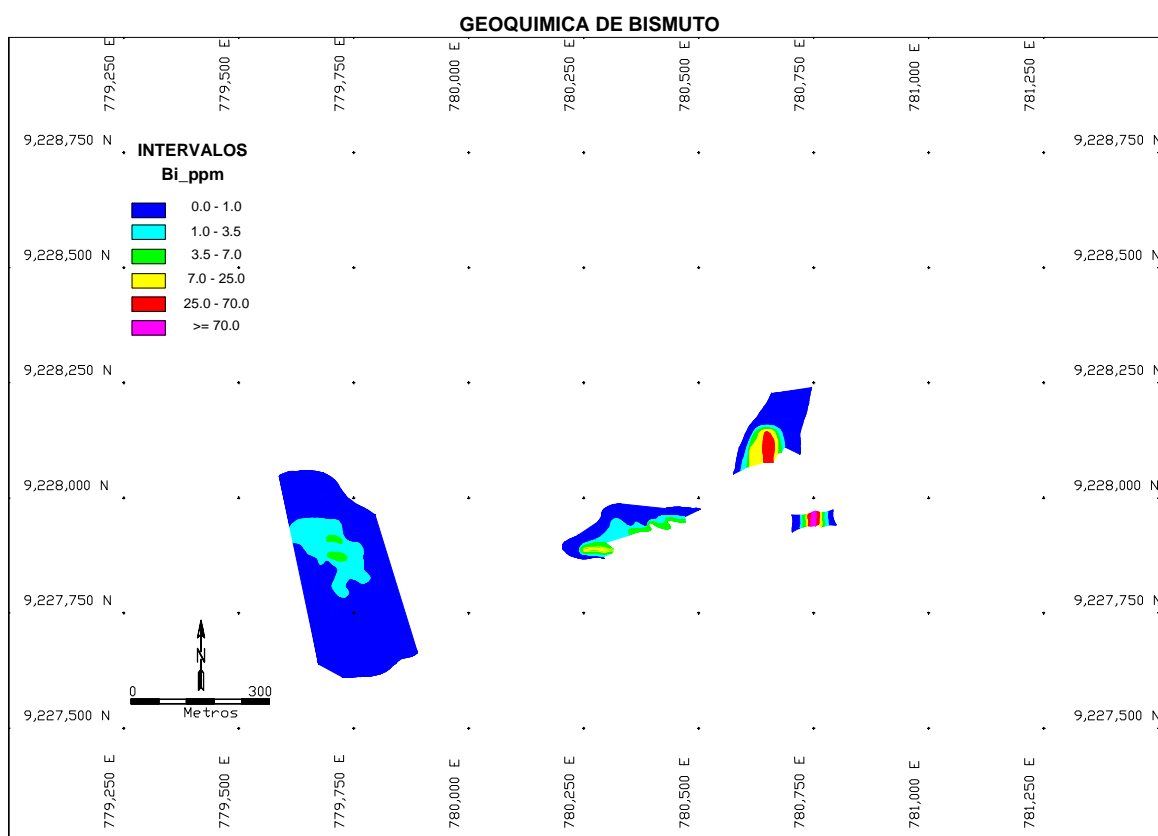


Figura N° 20

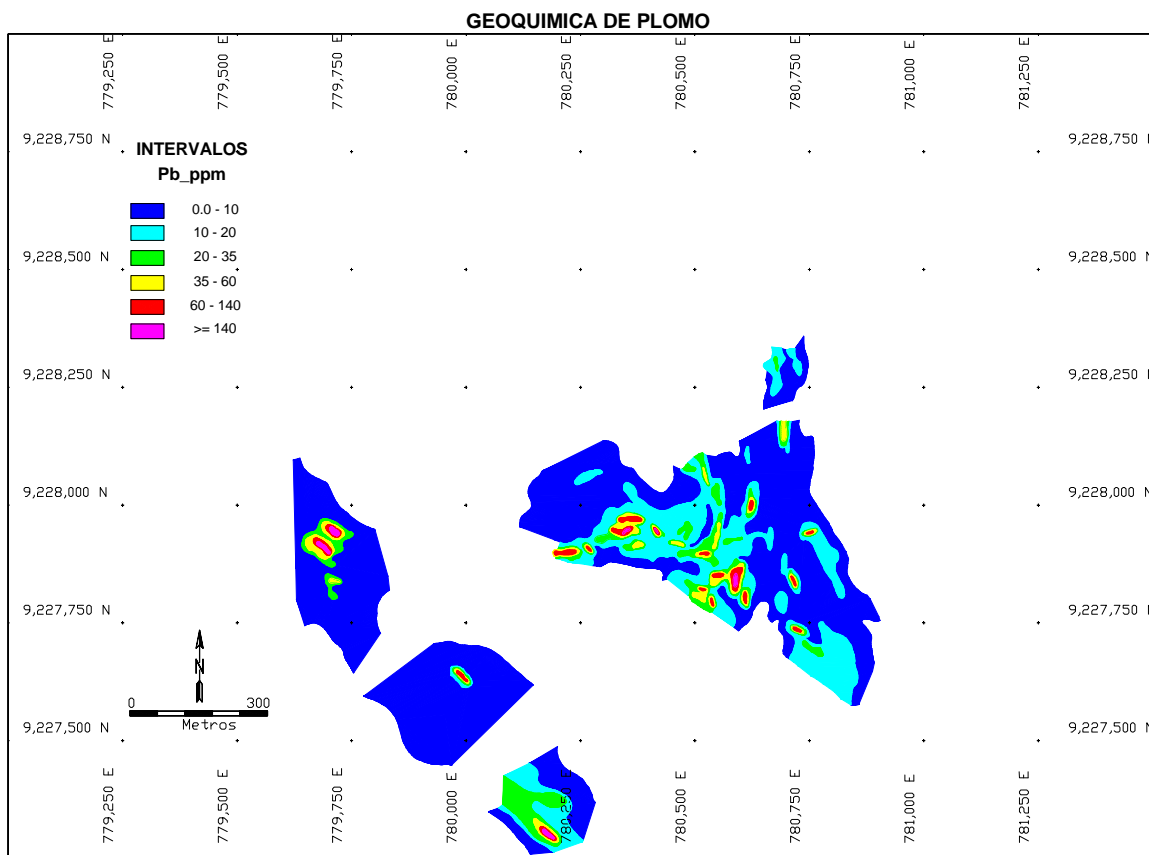


Figura N° 21

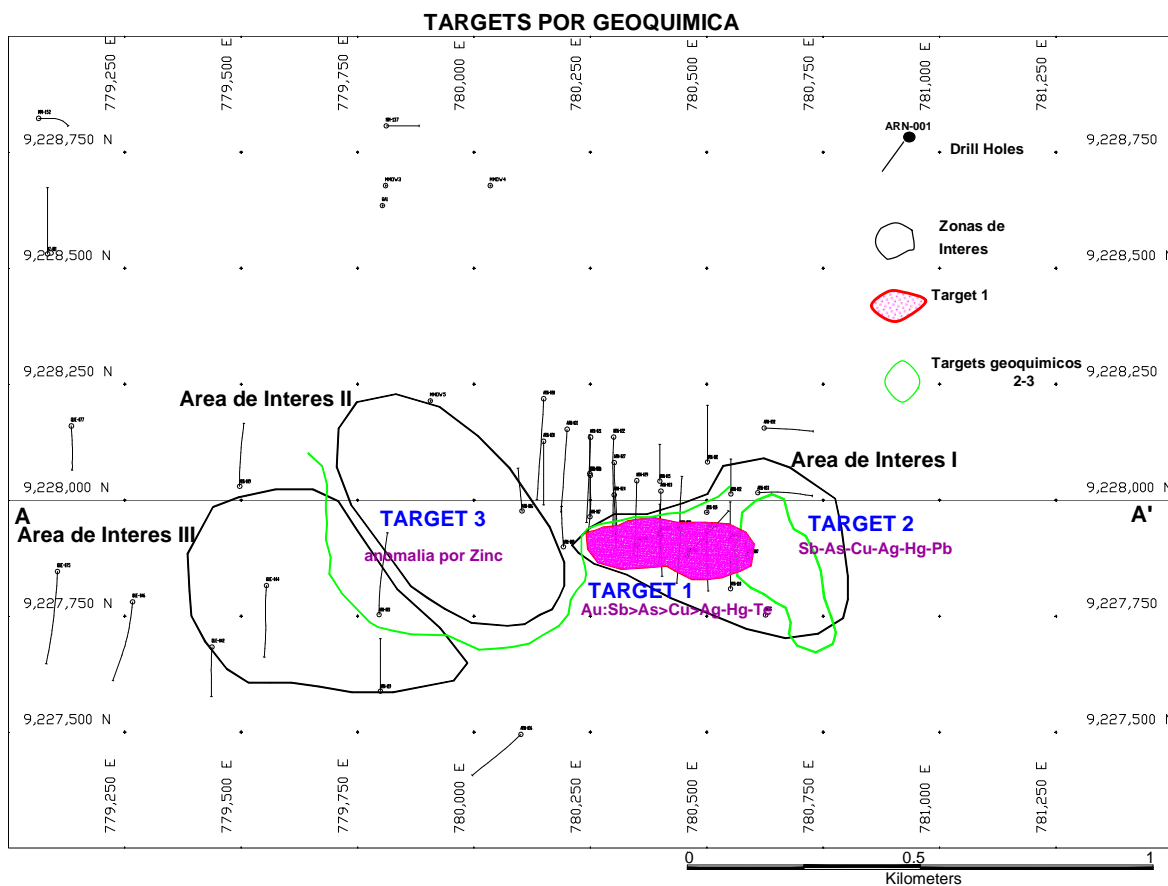


Figura N° 22

4.3 PERFORACIÓN DIAMANTINA EN SUS DIFERENTES FASES

Los taladros iniciales fueron propuestos en función a las anomalías geoquímicas encontradas en superficie en la zona de interés I (anomalía en óxidos), que en su primer fase se efectuó un total de 10 taladros, 8 dentro del blanco de la zona de interés I y dos taladros al otro lado de la falla. Estos dos primeros taladros propuestos al otro lado de la falla Arnacocha fue un target de geofísica antes que geoquímica, ya que los señales de TDEM a 200m. de profundidad indicaba cuerpos resistivos. Las primeras interpretaciones efectuadas por el grupo de Exploraciones dejaba en claro el posible potencial en profundidad y zonas abiertas en superficie.

Después de estos trabajos se hizo un primer inventariado de recursos con el cual pasó a Geología de Mina para efectuar campañas de perforación para el desarrollo del proyecto. La primera campaña fue efectuada en 2001 un total de 9 taladros y uno de ellos el taladro ARN-19 al otro lado de la falla Arnacocha con la intención de corroborar los taladros exploratorios ARN-03 y ARN-09. La segunda campaña en el año 2002, un total de 15 taladros dentro del cuerpo predefinido por parte de exploraciones. Todos estos taladros fueron efectuados dentro del shape preliminar mayor 0.1 gr/t de Au definida por exploraciones. Después de un total de 34 taladros efectuados (entre core y RCD), se efectuó el modelo de Arnacocha, con el cual se tuvo una idea real de las dimensiones del proyecto aunque quedando posibles zonas abiertas en profundidad correspondiente a la zona de interés II. Ver fig. N° 7.

4.4 Geoquímica de Sondajes

Las secciones geoquímicas fueron elaboradas con softwares propias de la empresa (Geomodel y Stones) y cada uno de ellos usados y adecuados para los distintos planos y necesidades.

4.4.1 Metodología

Para este estudio geoquímico se escogió un total de 16 taladros, cuyas profundidades verticales varían entre 180 y 250m. Los primeros taladros de la fase exploratorio fueron enviados en compósitos de 2m (por 8 elementos) y los últimos en compósitos de 8m (por 32 elementos) por el método de ICP. Se consideró trabajar sobre una sola base de datos en donde predominan los análisis en tufos alterados y oxidados; con los que se efectuó el análisis estadístico.

Si bien actualmente para la zona se cuenta con un aproximado de 3000 análisis de compósitos, para el presente trabajo se ha considerado solo datos existentes hasta el 2002, que suman un total 1700; algunos de ellos enviados sólo por 8 elementos.

4.4.2 Análisis Estadístico

Si bien a partir de los análisis adjuntos se va establecer los nuevos intervalos para los elementos restantes, para los demás elementos se van a usar los mismos que ya fueron establecidos para la **geoquímica de superficie** para que los análisis estadísticos sean comparativos.

- **Análisis de Histogramas**

Los análisis de histogramas que se presentan a continuación son para los elementos faltantes (**Cr, V, K, Ti, Mn, Co, Ni, P, Te, Sr, Sn**) y se han construido histogramas tomando la base de datos correspondiente a los domos-bordes (**32surfdomo**) con respecto a la base de datos de los taladros (**32secthit**) cuyos compósitos principalmente fueron efectuados en la zona de óxidos.

A continuación se describe los histogramas para estos elementos.

1. **CROMO:** Los histogramas obtenidos tanto a partir de la base de datos del domo (32surfdomo) como de los taladros (32secthit) son unimodales con cierto sesgo hacia valores altos.
2. **COBALTO:** Para ambas base de datos son bimodales; aunque los indicadores estadísticos para el histograma correspondiente a la base datos de taladros son altos en comparación al histograma.
3. **POTASIO:** Ambos histogramas presentan distorsión debido a los numerosos valores por debajo del límite de detección,
4. **VANADIO:** También el histograma correspondiente a ambos base de datos presenta distorsión, aunque en el histograma para los taladros hay un cierto sesgo hacia valores bajos.
5. **NÍQUEL:** Ambos histogramas son aparentemente unimodales con sesgos no tan bien definidos.
6. **BISMUTO:** El histograma correspondiente a los domos es unimodal con un aparente sesgo hacia valores bajos, mientras que el correspondiente a los taladros es bimodal, es decir con una probable zona de enriquecimiento.
7. **FÓSFORO:** El correspondiente a los valores de superficie (domo) es unimodal mientras que el histograma correspondiente a los taladros son bimodales con cierta distorsión ya que presenta muchos valores por debajo del límite de detección.
8. **ESTANO:** Ambos histogramas presentan cierto sesgo hacia valores bajos y son distorsionados por los valores por debajo del límite de detección.
9. **ESTRONCIO:** El histograma correspondiente a los domos es unimodal con cierto sesgo hacia valores altos, mientras que el correspondiente a los taladros son bimodales.
10. **TELURO:** Ambos histogramas son unimodales, con ciertos valores por debajo del límite de detección.

11. TITANIO: Ambos histogramas son totalmente distorsionados debido a los numerosos valores por debajo del límite de detección.

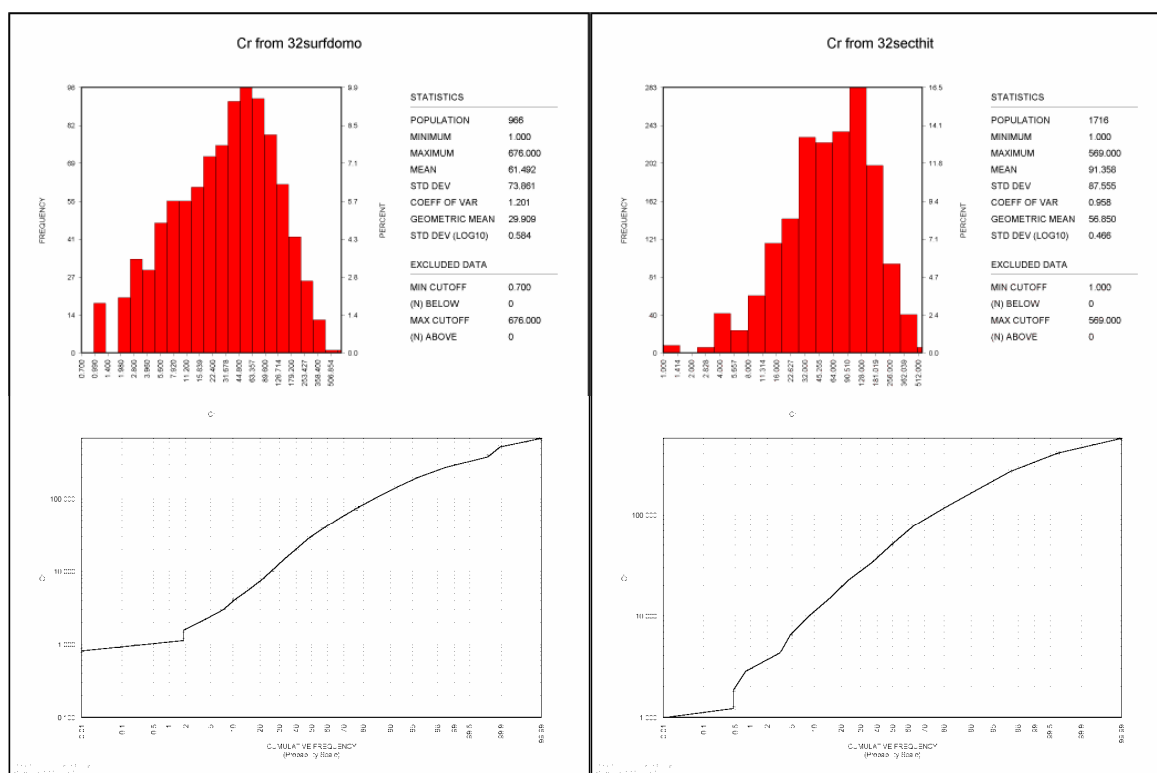
12. MANGANESO: Para los valores del domo el histograma es unimodal con cierto sesgo hacia los valores bajos, mientras que el correspondiente para los taladros es bimodal.

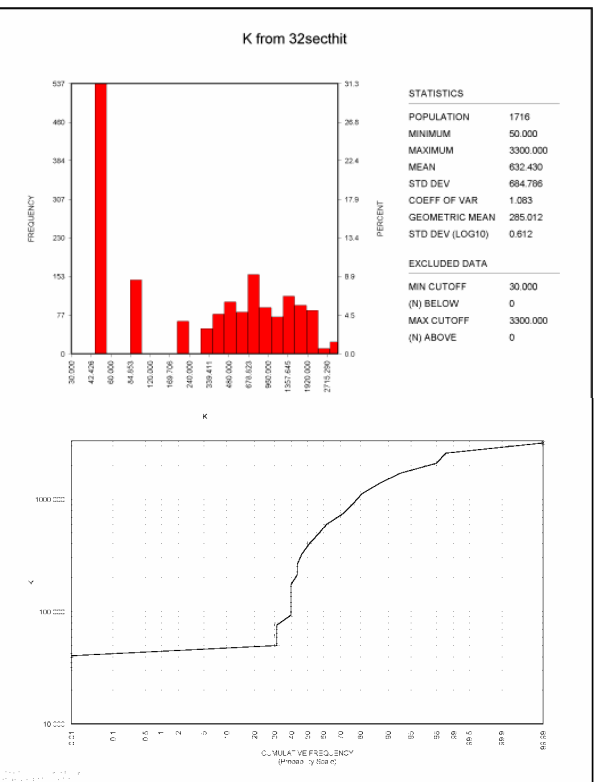
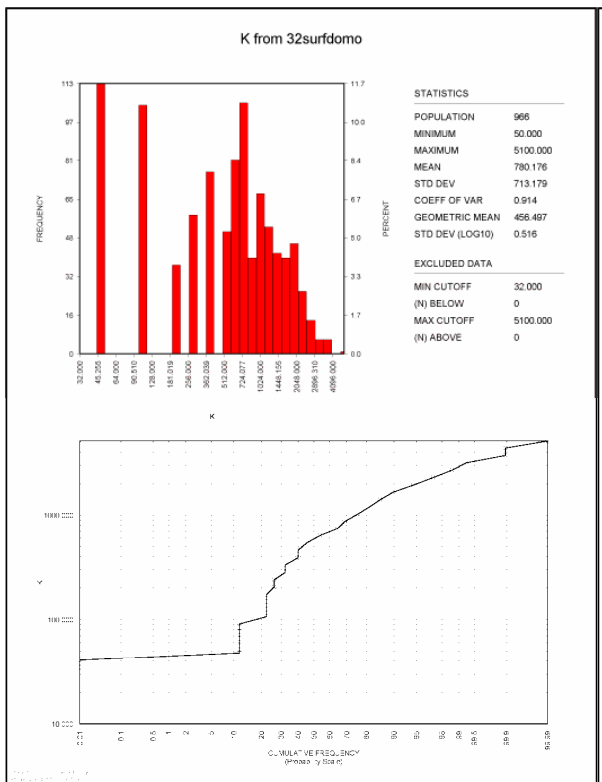
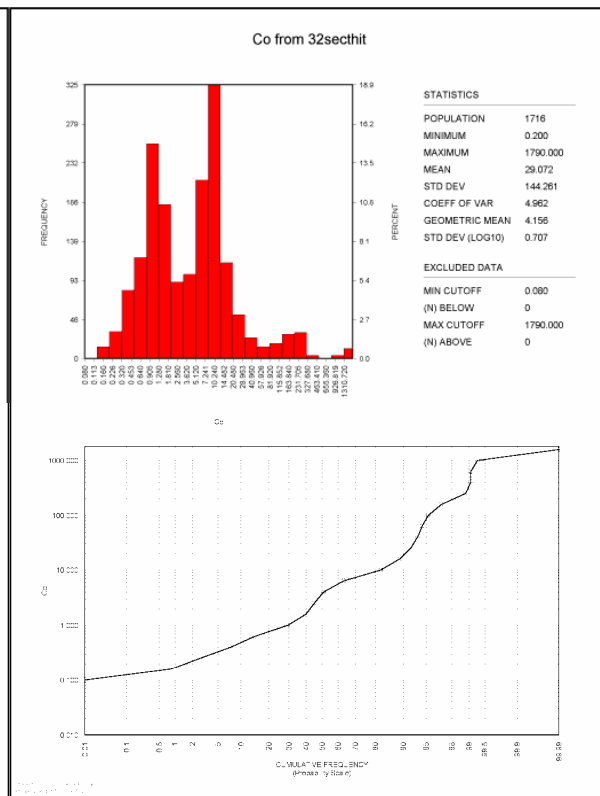
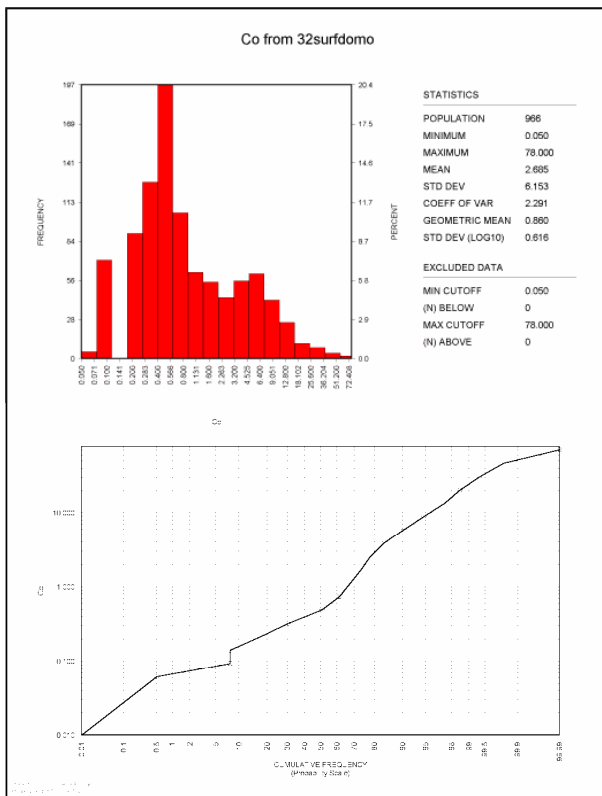
A continuación se presentan los histogramas comparativos de los bordes de domo versus la geoquímica de taladros.

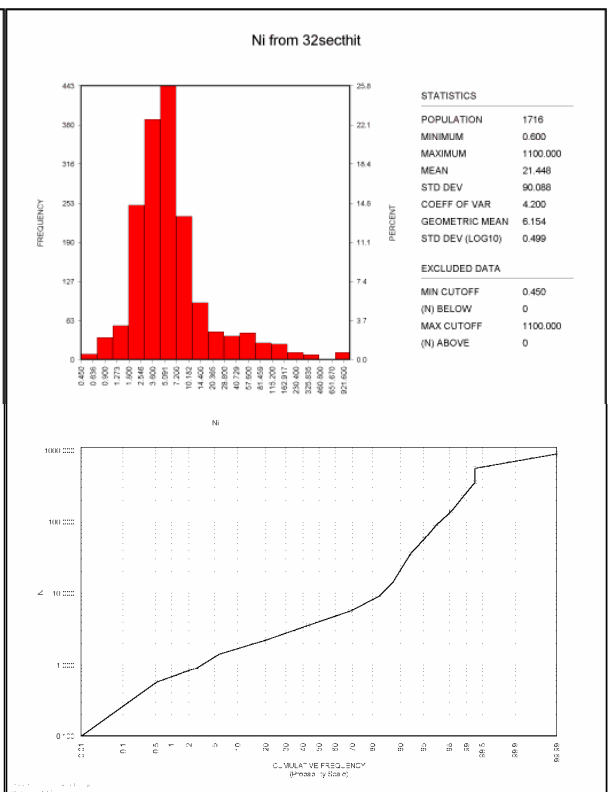
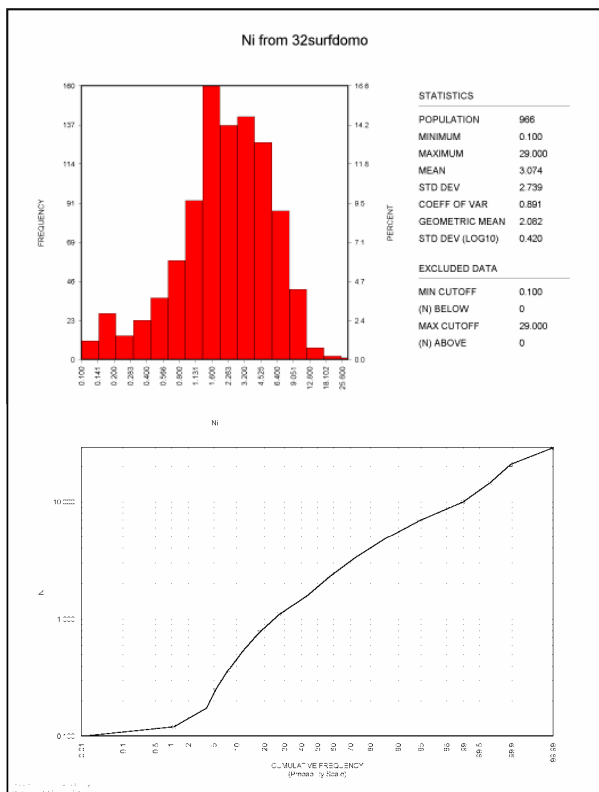
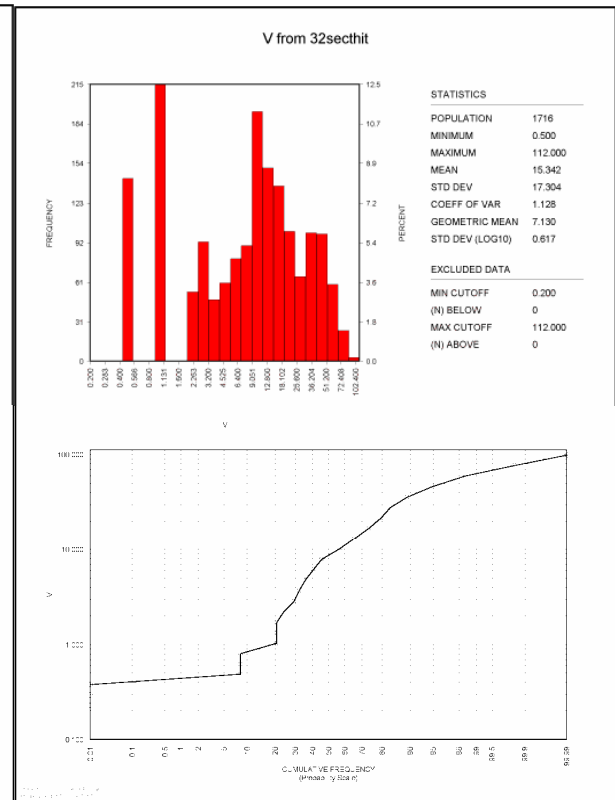
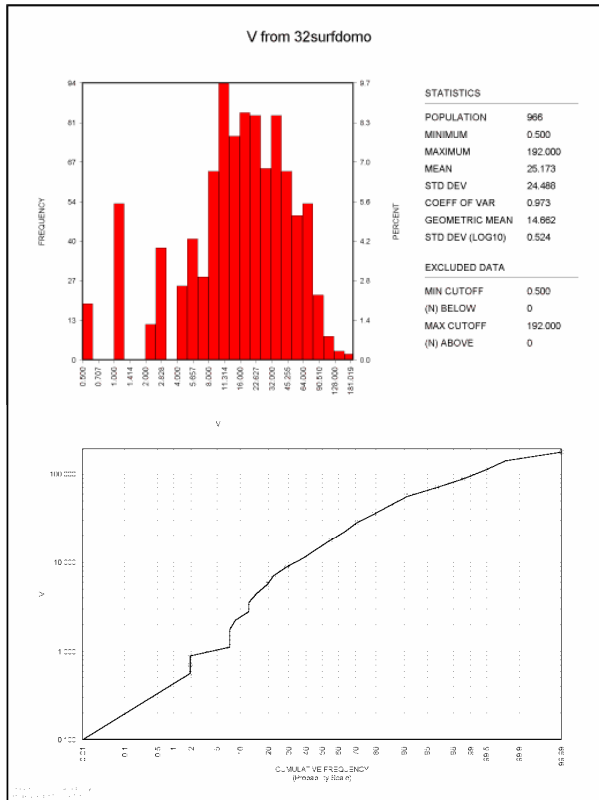
HISTOGRAMAS:

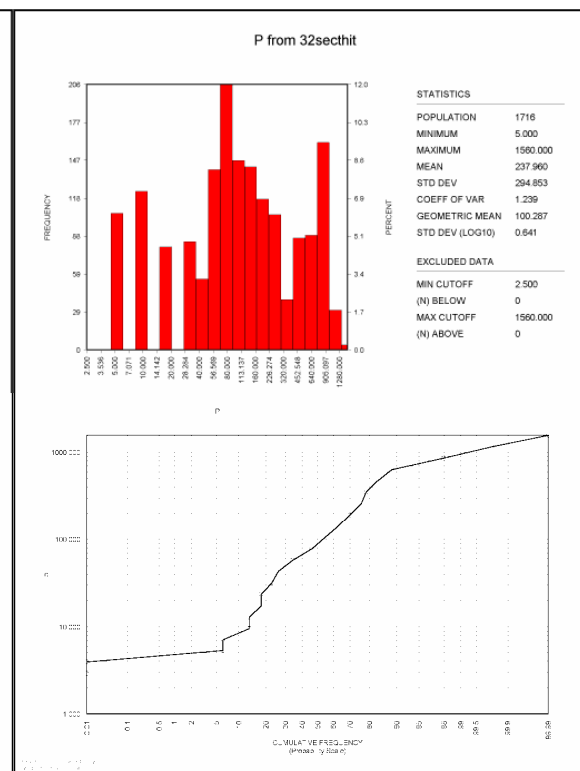
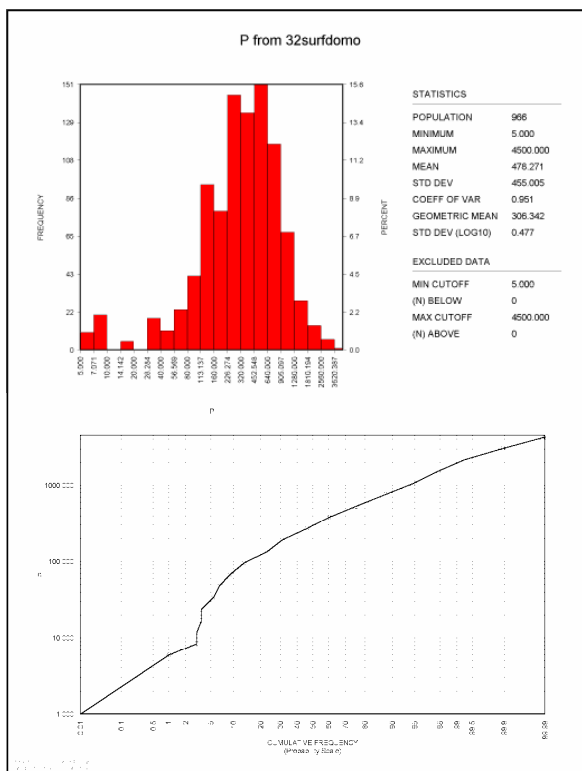
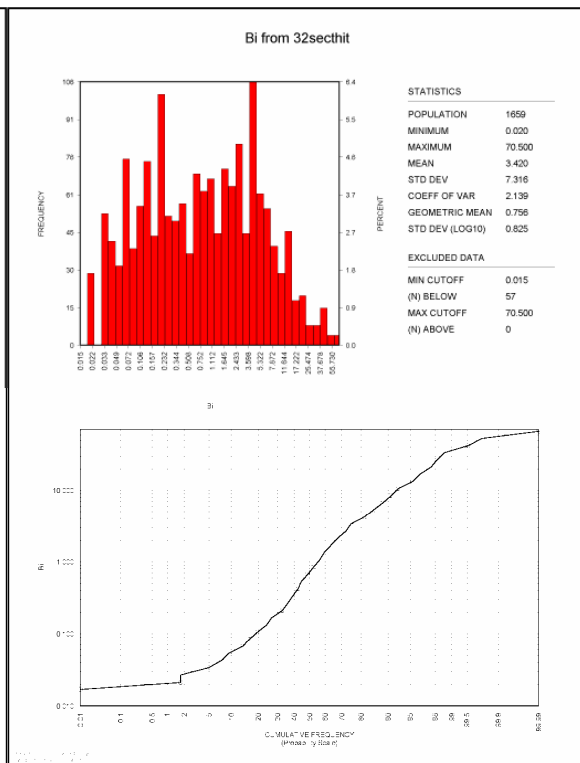
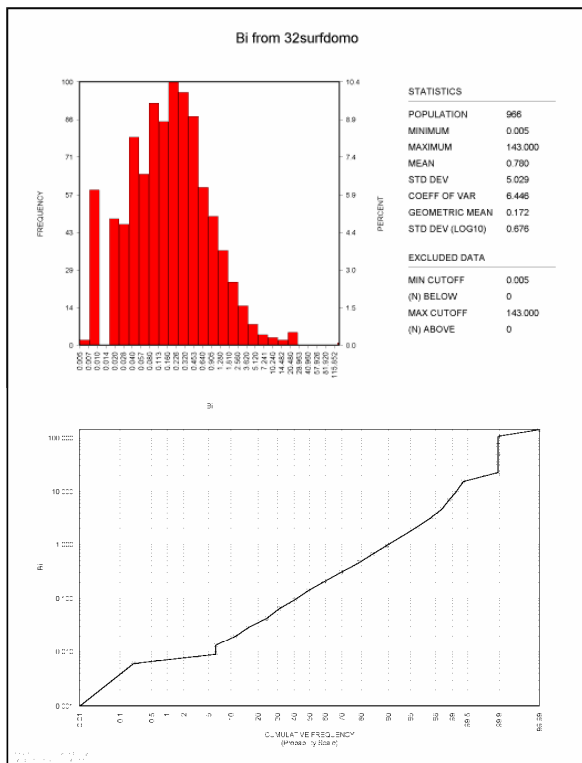
DOMOS-BORDES DOMO (32surfdomo)

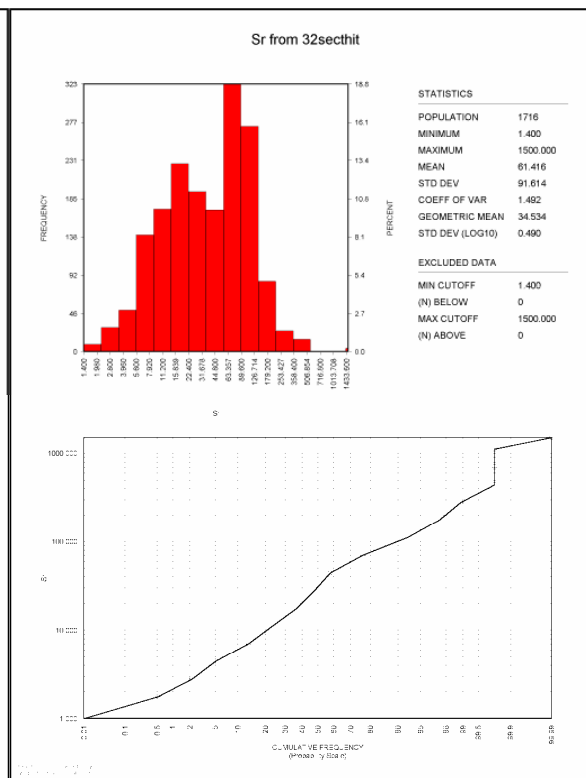
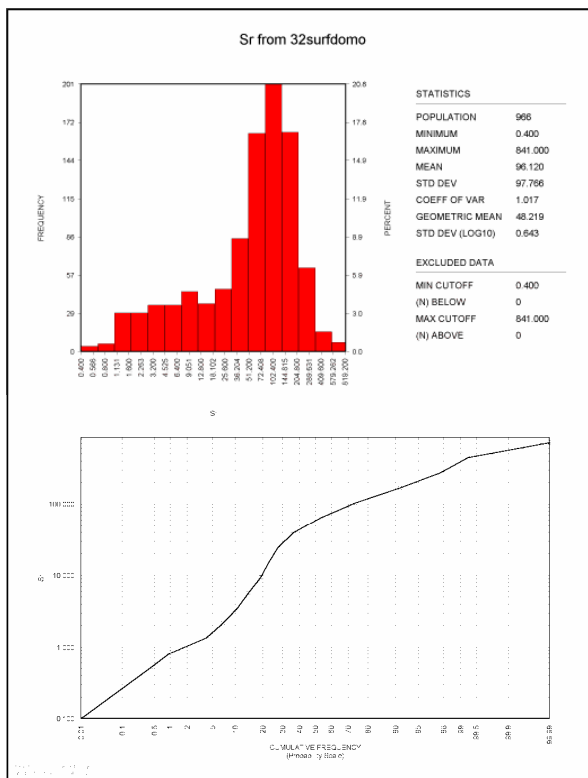
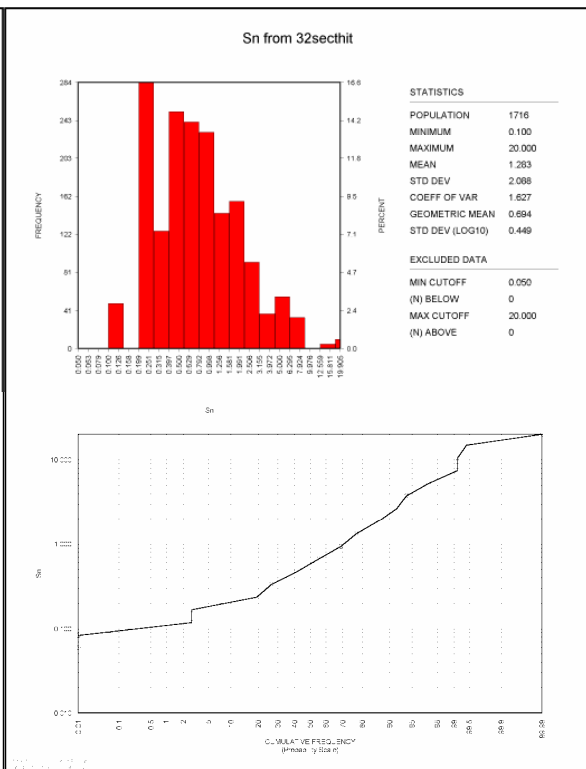
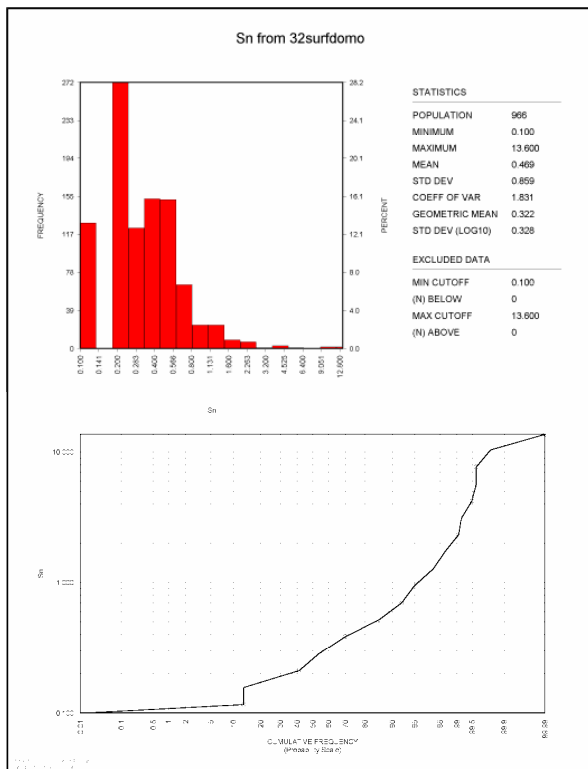
& TALADROS-OXIDOS (32secthit)

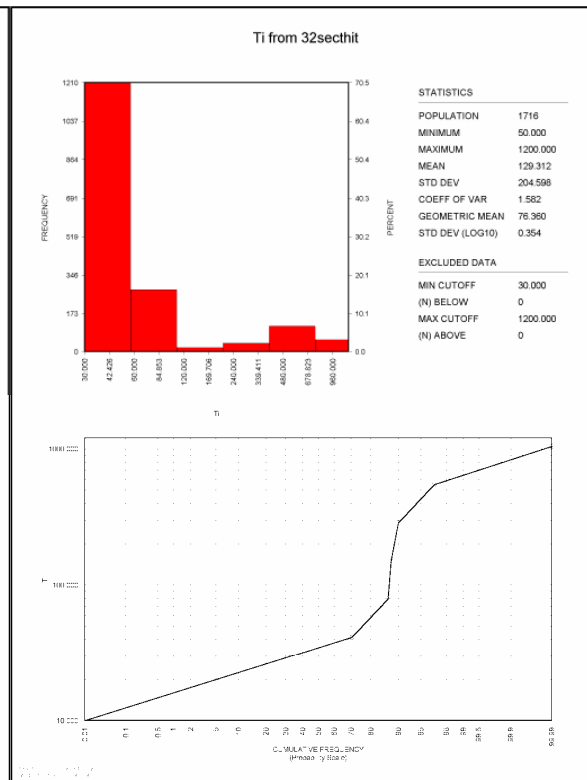
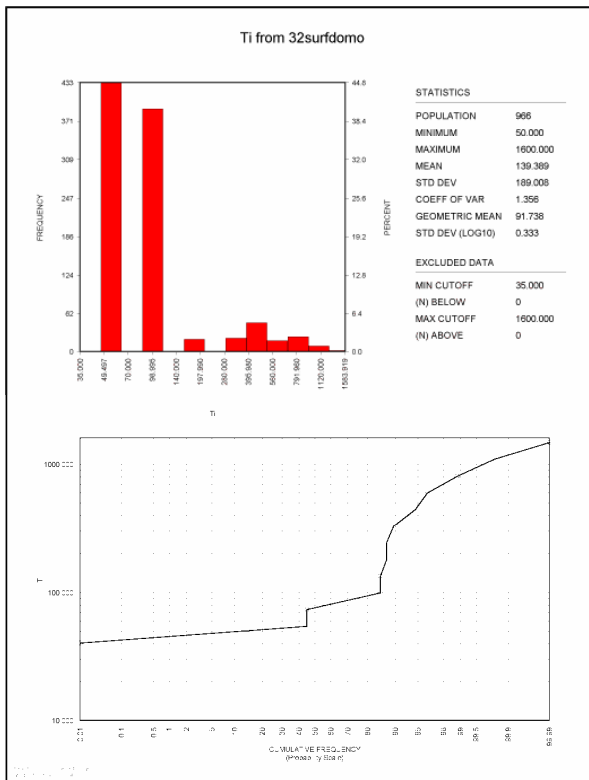
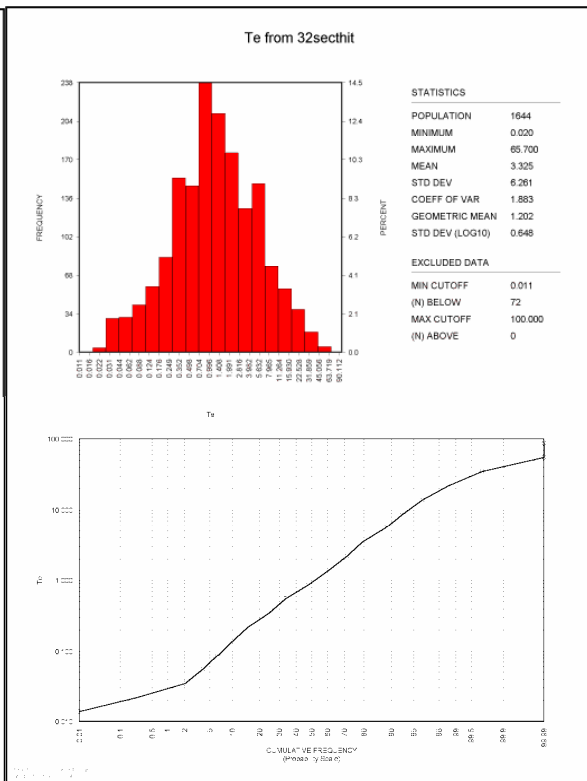
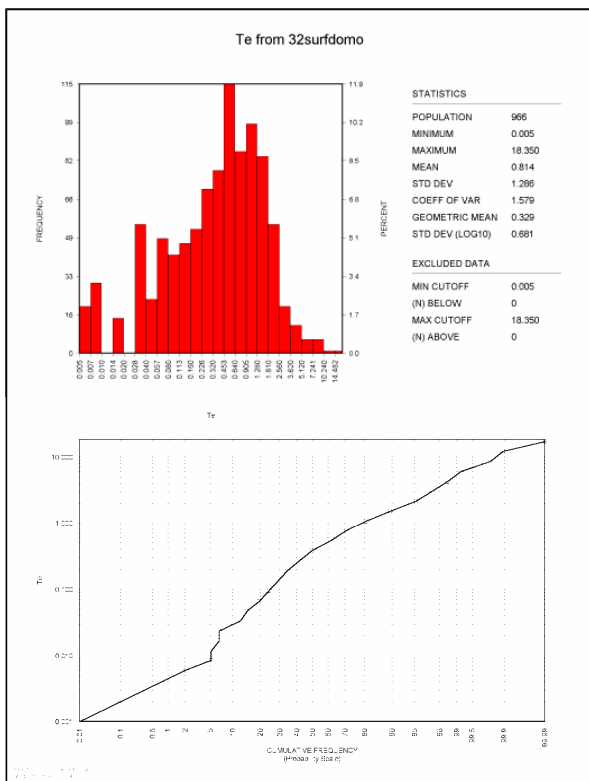


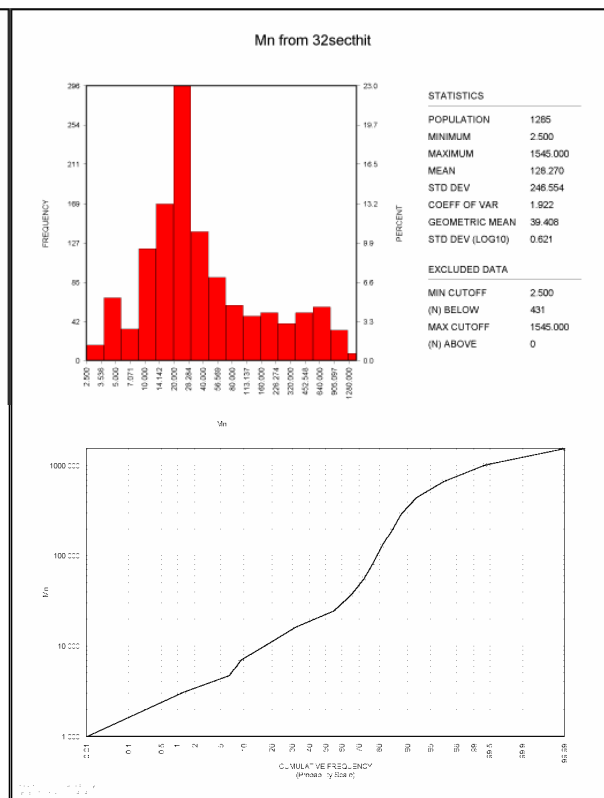
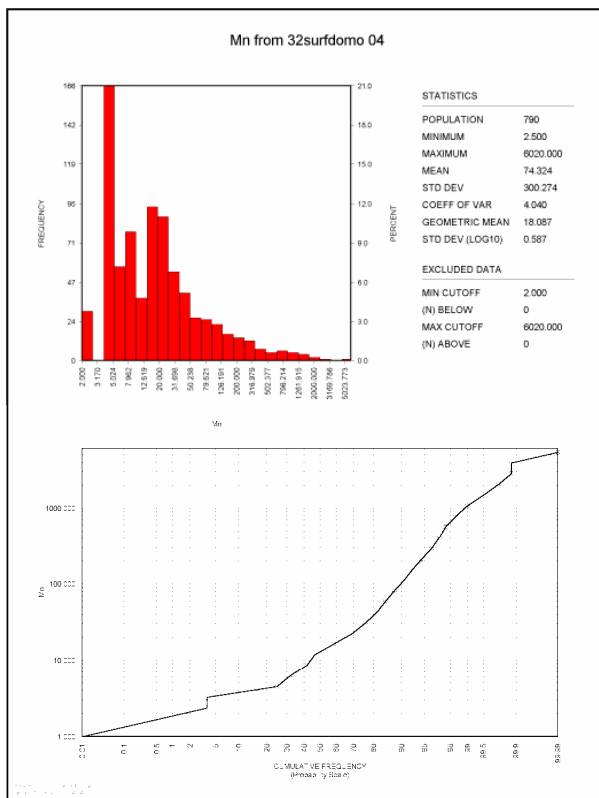












MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON 32 ELEMENTOS

Geoquímica de Taladros

32x32 matrix of Pearson correlation coefficients for elements AG, AL, AS, AU, B, BA, BE, BI, CA, CD, CE, CO, CR, CU, FE, GA, GE, HF, HS, IN, K, LA, LI, MG, MN, MO, NA, NB, NI, PF, RB, SB, SC, SE, SN, SR, TA, TE, TH, TI, TL, U, V, W, Y, ZN, ZR. Correlation values range from 0.00 to 1.00, with some cells containing values like 0.84, 0.79, 0.91, etc.

0.70-1.00 Muy buena correlación

0.5-0.69 Buena correlación

0.3-0.49 Moderada correlación

TABLA N 4

- **Análisis de Correlación**

A partir de la tabla N° 4, de correlación de Pearson se ha podido establecer lo siguiente:

- Elementos con correlación directa al Au: Sn (0.57) > Ba (0.34) > Sb (0.35) > Te (0.32) > As (0.28) > Bi (0.22).
- Elementos con correlación inversa al Au: K > P > V > Mn > Ni > Zn > Sr > Co.

- **Elementos Afines**

Posterior a la ejecución de la tabla de correlación se ha establecido los siguientes tríos de afinidades.

- Sb-As-Te: este trío mantiene una muy buena afinidad entre los tres (relacionado a sulfosales-tetraedrita, enargita?)
- Sb-Te-Hg: también mantienen una muy buena afinidad
- Sb-Hg-Se: mantienen también una muy buena afinidad
- Ag-Hg-Te: mantienen una moderada afinidad entre Ag-Te, mientras que los demás juegos mantienen una afinidad alta.
- Sb-As-Sn: los dos primeros elementos mantienen una alta afinidad, mientras que Sn con el As tienen una baja afinidad
- Ba-As-Sn: posee moderada afinidad

4.4.3 Análisis de Secciones Geoquímicas

La sección geoquímica a ser analizada es la 28000EW o A-A' que corresponde a la línea 9 228 000 y fueron hechas en Geomodel (software de la empresa), en las cuales se irá comparando los principales elementos y su distribución espacial.

- **ORO(Au)**

En la sección 28 000EW (A-A'), el principal cuerpo de Au se encuentra dentro de la alteración SM en la zona central, con una tendencia E-W, por debajo de la zona estéril de SG y las unidades porfiríticas. Si bien en esta sección no aflora el cuerpo de Au, secciones más hacia el Sur aflora la mineralización de Au. El block model de Au, también indica dos áreas pequeñas con algo de mineralización pero en los niveles más profundos. Una de estas áreas es pasando la falla Arnacocha (hacia el Oeste de la sección), con probable potencial.

- **PLATA(Ag)**

La anomalía de Ag, a partir de 0.4ppm bordea a la zona mineralizada de Au, con tendencias de una fuerte anomalía hacia el E de la sección. Esto coincide con la zona alterada.

- **MERCURIO(Hg)**

Según el intervalo distrital, los valores anómalos (>5ppm) bordean claramente a la zona mineralizada por Au y presentando los mayores valores al E y W del cuerpo de Au. Cabe destacar la presencia también de valores anómalos de Hg en la proyección correspondiente a la zona de interés II.

- **ARSÉNICO(As)**

De acuerdo al intervalo establecido, los valores anómalos de As se hallan en los bordes de las secuencias de tufos alterados y muy distantes del cuerpo de Au.

- **COBRE(Cu)**

Al igual que los valores de As, los valores anómalos de Cu mayores a 250ppm (según intervalo distrital) bordea a la zona mineralizada de Au, teniendo brusco bajón en las unidades porfíricas, que cubren las unidades tufáceas, pero que los mayores valores se hallan dentro de los tufos en contacto con los en las unidades porfíricas de los niveles inferiores y que correspondería a la zona de pobre enriquecimientos por cobre secundaria (Cc o Cv) aunque es un poco difícil observar dichos minerales.

- **ANTIMONIO(Sb)**

De acuerdo al intervalo distrital son valores anómalos a partir 50ppm de As, el cual se muestra hacia el extremo Este de la sección relacionado a SA (óxido). Pese a que gran parte de esta sección presenta alteración de SG (asociado a la fase de dominio de vapor) los valores de Sb son muy bajo. Guarda una moderada correlación con el Au.

- **BISMUTO(Bi)**

De acuerdo al intervalo obtenido a partir del histograma para este elemento, la anomalía abarca casi toda la sección, pero si trabajamos con el intervalo distrital (>7ppm), los valores anómalos por Bi comprenda la zona hacia el extremo Este superior de la sección.

- **PLOMO(Pb)**

Los intervalos obtenidos a partir del histograma nos muestran una anomalía consistente también hacia el extremo Este de la sección y que al tomar los intervalos del distrito nos indica una anomalía puntual en esta misma zona.

- **BARIO(Ba)**

Una anomalía moderada del Ba es la que predomina sobre toda la zona alterada dentro de los tufos, a excepción de pequeños áreas con anomalías más que moderadas (dentro de SM o borde de la misma). Estas zonas se deberían a diques de brecha hidrotermal que agrega Ba sobre la distribución primaria del Ba.

- **TELURO(Te)**

Tanto los valores de intervalo distrital como los obtenidos a partir del histograma nos indican la zona de tufos con mayores concentraciones de Te, pero que hacia los porfiríticos del tope como hacia los niveles inferiores disminuyen radicalmente.

- **ESTAÑO(Sn)**

Los valores anómalos de Sn tienen una buena correlación con el Au, en la parte central dentro de SM; aunque también se manifiesta más hacia el Este, zona donde no existe mineralización alguna por Au pero si anomalía de Sn. Esta zona se halla en alteración SA (sílice alunita) y SC (sílice clay).

- **ZINC(Zn)**

Los valores de intervalo obtenido a partir del histograma indican un área de débil anomalía que bordea la zona alterada de los tufos, que correspondería a la zona de alteración argilica principalmente dentro de los porfiríticos. Pero los valores del intervalo distrital restringen aún más, teniendo zona anómala sólo hacia el extremo Este de la sección (a partir del contacto con tufos hacia los porfiríticos). Ver fig. N° 31.

- **MANGANESO(Mn)**

Los valores de intervalo distrital y los obtenidos a partir del histograma nos indican una clara anomalía a partir del contacto con los tufos alterados hacia los porfiríticos (gradan de incipiente alteración a frescos).

Cabe resaltar que en esta sección los valores de vanadio (V), fósforo (P), potasio (K), titanio (Ti) y estroncio (Sr), níquel (Ni), muestran anomalías que tienen

el mismo comportamiento, es decir los valores se incrementan dentro de las unidades porfíricas, que bordea a los tufos alterados, de ahí que posean buena correlación entre ellos.

- **MODELO DE ZONEAMIENTO GEOQUÍMICO**

El presente modelo que se explica en la figura N° 44, es el resultado de la comparación y análisis de todos los elementos geoquímicos. Cabe señalar que no existe un zoneamiento típico, esto se explica por la superposición de eventos de alteración, es decir, sobre la composición geoquímica primigenia de las rocas existe uno secundario producto de la alteración epitermal y estos a su vez superpuestos por otros eventos hidrotermales tardíos controlados por las fluctuaciones de la napa freática.

Para intentar establecer este zoneamiento se ha tenido que restringir en muchos casos a las concentraciones mayores de algunos elementos. Existen dos asociaciones bien definidas.

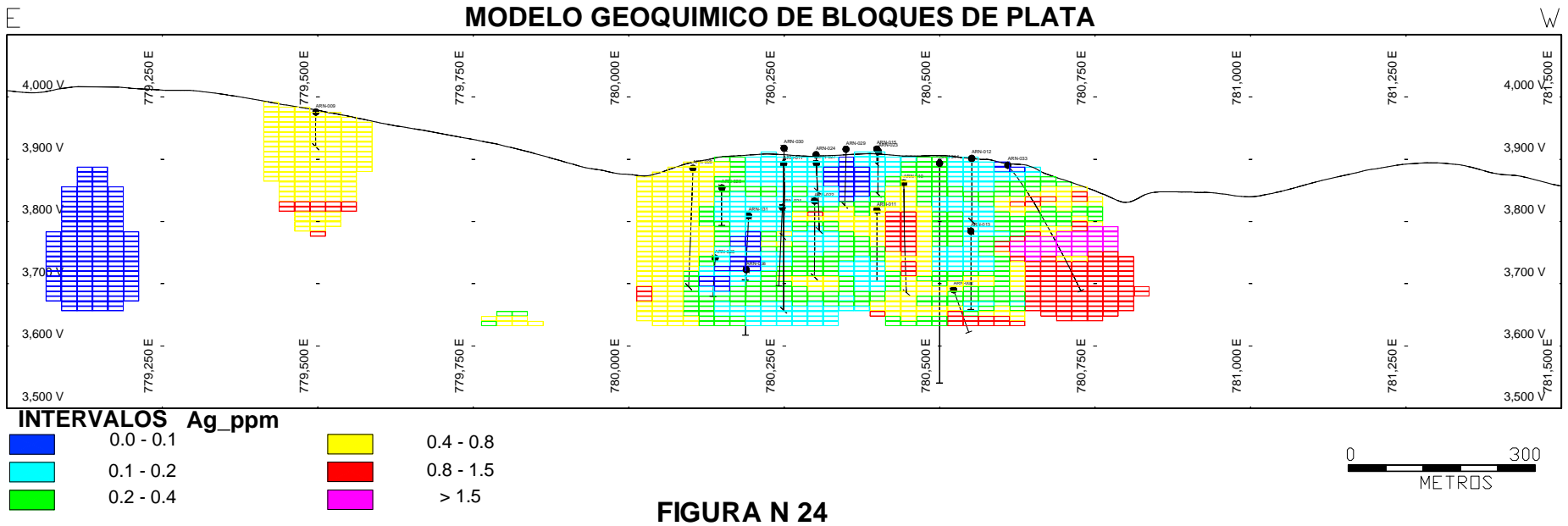
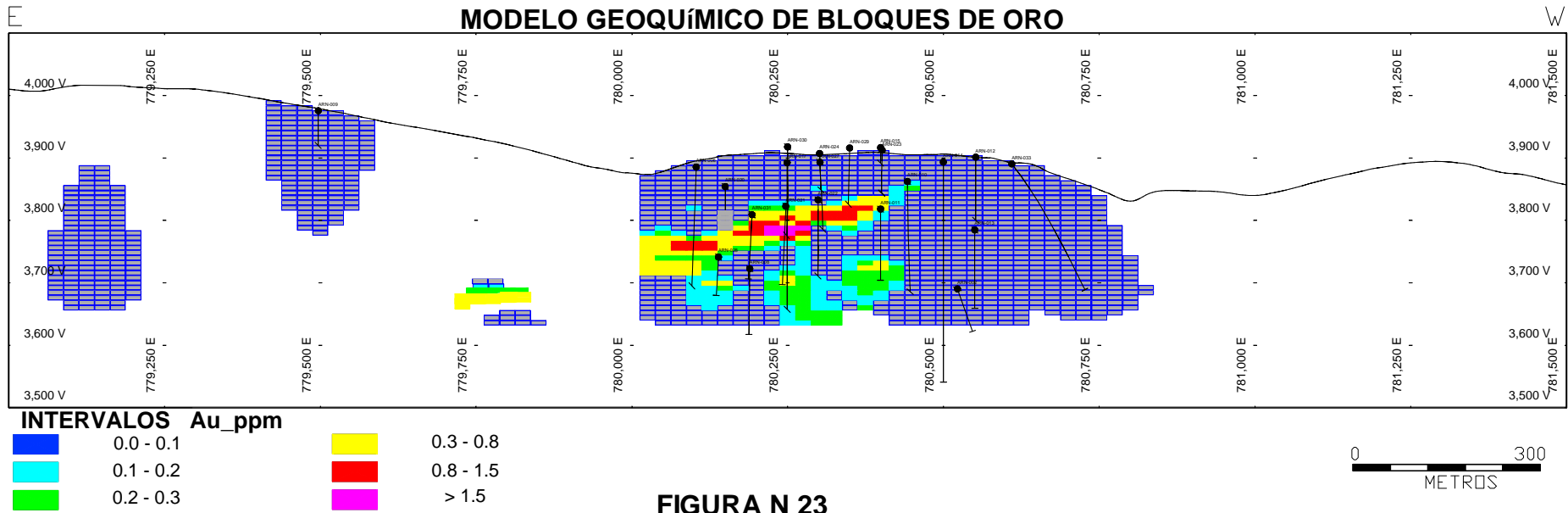
- **La zona correspondiente a los bordes de los porfíricos tanto dómicos** (la parte superior) como el basamento andesítico (la parte inferior) que poseen concentraciones de: **K, Zn, P, V, Sr, Ti, Co, Ni, Mn** y que bordea a los tufos alterados. Al lado oeste de la sección (zona de interés III) existe la presencia de Zn junto Ag; lo que nos hace pensar en dos posibilidades, primero que se trate remanentes inferiores de un paquete de tufos alterados ya erosionados, segundo que sea la manifestación superior de un cuerpo alterado en profundidad.
- **La zona correspondiente a los tufos alterados y oxidados**, se observa que el cuerpo principal de Au está emplazada en SM y tiene una elongación casi E-W con una débil inclinación hacia el oeste en dirección de la zona interés II. Se observa angostas profundizaciones a partir del cuerpo principal. Los mayores valores de Au correlacionan con mayores concentraciones de Hg-Sb-Te-Sn y moderados valores de Ba. En la zona de interés II el Au correlaciona con el As.

Se observa en el lado Este del modelo de alteraciones una ventana de sílice granular y con altas concentraciones de Sb-As-Hg-Bi-Te-(Ba) es decir, correspondería a la fase de dominio de vapor (volátiles) sobre el nivel de ebullición. Si bien la sílice granular bordea a sílice masiva y en la zona de interés II predomina esta alteración, esto sería un indicador de superposición de alteraciones y cambio de nivel de ebullición.

La distribución del Ba es en toda la zona alterada del tufo pero sin embargo las altas concentraciones de bario (mucho de ello relacionada a estructuras con baritina) coinciden con las concentraciones del Au.

El Cu se distribuye preferentemente en los bordes y partes inferiores de las zonas alteradas, aunque existe Au relacionado a Cu y As, lo que nos hace pensar que su relación a sulfosales.

Esta distribución de oro y los elementos geoquímicos nos permite definir que al menos ha existido tres pequeños focos de mineralización cuya distribución y control local es estructural, pero la deposición de los cuerpos tiene un control probable de alteración y principalmente litológico.



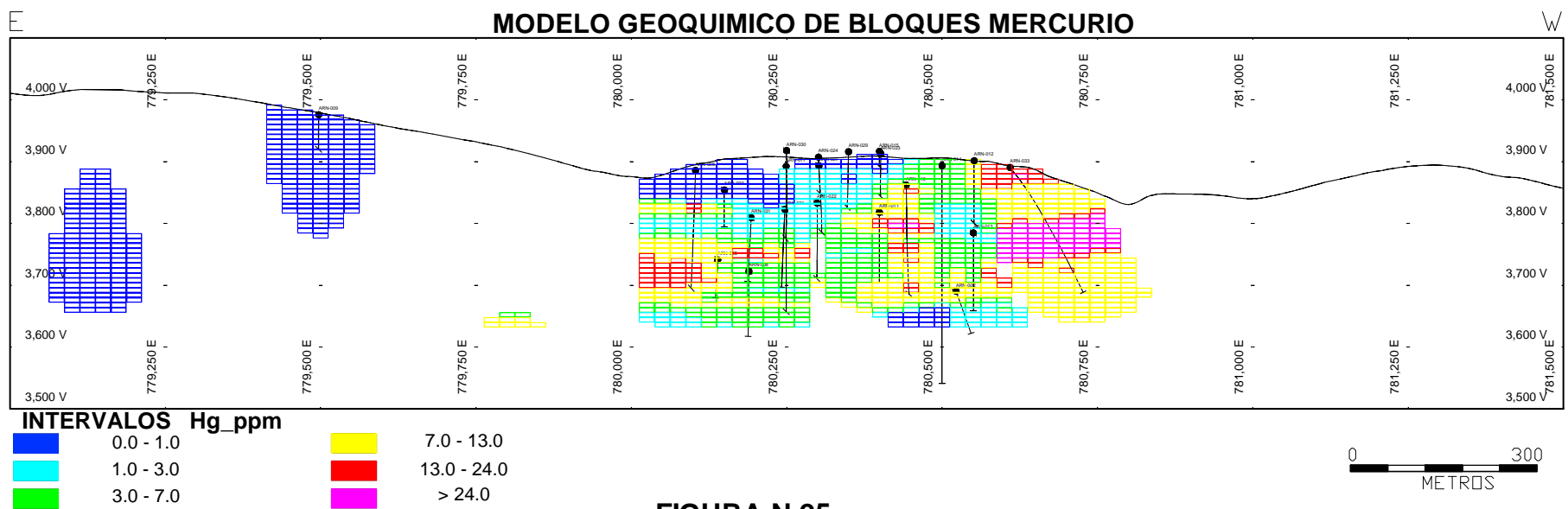


FIGURA N 25

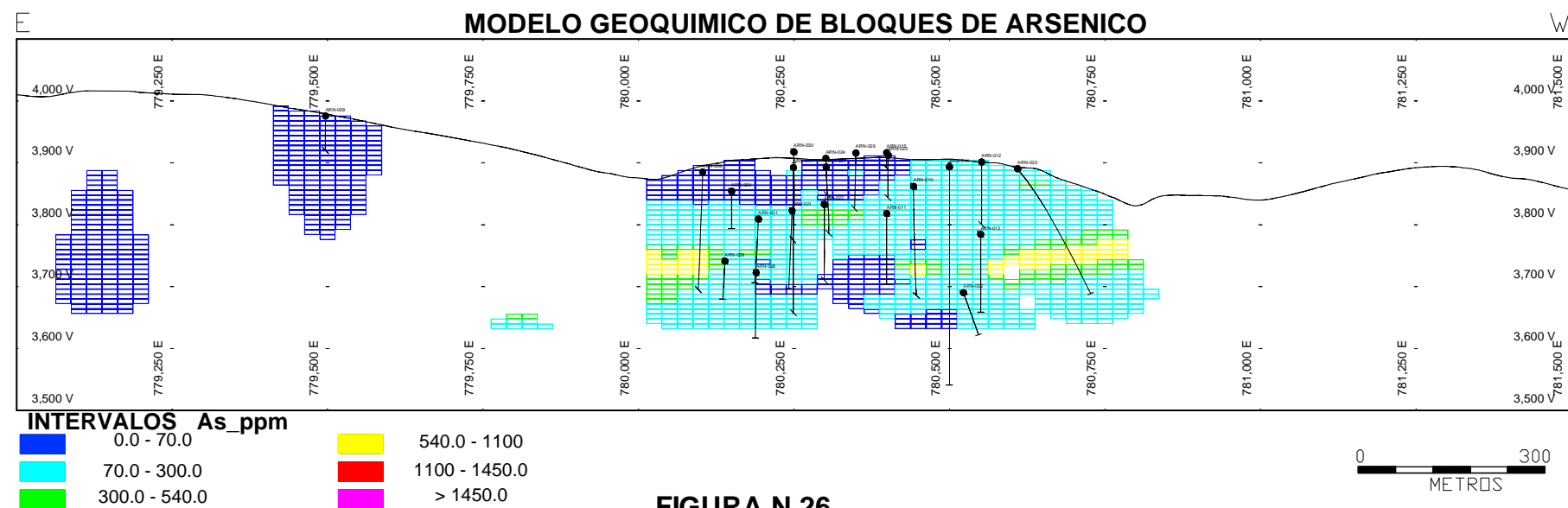


FIGURA N 26

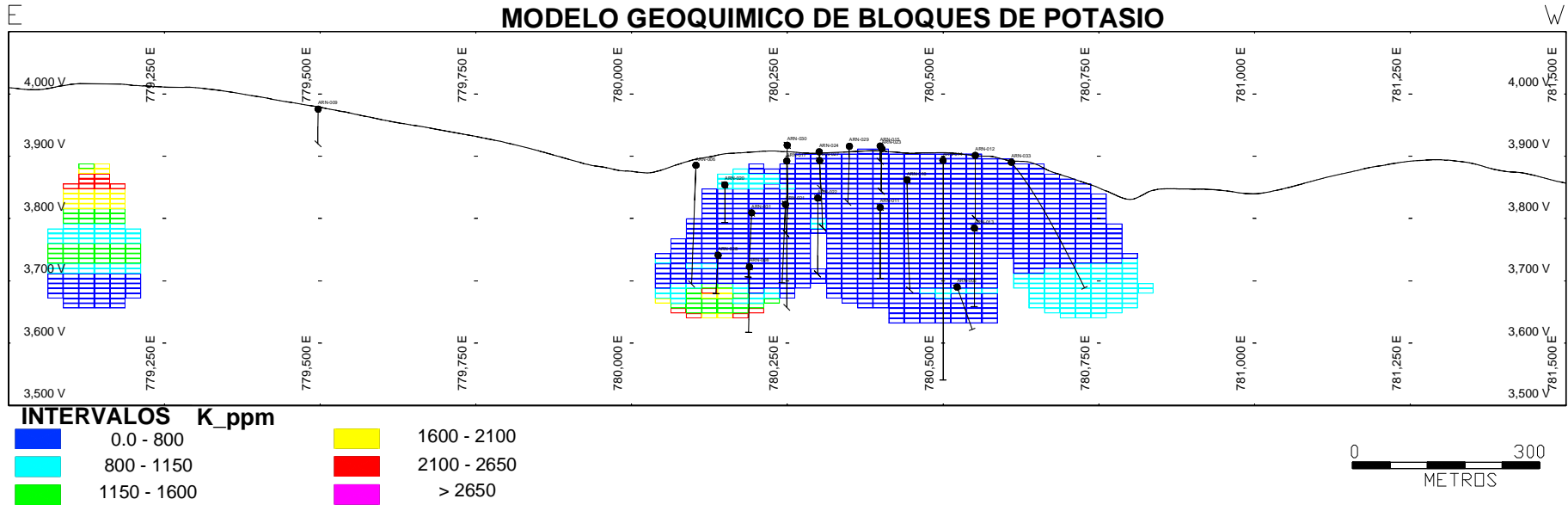


FIGURA N 27

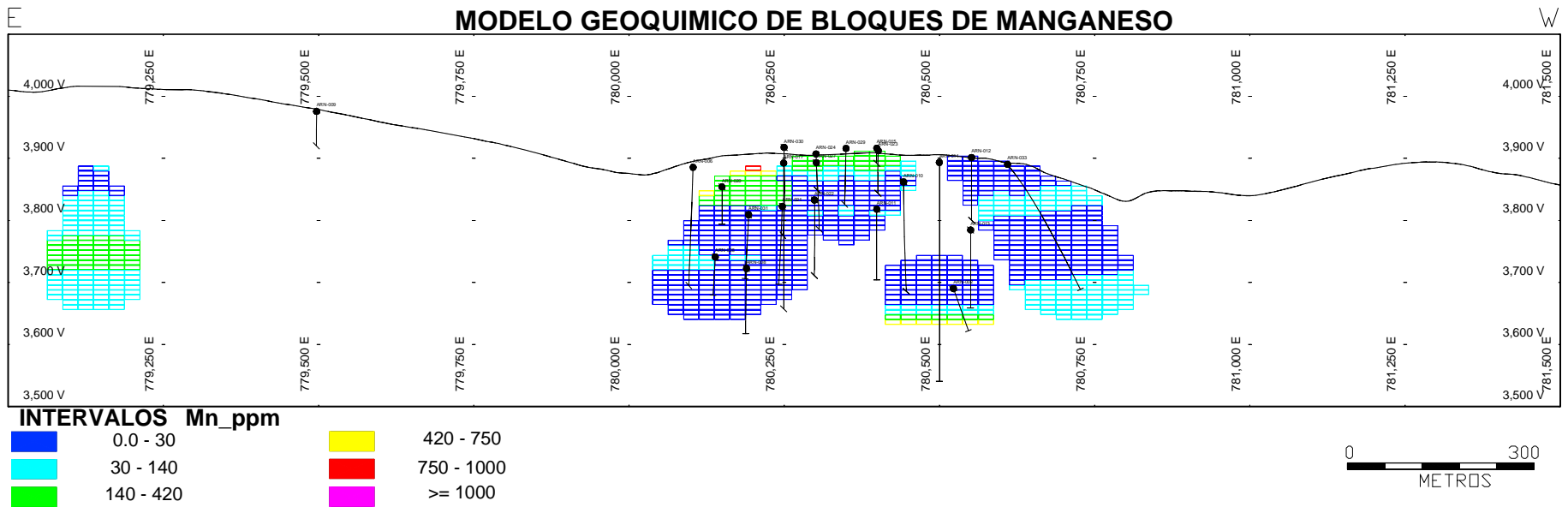


FIGURA N 28

MODELO GEOQUIMICO DE BLOQUES DE TELURO

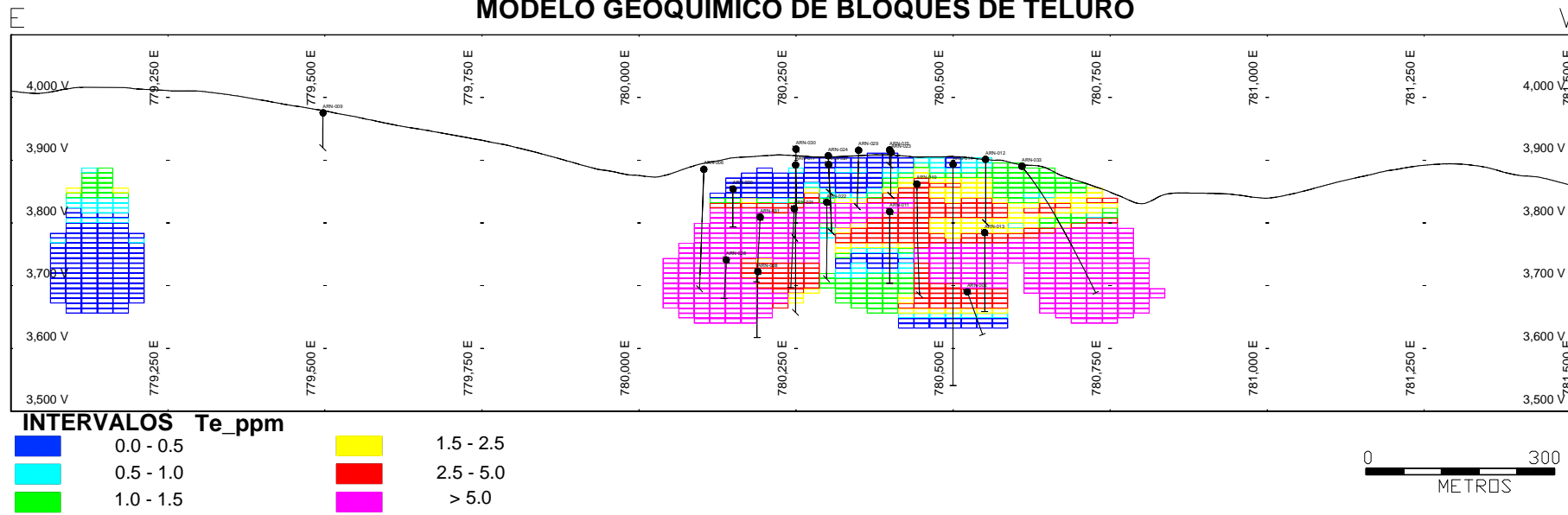


FIGURA N 29

MODELO GEOQUIMICO DE BLOQUES DE COBRE

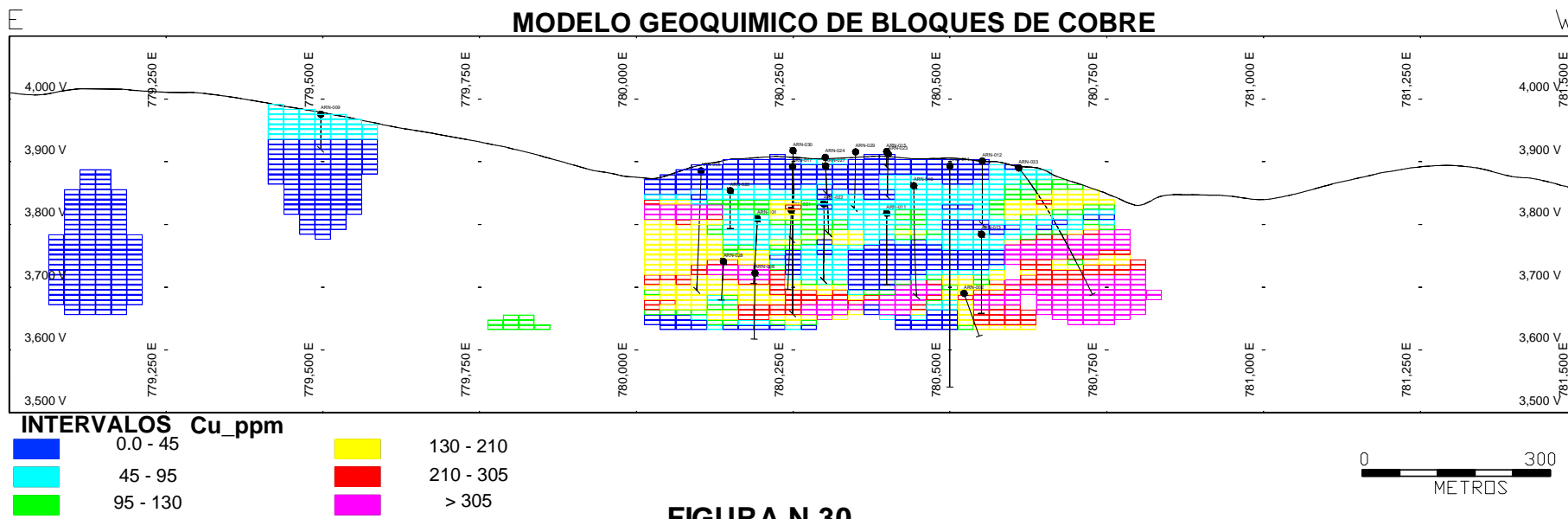
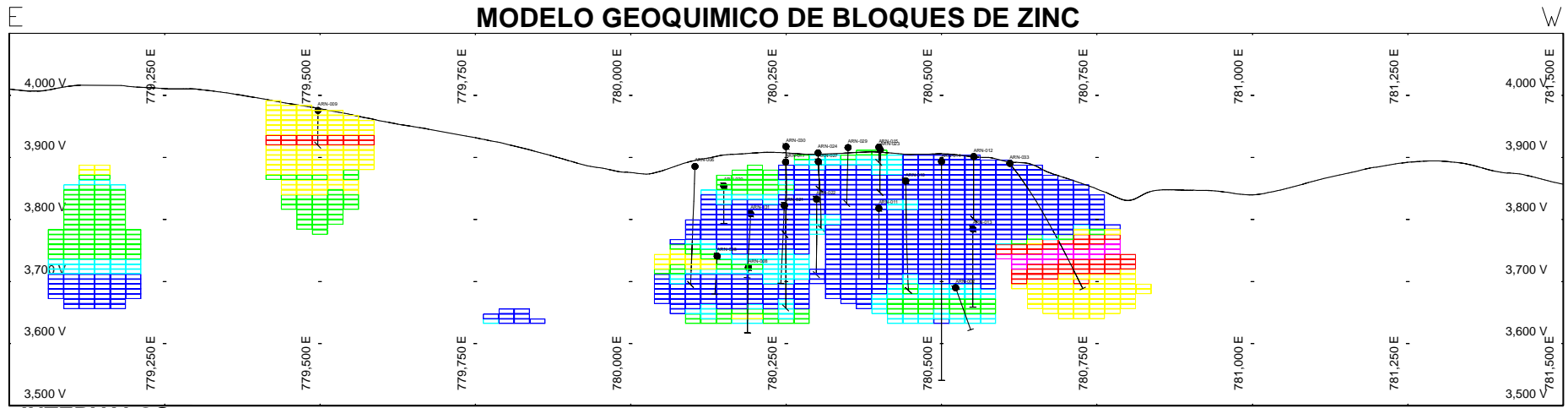


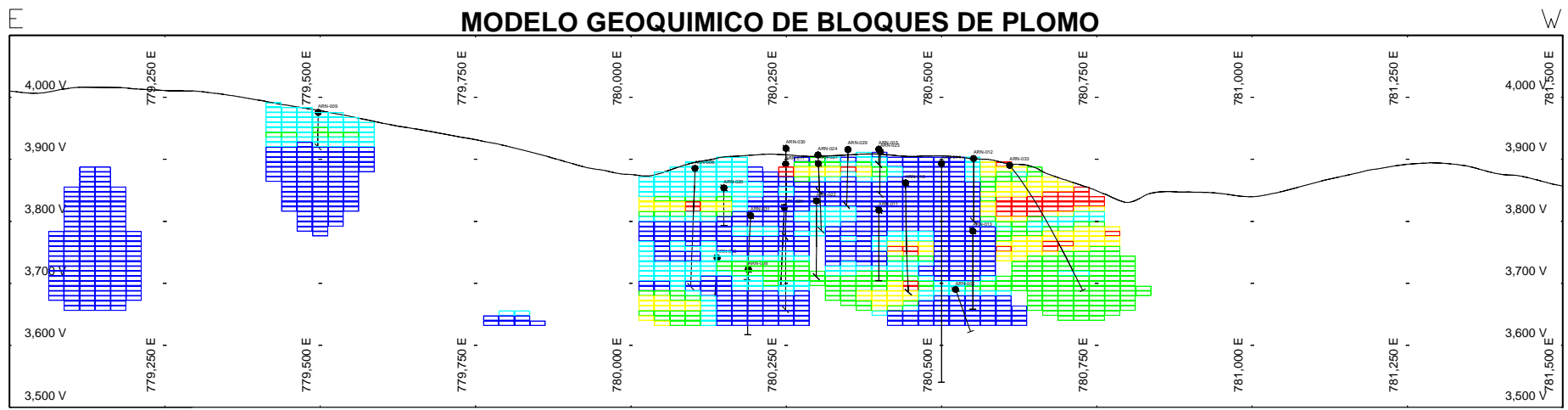
FIGURA N 30



INTERVALOS Zn_ppm



FIGURA N 31



INTERVALOS Pb_ppm



FIGURA N 32

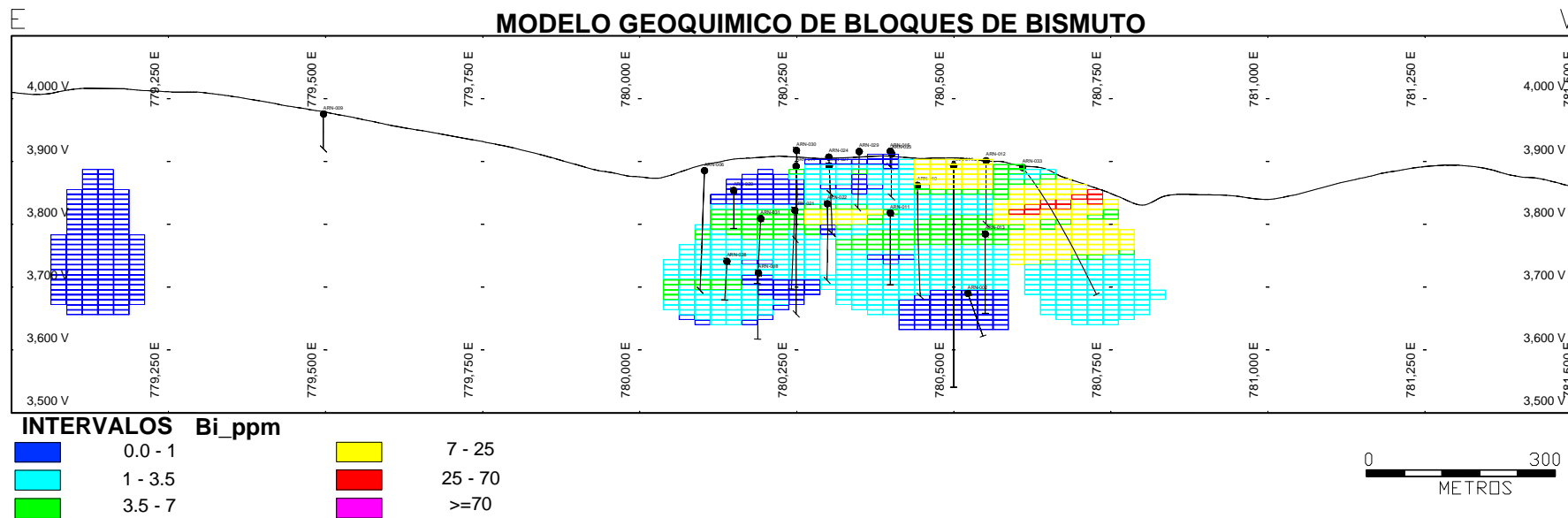


FIGURA N 33

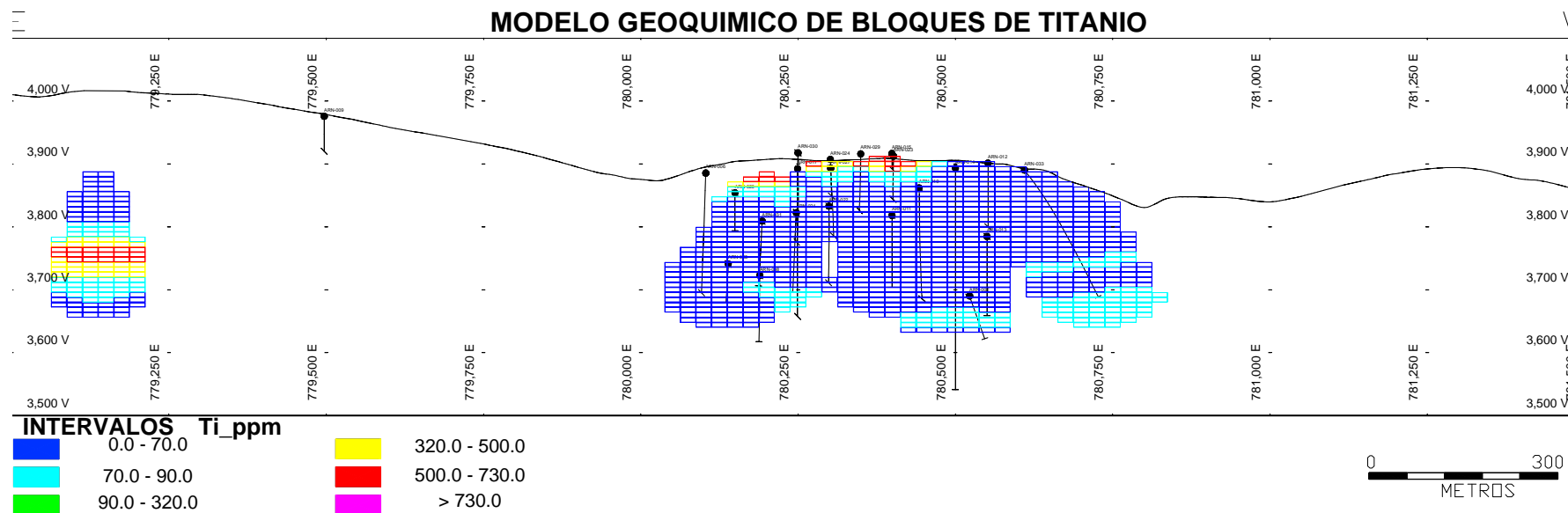


FIGURA N 34

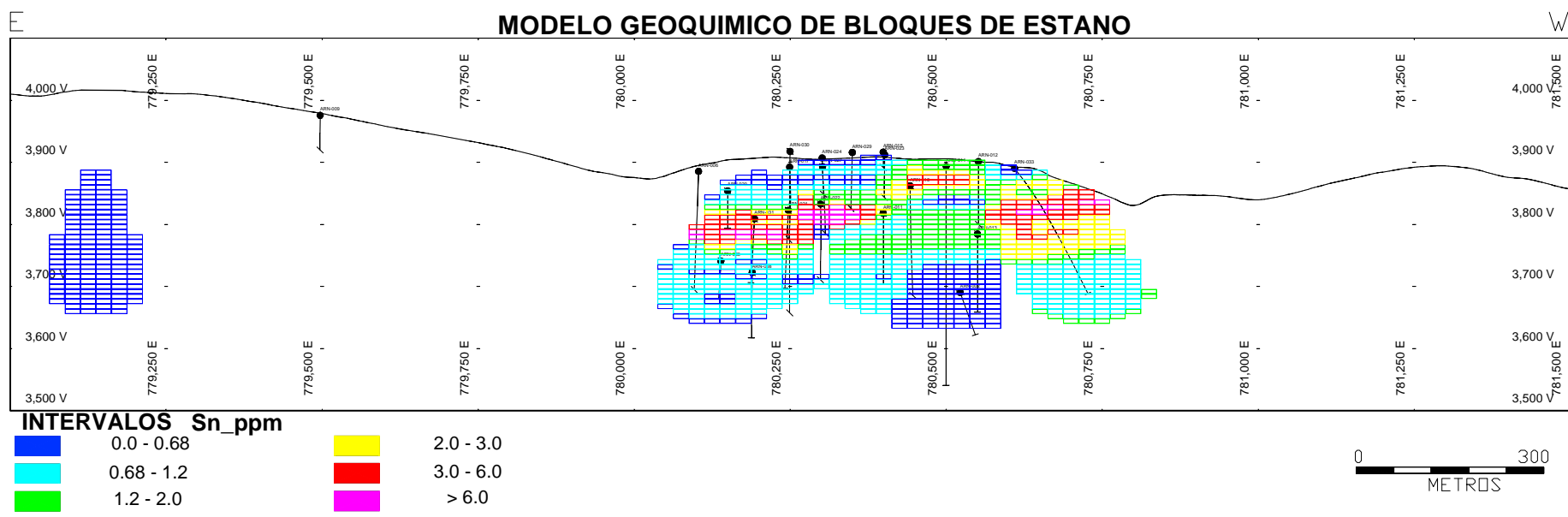


FIGURA N 35

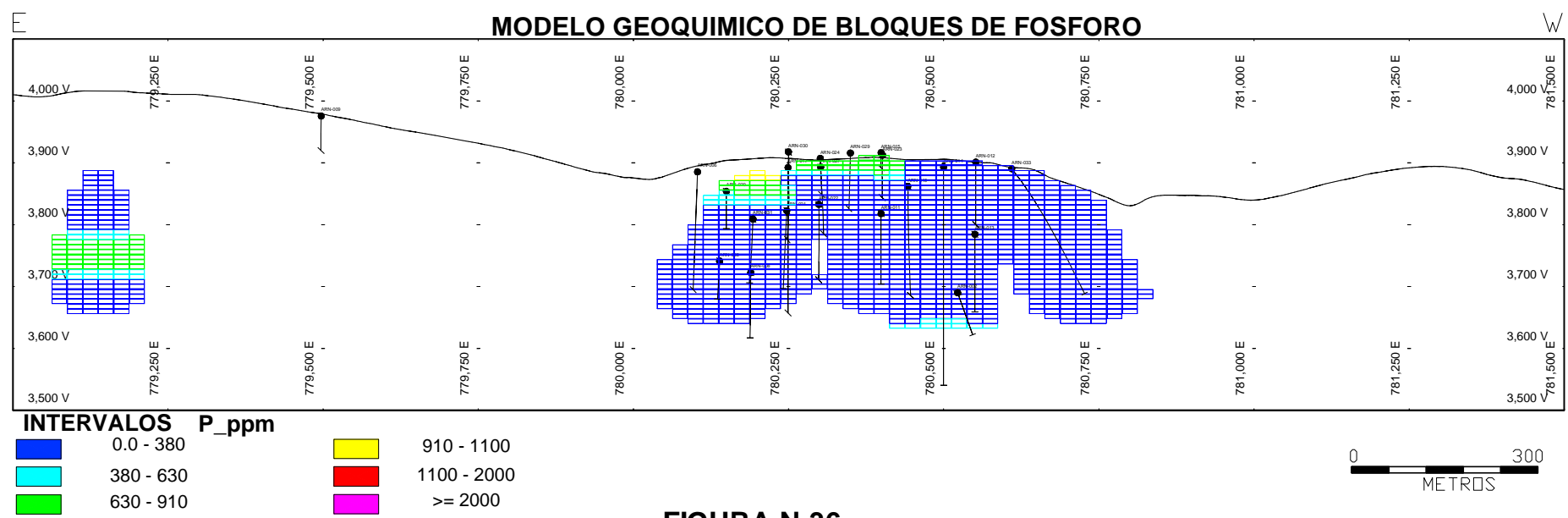


FIGURA N 36

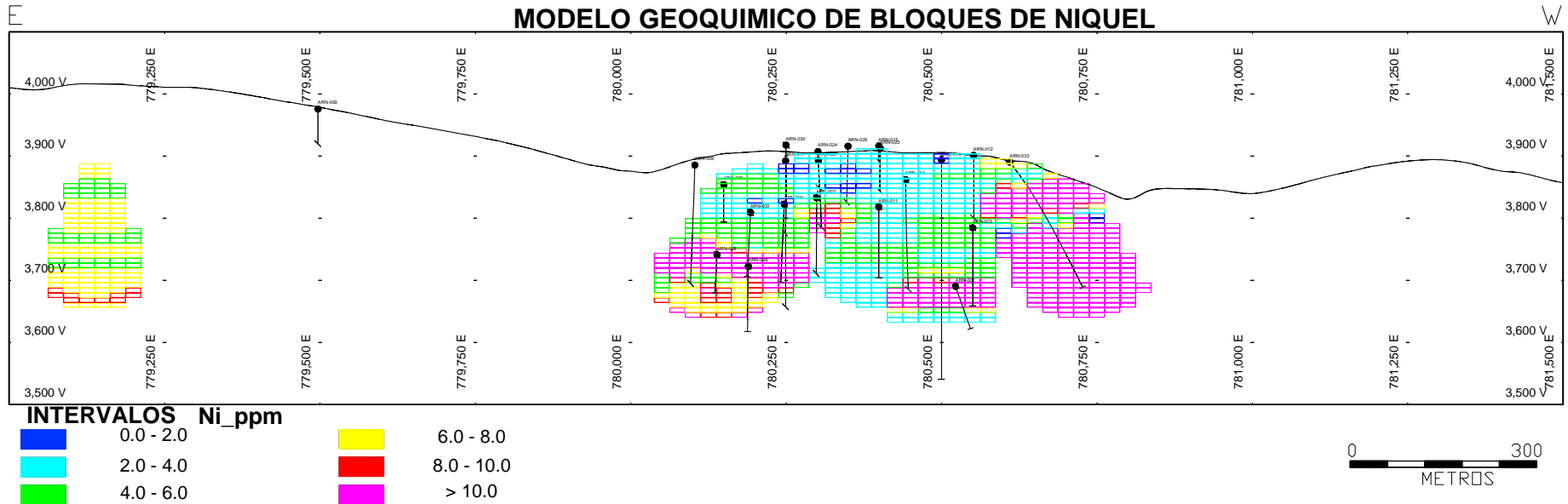


FIGURA N 37

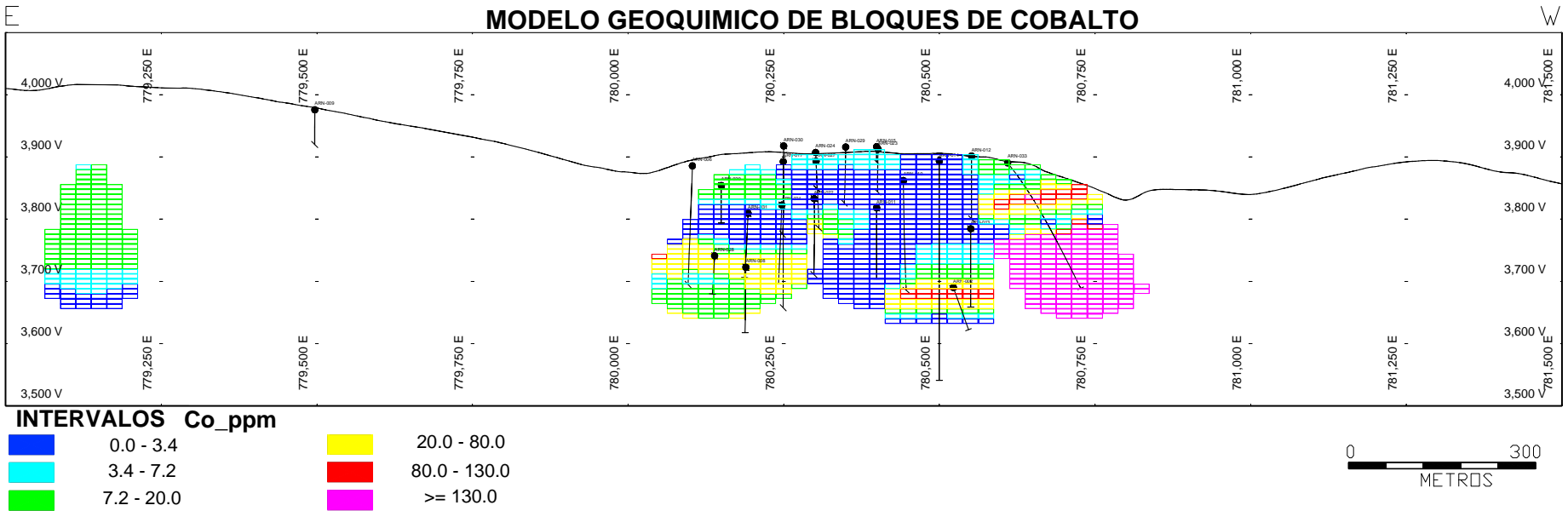


FIGURA N 38

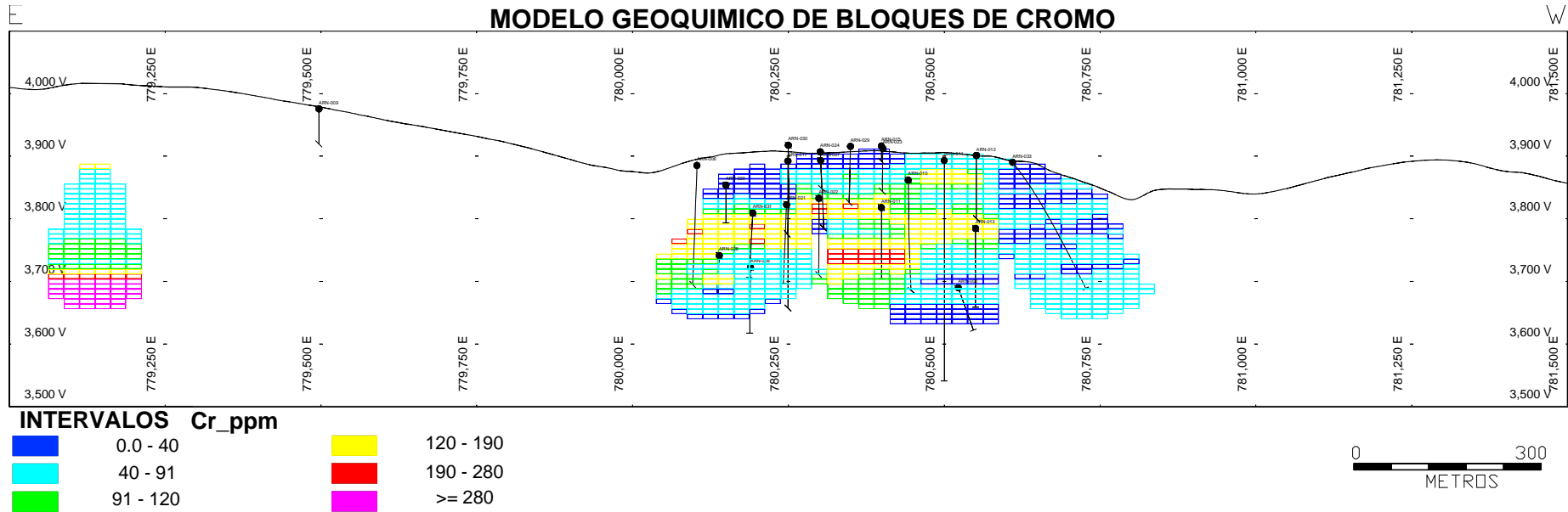


FIGURA N 39

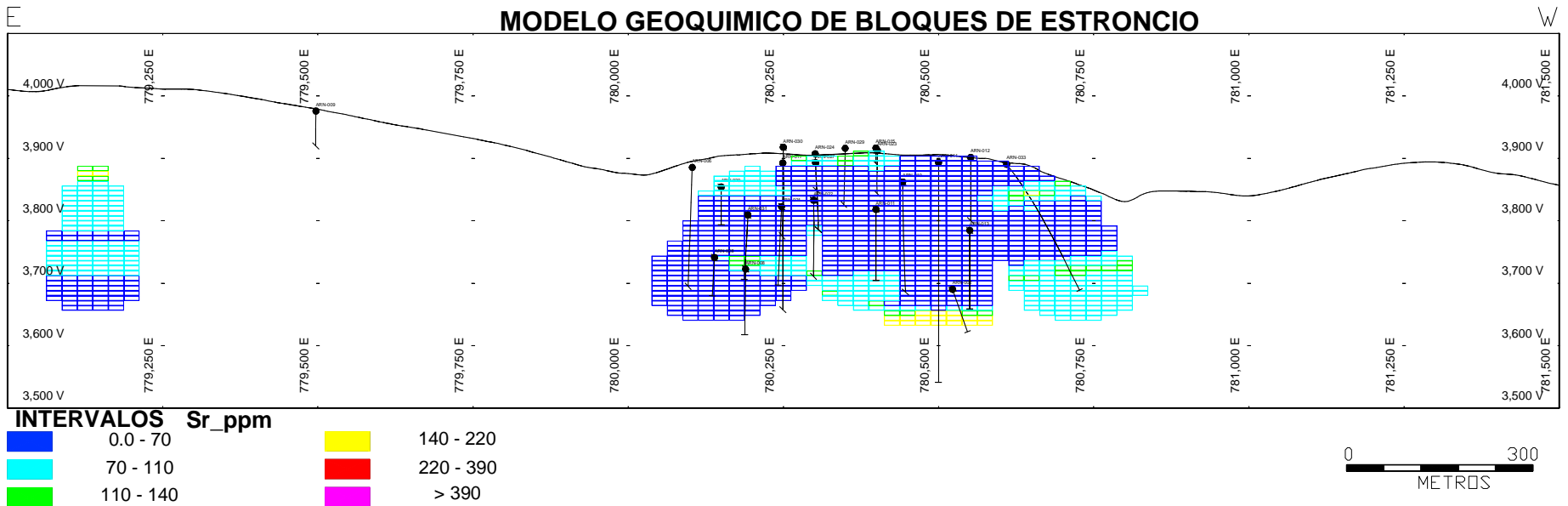


FIGURA N 40

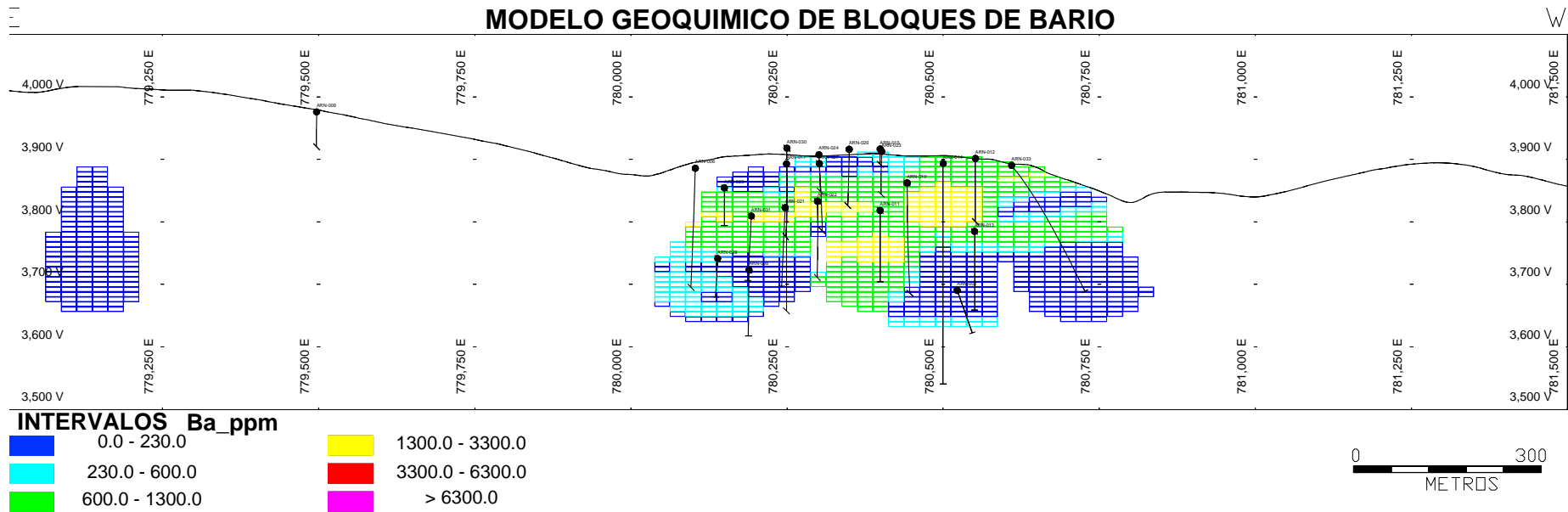


FIGURA N 41

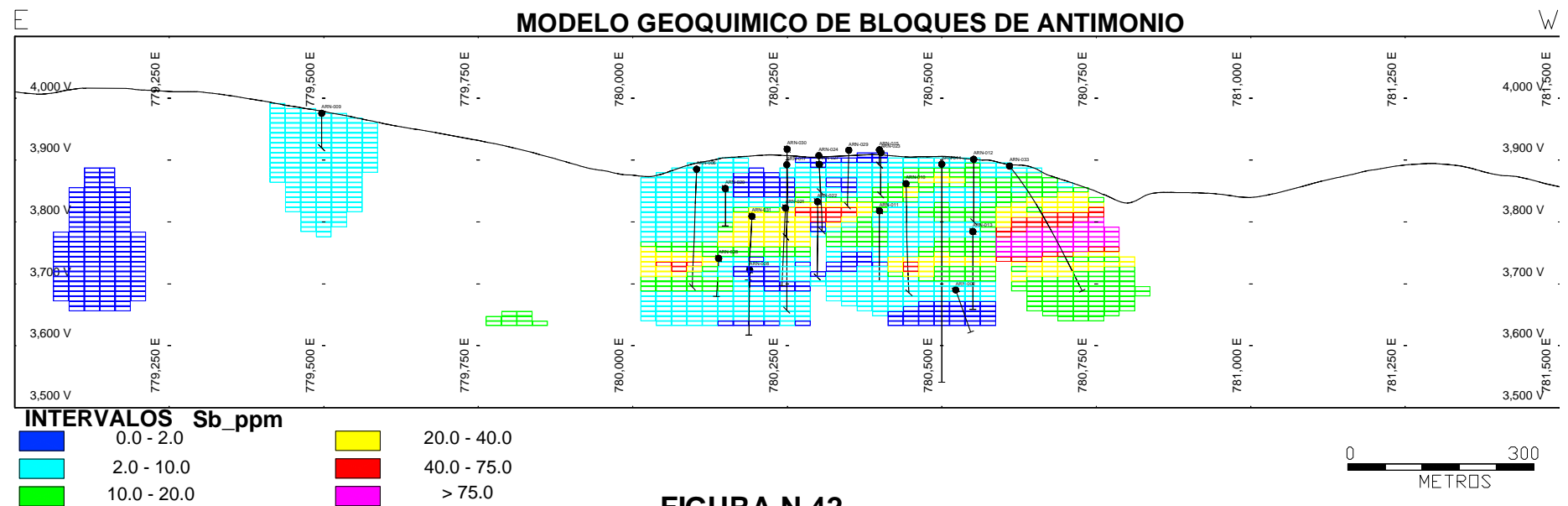
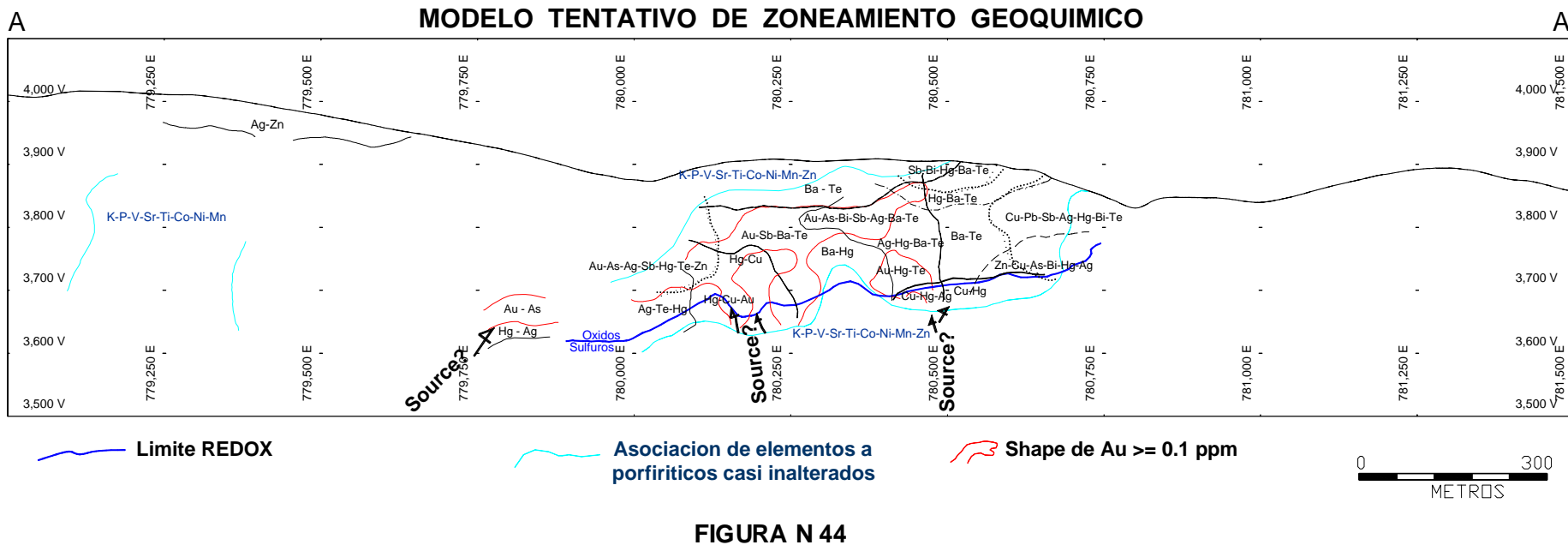
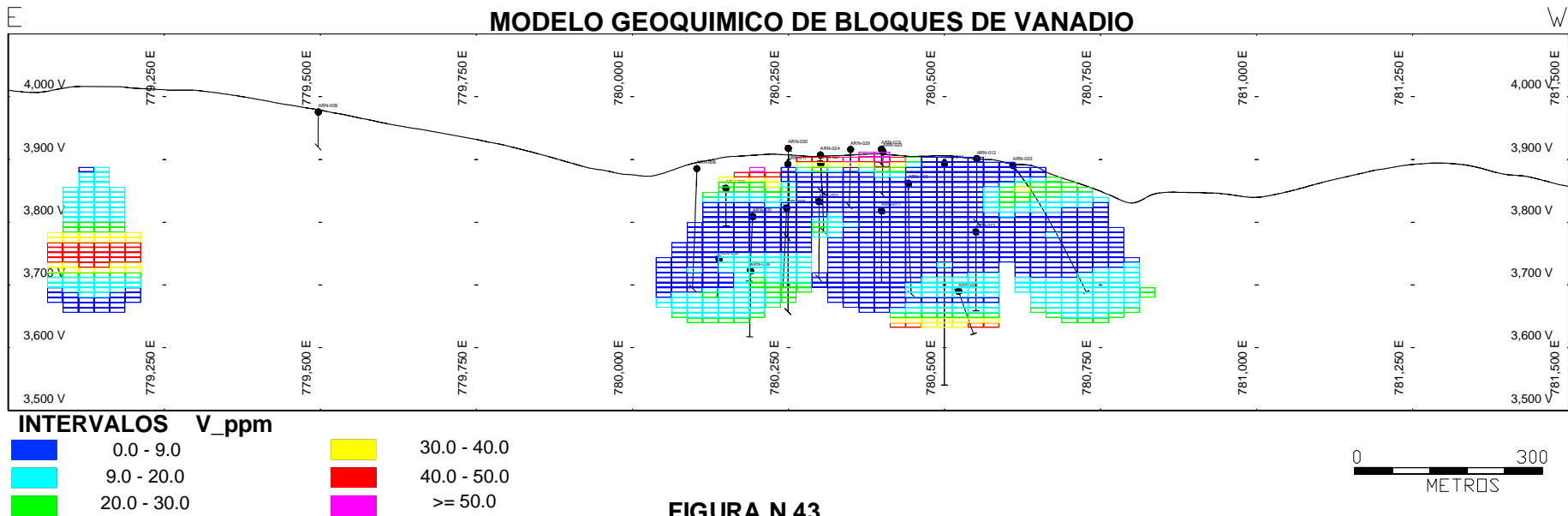


FIGURA N 42



CAPITULO V

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

5.1 MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS EN YANACOCHA

En Yanacocha la geofísica se ha venido usándose desde 1984, pero es entre los años 1997 y 2000 que se lleva a cabo una alineación de muchos depósitos y en el descubrimiento de otros depósitos como El Tapado, Corimayo.

Esta campaña de geofísica permitió un buen entendimiento de la relación entre los valores de resistividad versus el tipo de alteración y roca.

A continuación se muestra esta relación en el diagrama adjunto.

Resistivity ranges

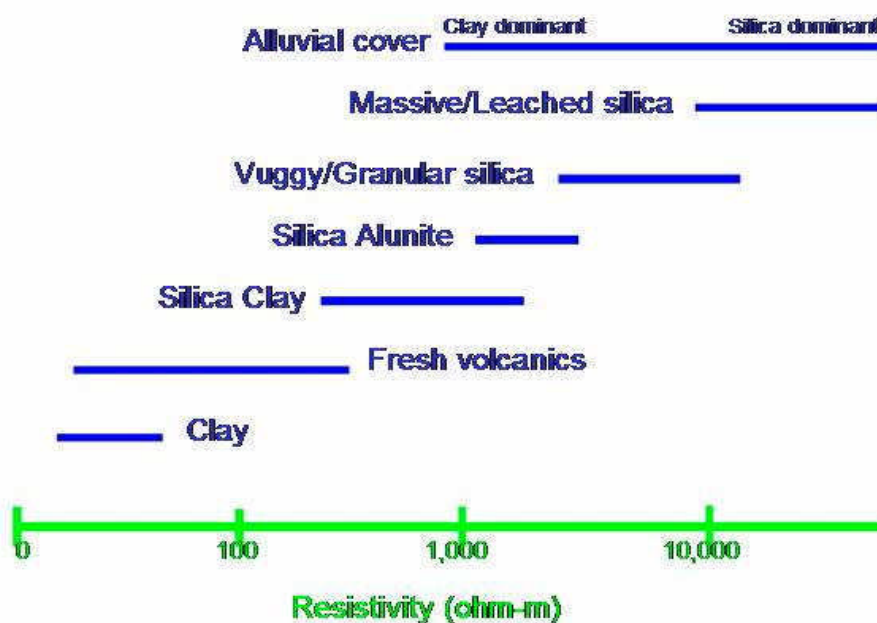


Figura N° 45 (Tomado de M. Goldie, 2002)

De los métodos usados, los que más se aplicó exitosamente fue la: Induced Polarization/resistivity (**IP/resistivity**) y sus variaciones, seguida de sondeos Time Domain Electromagnetic (**TDEM**) y Controlled Source Audio-frequency Magnetotellurics (**CSAMT**).

IP, polo-dipolo cuya separación varía de 50-200 metros, fue usada para definir unidades con alta resistividad cerca de superficie y que contengan mineralización de Au y con profundidad menor a 200 metros en óxido. Como el potencial para nuevos targets en óxidos disminuyó y se empezó a tener en cuenta sulfuros en profundidad, la configuración de Multi-spaced Gradient IP/resistivity fue usándose cada vez más. Unidad empleada es **ohm-m**

Las medidas de TDEM, nos permiten explorar debajo de áreas grandes de cuerpos conductivos, resistencias más profundas (>200 m), enterradas que pueden relacionarse a silicificación o cuerpos alterados, unidad empleada es log Resistivity (**ohm-m**).

CSAMT, son sondeos empleados para proveer detalle adicional de los cuerpos resistivos en profundidad proporcionados por los métodos anteriores. Es un método efectivo para detectar y mapear contrastes resistivos en los primeros 2 Km. de profundidad de la corteza terrestre. En el descubrimiento de Corimayo, CSAMT jugó un rol importante (*M. Goldie, 2002*). La unidad empleada es mhos/m.

A continuación se presenta los planos y secciones geofísicas con su respectiva interpretación.

5.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS DE ARNACOCHA

- **PLANOS GEOFÍSICOS**

TDEM 100m (log Resistivity ohm-m)

Sobre este plano se puede observar al menos 4 áreas con altos valores de conductividad (relacionados a centros porfiríticos?), a demás, aparecen zonas resistivas hacia el lado Oeste, que indicaría en parte la profundización de tufos alterados hacia esa zona (zona II, III). Cabe señalar que el depósito de Arnacocha (zona I) no se refleja claramente en este plano, ya que los valores son de mediana resistividad, esto pueda que se deba también a la influencia de las unidades porfiríticas inalteradas que están bordeando a los tufos alterados aflorantes. Ver fig. N° 46.

TDEM 200m (log Resistivity ohm-m)

Este es un plano que refleja las características de conductividad a 100m debajo del anterior, en el cual podemos observar que, las áreas resistivas tienden a disminuir pero

que el correspondiente a la zona de interés II se perfila constante. Los valores de altos conductivos también aumentan, por ejemplo hacia el lado Oeste de la falla Arnacocha los altos conductivos tienen una orientación hacia NW (Domo Qda. Arnacocha). Ver fig. N° 47.

TDEM 300m (log Resistivity ohm-m)

Estos valores reflejan las características geofísicas desde los 200 a 300m. En este plano se puede observar que la zona con valores resistivos se reducen a sólo dos puntos. Las zonas con alta conductividad cubren casi toda el área y principalmente con orientaciones NE y NW. A esta profundidad estos valores que indican alta conductividad corresponderían a las raíces de los domos y al basamento de volcánicos andesíticos sobre el cual todos los demás paquetes descansan. Ver fig. N° 48.

GRAVITY RESIDUAL MAP (mGals)

Sobre este plano se puede observar que existe un alto y bajo gravimétrico aunque no bien definido; los valores que indican altos gravimétricos (-254 a -252mgals) tienen una tendencia NW (alineado a la falla Arnacocha?) y que correspondería a cuerpos de centro dómico casi inalterado (mayor densidad), que fuera delineado antes en los planos de TDEM; mientras que hacia el lado Este del alto gravimétrico se manifiesta un bajo gravimétrico cuyos valores son menor a -255mgals que en parte coincidiría con los tufos alterados (menor densidad).

IP/Resistivity surveys(ohm-m)

De este plano podemos observar que el proyecto Arnacocha (área de interés I) se halla enmarcado dentro de una zona con resistividad de valores medios (1100-800 ohm-m). Dentro de las demás zonas de interés no es claro la existencia de zonas resistivas. Cabe resaltar la presencia de una zona con fuerte anomalía resistiva hacia el extremo inferior Oeste del folio, esta correspondería al borde (silicificado) del Proyecto Quecher. Hacia al norte del folio aparece un área resistiva, ésta correspondería al borde alterado del Proyecto Pachanes.

TOTAL FIELD GROUND MAGNETIC (gammas)

Los sondeos de magnetometría de tierra indican ciertos alineamientos con altos magnéticos (>100 gammas) hacia el NE-NW. Muchos de estos alineamientos y centros con altos magnéticos corresponderían a centro de domos o raíces y que coinciden con lo que se ha ido observando con la información de TDEM. El principio básico de este método es tratar de medir la susceptibilidad magnética de los afloramientos y que va depender de los minerales primarios magnéticos que las rocas posean, llámese biotita, magnetita....etc.

- **SECCIONES GEOFISICAS (SECCION 28000 EW – AA'**

Sección de Gravity Survey (derivado del mapa residual de Bouguer):

Esta sección muestra dos altos gravimétricos, que nos indicaría dos cuerpos casi verticales con una densidad mayor que el resto de los cuerpos que lo circundan. Esto correspondería a dos probables centros o raíz del domo. Hacia el extremo Oeste de la sección el alto gravimétrico es más consistente y coincidiría con el centro dómico interpretado (cuerpo de mayor densidad). Mientras que al medio entre los altos gravimétricos existe un bajo gravimétrico (cuerpo de menor densidad) ésto nos manifestaría de alguna forma los tufos alterados.

Total Field Ground Magnetic Survey:

En la sección se muestra claro un alto magnético al centro, si bien este con coincidiría con raíz alguno de unidades porfiríticas, pero si probablemente relacionado a estructuras, o de alguna forma reflejaría un cuerpo magnético relacionado a centro dómico interpretado hacia el Sur de esta sección. Hacia el Oeste de la zona de interés II, existe un moderado magnetismo que estaría reflejando de alguna forma las raíces del domo interpretado a partir de las otras informaciones geofísicas. Ver fig. N° 53, 59.

PLANO DE GEOFISICA TDEM_100m (Conductivity depth slice)

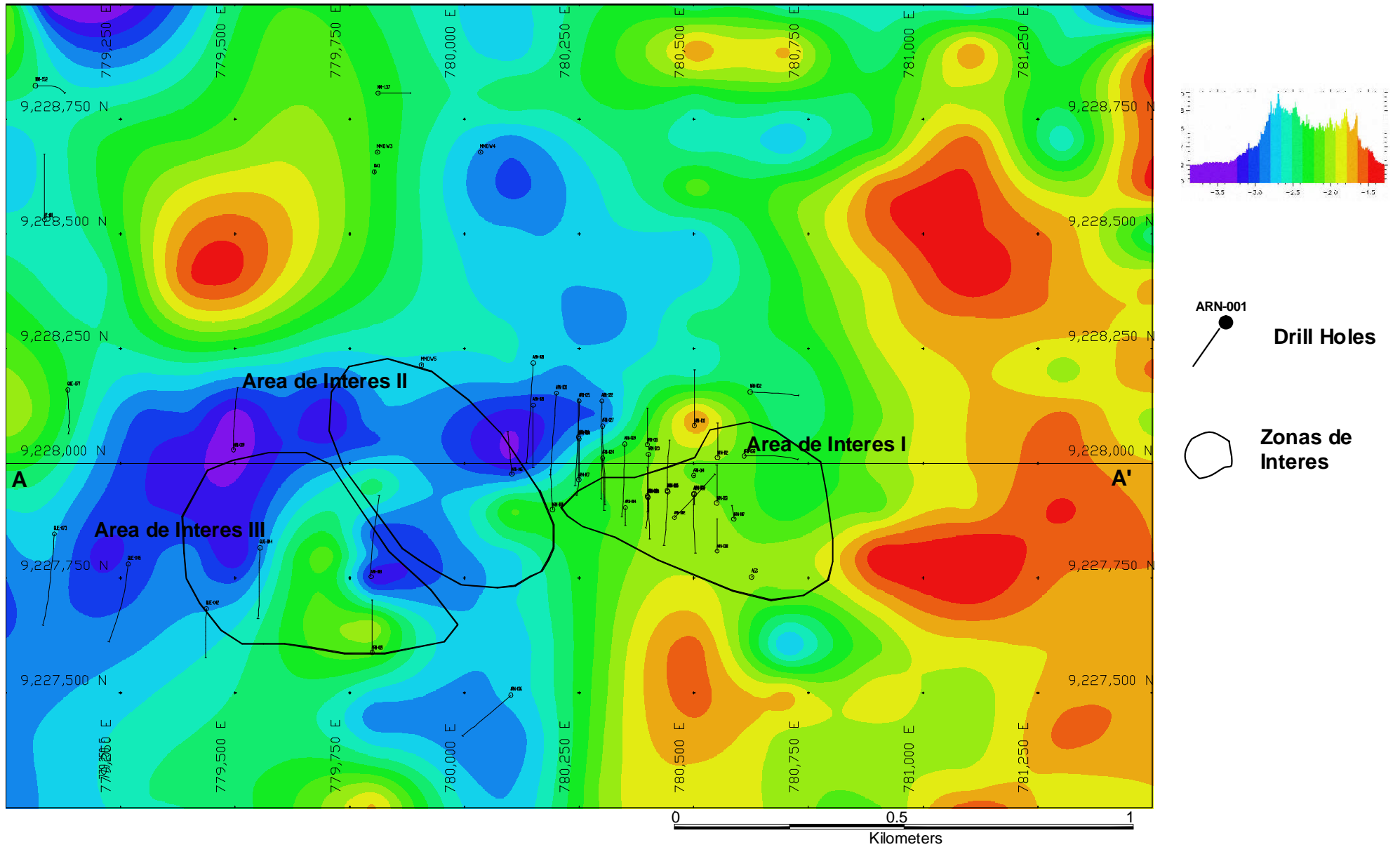


FIGURA N 46

PLANO DE GEOFISICA TDEM_200m (Conductivity depth slice)

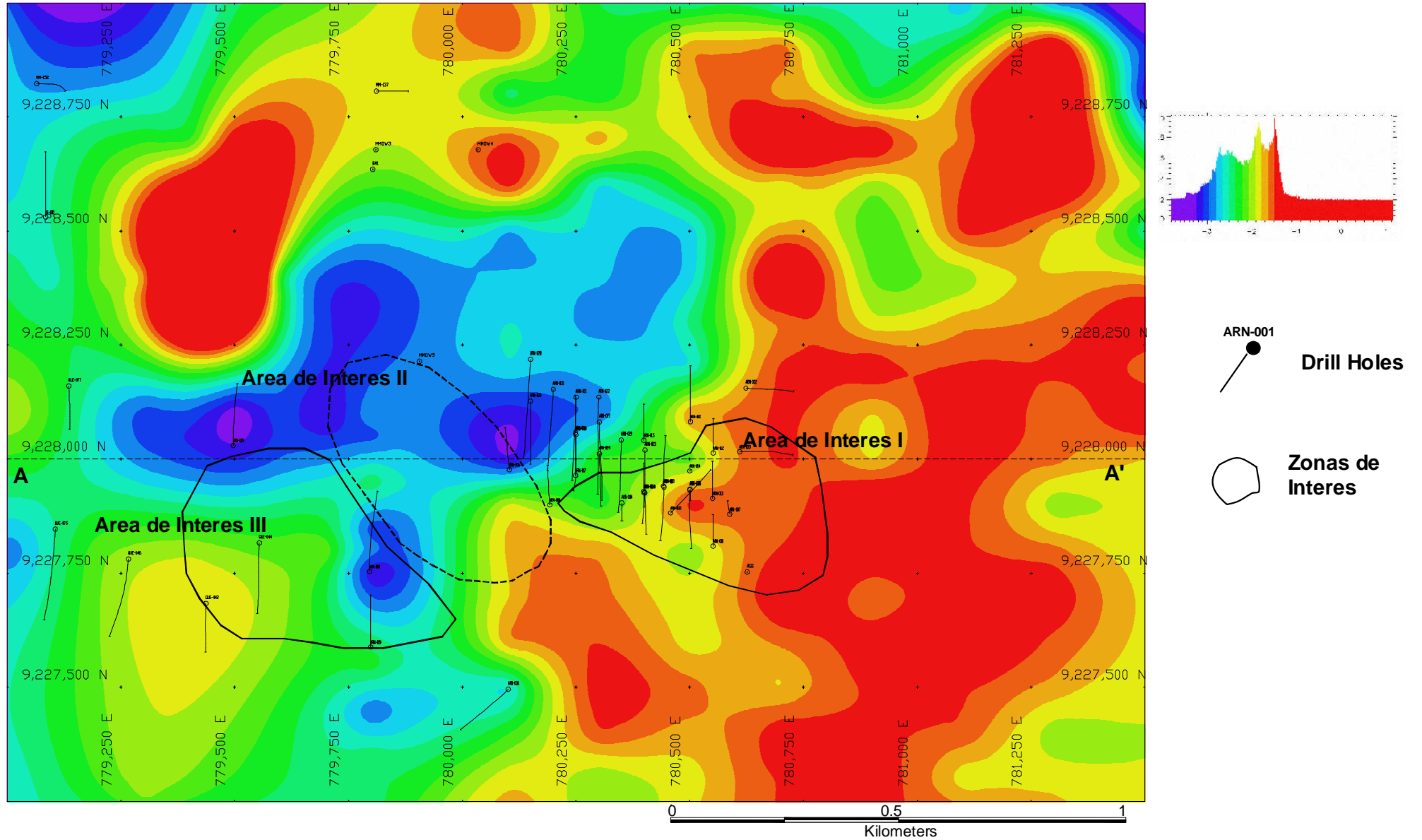


FIGURA N 47

PLANO DE GEOFISICA TDEM_300m (Conductivity depth slice)

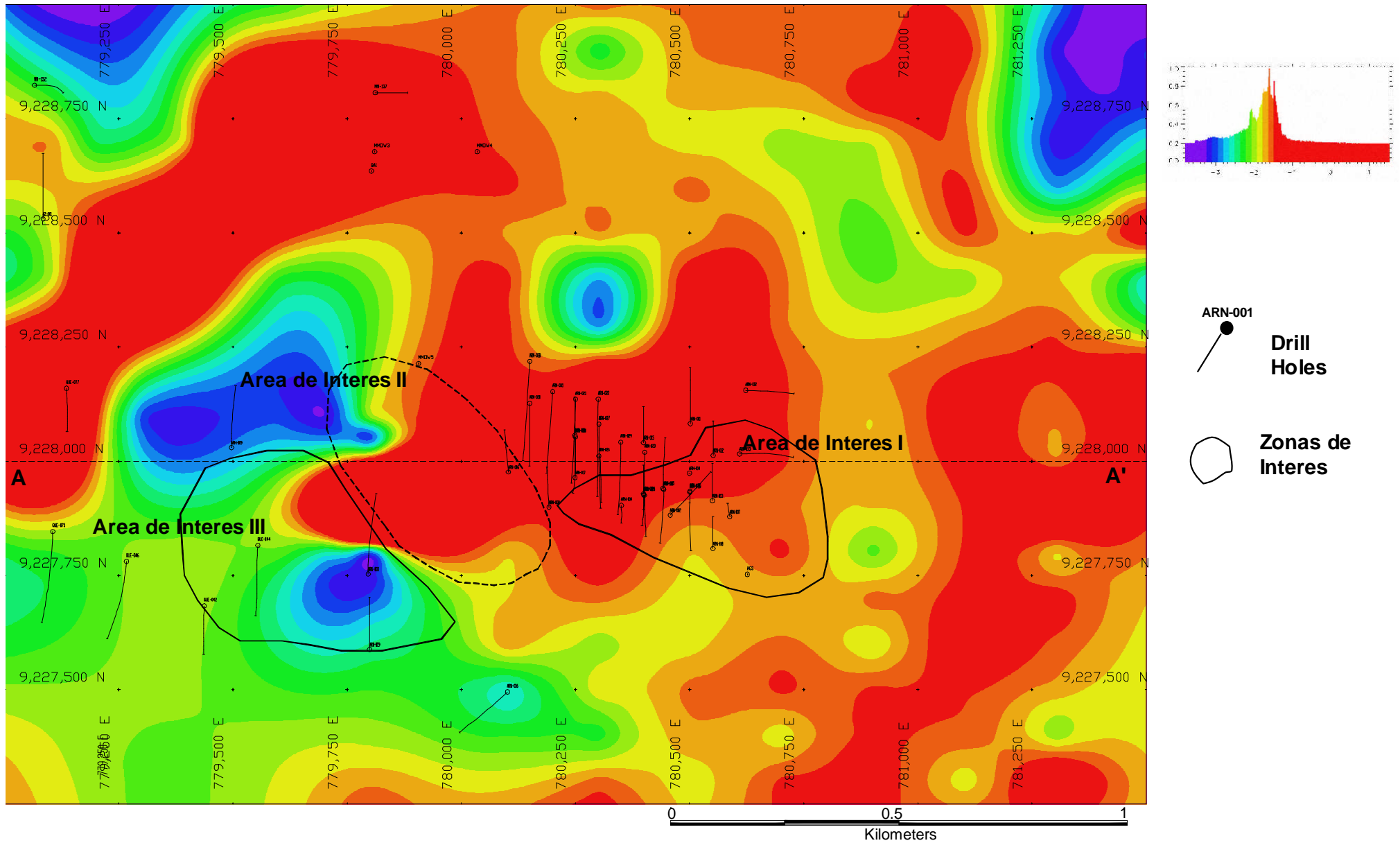


FIGURA N 48

PLANO GEOFISICO DE GRAVITY SURVEYS_RESIDUAL MAP (Bouguer Anomaly_Inversion Result)

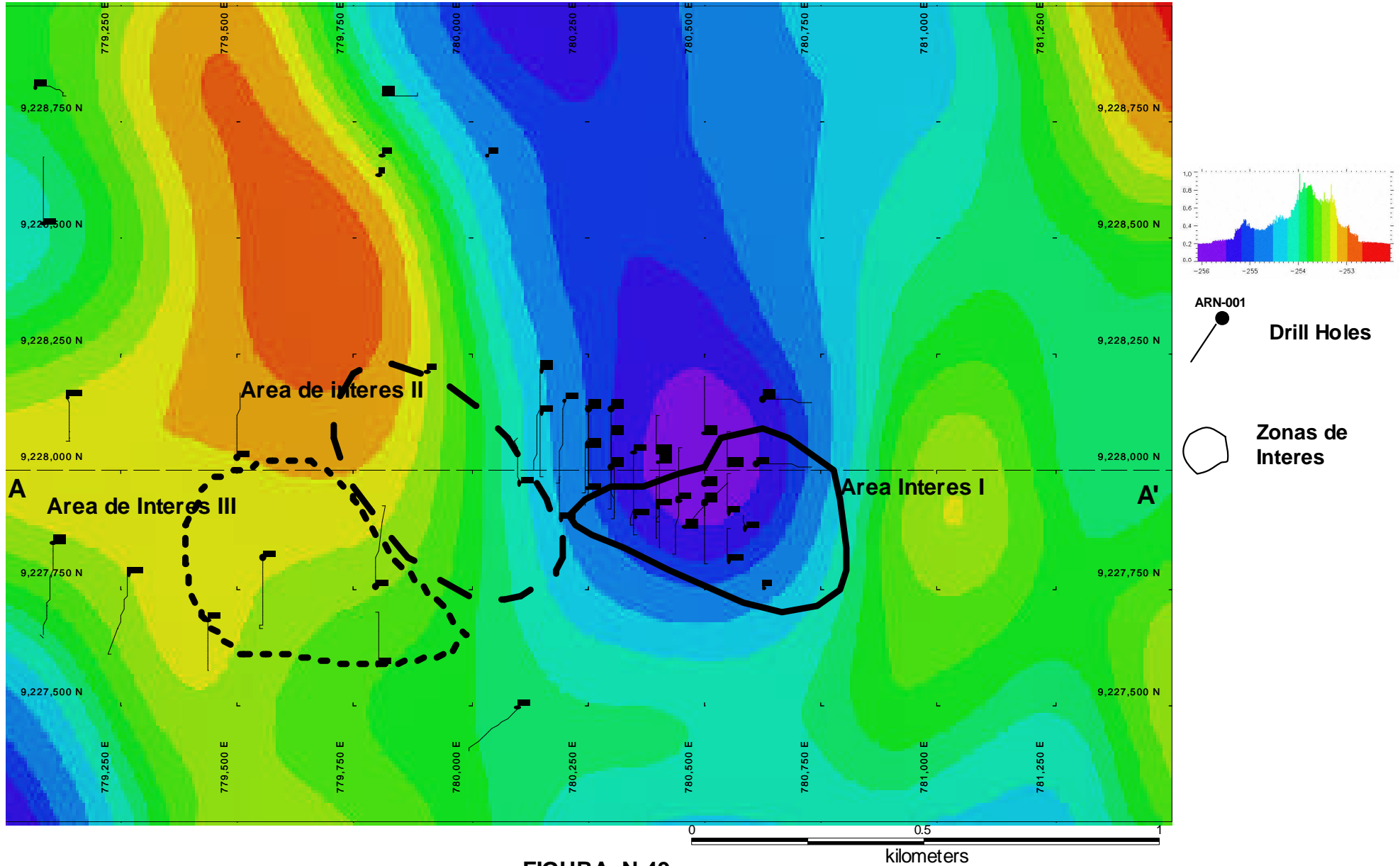


FIGURA N 49

kilometers

PLANO DE GEOFISICA: IP_RESISTIVITY SURVEYS

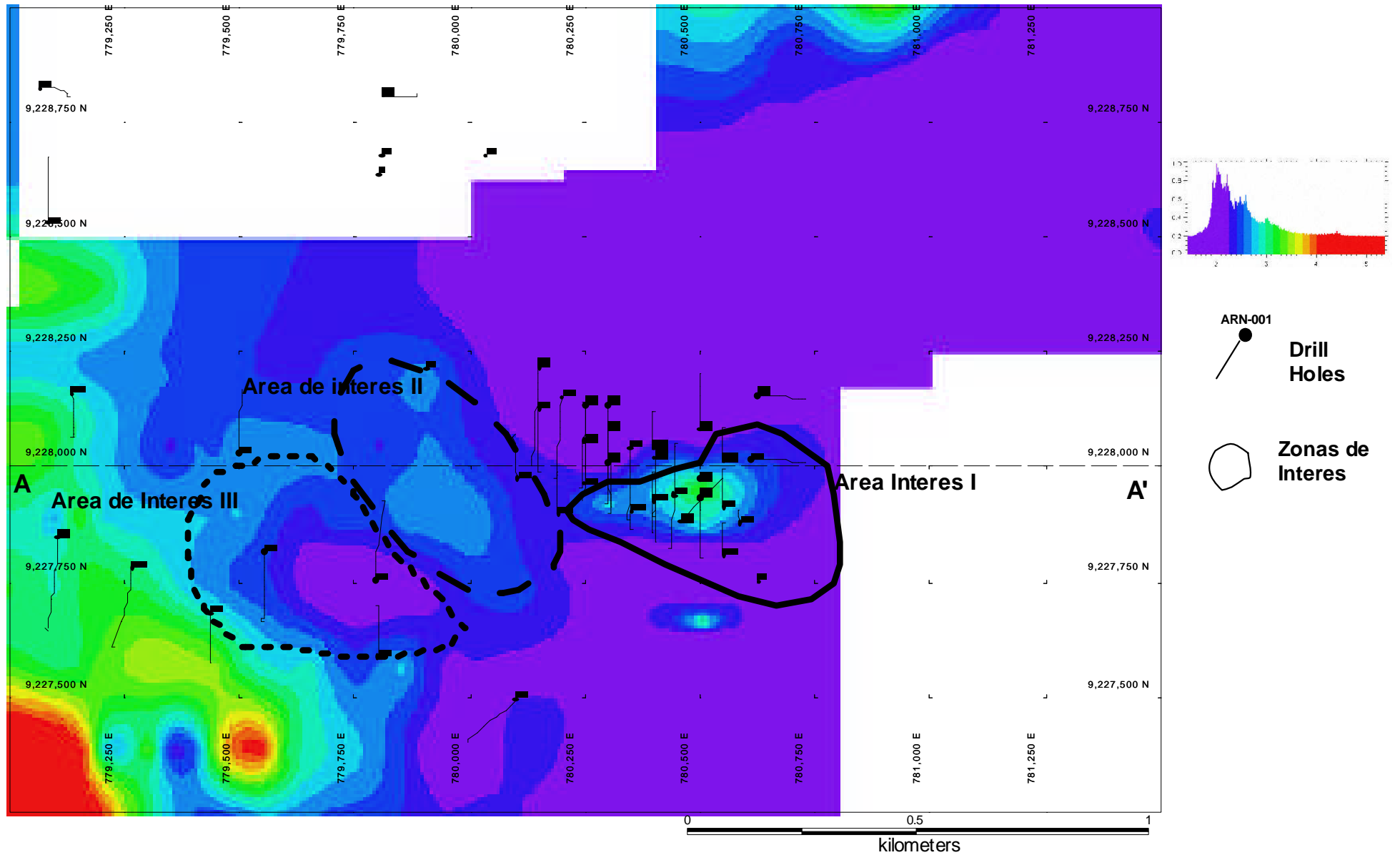


FIGURA N 50

PLANO DE GEOFISICA: TOTAL FIELD GROUND MAGNETIC (Reduced to pole)

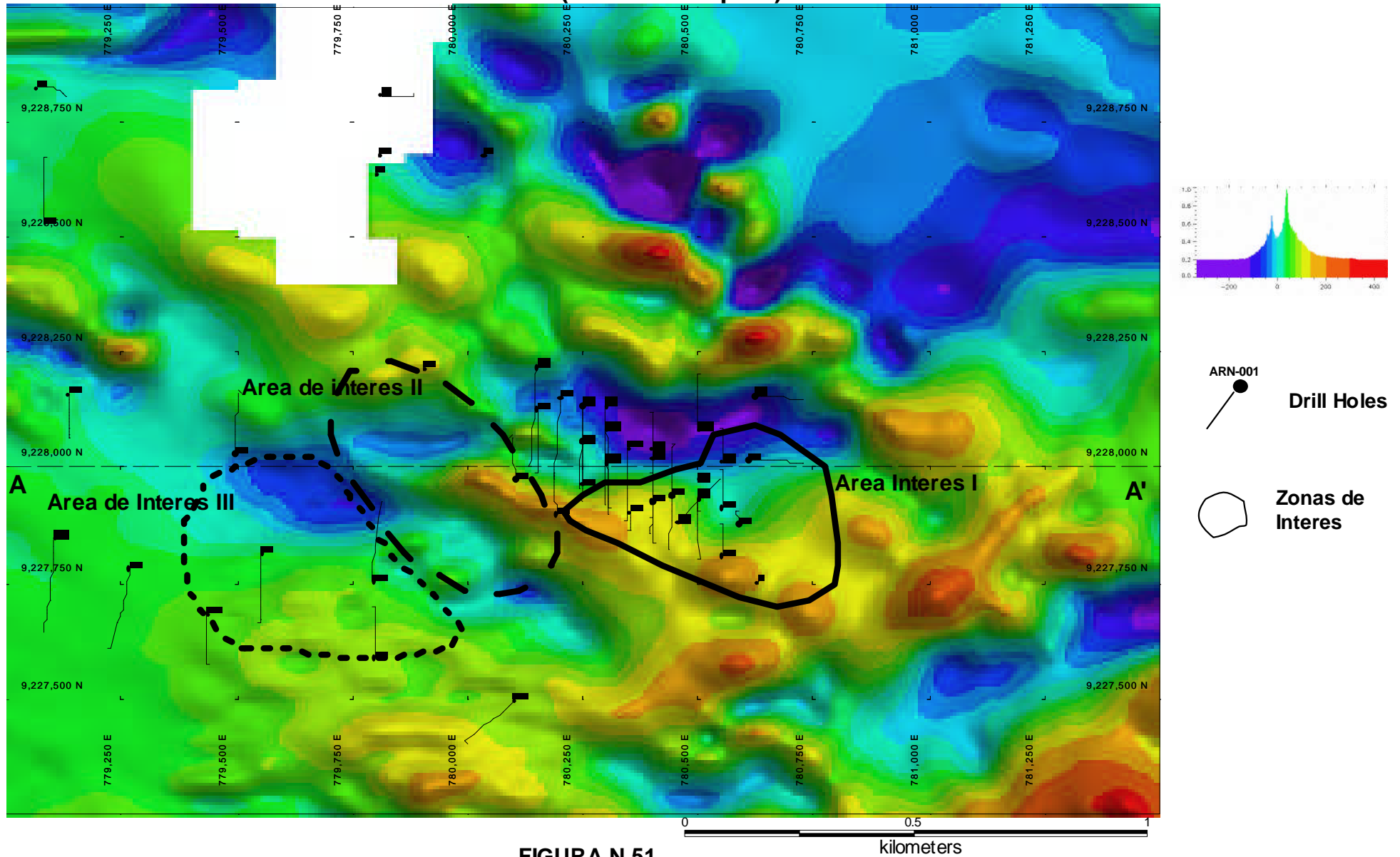
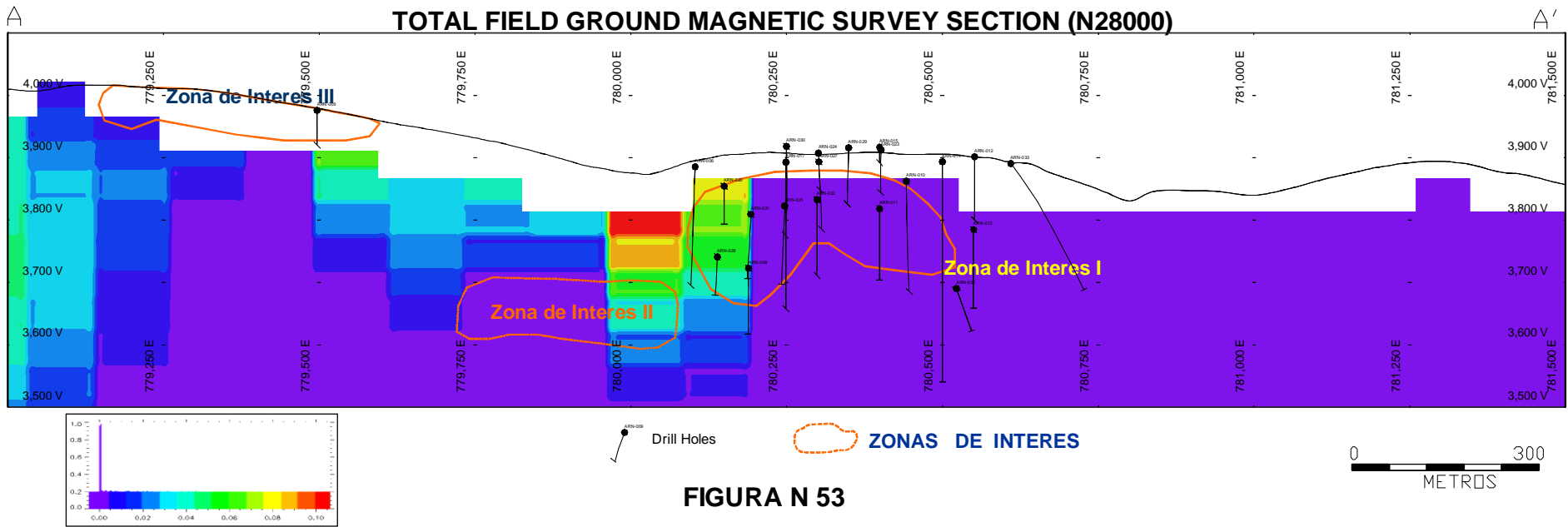
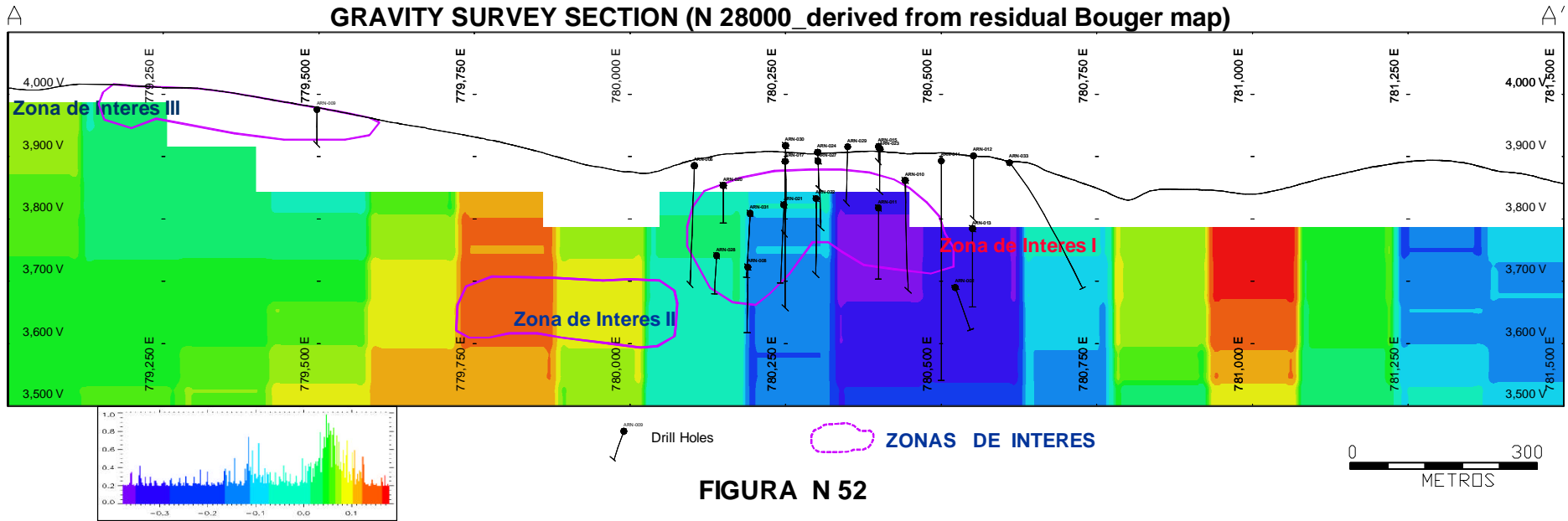


FIGURA N 51



CAPITULO VI

INTERPRETACIÓN, DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTA DEL MODELO GEOLÓGICO DE ARNACOCHA

6.1 SECCIONES GEOLÓGICAS

Como la mayoría de los taladros son de orientación N-S con distintos buzamientos, fue conveniente elaborar a partir de la información de los logeos y relogeos secciones geológicas N-S (mirando hacia Oeste cada 50 metros), estos sirvieron a su vez para construir modelo de litología y alteración típica E-W (mirando hacia el Norte). La interpretación hecha a partir de los taladros fue muy bien complementada con la información geológica observada en el campo (mapeos). Cabe señalar el uso adicional de la información geofísica los cuales permitieron delinear principalmente los centros magmáticos, como también de la literatura existente.

Después de las interpretaciones de las secciones geológicas se puede observar que existen dos zonas de interés principalmente, los cuales son ilustrados en la sección N28 000 (Ver fig. N 59 y 60) que a continuación se describe:

- **Sección N28 000 (E-W): Modelo de litología y alteración.**

Existen dos centros dómicos poligénicos pre-minerales a ambos lados de la sección casi inalterados, interpretada principalmente a partir de datos geofísicos y complementadas con observaciones del campo. Estos domos cortan a la secuencia de tufos previamente fallados (graben y horst), fíjese la Falla Arnacocha, que con un movimiento vertical, profundiza hacia el lado izquierdo la secuencia de tufos que posteriormente son alterados a SG, SM, SV, SC y SA una vez recubierta por los flujos lávicos porfiríticos con zonas de autobrecha en los probables bordes de los domos. Al centro se observa intrusiones relacionadas al domo (criptodomas) que en otras partes de la sección llegan a cortar a los tufos (Ver foto N° 3). Se observa pequeños diques de brecha freatomagmática y brechas hidrotermales muy angostas relacionadas a estructuras, como consecuencia de una reactivación muy débil del sistema.

La alteración sílice granular es la predominante con algo de alunita y/o cly ambos polvorulenta, seguida de zonas síliceas masivas. En los bordes y en el contacto con las unidades porfiríticas en donde el ensamble SC o SA coexisten. Como

indicador de las partes distales del sistema figura las zonas propilitizadas que en la mayoría de los casos son muy débiles. Las rocas frescas predominan en el área, aunque con esporádicos 'ribts' de SC o brechas con o incluso de estructuras de sílice opalina (ver foto N° 5).

6.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

La evolución geológica interpretada a partir de las observaciones de campo como de las secciones geológicas están representadas en las figuras N° 54 al 57.

A continuación se detalla esta probable evolución:

- a- **Secuencia de vulcanismo y magmatismo inicial:** al igual que en el resto del distrito, la actividad magmática poligénica temprana con desarrollo de flujos lávicos, domos y niveles de piroclásticas de composición andesítica. Constituye un paquete grueso conocido como el basamento volcánico **La** sobre la cual descansa todas las demás unidades. Las dataciones radiométricas hechas sobre ésta unidad arrojan edades que varían desde 19.53 MA \pm 0.13 hasta 13.76 MA \pm 0.17. Al parecer esta secuencia de paquetes volcánicos fueron afectados por la tectónica de la Fase Quechua I, generando horst y grabens con insignificantes manifestaciones hidrotermales? Ver figura N° 54.

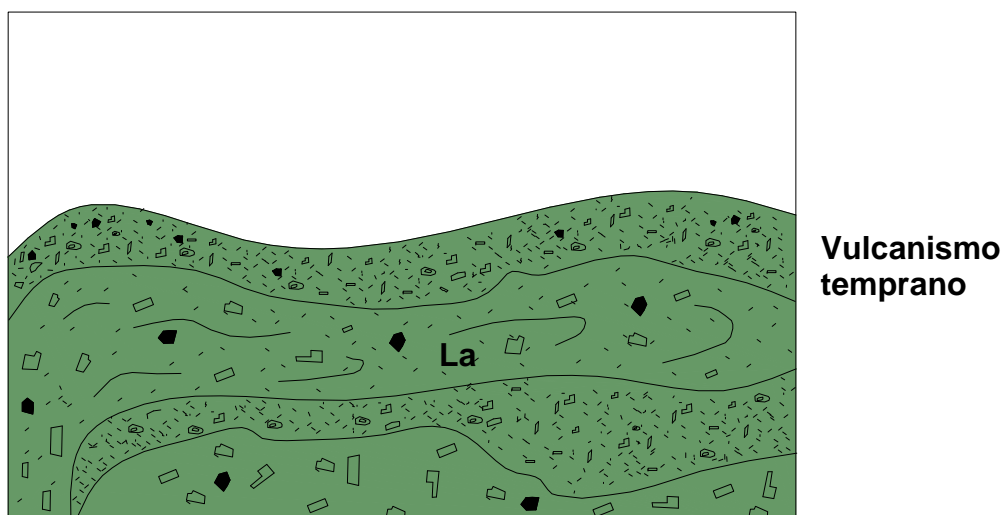


FIGURA N° 54

- b- Sobre el basamento volcánico anterior afectado por tectonismos se depositan las secuencias de tufos de cristales y cenizas volcánicas con escasos líticos principalmente, a partir de centros volcánicos distales (cuyas edades en el distrito varían desde 12.7MA hasta 11.2MA). Según T. Longo (2001) estos volcánicos correspondería a una de las facies de depositación del centro volcánico San José y que origina en el distrito las unidades denominados Ignimbritas San José (Usj). Casi simultaneo a estos volcánicos, hacia el Este de la sección existe el ascenso de un criptodomo (Cp?). Ver figura N° 55.

Vulcanismo explosivo intermedio a partir de centros volcánicos distales.

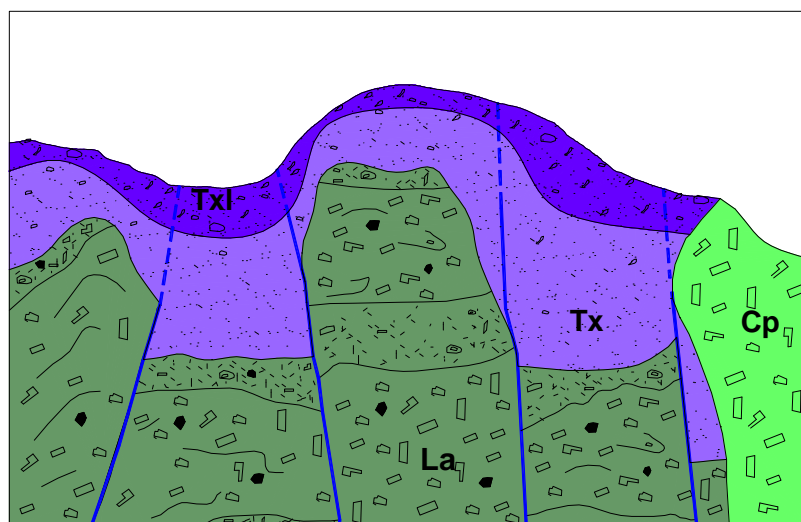
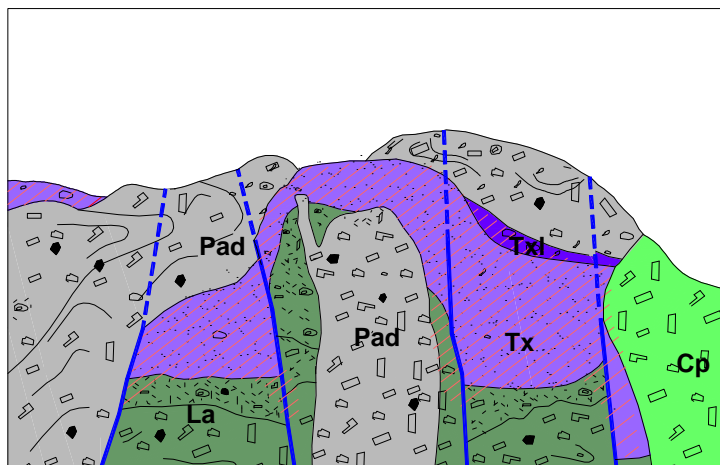


FIGURA N° 55

- c- Existe la reactivación tectónica correspondiente a la Fase Quechua II (13-10 MA) cuya manifestación magmática principalmente efusivo, con algunos stocks subvolcánicos, cubren los paquetes volcánicos antiguos. Casi simultáneo a ello existe una importante actividad hidrotermal que asciende o proviene desde fuentes distales profundos aprovechando las grandes estructuras provocados por las dos fases tectónicas mencionadas y que afecta a las unidades tufáceas (material permeable). En el contacto y los bordes de las secuencias porfiríticas (domos-criptodomas) también existe una alteración de poco espesor. Al parecer existe variaciones de la napa freáticas ya que existe sobreimposición de alteración. Ver fig. N° 56.



Vulcanismo intermedio-tardío seguido de evento hidrotermal principal, con posterior oxidación y erosión.

FIGURA N° 56

- d- Sobre el sistema ya existente hay un evento de oro-hierro en ciertas zonas enriqueciendo algunas áreas, seguida de período de oxidación casi total del sistema. Existe diques de brecha freatomagmática englobando fragmentos heterolíticos y silicios en matriz mixta. Existe un tercer? y último evento de precipitación del oro junto con cobres grises-calcopirita siguiendo a la cristalización de baritina que se presenta en matriz de las brechas hidrotermales, indicando un hidrotermalismo tardío que incluso llega alterar los las brechas freatomagmaticas anteriores. Existe la depositación de sílice opalina en áreas restringidas a estructuras. Como último evento se manifiesta diques andesíticos (Yand) de textura muy fina totalmente frescos preferentemente de dirección EW. Toda esta secuencia es sometida a erosión y oxidación. Ver figura de abajo.

Pulso hidrotermal final: evento de explosiones freatomagmáticas e hidrotermales.

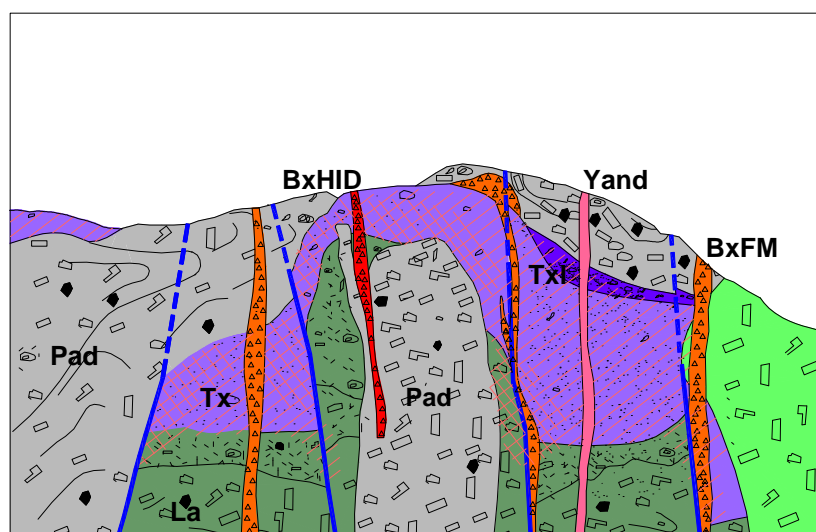


FIGURA N° 57

6.3 SECUENCIA PARAGENETICA

Aparentemente existe 2 fases principales en la precipitación del oro, uno de ellos asociado a la fase oro-sulfuro (py) pero con bajos valores y el otro oro-cobres grises-py-baritina con mayores valores (relacionado a estructuras, brechas) tal como se observa en las microfografías (ver microfot. N°12, 13,14 y 15). El cuadro adjunto nos muestra el orden de la secuencia paragenética para este depósito. Cabe mencionar que fue de gran ayuda los estudios microscópicos para definir esta secuencia.

| Mineral | Temprano (Hypogeno) | Intermedio (Hypogeno) | Tardio (Hypogeno) | Muy Tardio |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|------------|
| Silice | ————— | - - - - - . | —————→ | |
| Pirita | - - - - - | ————— | —————→ | |
| Cpy- Cobres Grises | | | —————→ | |
| Oro | - - - - - ? | ————— | —————→ | |
| Baritina | | —————→ | | |
| Azufre Nativo | | —————→ | | |
| Cly | - - - - - ? | ————— | | —————→ |
| Oxidacion | | | —————→ | —————→ |

FIGURA N 58: Secuencia paragenetica

(N. Mendoza 2004)

6.4 MODELO GEOLÓGICO DE ARNACOCKA

El origen de la fuente de metales y volátiles en los arcos magmáticos se inician en los márgenes divergentes y convergentes, cuando se produce la fusión del manto con posterior ascensión de magma generando más arriba una cámara magmática que finalmente origina un stock porfirítico a cierta profundidad (>1 km) (**Hedenquist & Lowenstern, 1994**). Es a partir de esta cámara magmática y stock porfirítico que empieza a

ascender los fluidos magmáticos con concentración de volátiles y iones metálicos aprovechando estructuras corticales. Son estas soluciones que originan la alteración hidrotermal y mineralización preferencialmente en las unidades tufáceas. Las fluctuaciones de la napa freática van a controlar el nivel de sobreimposición de las alteraciones debido a las sucesivas reactivaciones del sistema.

Al parecer en Arnacocha a diferencia de la típica teoría en donde la cámara magmática yace debajo del depósito, ésta al parecer en Arnacocha se encuentra distal y lateral con respecto en sí al depósito. Esto se postula porque el halo de alteración generado por los fluidos es muy reducida y por la poca manifestación de brechas. Ver fig. N° 61.

6.5 ARNACOCHA DENTRO DEL CONTEXTO METALOGÉNÉTICO DEL DISTRITO DE YANACOCHA

Dentro del contexto metalogénético del Distrito, Arnacocha corresponde al borde volcánico distal del distrito por lo que los tufos de cristales son los más predominantes y los distintos tipos de brechas son solamente diques mas no cuerpos confirmándonos la escasa actividad volcánica o ígnea. En la gran mayoría de los depósitos del Distrito las brechas juegan un rol importante, ya que estas son cuerpos y poligénicas, creando una permeabilidad secundaria.

A diferencia de la parte central del Distrito, en Arnacocha como en otros depósitos (Antonio, Pachanes...etc), las ventanas de alteración hidrotermal son muy restringidas de ahí que las áreas alteradas principalmente se emplazan dentro de los tufos.

Las dataciones existentes de unidades porfiriticas (Pad) mas próximas arrojan una edad de 11.5MA (correspondiente a la Fase Quechua II). En la parte central de Yanacocha dataciones efectuadas en alunita de las zonas mineralizadas arrojan una edad que varia desde 12.4-12.7MA, por lo que en los bordes de las unidades magmáticas posteriores pero equivalentes al Pad de Arnacocha es posible encontrar fragmentos previamente alterados y mineralizados, lo que no se observa en las unidades circundantes **Pad** de Arnacocha, lo que se sugiere que la mineralización en esta parte del distrito es contemporáneo a la edad del Pad o en el mejor de los casos posterior.

La mineralización en Arnacocha estaría dentro de una de las unidades líticos correspondiente a las ignimbritas San José (*T. Longo, 2002*) aunque el control estructural es el mayor factor que controla la mineralización. La ventana de alteración en Arnacocha, distal al Distrito de Yanacocha sería producto del flujo lateral de fluidos hidrotermales a lo largo del contacto inferior de la unidad ignimbritas San José con la parte superior de las

capas porfiriticas biotiticas (La?) (**T. Longo, 2002**). Al respecto si bien no se tiene la certeza del centro de la influencia volcánica para Arnacocha, sin embargo se piensa que un probable centro sea el centro volcánico de San José, sin embargo los fluidos hidrotermales no necesariamente sean desplazado entre el contacto de la parte superior de las unidades porfiriticas del basamento y los paquetes de las unidades líticos, lo que postulo es que estos fluidos hidrotermales aprovechan estructuras corticales por los cuales asciende a partir de centros magmáticos ubicados a kilómetros debajo del depósito de San José? y al encontrar horizontes más permeables se produce la alteración.

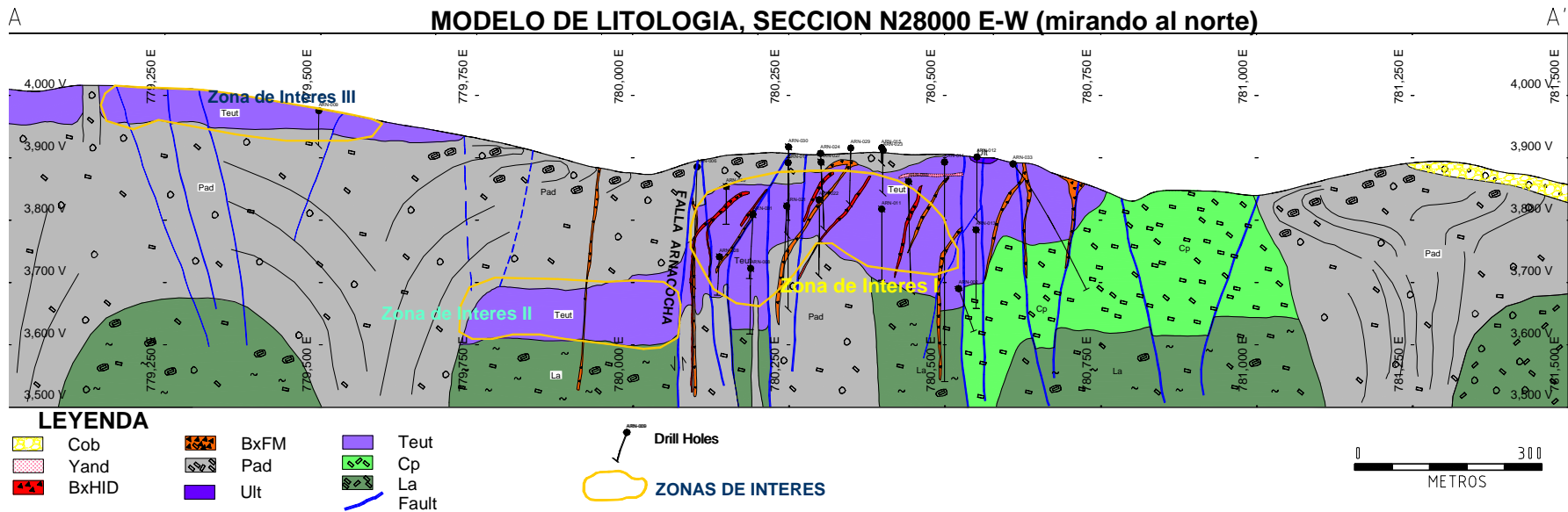


FIGURA N° 59

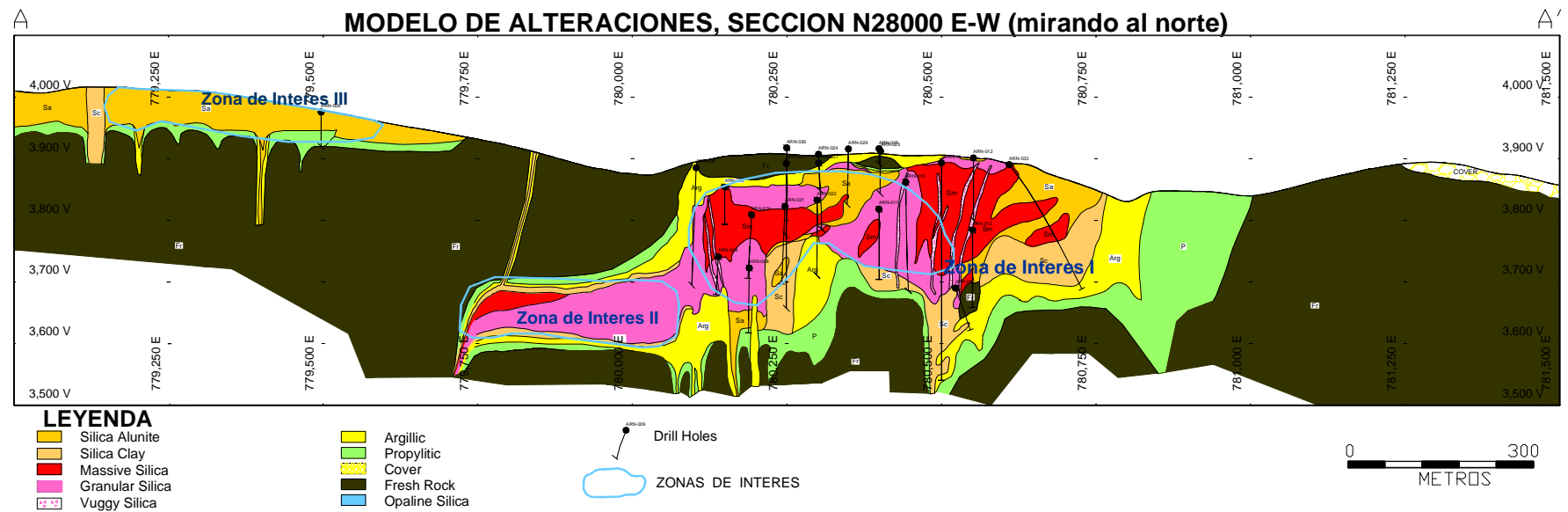


FIGURA N° 60

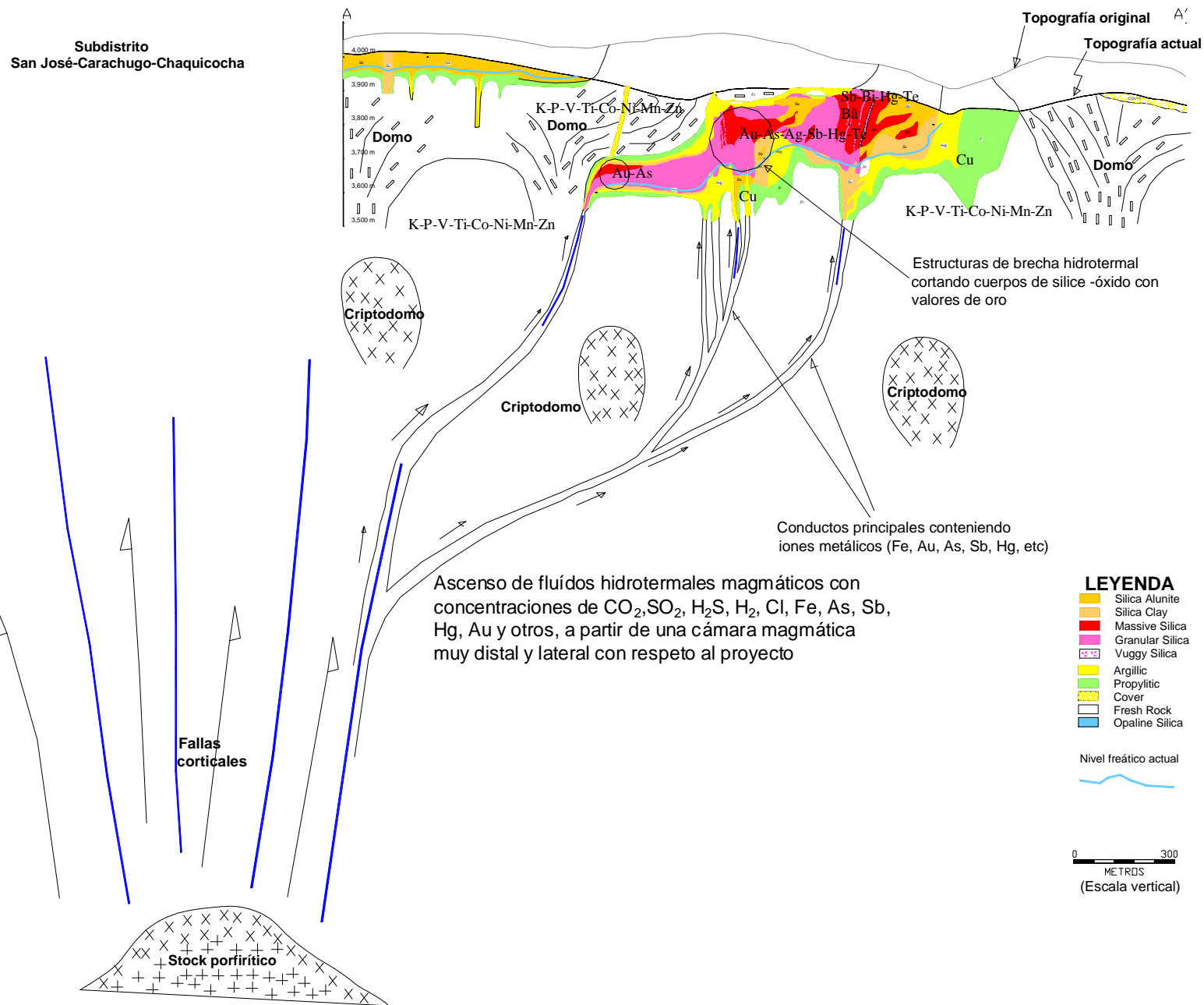


FIGURA N° 61: Modelo Geológico de Arnacocha

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Arnacocha es un depósito ácido sulfato poco erosionado, sobreimpuesto por varios eventos hidrotermales, debido a la distribución irregular de la sílice granular en casi toda la zona de interés I y II, también indicaría variaciones de la napa freática.
- Arnacocha representa los dos tipos de yacimiento conocido en el distrito; aflorante y oculto.
- La anomalía geofísica (TDEM), confirmó la existencia de zonas resistivas, suprayacidas por los domos volcánicos porfiríticos.
- Existen sellos geoquímicos que caracterizan a rocas alteradas de las inalteradas tanto en los afloramientos como en secciones y éstos a la vez indican cambios litológicos; así los elementos Zn, V, Mn, K, Ni, P, Ti, Cr, Bi, Zr identifican a las zonas inalteradas, mientras los elementos Sb, As, Cu, Ag, Hg, Te, principalmente identifica a las zonas alteradas.
- Las estructuras predominantes E-W, N-S; al igual que los eventos poligénicos dómicos son pre-mineral con reactivaciones mínimas posterior a la mineralización
- La principal zona alterada y mineralizada se emplaza en los paquetes de tufo principalmente y en menor proporción en las unidades porfiríticas.
- En sección se observa que la mayor cantidad de oro se encuentra dentro del cuerpo de sílice masiva, mientras que en superficie está asociado a sílice granular y en parte alineado a sílice masiva.
- Arnacocha representa un sistema epitermal distal al distrito de Yanacocha y que los paquetes volcánicos permeables serían provenientes del Centro Volcánico de San José o Colorado Diatrema?
- En la zona de óxidos en superficie el siguiente trío de elementos afines Sb-As-Cu mantienen una buena a moderado correlación con el Au, mientras que en sección Sb-As-Te tienen una muy buena afinidad y moderado correlación con el Au.
- La correlación del Ba con el Au en sección es moderado mientras que su correlación en superficie es muy bajo.

7.2 RECOMENDACIONES

- Efectuar dataciones radiométricas dentro de las zonas mineralizadas para tener la certeza de la edad de mineralización.
- Según el levantamiento geofísico TDEM, existe anomalías de alta resistividad hacia el norte de la zona de interés II y que en profundidad se une con la zona interés I hasta los 200m. Se puede interpretar como una extensión de zona mineralizada meritoria de probar con taladros.
- Al pasar un cuerpo con alto magnetismo (domo volcánico?) hacia el noreste de la zona de interés I, aparece en profundidad una anomalía TDEM de alta resistividad que sugiere la posibilidad de que se una en profundidad con los volcánicos provenientes de Proyecto Pachanes (al norte de Arnacocha). Se recomienda explorar el potencial de mineralización en este blanco.
- Taladros perforados al Oeste de la falla Arnacocha arrojan valores anómalos de oro, por ello se recomienda seguir perforando para corroborar la continuidad de zonas alteradas y mineralizadas en profundidad.
- Hacia el Este de la zona interés I, existe un área con los mismos patrones geoquímicos que la zona antes mencionada, por lo que se recomienda tomar muestras selectivas al detalle para determinar el oro en profundidad. Una vez definida la anomalía debe ser probada con taladros.

ANEXOS

Table 1 - Cutoffs used for the Yanachocha District Down-hole Geochemistry Program.

All concentrations by aqua regia digestion in ppm.

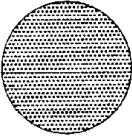
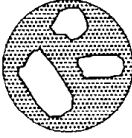

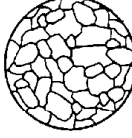
| Element Name | Element Symbol | Background (blue) | High Background (cyan) | Weakly Anomalous (green) | Moderately Anomalous (yellow) | Highly Anomalous (red) | Extremely Anomalous (magenta) |
|--------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Aluminum | Al | 0-1000 | 1000-3000 | 3000-5000 | 5000-8000 | 8000-10000 | >10000 |
| Antimony | Sb | 0-20 | 20-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | >300 |
| Arsenic | As | 0-100 | 100-250 | 250-500 | 500-1000 | 1000-2000 | >2000 |
| Barium | Ba | 0-500 | 500-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-5000 | >5000 |
| Beryllium | Be | 0-0.05 | 0.05-0.4 | 0.4-0.6 | 0.6-1.0 | 1.0-2.0 | >2.0 |
| Bismuth | Bi | 0-4 | 4-10 | 10-20 | 20-50 | 50-150 | >150 |
| Cadmium | Cd | 0-0.2 | 0.2-0.5 | 0.5-2.0 | 2.0-5.0 | 5.0-10.0 | >10.0 |
| Calcium | Ca | 0-100 | 100-200 | 200-500 | 500-5000 | 5000-10000 | >10000 |
| Chromium | Cr | 0-50 | 50-100 | 100-120 | 120-140 | 140-200 | >200 |
| Cobalt | Co | 0-1.5 | 1.5-6.0 | 6.0-12.0 | 12.0-25.0 | 25.0-50.0 | >50.0 |
| Copper | Cu | 0-100 | 100-200 | 200-400 | 400-1000 | 1000-5000 | >5000 |
| Gallium | Ga | 0-1 | 1-3 | 3-6 | 6-12 | 12-15 | >15 |
| Gold | Au | 0-0.2 | 0.2-0.35 | 0.35-0.8 | 0.8-1.25 | 1.25-5.0 | >5.0 |
| Iron | Fe | 0-10000 | 10000-22500 | 22500-40000 | 40000-50000 | 50000-70000 | >70000 |
| Lead | Pb | 0-150 | 150-400 | 400-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | >3000 |
| Magnesium | Mg | 0-200 | 200-1000 | 1000-3000 | 3000-5000 | 5000-10000 | >10000 |
| Manganese | Mn | 0-20 | 20-50 | 50-125 | 125-250 | 250-500 | >500 |
| Mercury | Hg | 0-1 | 1-2 | 2-5 | 5-10 | 10-40 | >40 |
| Molybdenum | Mo | 0-6 | 6-20 | 20-35 | 35-70 | 70-150 | >150 |
| Nickel | Ni | 0-2 | 2-5 | 5-12 | 12-25 | 25-50 | >50 |
| Phosphorus | P | 0-15 | 15-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | >300 |
| Potassium | K | 0-200 | 200-800 | 800-1200 | 1200-1600 | 1600-3000 | >3000 |
| Selenium | Se | 0-1 | 1-4 | 4-10 | 10-20 | 20-30 | >30 |
| Silver | Ag | 0-0.1 | 0.1-0.5 | 0.5-1.0 | 1.0-5.0 | 5.0-10.0 | >10.0 |
| Sodium | Na | 0-200 | 200-400 | 400-600 | 600-800 | 800-1000 | >1000 |
| Strontium | Sr | 0-10 | 10-25 | 25-50 | 50-90 | 90-120 | >120 |
| Sulfur | S | 0-3000 | 3000-15000 | 15000-28000 | 28000-50000 | 50000-100000 | >100000 |
| Tellurium | Te | 0-1.25 | 1.25-2.5 | 2.5-5.0 | 5.0-10.0 | 10.0-20.0 | >20.0 |
| Thallium | Tl | 0-0.3 | 0.3-0.6 | 0.6-1.5 | 1.5-3.0 | 3.0-5.0 | >5.0 |
| Tungsten | W | 0-0.6 | 0.6-1.4 | 1.4-3.0 | 3.0-9.0 | 9.0-15.0 | >15.0 |
| Uranium | U | 0-0.06 | 0.06-0.2 | 0.2-0.4 | 0.4-1.0 | 1.0-2.0 | >2.0 |
| Vanadium | V | 0-2.5 | 2.5-8 | 8-16 | 16-25 | 25-50 | >50 |
| Zinc | Zn | 0-25 | 25-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | >400 |

Note: Gold cutoffs are economic cutoffs used by Mines Geology group. The elements Ti, Sc, La, Ge, and B are not included in this table because a large part of the data (>95%) were below detection. Aqua regia will yield only partial concentrations for the following elements: Al, Sb, Ba, Be, B, Ca, Cr, Ga, Ge, La, Mg, K, Sc, Na, Sr, S, Te, Tl, Ti, and W. (B. Leach, J. Martinez, 2001)

**Table 2: Comparison of geometric means by alteration type
(all values in ppm)**

| Element | crustal ave. | Fresh Rock | Argillic | Propylit | Adv. Argillic | granular sil | vuggy sil | massiv sil |
|-------------|--------------|------------|----------|----------|---------------|--------------|-----------|------------|
| Aluminum | 81300 | 9410.0 | 6433.7 | 9809.6 | 1922.0 | 552.5 | 615.4 | 293.4 |
| Antimony | 0.2 | 0.4 | 1.9 | 1.2 | 15.0 | 16.3 | 22.4 | 16.1 |
| Arsenic | 1.8 | 4.7 | 46.3 | 12.6 | 279.0 | 90.3 | 297.7 | 255.1 |
| Barium | 425 | 114.9 | 65.8 | 68 | 114.2 | 466.3 | 214.5 | 130.7 |
| Beryllium | 2.8 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 |
| Bismuth | 0.2 | 0.3 | 2.0 | 1.5 | 3.3 | 8.4 | 10.8 | 5.0 |
| Cadmium | 0.2 | 0.2 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.4 |
| Calcium | 36300 | 9903.5 | 1201.4 | 7579 | 89.7 | 95.9 | 93.2 | 87.5 |
| Cobalt | 25 | 7.0 | 8.2 | 8.5 | 1.0 | 1.1 | 2.3 | 1.7 |
| Copper | 55 | 17.9 | 134.5 | 40.6 | 52.8 | 27.7 | 121.2 | 93.5 |
| Gallium | 15 | 4.3 | 4.2 | 4.2 | 4.9 | 5.7 | 5.8 | 4.7 |
| Gold | 0.0044 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.2 | 0.07 | 0.37 | 0.39 |
| Iron | 50000 | 23326.5 | 30643.6 | 29238.2 | 16411.0 | 15543.5 | 26497.8 | 17736.1 |
| Lead | 13 | 4.3 | 69.5 | 17.4 | 208.0 | 292.5 | 335.3 | 165.1 |
| Magnesium | 20900 | 4866.3 | 553.5 | 2794.0 | 80.5 | 90.6 | 88.8 | 82.6 |
| Manganese | 950 | 552.4 | 122.8 | 411.2 | 13.7 | 18.6 | 20.4 | 18.1 |
| Mercury | 0.08 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.9 | 2.8 | 2.6 | 1.5 |
| Molybdenum | 1.5 | 0.8 | 3.9 | 2.5 | 9.3 | 6.4 | 9.8 | 12.6 |
| Nickel | 75 | 3.1 | 5.6 | 5.7 | 3.0 | 3.5 | 6.6 | 6.6 |
| Phosphorous | 1050 | 679.9 | 184.4 | 519.4 | 51.0 | 29.6 | 25.5 | 16.8 |
| Potassium | 25900 | 1580.3 | 1449.3 | 1591.8 | 661.5 | 196.3 | 199.0 | 138.3 |
| Selenium | 0.05 | 0.3 | 1.4 | 1.5 | 3.1 | 0.7 | 4.5 | 1.2 |
| Silver | 0.07 | 0.1 | 0.9 | 0.4 | 2.5 | 5.4 | 15.6 | 10.2 |
| Sodium | 28300 | 505.8 | 145.1 | 346.9 | 113.5 | 90.4 | 89.5 | 80.9 |
| Strontium | 375 | 105.5 | 48.9 | 78.7 | 27.8 | 15.4 | 12.6 | 6.0 |
| Sulfur | 260 | 3311.5 | 19399.0 | 10842.0 | 2152.4 | 980.1 | 2388.0 | 1250.1 |
| Tellurium | 0.01 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | 1.2 | 0.5 | 6.7 | 1.4 |
| Thallium | 0.5 | 0.7 | 3.5 | 3.8 | 2.4 | 3.4 | 4.3 | 3.9 |
| Tungsten | 1.5 | 0.3 | 3.1 | 3.9 | 3.2 | 5.3 | 5.1 | 5.0 |
| Uranium | 1.8 | 1.0 | 2.7 | 3.4 | 2.4 | 3.0 | 4.0 | 3.9 |
| Vanadium | 135 | 35.2 | 11.0 | 22.4 | 5.9 | 6.6 | 4.9 | 2.9 |
| Zinc | 70 | 69.8 | 132.5 | 92.7 | 6.0 | 12.2 | 12.3 | 8.5 |

grey-shaded values indicate possible misleading info due to low population (N) or low extractions.
(B. Leach, J. Martínez, 2001)

| TEXTURA | | NOMBRE DE LA ROCA | EJEMPLO |
|-------------|---|-----------------------|---------------------|
| AFANITICA |  | volcánica | riolita |
| PORFIRITICA | MATRIZ > FENOS  | volcánica porfirítica | riolita porfirítica |
| | MATRIZ < FENOS  | pórfido volcánica | pórfido riolítico |
| FANERITICA |  | INTRUSIVO | GRANITO |

Cuadro N 1 : Nomenclatura de rocas porfiríticas

- **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1- **Hugo Candiotti & Tomás Guerrero(1997):** Descubrimiento y Geología del Yacimiento de Oro Diseminado Sipan-Cajamarca, IX Congreso Peruano de Geología
- 2- **Stephen J. Turner(1997):** The Yanacocha Epithermal Au Deposits, Northern Peru: High-Sulfidation Mineralization in a Flow Dome Setting, Thesis-Colorado School of Mines
- 3- **Alfredo Kithien Collado(1997):** La franja de Oro-Cobre del Norte del Perú, IX Congreso Peruano de Geología
- 4- **Andrés Quiroz(1997):** El Corredor Estructural Chicama-Yanacocha y su Importancia en la Metalogenia del Norte del Perú, IX Congreso Peruano de Geología
- 5- **William A. Rehrig, James J. Hardy (2001):** Structural Study of the Central Yanacocha District, Internal Report.
- 6- **Fred Breit(2001):** Structural Geology Interpretation of the Yanacocha District, Internal Memorandum
- 7- **Enrique Garay(1998):** Yacimientos de Au-Cu Tipo Ácido Sulfato, Seminario Prospección y Exploración de Yacimientos de Minerales, UNI
- 8- **Mark Goldie(2002):** Application of Resistivity Methods in Gold Exploration at Yanacocha, Internal Report
- 9- **GJ Corbert and T M Leach(1997):** South Pacific RIM Gold-Copper Systems, Short Course SEG
- 10- **Thomas Klein(2000):** Yanacocha Lithology and Gold Deposits, Internal Memory
- 11- **Bernardo Aznarán (2001):** Reporte Final del Proyecto Arnacocha, Memorando interno.
- 12- **Cesar C. Velazco(2002):** Modelamiento Geoquímico de Oro y Elementos Traza en el Proyecto Chaquicocha Sur, Informe de Ingeniería-UNI
- 13- **Jesús E. Amambal(2001):** Geología y Exploración del Proyecto Aurífero Epitermal Incapacha , Tesis-UNI
- 14- **Julia A. Jackson(1997):** Glossary of Geology, Fourth Edition

- 15- **Carlos Loayza T.(2002)**: *Geologic Study of Cerro Yanacocha Gold-Silver Deposit, Yanacocha Distric, Northern Peru, Master Thesis-University of Reno.*
- 16- **José Trujillo, Jorge Espinoza (2003)**: *Hornamo Dome Project, Geochemistry Study, Exploration Summary Report.*
- 17- **Donald C Noble (1990)**: *Cenozoic stratigraphy, magmatic activity, compressive deformation and Uplift in Northern Peru, publicacion de Geological Society of America.*
- 18- **Ian Trelor (2002)**: *Arnacocha, August 2002 Model Parameters, Internal Memo.*
- 19- *Departamento de Investigaciones Metalúrgicas MYSRL (2002): Column-Bottle Test – 6”@ N 3053, Memorando Interno.*
- 20- **William W. Atkinson, Jr (2003)**: *Evidencias Geológicas sobre Modos de Transporte y Deposición Hidrotermal del Oro y sus Aplicaciones a la Exploración, Seminario de Geoquímica de los Depósitos de Oro, UNC*
- 21- **Tony Longo(2001)**: *Distrital Este, Internal Memorandum*
- 22- **Humberto Chirif(2001)**: *Manual de Microscopía, UNI*