

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**



**“GEOLOGIA Y CATEGORIZACION DE RECURSOS GEOLOGICOS MINEROS  
DEL PROYECTO INVICTA – PROVINCIA DE HUAURA, LIMA”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEOLOGO**

**JOEL ROLANDO MEJIA AGUILAR**

**LIMA – PERU**

**2009**

# INDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**..... 1

**CAPITULO I: INTRODUCCION**

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO..... 4

1.2 METODOLOGIA

1.2.1 Recopilación, evaluación e interpretación de la información..... 5

1.2.1.1 Trabajos anteriores..... 5

1.2.1.2 Trabajos recientes..... 5

Geología de campo..... 5

Geoquímica..... 5

Geofísica..... 5

Perforación diamantina..... 5

1.2.2 Análisis estadístico y geoestadístico de datos..... 5

1.2.2.1 Data original..... 5

1.2.2.2 Data compositada..... 6

Total de datos..... 6

Datos dentro del sólido..... 6

1.2.3 Interpretación geológica y modelamiento 3D..... 6

1.2.3.1 Secciones geológicas verticales..... 6

1.2.3.2 Secciones geológicas horizontales..... 7

1.2.3.3 Creación y evaluación del sólido..... 7

1.2.3.4 Modelo de bloques..... 7

1.2.4 Interpolación de leyes y evaluación..... 7

1.2.5 Categorización de recursos y evaluación..... 7

1.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DEL AREA DEL PROYECTO..... 8

1.4 ACCESO, CLIMA Y FISIOGRAFIA..... 9

1.5	INFRAESTRUCTURA	
1.5.1	Fuentes de agua.....	11
1.5.2	Fuentes de energía eléctrica.....	13
1.6	ANTECEDENTES HISTORICOS	
1.6.1	Historia.....	14
1.6.2	Trabajos realizados por Pangea (1996-1998).....	14
1.6.3	Trabajos realizados por Barrick (2000).....	15

## **CAPITULO II: GEOLOGIA**

2.1	GEOLOGIA REGIONAL	
2.1.1	Geomorfología.....	19
2.1.2	Estratigrafía.....	20
2.1.2.1	Grupo Goyllarisquizga.....	21
	Formación Oyón (Ki-o).....	21
	Formación Chimú (Ki-chim).....	21
	Formación Santa (Ki-sa).....	21
	Formación Carhuaz (Ki-ca).....	22
	Formación Farrat (Ki-t).....	22
2.1.2.2	Formación Chulec (Ki-ch).....	22
2.1.2.3	Formación Pariatambo (Ki-pt).....	22
2.1.2.4	Formación Jumasha (Ks-j).....	22
2.1.2.5	Formación Casapalca (Kti-ca).....	23
2.1.2.6	Volcánicos Callipuy (Kti-vca) .....	23
2.1.3	Rocas intrusivas.....	24
2.1.4	Geología estructural.....	25
2.1.4.1	Fallas de cabalgamiento o sobrecurrimiento.....	25
2.1.4.2	Fallas gravitacionales.....	26
2.1.4.3	Fallas de cizallamiento.....	26
2.1.5	Evolución tectónica.....	27
2.2	GEOLOGIA LOCAL	
2.2.1	Rocas volcánicas.....	29
2.2.2	Rocas intrusivas.....	29

2.2.3 Geología estructural.....	30
2.2.4 Alteración.....	32
2.2.5 Mineralización.....	34
2.2.5.1 Descripción macroscópica de la mineralización.....	34
2.2.5.2 Descripción microscópica de la mineralización.....	37
Asociaciones mineralógicas.....	40
Asociaciones del oro.....	44
Asociaciones de la plata.....	45
2.2.5.3 Secuencia de mineralización.....	45

### **CAPITULO III: TRABAJOS DE EXPLORACION**

#### **3.1 GEOQUIMICA**

3.1.1 Trabajos anteriores.....	49
3.1.2 Trabajos recientes.....	49
3.1.3 Tratamiento estadístico de la información.....	51
3.1.3.1 Muestreo superficial.....	51
3.1.3.2 Muestreo subterráneo.....	51
3.1.4 Correlaciones geoquímicas.....	51
3.1.4.1 Muestreo superficial.....	52
3.1.4.2 Muestreo subterráneo.....	53
3.1.5 Resultados y conclusiones del trabajo geoquímico.....	53

#### **3.2 GEOFISICA**

3.2.1 Trabajos anteriores.....	54
3.2.2 Trabajos recientes.....	54
3.2.3 Interpretación de la información.....	56
3.2.3.1 Magnetometría (MAG).....	56
3.2.3.2 Polarización Inducida / Resistividad (IP/RES).....	57
3.2.3.3 Líneas geofísicas.....	58
3.2.4 Interpretación final.....	60

#### **3.3 PERFORACION DIAMANTINA**

3.3.1 Trabajos anteriores.....	61
3.3.2 Trabajos recientes.....	62

3.3.3 Muestreo de los cores de perforación.....	63
3.3.4 Seguro de calidad / Control de calidad (QA/QC).....	64
3.3.4.1 Conceptos.....	64
3.3.4.2 Análisis de estándares.....	65
3.3.4.3 Análisis de blancos.....	66
3.3.4.4 Análisis de duplicados.....	67
Para la dispersión.....	67
Para la precisión.....	67
3.3.4.5 Resultados del QA/QC.....	69
Estándares.....	69
Blancos.....	70
Duplicados.....	70
3.3.4.6 Conclusiones del QA/QC.....	71
3.3.5 Procesamiento e interpretación de la información.....	72
3.3.5.1 Tabular.....	72
3.3.5.2 Gráfica.....	72

## **CAPITULO IV: MODELAMIENTO GEOLOGICO Y ECONOMICO DEL AREA**

4.1 INTRODUCCION.....	74
4.2 PREPARACION DE LA BASE DE DATOS.....	75
4.3 IMPORTACION DE LA BASE DE DATOS AL PROGRAMA Y EVALUACION.....	75
4.4 ESTADISTICAS DEL MUESTREO DE CORES	
4.4.1 Para el oro.....	76
4.4.2 Para la plata.....	76
4.4.3 Para el cobre.....	77
4.4.4 Para el plomo.....	77
4.4.5 Para el zinc.....	78
4.5 ANALISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS COMPOSITADOS (EDA)	
4.5.1 Longitud del compósito.....	79
4.5.1.1 Conceptos.....	79

4.5.1.2	Determinación de la longitud compósito.....	79
4.5.2	Histogramas y curvas de probabilidades.....	80
4.5.3	Boxplots.....	81
4.5.4	Contact profile.....	82
<b>4.6</b>	<b>PREPARACION Y CREACION DEL SÓLIDO DEL CUERPO MINERALIZADO</b>	
4.6.1	Criterios para el modelamiento.....	83
4.6.2	Preparación de secciones en el software.....	84
4.6.2.1	Verticales.....	84
4.6.2.2	Horizontales.....	84
4.6.3	Creación y evaluación del sólido de la veta Atenea.....	85
<b>4.7</b>	<b>MODELO DE BLOQUES</b>	
4.7.1	Conceptos.....	86
4.7.2	Creación y evaluación del modelo.....	86
<b>4.8</b>	<b>ESTIMACION DE RECURSOS GEOLOGICOS MINEROS</b>	
4.8.1	Definición de recurso geológico.....	88
4.8.2	Variografía.....	88
4.8.2.1	Conceptos.....	88
4.8.2.2	Variogramas del proyecto.....	88
	Para la pepa.....	89
	Para los alcances.....	90
4.8.3	Plan de interpolación.....	92
4.8.3.1	Kriging ordinario (OK).....	92
4.8.3.2	Inverso de la distancia (IDW).....	92
4.8.3.3	Vecino más cercano (NN).....	93
4.8.4	Evaluación de la interpolación (bloques versus compósitos).....	93
4.8.4.1	Revisión visual de los bloques estimados.....	93
4.8.4.2	Histogramas y curvas de probabilidades.....	94
4.8.4.3	Boxplots.....	94
4.8.4.4	Swathplots.....	95
<b>4.9</b>	<b>CATEGORIZACION DE RECURSOS GEOLOGICOS MINEROS</b>	
4.9.1	Método del elipsoide de búsqueda.....	97
4.9.2	Categorización de la estimación.....	98

4.9.2.1 Para el Kriging ordinario (OK).....	98
4.9.2.2 Para el Inverso de la distancia (IDW).....	98
4.9.3 Evaluación de la categorización.....	99
4.9.3.1 Revisión visual de bloques en secciones verticales y horizontales.....	99
4.9.3.2 Histogramas y curvas de probabilidades.....	100
4.9.3.3 Boxplots.....	100
4.9.3.4 Swathsplots.....	101
4.9.4 Inventario final de recursos.....	102
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>106</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>108</b>
<b>APENDICES</b>	
III – 1 Planos geológicos con ploteo de leyes.....	110
III – 2 Correlaciones geoquímicas.....	117
III – 3 Planos y secciones geofísicas interpretadas.....	124
III – 4 Gráficos de control de calidad.....	129
III – 5 Fotos de secciones pulidas y descripciones.....	133
III – 6 Fotos de muestras de mano y cores.....	141
IV – 1 Gráficos EDA.....	145

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 01: Etapas en el desarrollo del trabajo.....	4
Figura 02: Ubicación del proyecto Invicta en el Perú.....	8
Figura 03: Concesiones mineras que pertenecen al proyecto.....	9
Figura 04: Ruta de acceso al área de Invicta.....	10
Figura 05: Colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana.....	17
Figura 06: La orogenia andina.....	18
Figura 07: Mapa de unidades geomorfológicas del Perú.....	19
Figura 08: Plano geológico regional.....	20
Figura 09: Columna estratigráfica regional de Invicta.....	24
Figura 10: Fallas de alcance regional en el área de influencia.....	27
Figura 11: Mapa metalogénico del Perú.....	28
Figura 12: Plano geológico local del área Invicta.....	30
Figura 13: Estructura interna de sistemas mineralizados filonianos en jogs extensionales.....	31
Figura 14: Interpretación estructural de la mineralización económica en Invicta.....	31
Figura 15: Plano geológico con ploteo de leyes Au de la zona Atenea.....	50
Figura 16: Muestreo subterráneo con ploteo de leyes Au.....	50
Figura 17: Gráfico de correlaciones Au versus Ag de muestras superficiales.....	52
Figura 18: Gráfico de correlaciones Au versus Ag de muestras subterráneas.....	53
Figura 19: Malla geofísica para los trabajos realizados por Val D'or Geofísica Perú.....	55
Figura 20: Malla geofísica para los trabajos realizados por Geofísica Consultores.....	55
Figura 21: Plano de contornos del campo total magnético por Geofísica Consultores....	57
Figura 22: Plano de interpretación geofísica.....	58
Figura 23: Plano de contornos de Cargabilidad.....	59
Figura 24: Plano de contornos de Resistividad.....	59
Figura 25: Plano de correlación entre las estructuras geofísicas y las vetas mineralizadas.....	60
Figura 26: Ubicación de sondajes ejecutados en la zona Atenea.....	64
Figura 27: Gráfico de leyes Au procedente de muestras estándar reportadas.....	65
Figura 28: Gráfico de leyes Au procedente de muestras estándar reportadas.....	66
Figura 29: Gráfico de leyes Au de muestras blancos reportadas por el laboratorio.....	66
Figura 30: Gráfico de dispersión para el oro.....	67



Figura 31: Gráfico de dispersión para la plata.....	68
Figura 32: Gráfico de precisión o del error relativo acumulado para el oro.....	68
Figura 33: Gráfico de precisión o del error relativo acumulado para la plata.....	69
Figura 34: Perfil longitudinal de la veta Atenea con áreas isovalóricas por Au.....	73
Figura 35: Interpretación geológica y mineralógica de la sección ATE – 13NW.....	73
Figura 36: Gráfico de frecuencia acumulada para el oro.....	76
Figura 37: Gráfico de frecuencia acumulada para la plata.....	76
Figura 38: Gráfico de frecuencia acumulada para el cobre.....	77
Figura 39: Gráfico de frecuencia acumulada para el plomo.....	77
Figura 40: Gráfico de frecuencia acumulada para el zinc.....	78
Figura 41: Histograma para tramos dentro de la veta Atenea.....	79
Figura 42: Histograma para tramos totales muestreados.....	79
Figura 43: Histograma y curva de probabilidad para el oro .....	80
Figura 44: Gráfico boxplot para los dominios de la data total compositada a 1 m.....	81
Figura 45: Gráfico boxplot de la data compositada a 1 m del sólido de la veta Atenea....	82
Figura 46: Contactplot para la veta Atenea y la roca 10.....	83
Figura 47: Vista isométrica de las secciones horizontales .....	84
Figura 48: Vista isométrica del sólido generado para la veta Atenea.....	85
Figura 49: Modelo de bloques generado para la veta Atenea.....	86
Figura 50: Nivel 3400, modelo de bloques que rellena la wireframe de la veta Atenea...	87
Figura 51: Vista en sección vertical del modelo de bloques que rellena la wireframe ....	87
Figura 52: Varhol promedio de los variogramas determinados para el oro.....	89
Figura 53: Ajuste a un modelo esférico de 2 estructuras del variograma para el oro.....	91
Figura 54: Vista isométrica de la distribución de leyes Au estimadas por el método del OK.....	93
Figura 55: Vista de planta de la distribución de las leyes Au estimadas por OK.....	93
Figura 56: Histogramas y curvas de probabilidades de las leyes estimadas para el oro..	94
Figura 57: Gráfico boxplot de las leyes estimadas por los 3 métodos y los compósitos usados.....	94
Figura 58: Gráficos swaths para la interpolación por OK.....	95
Figura 59: Gráficos swaths para la interpolación por IDW.....	96
Figura 60: Primer elipsoide de búsqueda usada en la estimación y categorización.....	97
Figura 61: Vista isométrica de la clasificación de recursos .....	99
Figura 62: Vista de sección de la categorización de recursos .....	99
Figura 63: Histogramas y curvas de probabilidades de los recursos medidos e indicados de la estimación realizada por el método de OK.....	100

Figura 64: Gráfico boxplot de los recursos medidos e indicados estimados por OK y IDW versus los recursos del NN y las estadísticas de los compósitos.....	100
Figura 65: Gráficos swaths para los recursos medidos con leyes Au interpoladas por OK.....	101
Figura 66: Gráficos swaths para los recursos indicados con leyes Au interpoladas por OK.....	102

## LISTADO DE FOTOS

Foto 01: Campamento Invicta.....	10
Foto 02: Laguna Shocla del sistema Lagunas cercanas – Tunan Huaylana .....	12
Foto 03: Panorámica de la laguna Quis Quis .....	12
Foto 04: Línea interconectada nacional de alta tensión de 220 kv .....	13
Foto 05: Línea de baja tensión de 22 kv .....	13
Foto 06: Fenocristales de PGLs alteradas a ser.....	32
Foto 07: Alteración argílica en las vetas mineralizadas de Invicta .....	33
Foto 08: Muestra de mano de la veta Atenea.....	33
Foto 09: Muestra de mano de la veta Atenea.....	34
Foto 10: Muestra de core de sulfuros masivos.....	35
Foto 11: Muestra de de core del sondaje 56 de Atenea.....	35
Foto 12: Muestra de mano de la veta Atenea .....	36
Foto 13: Sección pulida con relictos de py.....	36
Foto 14: Sección pulida con granos de Au.....	37
Foto 15: Sección pulida con granos de py, ef, cp y gn.....	38
Foto 16: Sección pulida con cristales de mt y granos de cp.....	38
Foto 17: Sección pulida con presencia de cp.....	39
Foto 18: Sección pulida con ef y cp.....	39
Foto 19: Sección pulida con cristales de py y ef.....	40
Foto 20: Sección pulida con cristales de py y ef con exsolución de cp.....	41
Foto 21: Sección pulida con gn y Au.....	41
Foto 22: Sección pulida con grano de py alterada por hm-LIMs.....	42
Foto 23: Sección pulida con cristales aciculares de esp.....	42
Foto 24: Sección pulida con cp en fracturas de la ganga .....	43
Foto 25: Sección pulida con py diseminada y relictos de cp.....	43
Foto 26: Sección pulida con granos de Au.....	44
Foto 27: Sección pulida con un grano de Au libre .....	44
Foto 28: Sección pulida con un grano de Ag.....	45
Foto 29: Core de la veta Atenea .....	46
Foto 30: Afloramiento de la veta Atenea .....	46
Foto 31: Brecha andesítica con relleno de sulfuros en las fracturas.....	47
Foto 32: Core de la veta Atenea.....	47
Foto 33: Concentración del Au por procesos supérgenos.....	48
Foto 34: Caja portatestigo con cores del sondaje AE-DDH-06-80.....	64

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 01: Distancias y tiempos para acceder al área de estudio.....	9
Tabla 02: Resumen de las actividades realizadas.....	15
Tabla 03: Estadística del muestreo superficial realizado en la zona de Atenea.....	51
Tabla 04: Estadística del muestreo subterráneo realizado en la veta Atenea.....	51
Tabla 05: Tabla resumen mostrando los coeficientes de correlación entre Au, Ag, Cu, Pb y Zn en la zona Atenea a partir del muestreo superficial.....	52
Tabla 06: Coeficientes de correlación entre Au, Ag, Cu, Pb y Zn en la veta Atenea a partir del muestreo subterráneo realizado al nivel 3400.....	53
Tabla 07: Leyes y rangos de valores permitidos por elemento.....	65
Tabla 08: Límites mínimos y máximos de detección para cada elemento.....	66
Tabla 09: Código numérico para el tratamiento de la información por dominio.....	78
Tabla 10: Resumen estadístico para los tramos de veta y para el total muestreado (todo el logueo).....	80
Tabla 11: Leyes de corte para cada elemento y su nivel de confianza.....	81
Tabla 12: Agrupaciones de dominios por su comportamiento estadístico.....	82
Tabla 13: Parámetros de estimación del variograma promedio para determinar la pepa del varhol para el oro.....	89
Tabla 14: Parámetros de estimación para determinar los ejes de máxima anisotropía, esto para todos los elementos y la densidad.....	90
Tabla 15: Ángulos locales como universales, pepa y alcances para los 3 ejes principales del elipsoide para la estimación de valores de oro.....	90
Tabla 16: Ángulos locales como universales, pepa y alcances para los 3 ejes principales del elipsoide para los demás elementos.....	91
Tabla 17: Inventario final de recursos para la veta Atenea.....	102

## DEDICATORIA

*A mis padres Graciela y Rolando, por todo su amor, por creer en mi, por estar siempre conmigo, por el sacrificio que hicieron para darme un futuro mejor; estoy orgulloso de ustedes.*

*A mis hermanos Janet, Kety y Gino, por los años compartidos, por hacerme sentir querido, por las alegrías vividas; sus éxitos son un estímulo para mí.*

*A mi esposa Mariluz, mi mejor amiga, mi compañera para toda la vida; gracias por todo mi reina.*

*A mi chiquitin Joecito; hijo en unos años leerás estas líneas y quiero que sepas que desde el día en que Dios nos bendijo con tu llegada te convertiste en lo más importante en mi vida, cada día trataré de ser un mejor padre para ti. Te amo hijo mío.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Ing. Luis Vela gerente de exploraciones de Andean Explorations S.A.C., por la oportunidad y las facilidades brindadas para la realización de la tesis; gracias jefe.*

*Al Ing. Eduardo Medina por las enseñanzas y consejos en nuestras largas caminatas de campo; gracias amigo.*

*A mis profesores universitarios, la Ing. Nora Revollé, el Ing. Sanz, Dr. Chirif y Dr. Carrascal, gracias por las enseñanzas y por sus consejos de vida que han calado hondo en mi.*

*Finalmente quisiera hacer una mención especial al Ing. Victor Sanz Parra, maestro muchas gracias por el apoyo en el desarrollo del presente trabajo, a pesar de sus múltiples obligaciones siempre se dio un tiempo para asesorarme tanto en mi vida universitaria como profesional. Si hubieran más personas como usted este mundo sería un lugar mejor.*

## **RESUMEN**

---

El objetivo del trabajo es presentarlo como tesis para obtener el grado profesional de Ingeniero Geólogo en la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El trabajo se ha desarrollado en dos etapas, la primera etapa de campo – gabinete y la segunda etapa en la que el uso de los softwares mineros es importante para la generación del reporte de recursos.

El proyecto Invicta es un yacimiento polimetálico de Au, Ag, Cu, Pb y Zn ubicado en la parte central y occidental del territorio peruano, en los límites distritales de Santa Cruz de Leoncio Prado y Paccho, provincia de Huaura, departamento de Lima; a 250 km al NE de la ciudad de Lima, (4 horas de camino, 71% asfaltado). El área cubre una extensión de 41,000 has.

Entre los años 1996 – 1998 la compañía Pangea realizó trabajos geoquímicos, geofísicos y de perforación diamantina. Desde el 2006 el área viene siendo trabajada por la compañía Andean Explorations S.A.C., habiendo realizado trabajos de geología de campo, geoquímica, 105 km de líneas geofísicas con estudios de Magnetometría, Cargabilidad y Resistividad, 14282.19 m de perforación diamantina y 1600 m de labores subterráneas. Los trabajos de exploración han identificado 7 zonas mineralizadas: Atenea, Pucamina, Ydalia, Dany, Zona 3, Zona 5 y Zona 7; solo en Atenea se han ejecutado labores subterráneas.

En el área, la mineralización esta asociada a intrusiones de pórfidos dioríticos del Terciario inferior a medio, que se emplazan en el contacto del volcánico Calipuy y el Batolito de la Costa; esta mineralización es del tipo epitermal - mesotermal relacionada a un ambiente epitermal de baja sulfuración. El ambiente epitermal se evidencia por la presencia de minerales como el cuarzo, galena y esfalerita, mientras en el mesotermal se presentan el cuarzo, la pirita y calcopirita; es frecuente encontrar una superposición de ambos ambientes.

El control de calidad realizado al muestreo de cores resultó positivo pues se pudo asegurar la calidad y el nivel de confianza de la información que se usó para el modelamiento, estimación y categorización de los recursos geológicos mineros.

Solo se ha realizado un modelamiento tridimensional de la veta Atenea, el sólido generado a partir de secciones verticales y horizontales es el resultado del análisis e interpretación de la

información superficial, subterránea, geoquímica, geofísica y perforación diamantina; este sólido se ha rellenado con un modelo de bloques compuesto de celdas de 5 m de lado en sus tres ejes.

Se compositó la base de datos a 1 m, el análisis exploratorio de los datos (EDA) compositados detectó la presencia de valores extremos en todos los elementos de interés, los variogramas experimentales se han calculado con las leyes cortadas para cada elemento según los resultados del EDA. Un modelo esférico de dos estructuras se ha empleado para el modelamiento de los variogramas experimentales.

La interpolación se ha realizado con tres elipsoides de búsqueda que tiene como orientación el azimut y buzamiento promedio de la veta Atenea, sus dimensiones son los alcances determinados para cada elemento por los variogramas teóricos. Las leyes de los bloques han sido estimadas por los métodos del Kriging ordinario (OK), Inverso de la distancia (IDW) y el Vecino más cercano (NN), los dos primeros como interpoladores y el último como método de evaluación de los primeros; para la estimación se ha hecho uso de la data usada para los cálculos variográficos, es decir sin considerar los valores extremos. Para la categorización de recursos se ha empleado el método del elipsoide de búsqueda.

La evaluación realizada a la estimación y categorización de recursos geológicos mineros es positiva, tanto el OK como el IDW reflejan las estadísticas, distribución de leyes y tendencias locales reportadas por los compósitos y la interpolación por NN. Para la zona Atenea en promedio se reportan recursos medidos e indicados de 6.8 millones de TM con una ley media de 1.01 Au gr/TM, 10.70 Ag gr/TM, 0.38% Cu, 0.25% Pb y 0.32% Zn.

La calidad de los métodos usados para la estimación y categorización de recursos en Atenea se conocerán en la etapa de explotación de Invicta.



## **Capítulo I**

# **INTRODUCCION**

Las mineras juniors son pequeñas compañías que identifican áreas con potencial minero alrededor del mundo, al hacerlo, salen a promover el proyecto y buscar capitales en las bolsas de valores como en las de Canadá, Inglaterra y Australia. Al conseguir financiamiento empiezan a explorar y si hallan recursos mineros venden el proyecto a una minera grande. Según las estadísticas, en el mundo solo el 10% de las exploraciones realizadas por las juniors acaban en un proyecto minero.

Entre los años 2005 – 2008 se dio el boom de la exploración minera en el Perú, alrededor de 150 empresas mineras juniors entre chilenas, chinas, hindúes, estadounidenses, canadienses, brasileras y australianas han realizado trabajos de exploración en diversos prospectos y proyectos en todo el territorio peruano. Esta etapa permitió a los geólogos peruanos familiarizarse con las nuevas tendencias e innovaciones tecnológicas en la prospección de yacimientos metálicos y no metálicos.

Como consecuencia de la crisis financiera mundial y la caída en el precio de los metales, en el 2009 se ha producido una reducción de casi el 50% de la inversión en exploraciones realizadas el 2007 (US\$ 550 millones de dólares) por parte de las compañías mineras; el impacto puede ser grave para la economía y minería peruana pues la minería requiere mantener el ritmo de exploraciones para no bajar su calidad y volumen de producción en los siguientes años, de ello dependerán también que los ingresos por canon y regalías que tienen las regiones se mantengan en los siguientes años.

Andean Explorations S.A.C. es la compañía junior canadiense que es propietaria en la actualidad del Proyecto Invicta, este es un proyecto polimetálico de Au, Ag, Cu, Pb y Zn que ha despertado el interés de numerosas empresas mineras, en la actualidad se encuentran terminados los estudios de factibilidad y culminando los estudios de impacto ambiental. Se espera que en los próximos años, la mina Invicta empiece ya a operar con una producción diaria de 3000 toneladas, la coyuntura actual ha retrasado el inicio de los estudios de ingeniería necesarios para la puesta en marcha de la mina.

## 1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El principal objetivo del trabajo es presentarlo como tesis para obtener el grado profesional de Ingeniero Geólogo en la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Como segundo objetivo, dar a conocer la geología y el potencial geo - económico de la zona Atenea en el Proyecto Invicta.

## 1.2 METODOLOGIA

El trabajo se ha desarrollado en dos etapas:

**Campo – gabinete:** en donde la opinión de los geólogos que más conocen el yacimiento es fundamental para la interpretación geológica. En esta etapa se perfila la viabilidad económica del proyecto.

**Modelo geo – económico mediante el uso de softwares:** etapa en la que el autor de la presente tesis hace uso de la información obtenida en la primera etapa para la elaboración del modelo geo – económico del yacimiento. (Figura N° 01)

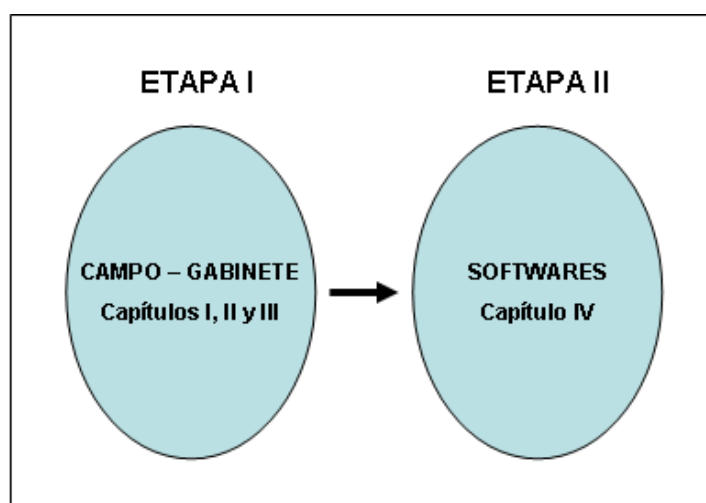


Figura 01: Etapas en el desarrollo del trabajo.

## **1.2.1 Recopilación, evaluación e interpretación de la información**

### **1.2.1.1 Trabajos anteriores**

La información proporcionada por Pangea fue evaluada antes de ser usada; esta consistió de planos geológicos del área, muestreo de afloramientos, canales y trincheras, estudios geofísicos de Magnetometría, Cargabilidad / Resistividad y perforaciones diamantinas.

### **1.2.1.2 Trabajos recientes**

Las actividades exploratorias realizadas por Andean Explorations fueron:

- **Geología de campo:** mapeos geológicos de detalle del área Invicta a escalas 1/250 y 1/500, mapeo geológico subterráneo de la labor 3400 a escala 1/250. El INGEMMET ha realizado estudios PIMA y de secciones pulidas en muestras tomadas en la estructura Atenea.
- **Geoquímica:** muestreo de afloramientos, canales, trincheras y labores subterráneas; las muestras fueron mandadas a analizar a los laboratorios Act Labs Perú y CIMM, en total se han tomado 840 muestras de superficie y 860 muestras subterráneas.
- **Geofísica:** 26 líneas de Magnetometría que hacen un total de 54 km y 19 líneas de Polarización Inducida / Resistividad con un total de 42.5 km; la orientación de las líneas fueron NE-SW y espaciadas nominalmente cada 100 m. Con la interpretación geoquímica y geofísica se elabora un programa de perforación.
- **Perforación diamantina:** 52 sondajes diamantinos que totalizan 14282.19 m de perforación; la data consta de las coordenadas UTM del collar, azimuth e inclinación de cada sondaje, leyes de muestreo, del logueo tenemos la litología, alteración y mineralización. Las muestras son de tamaño variable y están en función a los tramos mineralizados; las densidades han sido tomadas principalmente en los tramos mineralizados.

## **1.2.2 Análisis estadístico y geoestadístico de datos**

### **1.2.2.1 Data original**

Con la información sin compositar se realiza un análisis estadístico básico con el fin de ir identificando características y particularidades en los datos, los gráficos analizados han sido

los histogramas, curvas de probabilidades y correlaciones para cada elemento y por dominio.

### **1.2.2.2 Data compositada**

#### **Total de datos**

Se realiza un análisis estadístico para identificar características y particularidades de los compósitos, esto contribuye de manera positiva en la toma de decisiones.

Histogramas y curvas de probabilidades: por dominio, se van identificando la distribución de leyes y valores extremos para cada elemento.

Boxplots: en un solo gráfico se visualiza el comportamiento estadístico de los dominios involucrados para cada elemento.

Contacplots: compara el comportamiento de las leyes en las zonas de contacto entre dominios, permite decidir si se pueden compartir leyes o no al momento de la interpolación.

#### **Datos dentro del sólido**

Empleando como sustento el análisis del total de datos, se realiza otro análisis solo con los compósitos que están dentro del sólido. Para este análisis se considera a esta información como un solo dominio; histogramas, curvas de probabilidades, boxplots y contacplots son generados. En base a los resultados obtenidos, se decide realizar la variografía sin considerar los valores extremos de cada elemento.

Variografía: se elaboran variogramas experimentales por elemento a partir de la data con leyes cortadas del dominio mineralizado, para el cálculo de la pepa se calcula el variograma promedio de los variogramas de cada sondaje; el modelamiento variográfico se ha realizado ajustando los experimentales a un modelo esférico de dos estructuras.

## **1.2.3 Interpretación geológica y modelamiento 3D**

### **1.2.3.1 Secciones geológicas verticales**

Secciones geológicas verticales separadas cada 25 m y transversales a la veta Atenea, para la interpretación se ha hecho uso de la información del logueo, leyes de cores, mapeos geológicos, muestreo de canales y trincheras. Se ha delimitado la veta, ramales y los dominios litológicos.

### **1.2.3.2 Secciones geológicas horizontales**

Secciones geológicas horizontales separadas cada 10 m, la data empleada para la interpretación es la misma de las secciones verticales adicionando la interpretación de estas.

### **1.2.3.3 Creación y evaluación del sólido**

Se crea el sólido de la veta Atenea a partir de las secciones geológicas horizontales. La evaluación se realiza en vistas verticales, horizontales y mediante la verificación de las intersecciones entre el sólido con los sondajes.

### **1.2.3.4 Modelo de bloques**

Las dimensiones de los bloques son de 5 m x 5 m x 5 m, cada bloque contiene información geológica del dominio al que pertenecen.

## **1.2.4 Interpolación de leyes y evaluación**

Se emplearon los métodos de Kriging ordinario (OK), Inverso de la distancia (IDW) y el Vecino más cercano (NN), los dos primeros como estimadores, el último a manera de evaluación de los primeros; la estimación se realizó con las leyes cortadas. El proceso de interpolación se realizó en tres etapas, la primera con los alcances variográficos, la segunda con los alcances del primero multiplicados por 1.5 y la tercera con los alcances variográficos del primero multiplicados por 2. Las leyes estimadas fueron asignadas al modelo de bloques.

La evaluación se realiza mediante las estadísticas entre las leyes estimadas OK y IDW comparadas con los compósitos y las leyes estimadas por NN; también se emplean los gráficos swaths.

**Swathplots:** gráfica las tendencias locales por sección o planta detectadas por los compósitos y el NN y las compara con la distribución de leyes estimadas por OK y IDW; la interpolación debe verificar estas tendencias.

## **1.2.5 Categorización de recursos y evaluación**

La categorización de recursos se basa en el nivel de confianza de la información, para el presente estudio se ha optado por emplear el método del elipsoide de búsqueda para la

clasificación. La evaluación se realiza para los recursos medidos e indicados a través de los gráficos de histogramas, boxplots y swathsplots.

### **1.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

El área de Invicta está localizado en la parte central y occidental del territorio peruano, en los límites distritales de Santa Cruz de Leoncio Prado y Paccho, provincia de Huaura, departamento de Lima; a 250 km al NE de la ciudad de Lima.

El proyecto esta centrado por las coordenadas UTM: 280250 E, 8779950 N, a una altura que varía entre los 3200 y 3800 m.s.n.m. Localmente, la propiedad se encuentra entre los límites de las comunidades campesinas de Paran (distrito de Santa Cruz) y Collaray (distrito de Paccho). (Figura N° 02).



Figura 02: Ubicación del proyecto Invicta en el Perú.

El área la conforman 51 concesiones que cubren una extensión de 41,000 has, del total se ha explorado el 9% de la propiedad. (Figura N° 03).

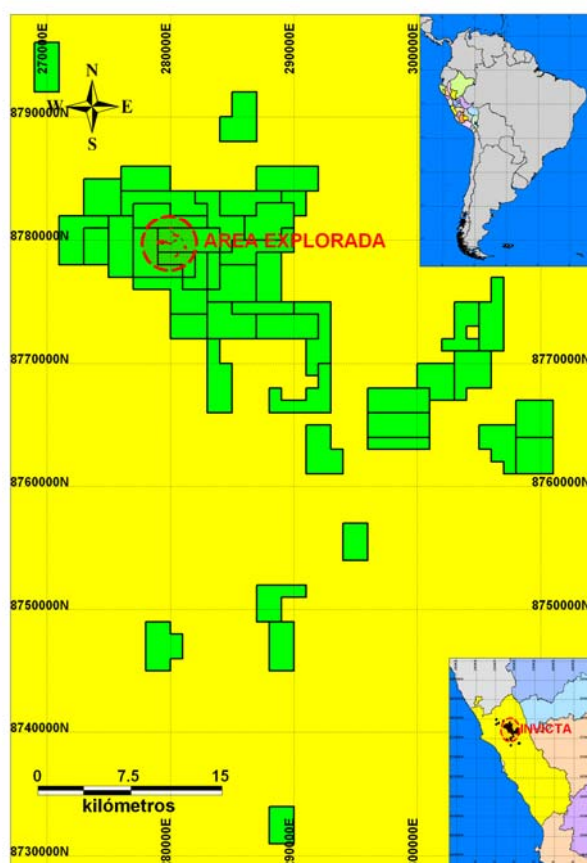


Figura 03: Concesiones mineras que pertenecen al proyecto.

#### 1.4 ACCESO, CLIMA Y FISIOGRAFIA

Invicta está localizada a 250 km al NE de la ciudad de Lima. El acceso es a través de la carretera panamericana norte desde Lima hasta la ciudad de Huaura en el km 153, luego se sigue un tramo de camino afirmado de 69 km hasta al pueblo de Huambo, después continúa un tramo de camino de herradura de 27 km hasta el campamento Invicta (Ver tabla 01). Una camioneta todo terreno permite el acceso a las áreas más importantes de la propiedad. (Figura N° 04).

TRAMO	Distancia (km)	Tiempo	Estado de la vía
Lima – Huaura	153	1 hora 45 minutos	asfaltada
Huaura – Sayán	69	1 hora 15 minutos	asfaltada / afirmada
Sayán – Invicta	27	45 minutos	afirmada
	<b>249</b>	<b>3 hora 45 minutos</b>	

Tabla 01: Distancias y tiempos para acceder al área de estudio.



Figura 04: Ruta de acceso al área de Invicta.

El clima es semi árido en la mayor parte del año, la temperatura varía entre los 34 °C en el verano y los 5 °C en el invierno, presencia de poca vegetación (mayormente pequeñas plantas y cactus); las épocas de lluvias son de diciembre a marzo con una precipitación anual promedio de 25 a 40 centímetros cúbicos. La topografía es accidentada con presencia de valles profundos en forma de V. (Foto N° 01).



Foto 01: Campamento Invicta, obsérvese la morfología típica de un clima semi árido y la topografía accidentada del lugar.



## **1.5 INFRAESTRUCTURA**

### **1.5.1 Fuentes de agua**

Las fuentes de agua en la región están restringidas a las disponibles en los ríos de valles profundos y a las acumulaciones superficiales de las altas cumbres, se encuentran asociadas a geoformas favorables y procesos erosivos glaciares, en lagunas y manantiales controlados por el fracturamiento de las zonas de descompresión de las rocas y descubiertos por la erosión fluvial regresiva.

El área Invicta no evidencia características favorables para el emplazamiento de embalses debido principalmente a la topografía que es muy abrupta, a las bajas precipitaciones del orden de los 250 ml/año y al rápido escurrimiento que no permiten un efecto de inercia en las crecidas, motivando que el agua producto de las precipitaciones escurra rápidamente hacia el río Huaura. En la zona tampoco hay evidencias de condiciones geológicas físicas que permitan albergar importantes depósitos de agua subterránea.

Se han reconocido tres sistemas de fuentes de agua de altura: Lagunas Cercanas -Tunan Huaylana al NE de Invicta y a una distancia entre 5 km y 20 km, sistema Mallay al Norte y sistema Quis Quis al Este; estos últimos equidistantes 38 km de Invicta en línea recta. En la zona Este se han reconocido seis fuentes, cinco de ellas lagunas y un manantial con potenciales mucho mayores hacia el Norte del orden de 33.5 lt/s en la laguna Quis Quis, 9.5 lt/s en la laguna Tupi, y 1.1 lt/s en Yuncalalu. La laguna Quis Quis no tiene dren de desfogue pero recibe agua de la laguna Quis Quis chica; en la actualidad sus aguas no están siendo usadas. El sistema Lagunas Cercanas - Tunan Huaylana tiene una potencial de 20 lt/s, compuesto por 15 lt/s de lagunas cercanas y aguas subterráneas asociadas y 5 lt/s de pequeños manantiales de Tunan Huaylana.

Teniendo en cuenta la seguridad en el abastecimiento de la demanda, las fuentes de agua pueden ser clasificadas por orden de seguridad en:

- Medianamente seguras: Lagunas Cercanas-Tunan Huaylana en altura. (Foto N° 02).
- Seguras: río Huaura y Picunche en valles y Quis Quis en alturas. (Foto N° 03).



Foto 02: Laguna Shocla del sistema Lagunas Cercanas – Tunan Huaylana (mirando al SW), caudal de 5 lt/s; a 10.5 km al NE de Invicta y a una altura de 4400 m.s.n.m.



Foto 03: Panorámica de la laguna Quis Quis, nótese la coloración oscura en la parte central que estaría relacionada a una buena profundidad, al Este de Invicta a 4500 m.s.n.m.

### **1.5.2 Fuentes de energía eléctrica**

A 75 km del área Invicta se encuentra pasando la línea interconectada nacional de alta tensión (Foto N° 04). Una línea eléctrica de baja tensión (22 kv) esta pasando por el pueblo de Sayán a 35 km del proyecto (Foto N° 05); Edelnor Perú actualmente esta preparando un estudio de factibilidad para abastecimiento de energía eléctrica para la futura mina.



Foto 04: Línea interconectada nacional de alta tensión de 220 kv que va desde Lima hasta Tumbes, pasa a 75 km al Oeste de Invicta.



Foto 05: Línea de baja tensión de 22 kv que pasa por el pueblo de Sayán y provee de energía eléctrica al valle.

## **1.6 ANTECEDENTES HISTORICOS**

### **1.6.1 Historia**

Las actividades mineras se remontan a la época de la conquista española, labores antiguas pueden ser observadas en varios sitios del área. Entre los años 1968-1969 se trabajaron dos galerías (de 39 m y 162 m) en la zona de la veta Atenea, se supone que las exploraciones estuvieron orientadas a la búsqueda de cobre, plata y oro; después estas actividades se paralizaron hasta el año 1990.

En 1990, Leopoldo Livschitz Arriaga realiza un denuncia de 900 has centrado en la veta Atenea. Livschitz hace un estudio geo – económico sobre el probable potencial aurífero de la propiedad; sus estudios tuvieron como sustento las muestras de superficie tomadas en la veta Atenea y las muestras subterráneas tomadas en las dos galerías realizadas en los años 68-69. Desde 1991 todas las actividades mineras fueron paralizadas, y en el año de 1994 la propiedad fue declarada abandonada por el Ministerio de Energía y Minas.

La compañía minera Pangea visita el área Invicta en 1994, y en enero de 1995, Pangea hace suyo el proyecto y comienza sus actividades exploratorias en 1996.

### **1.6.2 Trabajos realizados por Pangea (1996-1998)**

En julio de 1996, Pangea inicia un reconocimiento del área tomando muestras de trincheras en las zonas que evidenciaban mayor mineralización como son: Atenea, Pucamina, Zona 3, Dany, Zonas 5, 6 y 7; Pangea realiza un levantamiento topográfico y un mapeo de reconocimiento que cubrieron 12500 has centradas en la veta Atenea. Los análisis confirman la presencia de oro en la mayoría de estas zonas.

Desde el 25 de agosto de 1996 al 16 de septiembre de 1996 y del 13 de agosto de 1997 al 06 de septiembre de 1997, Val D'or Geofísica ejecuta 2 fases de estudios geofísicos en los que se realizan análisis de Polarización Inducida (IP) y Magnetometría a lo largo de líneas geofísicas pre establecidas. Entre los meses de septiembre y diciembre de 1996, se continúa con la toma de muestras de trincheras y se desarrolla la vía de acceso de la comunidad de Paran al campamento Invicta para iniciar con el programa de perforación diamantina. Durante los años 1997 y 1998 a la vez que se llevaba la campaña de perforación diamantina, se realizó un reconocimiento geológico de mayor detalle en los

sectores que hasta ese momento dieron los mejores resultados; estos trabajos consistieron en mapeos de detalle en las zonas de interés, análisis geoquímicos de sedimentos de quebradas, pruebas preliminares de recuperación metalúrgica y cálculos de recursos geológicos.

En la tabla 02 se presenta un resumen de los trabajos realizados por Pangea.

<b>Años</b>	<b>Área Cubierta</b>	<b>Trabajo realizado</b>	<b>Descripción</b>
1996 y 1998	Toda la propiedad	Reconocimiento geológico y mapeo de detalle	8,600 has
1996	Zona sur de la propiedad	Construcción de la vía de acceso a la propiedad	14 km
1996 y 1998	Denuncio de Victoria Uno	Trincheras	72 trincheras
1996	Denuncio de Victoria Uno	Muestreo de galerías	4 cross-Cuts (18 muestras)
1996 y 1997	Denuncio de Victoria Uno	Estudios geofísicos	13.9 y 32.2 km de Mag. y 10.7 y 37.2 km de IP
1997-1998	Denuncio de Victoria Uno	Taladros diamantinos	83 taladros cortos y 29 taladros profundos

Tabla 02: Resumen de las actividades realizadas.

### **1.6.3 Trabajos realizados por Barrick (2000)**

Barrick adquiere todos los proyectos de Pangea a nivel mundial, entre ellos el área de Invicta en el 2000. En septiembre del 2000, Francois Gaboury visita Invicta por 3 días y genera el reporte “The Victoria Project: Property Investigation Summary”. Gaboury, manifiesta que los modelos genéticos y estructurales que pudo observar en el área sugieren un mayor potencial de recursos que los calculados hasta el momento (1 millón de onzas de oro). En su opinión, dos o más estructuras del tipo de la veta Atenea pueden ser encontradas a menos de 1 km de las zonas de mineralización conocidas, con lo cual existe la posibilidad de incrementar en gran manera el contenido aurífero en el proyecto.

Manifiesta que las futuras campañas de exploración deberían estar centradas en la identificación de rasgos sutiles que permitan definir y delimitar mejor el modelo que se presenta en el área como son la presencia de estructuras escondidas bajo las coberturas cuaternarias, controles estructurales, brechas freatomagmáticas, identificación y clasificación de las zonas de alteración, zonas de stockworks, etc.

Gaboury piensa que aunque el ambiente geológico es muy interesante con respecto a la mineralización epitermal, la falta de alteración hidrotermal a gran escala sugiere que es poca la posibilidad de encontrar un depósito de las dimensiones que Barrick busca. El ambiente geológico que se observa en Invicta es similar al observado en los volcánicos Calipuy que afloran en el departamento de Ancash, complejos de domos y diatremas con pequeña o ninguna actividad hidrotermal; la mayoría de los ambientes de metales bases están dentro de esta parte de la estratigrafía, con un contenido significativo de oro pero a la fecha en ninguno se puede hablar de millones de onzas.

Gaboury manifiesta que lo máximo que se puede esperar en Invicta es 2 millones de onzas de oro y el costo probable de explotación sería del orden de los 230 dólares americanos la onza de oro, esto debido la falta de infraestructura en la zona; en consecuencia recomienda a Barrick evaluar la opción de vender el proyecto. El trato debería de incluir una cláusula de protección mediante la cual Barrick se protege en caso de que se realice un descubrimiento inesperado que incremente las dimensiones del proyecto.

## Capítulo II

# GEOLOGIA

La corteza terrestre se compone de fragmentos de distintos tamaños conocidos como placas tectónicas, estas originan una serie de movimientos internos de distinta intensidad que con el paso del tiempo han transformado la superficie al crear montañas, mesetas, llanuras, fallas, cambios en el nivel del mar y todo tipo de accidentes. (Figura N° 05).

La Cordillera de los Andes, parte integrante del ciclo alpino mundial, se ha formado en el límite entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana; se extiende en una franja angosta a lo largo de toda América del Sur para luego continuar en la América del Norte tomando el nombre de Montañas Rocosas. Los Andes Peruanos comprenden un conjunto de cordilleras emplazadas entre la fosa peruano - chilena y el llano amazónico. Toda la estratigrafía, estructuras, magmatismo, mineralización y sismicidad de la Cordillera de los Andes y del territorio peruano son directa ó indirectamente el resultado de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, a lo que se denomina “subducción andina” y que se tipifica como una cordillera periocéánica característica. (Palacios,1995)  
(Figura N° 06)



Figura 05: La orogenia andina es el resultado de la colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana.  
(Fuente: [http://globesuanzes.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://globesuanzes.blogspot.com/2009_06_01_archive.html))

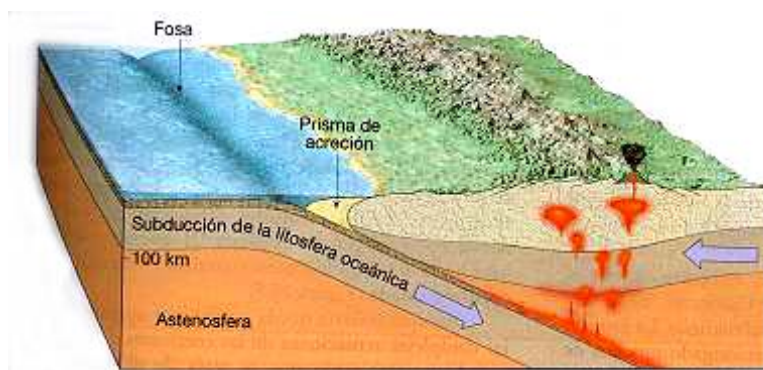


Figura 06: La ocurrencia de depósitos minerales en el Perú tiene relación directa con la orogenia andina que es el resultado de la colisión de placas. (Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/biografias/WegenerAlfred.htm>)

## 2.1 GEOLOGIA REGIONAL

El territorio peruano ha sufrido eventos tectónicos y pulsaciones magmáticas ocurridas en diferentes épocas. Entre las más importantes fases tenemos:

- Período Orogénico Peruano, durante el Cretáceo superior.
- Período Orogénico Incaico, en el Terciario inferior (Paleoceno al Oligoceno - Terciario inferior medio) que parece ser el más intenso.
- Período Orogénico Quechuno, durante el Plioceno (Terciario superior).

Las fases orogénicas Peruana e Incaica produjeron pliegues y fallas de compresión en la Cordillera Andina que varían entre estructuras abiertas, cerradas e invertidas; el plegamiento más intenso al parecer ocurrió a lo largo de una franja que aproximadamente coincide al Este con la actual divisoria continental y al Oeste con el margen oriental del Batolito de la Costa. En ambos lados de esta faja, el plegamiento se produce gradualmente en pliegues simples y abiertos hacia el lado oriental del Batolito, así como fallas y pliegues hacia el lado del Oriente peruano. Durante la fase Quechua ocurren pequeños plutones de composición intermedia que están a lo largo de la Cordillera Occidental y que están relacionados a las mayores mineralizaciones económicas que se conocen en los Andes Peruanos.

El marco geológico regional expuesto en el trabajo se basa en los cuadrángulos de Canta, Oyón y Barranca.



### 2.1.1 Geomorfología

La Cordillera de los Andes determina en el territorio peruano diferentes unidades geomorfológicas propias de un medio continental y un medio marino. Haciendo un corte transversal al alineamiento andino se pueden apreciar las siguientes unidades geomorfológicas: Cordillera de la Costa, Planicie Costera, Cordillera Occidental, Faja de Conos Volcánicos, Cuenca del Titicaca, Zona de depresiones interandinas, Cordillera Oriental, Cordillera Subandina y Llanura Amazónica. (Figura 07).

El área de Invicta se encuentra dentro de la unidad geomorfológica de la Cordillera Occidental, esta geoforma presenta una topografía abrupta, con altitudes que sobrepasan los 5000 m.s.n.m. y con nevados permanentes como ocurre en la Cordillera Blanca, Huayhuash, de la Viuda, entre otros. Está conformada por rocas volcano-sedimentarias de edad cretácica emplazadas longitudinalmente dentro de secuencias plegadas y falladas del Mesozoico e intruidas por los Batolitos de la Costa y la Cordillera Blanca. Las laderas occidentales presentan un relieve abrupto y han sido disectadas por ríos transversales que bajan de las altas cumbres hacia el Océano Pacífico, destacando entre ellos los ríos Rímac, Chillón, Huaraz; Huaura, Pativilca y Huarmey (Foto N° 07); mientras que en el lado oriental los valles son abiertos y han sido labrados por la erosión glacial formando valles en forma de U.



Figura 07: Mapa de unidades geomorfológicas del Perú (Fuente: INGEMMET).

### 2.1.2 Estratigrafía

En la región, las rocas más antiguas corresponden a secuencias sedimentarias y metamórficas plegadas del Cretáceo; estas infrayacen en discordancia a rocas volcánicas del Cenozoico que afloran ocupando la porción alta al norte y centro del Perú. (Figuras N° 08 y N° 09).

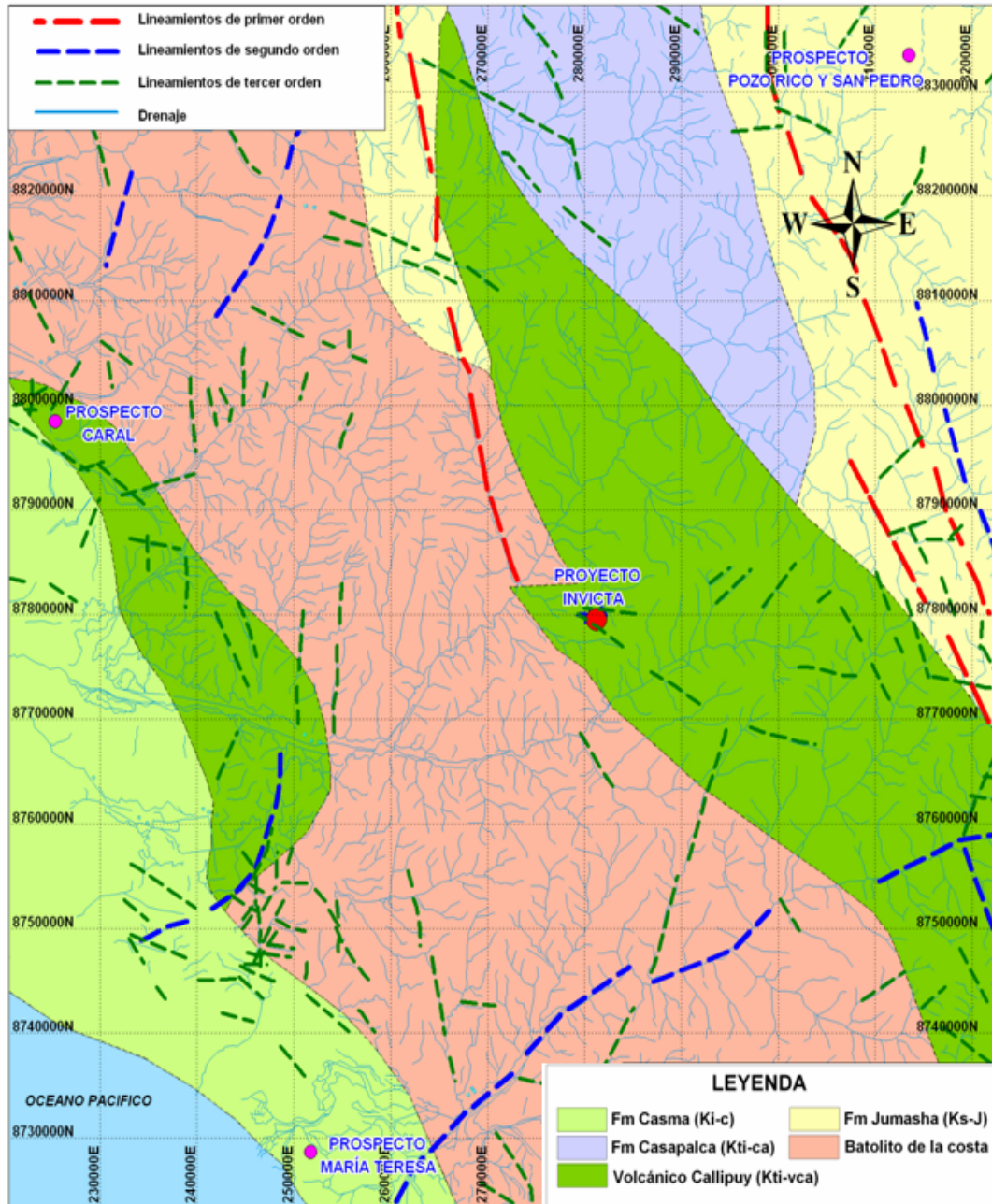


Figura 08: Plano geológico regional (Fuente: INGEMMET).

### **2.1.2.1 Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo: inferior- medio)**

Está constituido por limolitas y lutitas gris verdosas con intercalaciones de areniscas calcáreas silicificadas, variando a areniscas cuarzosas blanquecinas que se intercalan con lutitas negras y capas carbonosas, el grosor total se estima de 600 m. Descansa directamente en discordancia sobre los grupos infrayacentes Excelsior, Ambo, Mitu y en forma concordante sobre el grupo Pucará, e infrayace a las calizas de la formación Chulec. Estos sedimentos han sido afectados por diversos eventos tectónicos y son rocas madres que albergan diversos depósitos minerales en la región (como son las minas de Iscaycruz, Raura y Uchucchacua). En la Cordillera Occidental tiene amplia distribución y se ha dividido en las formaciones:

**Formación Oyón (Ki-o):** Aflora en los cuadrángulos de Canta, Oyón y Yanahuanca donde constituye la base de la columna estratigráfica, encontrándose generalmente en el núcleo de anticlinales. También aparece por fallamiento al norte del pueblo de Santa Cruz de Andamarca. Esta constituida por una intercalación de estratos de cuarcitas y limoarenitas negras con intercalaciones de carbón. Los estratos de cuarcitas son de color gris a gris blanquecino, grano fino a medio de 0.1 m a 0.3 m de grosor y ocasionalmente sobrepasa el metro. Los estratos de limo arenitas generalmente son inferiores a un metro de potencia.

**Formación Chimú (Ki-chim):** Aflora en los cuadrángulos de Canta, Oyón, Yanahuanca y Chiquián, es de mayor extensión que la formación Oyón, tiene rumbo general NW-SE. Litológicamente esta compuesta por estratos gruesos de cuarciarenitas blanquecinas de grano medio, donde se observan estructuras sedimentarias de laminaciones oblicuas. Estas rocas están fuertemente recristalizadas con granos deformados y poca matriz silícea. Aparentemente logran alcanzar espesores que por replegamiento sobrepasan los 1000 m de grosor. No se han encontrado fósiles debido a la fuerte recristalización que sufren las cuarciarenitas, se les considera del Valanginiano.

**Formación Santa (Ki-sa):** Aflora en los cuadrángulos de Canta, Oyón, Yanahuanca y Chiquián conformando secuencias continuas delgadas. Sobreyace concordantemente a la formación Chimu e infrayace a la formación Carhuaz. En el área del río Baños se encuentra aflorando con grosores promedios de 100 m, como se puede apreciar en el paraje de Capilla; su litología consiste de calizas azulinas a grises intercalados con algunos horizontes de calizas arcillosas, en estratos medianos. Superficialmente

presentan una coloración marrón a pardo, algo carstificadas, con presencia de nódulos de tamaño variado.

**Formación Carhuaz (Ki-ca):** Esta constituida por una intercalación de cuarciarenitas gris blanquecinas, lutitas pardas a rojizas, areniscas finas en estratos delgados a medianos, que en conjunto no sobrepasan los 630 m de grosor. Sobreyace progresivamente a la formación Santa del Valanginiano e infrayace a la formación Farrat, esto se evidencia en un corte muy representativo en ambas márgenes del río Baños, cerca a la mina Santander.

**Formación Farrat (Ki-t):** Tiene sus mejores afloramientos en los cuadrángulos de Canta, Oyón, Yanahuanca y Chiquian. Aflora en bancos delgados de 2 m a 5 m, que en conjunto no sobrepasan los 50 m de grosor. Esta constituida principalmente por cuarciarenitas blanquecinas a gris amarillentas por meteorización, con algunos niveles microconglomerádicos; una característica importante que presentan estas rocas es la presencia de mega laminaciones oblicuas. Sobreyace concordantemente a la formación Carhuaz e infrayace en aparente concordancia a la formación Pariahuanca.

#### **2.1.2.2 Formación Chulec (Ki-ch)**

Esta unidad esta constituida por calizas grises en capas medianas a delgadas con intercalaciones de calizas margosas y margas de color pardo grisáceo, el grosor de esta formación es aproximadamente de 100 m. Se le correlaciona con la formación Crisnejas del norte del Perú.

#### **2.1.2.3 Formación Pariatambo (Ki-pt)**

Consiste de calizas y margas bituminosas de color negro con intercalaciones de calizas oscuras tabulares que se rompen a manera de lajas, presentan un olor fétido y tiene una potencia estimada de 100 m, mientras hacia la Cordillera de Huayhuash alcanza hasta 500 m. Sobreyace concordante a la formación Chulec e infrayace concordantemente a la formación Jumasha.

#### **2.1.2.4 Formación Jumasha (Ks-j)**

Esta constituida por bancos de calizas beige micríticas, con esporádicas capas de calizas margosas que se distingue por su resistencia a la erosión. En la parte superior ocurren calizas gris azulinas interestratificadas en estratos delgados y gruesos, su grosor es de

aproximadamente 400 m, sobreyace concordantemente a la formación Pariatambo y subyace de la misma forma a la formación Celendin.

#### **2.1.2.5 Formación Casapalca (Kti-ca)**

Esta unidad esta constituida por una gruesa secuencia areno limosa de color rojo ladrillo y otras de composición volcánica con un color rojo violáceo abigarrado. Presenta estratos medianos de 1 m a 3 m de grosor, intercalados en la parte media con calizas negras laminares de forma lenticulares, en algunos lugares generalmente presentan un aspecto masivo erosionado. Su potencia es variable de un lugar a otro, teniendo en promedio 1000 m. Sobreyace aparentemente a la formación Celendín e infrayace en discordancia a los volcánicos del grupo Calipuy y tobas Huyllay. Por su relación estratigráfica y evidencia paleontológica se le asigna una edad que va desde el Cretáceo Post- Santoniano hasta el Paleógeno temprano.

#### **2.1.2.6 Volcánicos Calipuy (Kti-vca)**

El grupo Calipuy se ha depositado durante el Terciario sobre una superficie de erosión formada por sedimentos del grupo Goyllarisquizga y los volcánicos de la formación Casma. Este grupo está mayormente compuesto por volcánicos, andesitas y tufos de composición intermedia a félsica. Depósitos conglomerádicos son observados en la base de estos volcánicos. Tanto la formación Casma como el grupo Calipuy presentan generalmente un buzamiento suave (5° a 10°), a diferencia del grupo Goyllarisquizga que presenta una pendiente más empinada.

Inferior. está constituido por una secuencia volcánica estratigráfica de conglomerados y niveles de caliza que se encuentran en los límites de los cuadrángulos de Canta y Ondores, donde sobreyace discordantemente a calizas de la formación Jumasha. También se incluyen dentro de esta unidad a conglomerados de cantos y bloques de cuarcitas y calizas redondeados a subredondeados englobados en una matriz tobácea, el diámetro de los clastos alcanza 1 m, aunque en promedio no sobrepasa 0.1 m de diámetro.

Superior. esta unidad se caracteriza por estar estratificada y fundamentalmente formar estructuras de monocinal. Se le puede encontrar al norte de la localidad de Pirca, donde esta constituido principalmente por secuencias piroclásticas en estratos gruesos de 20 m a 50 m de potencia, diferenciándose 5 secuencias bien marcadas, así se tiene de abajo hacia arriba intercalaciones de volcánicos re TRABAJADOS pardo violáceo, en los cuales se aprecia clastos pequeños de 1 mm de diámetro, le sobreyace a un nivel de toba de ceniza muy fina,

luego otro nivel de tobas retrabajadas muy fisibles color verde y finalmente esta secuencia termina con dacitas con alto contenido de cuarzo y piritita diseminada.

### **2.1.3 Rocas intrusivas**

El Batolito de la Costa es la mayor estructura maciza que se extiende a lo largo de toda la costa peruana y del margen continental activo. Está dividido en varios complejos, uno de ellos es el complejo plutónico de Huaura, que a su vez esta subdividido en plutones como el de Santa Rosa, Paccho, etc. Estos plutones están mayormente representados por tonalitas, dioritas y granodioritas; la edad del Batolito va del Cretáceo inferior al Cretáceo medio superior (Cobbins, 1973).

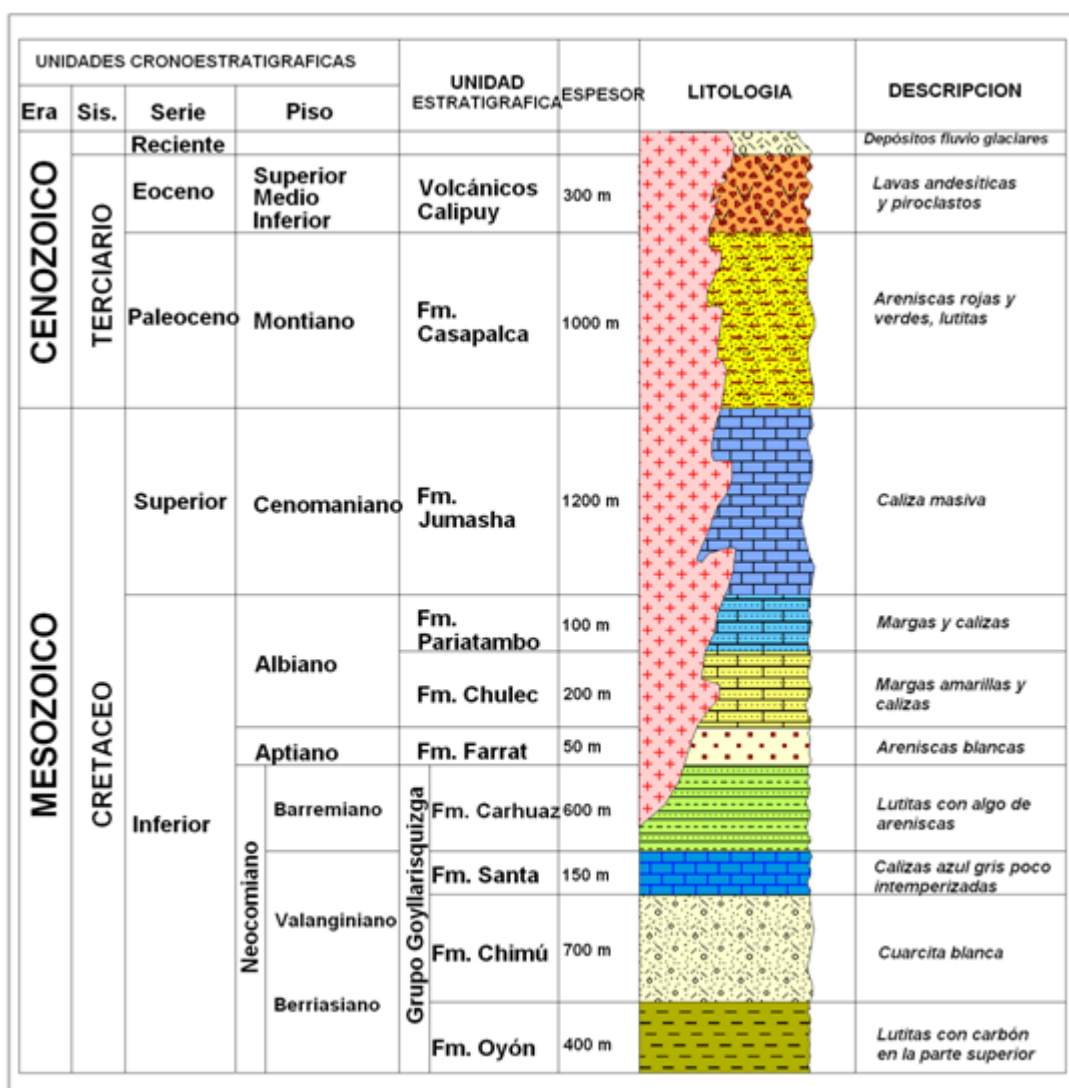


Figura 09: Columna estratigráfica regional de Invicta. (Basada en los boletines N° 26 y 33 de la serie A de la Carta Geológica Nacional).

#### **2.1.4 Geología estructural**

Los Andes Peruanos tienen una orientación promedio N 25°- 30° W. En el contexto regional, grandes fallas transversales de rumbos N-NE y NW-SE ocurren en la región central del Perú, y son las que probablemente controlan la ocurrencia de yacimientos hidrotermales del Mesozoico y Cenozoico, estos depósitos han sido originados principalmente a niveles litológicos volcánicos-subvolcánicos y por pulsaciones magmáticas ocurridas en diferentes épocas (como en los períodos orogénicos Peruano, Incaico y Quechuno). La geología estructural del área es complicada debido a las diferentes etapas de deformación andina (eventos tectónicos y pulsaciones magmáticas) y a las intrusiones a niveles locales o regionales que han originado múltiples fallamientos y plegamientos. El fallamiento a nivel regional en la parte central del Perú puede ser dividido en: cabalgamiento o sobreescurreamiento, gravitacionales y cizallamiento. (Figura N° 10).

##### **2.1.4.1 Fallas de cabalgamiento o sobreescurreamiento.**

Este tipo de fallas mayormente se encuentran ubicadas en la Cordillera Occidental - Central -Oriental de los Andes Peruanos, son las que han puesto en contacto rocas sedimentarias e ígneas de diferente edad, y que han favorecido el emplazamiento de intrusiones (stocks, volcanismo - subvolcanismo) que en contacto con las rocas pre existentes las han metamorfozando o han dado origen a yacimientos minerales. En la región, las principales fallas reconocidas por diferentes investigadores, de Oeste a Este son:

- Falla Yantac: aflora de NE a SW con buzamiento hacia el SE, por el sur aflora desde el NE de Yauyos y por el norte hasta la localidad de La Unión, por el lado NW esta falla converge hacia la falla Raura, presenta un recorrido de unos 80 km.
- Falla Cochabambas: con rumbo NW-SE con buzamiento hacia el NE. Por el norte aflora desde Morococha-Yauli y sigue su afloramiento entre Yauyos y Huancayo; a lo largo de su recorrido de 90 km, esta falla se descompone en dos fallas paralelas.
- Falla Raura: aflora en el área de la mina Raura - Uchucchacua - Virgen de Lourdes e Iscaycruz. En el lado NW se aprecia su afloramiento hasta unos 40 km al NW de la localidad de La Unión y por el sur hasta unos 10 -15 km. Su rumbo promedio es de NW-SE y buza al SW con un recorrido de 140 km.
- Falla Cerro de Pasco: aflora cerca a la localidad de Cerro de Pasco (mina Cerro de Pasco) con rumbo NW-SE y buza al SW, con un recorrido de unos 40 km y desaparece debajo de material cuaternario por el lago Junín.

- Falla al sur de La Oroya: aflora unos 30 km hacia el SE desde la ciudad, con rumbo NW-SE y buza al NE.
- Falla Tarma: aflora a unos 10 km al NE de la ciudad con rumbo NW-SE buzando al SW, con un recorrido de unos 40 km.
- Falla Huaytapallana: aflora a unos 10 km al NE de la ciudad de Huancayo, con rumbo NW-SE con buzamiento SE y unos 280 km de recorrido. Esta falla es variable en su rumbo teniendo inflexiones a lo largo de su recorrido.

#### **2.1.4.2. Fallas gravitacionales**

Se puede considerar fallas gravitacionales a aquellas que debido a los movimientos orogénicos han dado lugar a levantamientos y/o hundimientos de las formaciones rocosas preexistentes de diferente edad, favoreciendo el emplazamiento de intrusiones ígneas (stock, volcánicos, subvolcánicos), que al entrar en contacto con rocas más antiguas las metamorfizaron - alteraron o fueron rocas favorables para la formación de yacimientos minerales. Es probable que estas fallas hayan ocurrido después del movimiento de las fallas de cabalgamiento como especie de acomodo de los bloques desplazados, con rumbo general NE-SW. En la región de estudio solamente se observa el afloramiento de fallas que cruzan y desplazan a la falla Raura y Yantac a la altura de Oyón.

#### **2.1.4.3. Fallas de cizallamiento**

Desde el punto de vista litológico y estructural, las fallas gravitacionales y de cizallamiento son las de mayor importancia, porque convergen hacia Invicta. A nivel regional tenemos:

- Falla Agua Salada: aflora cerca al poblado de Cocachacra con un recorrido de 90 km de NE a SW.
- Falla Chancay: aflora a unos 40 km al este del poblado de Chancay con un rumbo NE a SW y unos 80 km de recorrido, casi paralela a la falla Agua Salada pero separada unos 40 km.
- Falla Huaura: ubicada entre las localidades Huarmey, Sayán y Chancay; al NW de Sayán inflexiona hacia el NE, con recorrido total de 70 km. Al norte de la inflexión afloran otras fallas paralelas.
- Otras fallas: las que están ubicadas entre la falla de Chancay y Huaura, ubicándose casi al centro con dirección SW-NE y que convergen hacia el área de Invicta, esto podría significar fracturas favorables para canalizar la mineralización.



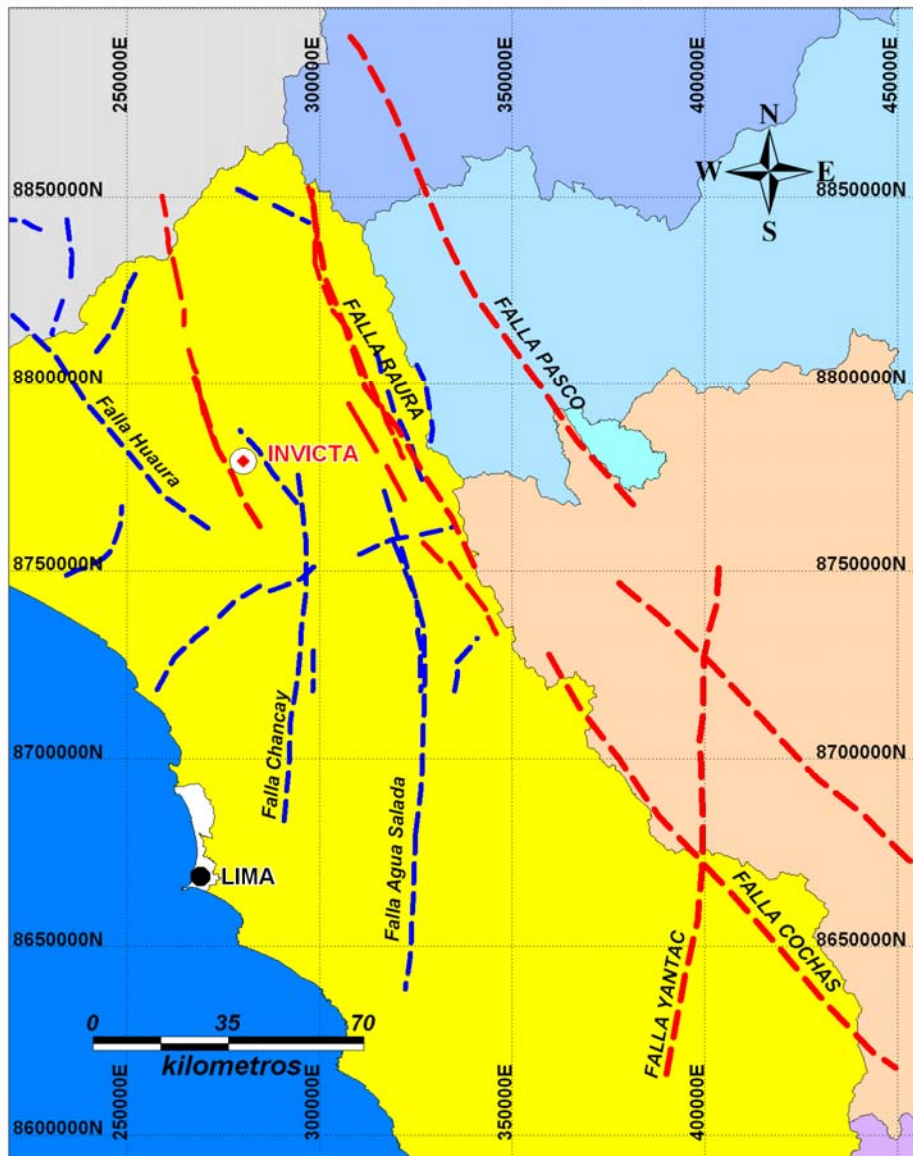


Figura 10: Fallas de alcance regional que ocurren en el área de influencia del Proyecto Invicta.

### **2.1.5 Evolución tectónica**

Regionalmente en el área afloran rocas del Mesozoico y Cenozoico que han sido afectadas en diversos grados por el tectonismo andino que es también el causante de la formación de la Cordillera de los Andes. El ciclo andino comienza con una depresión geosinclinal y termina con un gran levantamiento de las rocas deformadas del geosinclinal a su posición actual. El intervalo entre estos dos eventos limita dos períodos mayores:

- Relleno del geosinclinal, es el período más largo y va del Triásico medio al Cretáceo superior (100 M.A.); se caracteriza por una sedimentación marina, continental o volcánico – sedimentaria, según las épocas y los lugares. (Palacios, 1995).
- Fases de deformación, el cual se intercala con fases con épocas de no deformación extensas que permiten la consolidación de la cordillera andina; este período va desde el Cretáceo superior hasta la actualidad. (Palacios, 1995).

La evolución tectónica andina ha determinado durante el Mesozoico la existencia de estructuras plegadas y falladas, siendo menos notorias en las unidades Cenozoicas y casi ausentes en los terrenos Plio-Pliocénicos. Invicta está ubicada en la provincia metalogénica de oro, plata y polimetálicos del Terciario medio a superior de la franja volcánica Cenozoica en la Cordillera Occidental, su formación estaría relacionada al tectonismo andino de la fase Quechua. (Figura N° 11).

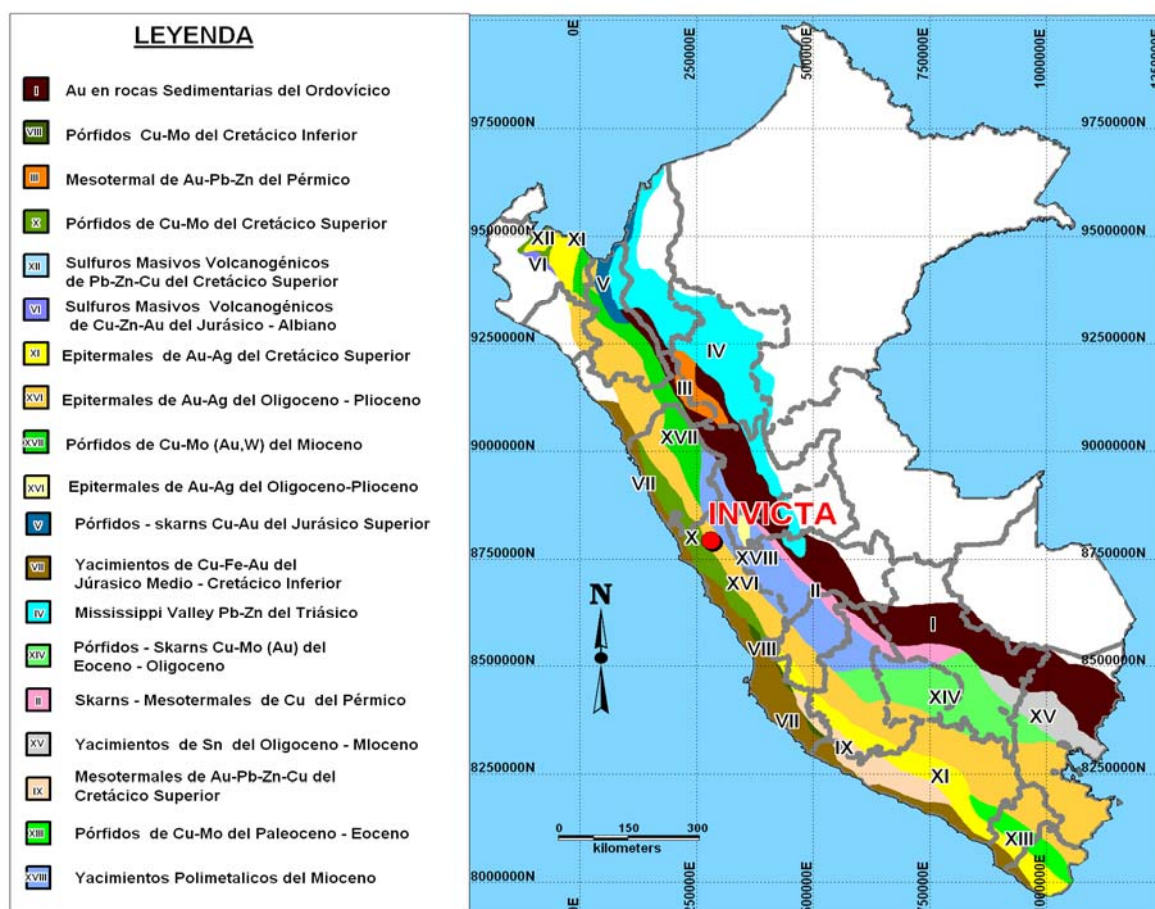


Figura 11: Mapa metalogénico del Perú. (Fuente: INGEMMET).

## **2.2 GEOLOGIA LOCAL**

En la parte baja de Invicta afloran dioritas, tonalitas y granodioritas del intrusivo Paccho (Batolito de la Costa) y en la parte superior se encuentran secuencias subvolcánicas y volcánicas del grupo Calipuy. En el área no afloran rocas sedimentarias.

La mineralización se realizó en el Terciario superior, esta se emplaza en estructuras formadas por procesos distensivos, luego el desplazamiento ha sido de una falla normal con reactivaciones posteriores que han permitido la mineralización económica; posteriormente vinieron los procesos de erosión y oxidación.

El ancho de la veta Atenea llega en algunas zonas hasta los 25 m de espesor, algo no común en yacimientos peruanos. (Tumialán, 2003).

### **2.2.1 Rocas Volcánicas**

En el área se tienen secuencias volcánicas del grupo Calipuy que sobreyacen al intrusivo Paccho, localmente presentan una alternancia entre volcanos sedimentarios y derrames andesíticos volcánicos. Entre los volcanos sedimentarios tenemos horizontes de cenizas volcánicas intercaladas con lodolitas que constituyen paquetes regulares poco consolidados y deleznable debido a que fueron depositados en ambientes lagunares; en estas secuencias la mineralización económica empobrece.

Una vez cubiertas estas cuencas, ocurrieron eventos volcánicos posteriores tales como coladas lávicas andesíticas y eventos explosivos, estos paquetes son los más favorables para la deposición de los iones metálicos y por consiguiente han permitido una mayor concentración de la mineralización económica.

### **2.2.2 Rocas Intrusivas**

En las partes bajas del Proyecto Invicta se encuentran dioritas, tonalitas y granodioritas de composición ácida - intermedia del intrusivo Paccho, plutón que es parte del Batolito de la Costa. Tanto las secuencias volcánicas como el intrusivo han sido cortados posteriormente por diques de composición riolítica. (Figura N° 12).

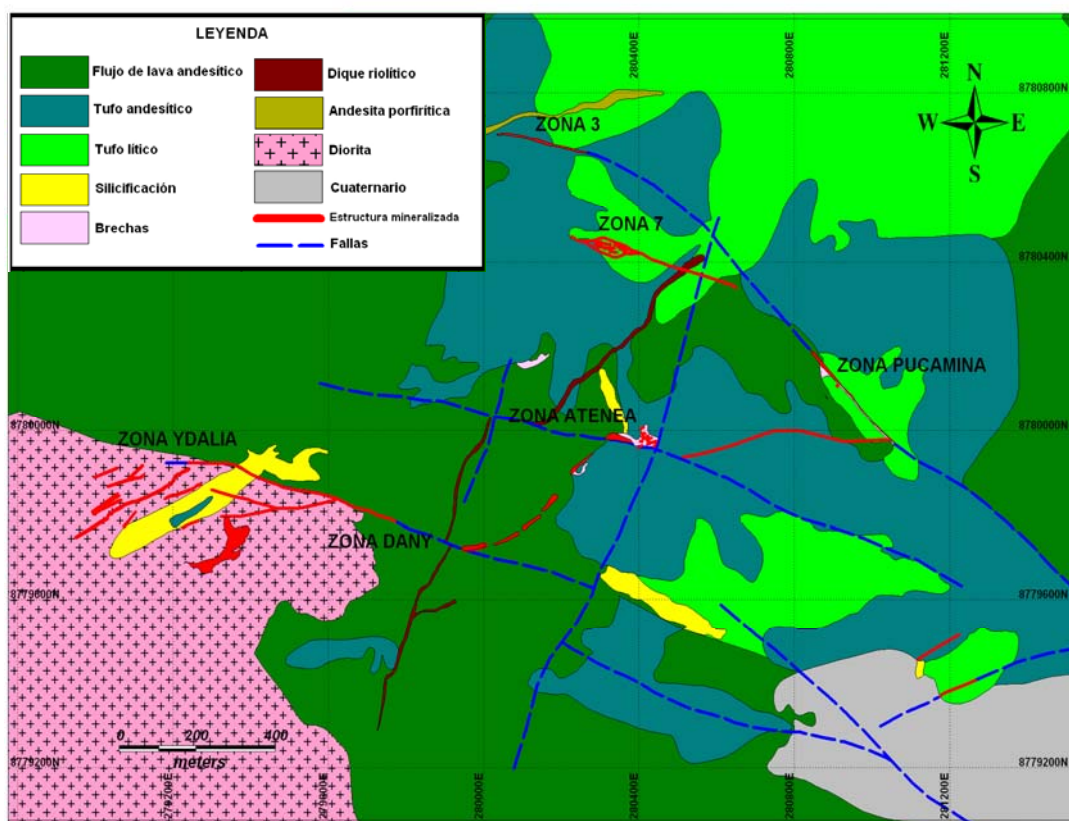


Figura 12: Plano geológico local del área Invicta.

### **2.2.3 Geología estructural**

Los sistemas estructurales presentan sectores en extensión y compresión, bajo el punto de vista de las mineralizaciones hidrotermales, son los sectores en extensión los que más interesan pues son zonas que se encuentran "en apertura", esto acarrea dos consecuencias principales:

- 1) Permiten una circulación más fácil de los fluidos hidrotermales.
- 2) Si la precipitación de la carga mineral ocurre en esos sectores, la masa mineral será mayor dado el carácter en expansión que presentan.

Los aspectos morfológicos más conocidos de las mineralizaciones hidrotermales asociados a fallas son aquellos relacionados con los sistemas que han operado en régimen frágil. Entre ellos cabe destacar las morfologías tipo en escalera (échelon), lazo cimoide, cola de caballo y las mallas complejas (Figura N° 13)

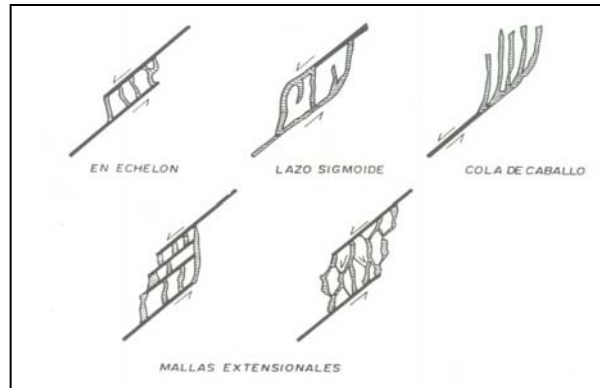


Figura 13: Estructura interna de sistemas mineralizados filonianos en *jogs* extensionales generados por saltos de fallas transcurrentes sinestrales. Sibson (1990).

En Noviembre del 2000, el geólogo consultor de Barrick Francois Gaboury propone un modelo estructural para Invicta similar al tipo de “Lazo cimoide de compresión / extensión” dada por Richard Sibson (1990) en su modelo para las fracturas dilatacionales. Dice que el movimiento paralelo en sentido opuesto de dos fallas genera en su área interior fallas y fracturas dilatacionales con aperturas favorables para la mineralización.

Para Invicta, una apertura dilatacional principal es la veta Atenea; la posibilidad de encontrar estructuras similares estaría al SE y en paralelo a Atenea. Pucamina y las zonas 3 y 7 estarían a lo largo de la falla extensional norte y las zonas 4, 5 y 6 conformarían la falla extensional sur. (Figuras N° 14).

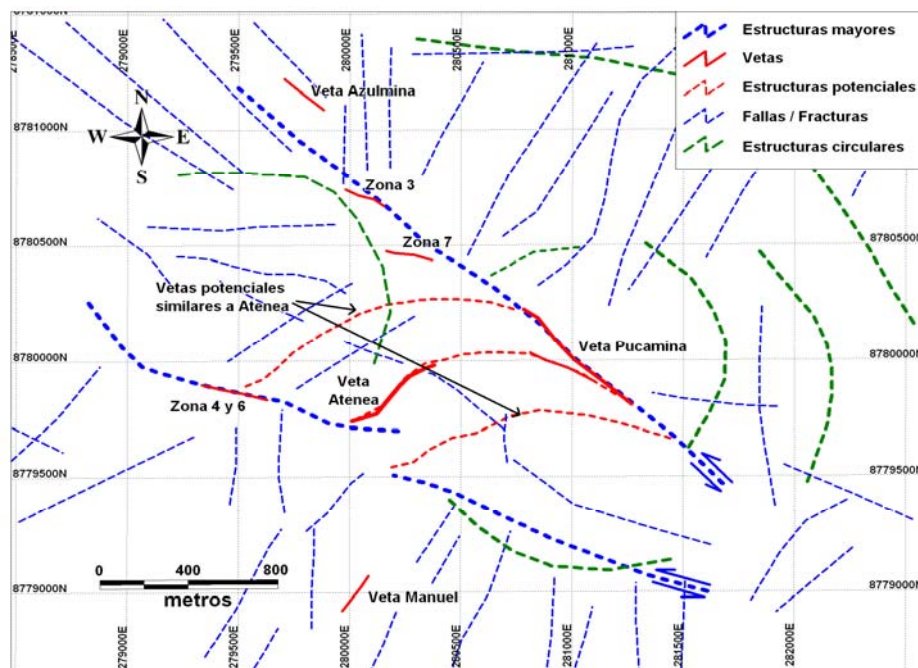


Figura 14: Interpretación estructural de la mineralización económica en Invicta.

#### **2.2.4 Alteración**

En Invicta se ha realizado un estudio PIMA de 20 muestras de cores de la veta Atenea, estos trabajos fueron realizados por el laboratorio espectométrico del INGEMMET. Los ensambles de minerales de alteración identificados de acuerdo al tipo de roca que alberga la veta Atenea, en orden de abundancia son:

- Epidota + clorita + calcita + biotita (caja andesítica).
- Illita + haloisita + cuarzo + montmorillonita + moscovita + fengita (veta mineralizada).
- Clorita + illita + haloisita (caja andesítica).
- Aragonita + calcita+ epidota (caja andesítica).
- Sericita + illita + opalo (veta mineralizada).
- Illita + sílice + montmorillonita + haloisita (veta mineralizada).
- Clorita + nantronita (caja andesítica).
- Haloisita + kaolinita (caja tufo).

La alteración hipógena está representada por una intensa silicificación, en menor proporción sericitización y alejándonos de la caja propilitización (Foto N° 06); la argilización puede ser atribuible a la meteorización de sulfuros primarios, también podría estar relacionado a diferentes eventos hidrotermales sobreimpuestos en la conocida mineralización o un remanente de la parte más baja de un ambiente epitermal erosionado. (Foto N° 07).

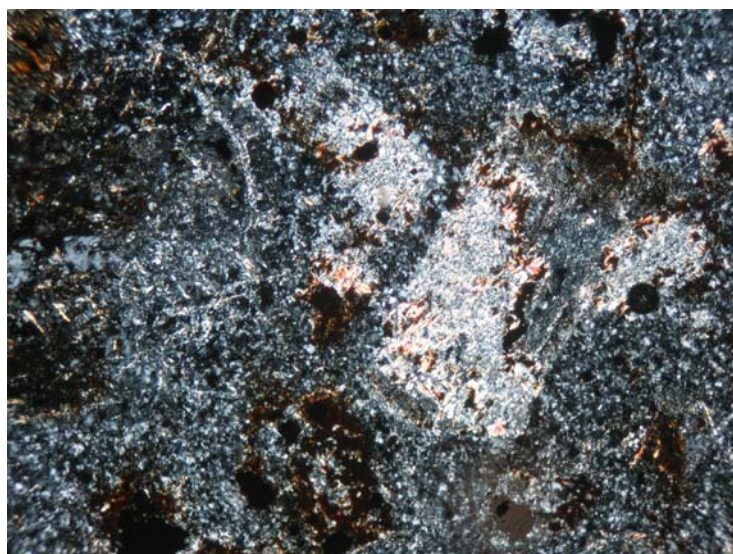


Foto 06: Al centro de la foto se observan los fenocristales de plagioclasas (PGLs) alterados a sericita (ser), la matriz es microgranular y alterada completamente a cuarzo en granos diminutos. Mancha de óxidos tiñendo la roca.



Foto 07: La presencia de la alteración argílica en Invicta se debe a eventos hidrotermales sobreimpuestos y a procesos supérgenos.

La mineralización de interés está albergada por la illita, montmorillonita, cuarzo y ópalo (Foto N° 08). La propilitización está controlada estructuralmente y representada por la epidota, clorita, calcita, biotita, hialosita y nantronita (Foto N° 09); la presencia de estos minerales pueden confirmar temperaturas y presiones de alcance mesotermal superior asociadas con ambientes epitermales de baja sulfuración de la veta Atenea.



Foto 08: Muestra de mano de la veta Atenea, calcedonia englobando agrupaciones de pirita; análisis microscópico de esta muestra detectó la presencia de oro libre en la pirita.



Foto 09: Muestra de mano de la veta Atenea, se aprecia cuarzo bandeado con capas de hematita cortando la clorita masiva con pirita y en menor proporción calcopirita.

## **2.2.5 Mineralización**

### ***2.2.5.1 Descripción macroscópica de la mineralización***

La mineralización ocurre relleno de fracturas o espacios abiertos entre los fragmentos de una aparente brecha freatomagmática pre existente (Foto N° 10). En algunas áreas, se aprecian stockworks de cuarzo y sulfuros bien desarrollados que se extienden en el bloque piso y a las paredes que albergan a las estructuras, estos pueden extenderse hasta 50 m de ancho en algunas zonas. Las texturas típicas de las vetas incluyen bandeamiento, variando de crustiforme a coliforme y localmente exhiben drusas de cristales de cuarzo en los espacios abiertos (Foto N° 11). Mientras se relagueaban los cores, se observó que la pirita y algunos sulfuros de metales bases han sido parcialmente reemplazados por limonitas y specularitas. En algunos taladros, se puede apreciar los sulfuros remanentes en texturas boxwork y con rellenos de óxidos.

La presencia local de abundante hematita de reemplazamiento controlada estructuralmente parece estar relacionada a un evento diferente. Parece ser que una cantidad importante de hematita hipógena fue introducida en el sistema tempranamente y también al final de la historia hidrotermal; esto se evidencia por la presencia de hematita que es cortada por varias generaciones de venillas de cuarzo (Foto N° 12) y también por la ocurrencia de hematita que se encuentra reemplazando a sulfuros tempranos (Foto N° 13). Se debe



mencionar que la mayor parte de las mejores intersecciones inspeccionadas mostraron la presencia abundante de hematita temprana y tardía. Estas zonas parecen albergar múltiples inyecciones de mineralización de sulfuros.



Foto 10: Muestra de core de sulfuros masivos en la que se aprecian fragmentos brechados de pirita calcopirita, clastos angulares de andesita y venillas de cuarzo – hematita.



Foto 11: Muestra de de core del sondaje 56 de Atenea en la que se aprecia bandas de cuarzo con pirita y calcopirita; los análisis de laboratorio dieron como resultado leyes de 152.9 Au gr/TM, 1320 Ag gr/TM y 12.5% Cu.



Foto 12: Muestra de mano de la veta Atenea en las que se aprecian bandas de hematita cortadas por venillas de cuarzo. Oro libre ha sido hallado en la matriz silícea.

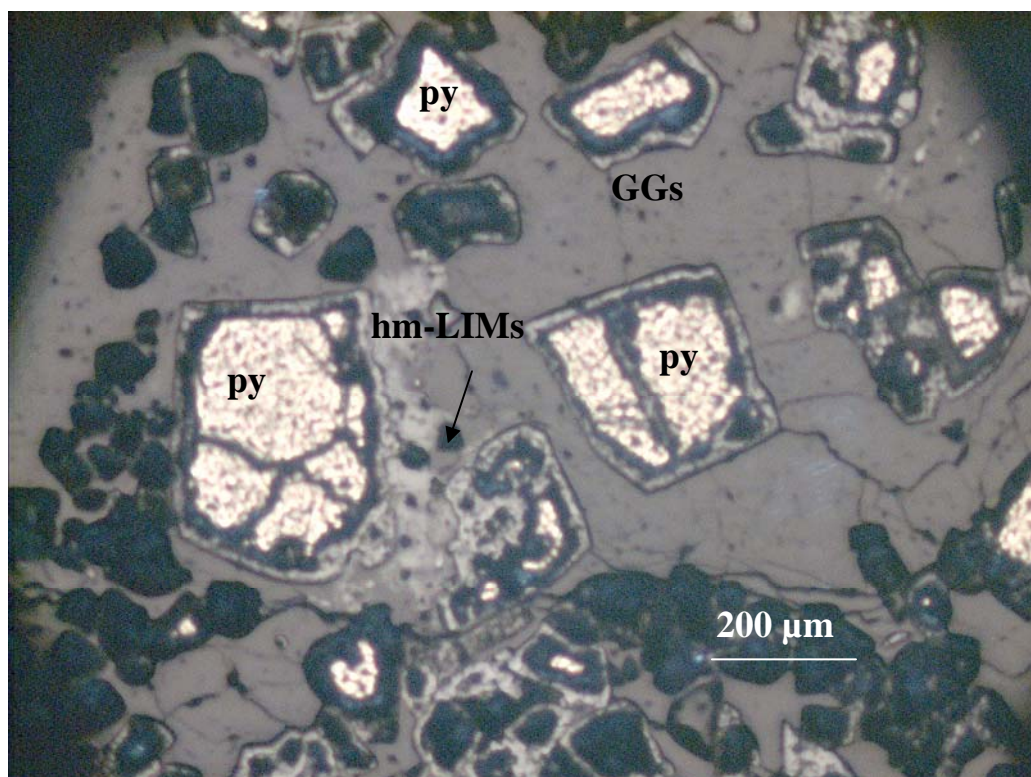


Foto 13: Ocurre cristales disseminados y relictos de pirita (py) reemplazada por hematita y limonitas (hm-LIMs).

### **2.2.5.2 Descripción microscópica de la mineralización**

INGEMMET ha realizado el análisis microscópico de 24 muestras procedentes de los cores, estas corresponden a tramos mineralizados encontrados en las perforaciones realizadas en la veta Atenea:

- Mineralogía primaria: ganga (cuarzo), pirita, calcopirita "II", bornita, galena, esfalerita, especularita (hematita hidrotermal), calcopirita "I", digenita, oro nativo, electrum, plata nativa. (Fotos N° 14 y 15)
- Accesorios: magnetita – ilmenita, espinela, pirrotita, arsenopirita, cobres grises (enargita?), rutilo. (Foto N° 16)
- Mineralogía secundaria: hematita, limonitas, calcosita-digenita, covelita. (Foto N° 17)

Bajo el microscopio se ha observado textura de exsolución de la calcopirita en la esfalerita, lo cual indica una temperatura media de 180 °C a 220 °C (mesotermal superior a epitermal inferior). (Foto N° 18).

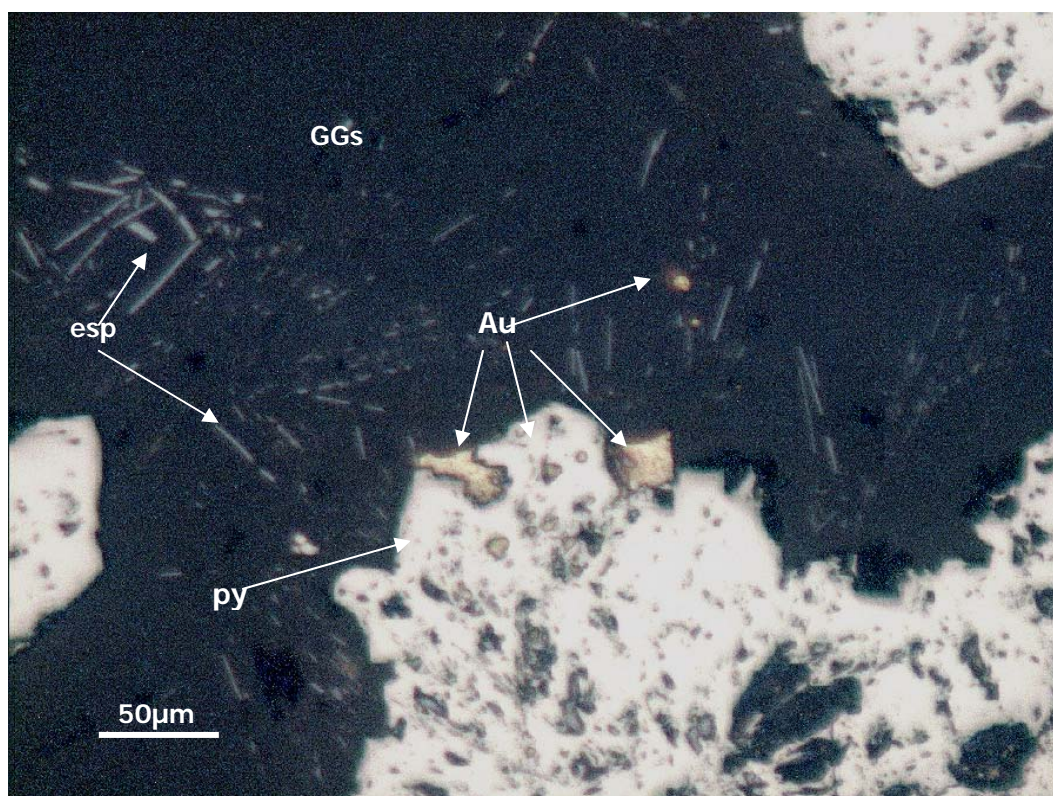


Foto 14: Granos de oro nativo (Au) en bordes, rellenando porosidades de la pirita (py) o incluidos en la ganga (GGs). Cristales en forma de agujas de especularita (esp) diseminados en la ganga.

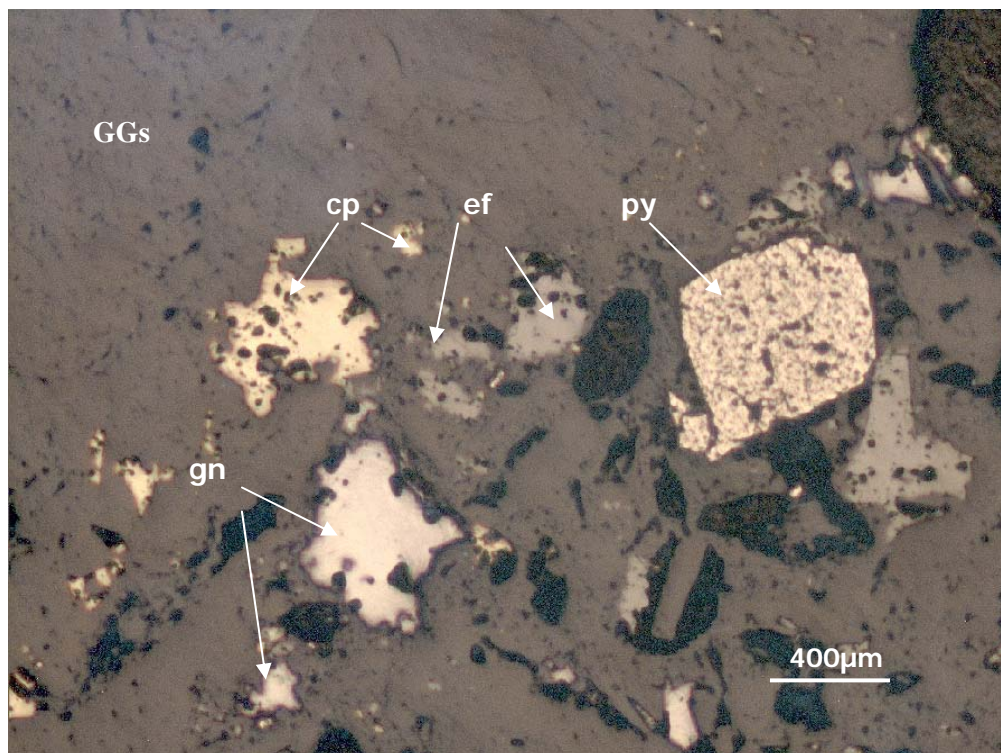


Foto 15: Granos de pirita (py), esfalerita (ef), calcopirita (cp) y galena (gn) relleno intersticios de la ganga (GGs).

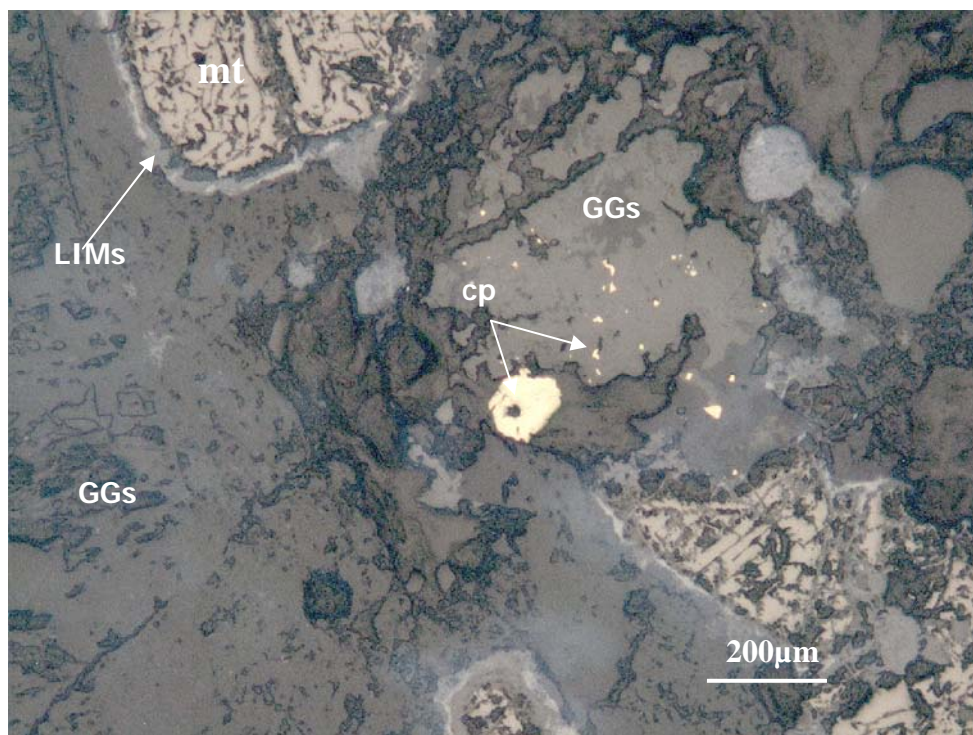


Foto 16: Cristales de magnetita (mt) alterada por los borde a limonitas (LIMs) y granos de calcopirita (cp) diseminados en la ganga (GGs).

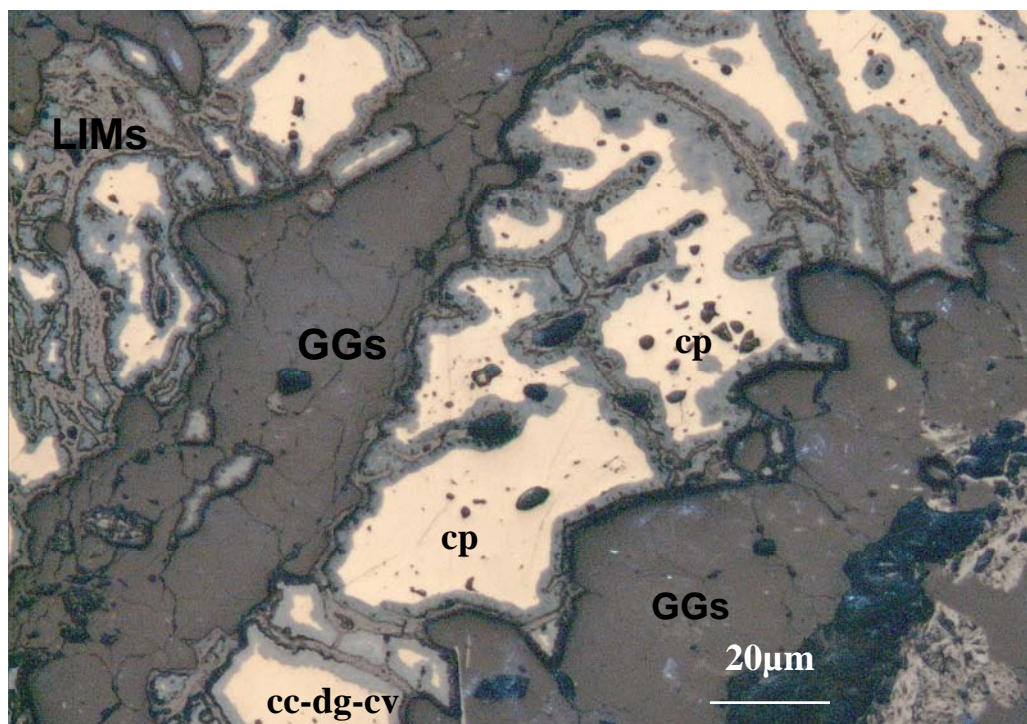


Foto 17: Obsérvese la presencia de calcopirita (cp) en fracturas de la ganga (GGs). La calcopirita está reemplazada por calcosita, digenita y covelita (cc-dg-cv) en sus bordes y rodeada por limonitas (LIMs).

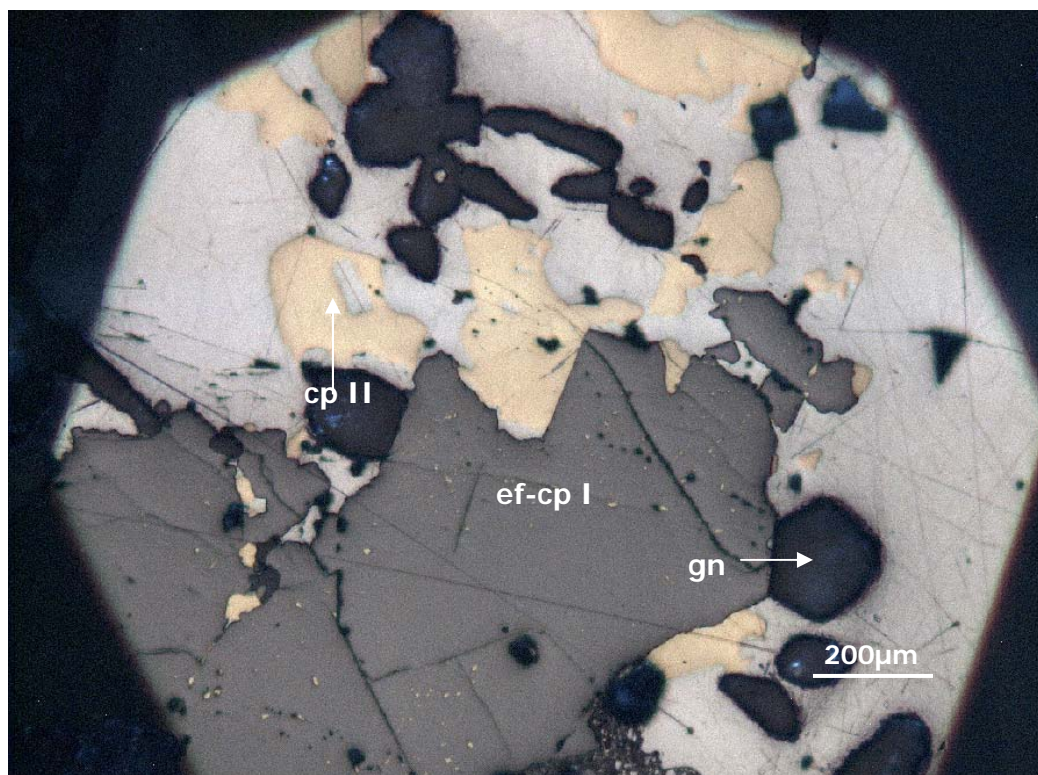


Foto 18: Esfalerita con exsolución de calcopirita (ef-cp I) es reemplazada por calcopirita (cp II), galena (gn) reemplaza por los bordes a ambos minerales.

**Asociaciones mineralógicas:**

La pirita se introduce como disseminación y venillas en las fracturas de la ganga (cuarzo) (Foto N° 19). La calcopirita II aparece libre y la calcopirita I aparece como exsoluciones reemplazando a la esfalerita (Foto N° 20).

La galena y en menor proporción la esfalerita se introduce en las fracturas de las gangas y en la calcopirita II (foto N° 21). La hematita y limonitas están asociadas a la pirita, calcopirita, especularita y en algo a la ilmenita y magnetita (Foto N° 22 y 23). La calcosita, digenita y covelita están asociadas con la calcopirita I, II, y la bornita (Foto N° 24 y 25).

En la veta Atenea, los altos valores de cobre están asociados a los sulfuros de cobre.

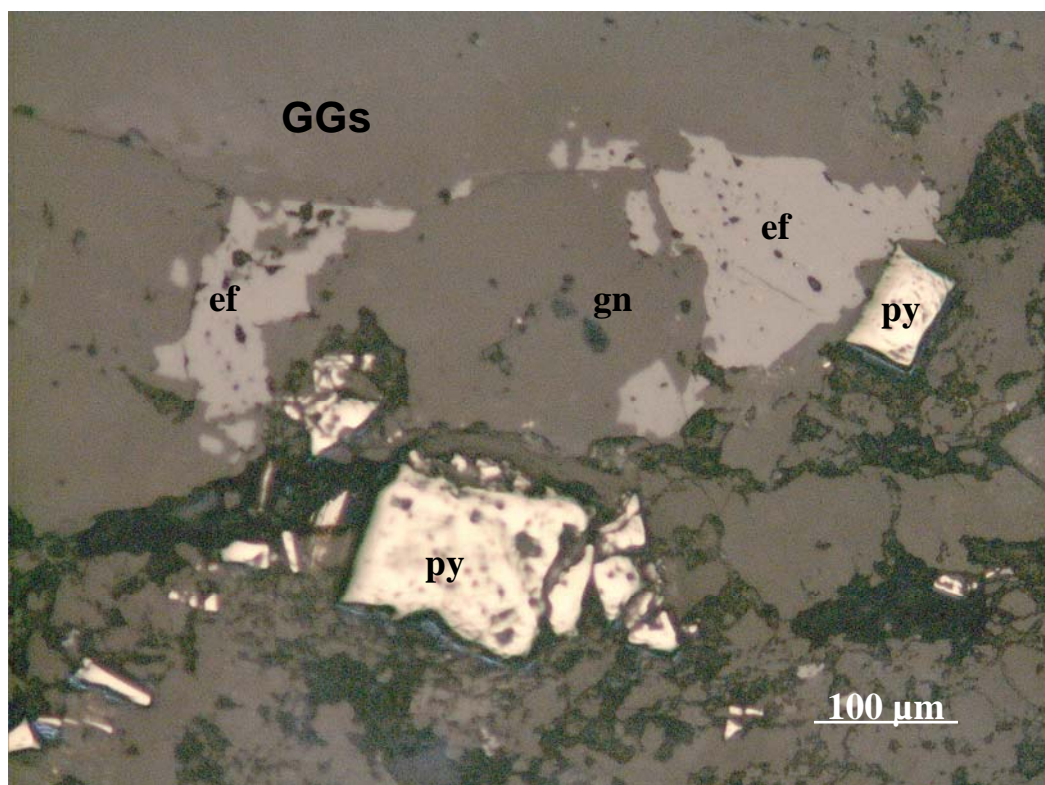


Foto 19: Se observan cristales de pirita (py) con formas euédrales y subédrales y esfalerita (ef) en intersticios de la ganga (GGs).

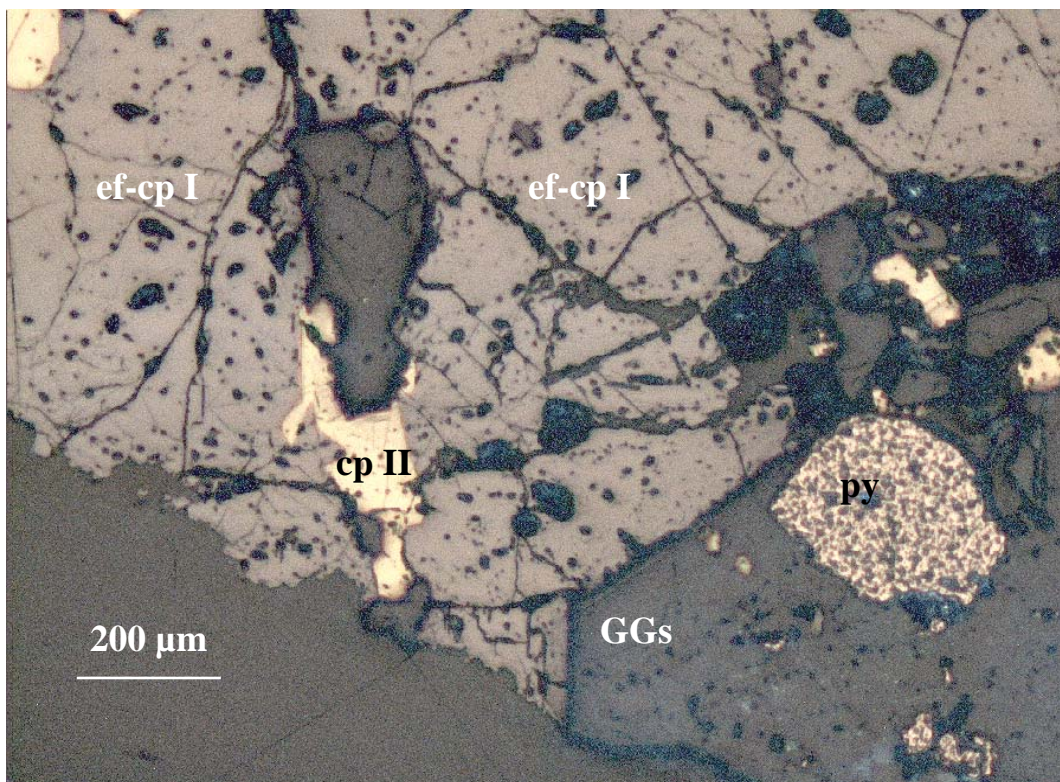


Foto 20: Ocurren cristales de pirita (py) en la ganga (GGs) y esfalerita con exsolución de calcopirita (ef-cp I), esta presenta microfracturas rellenas por calcopirita (cp II).

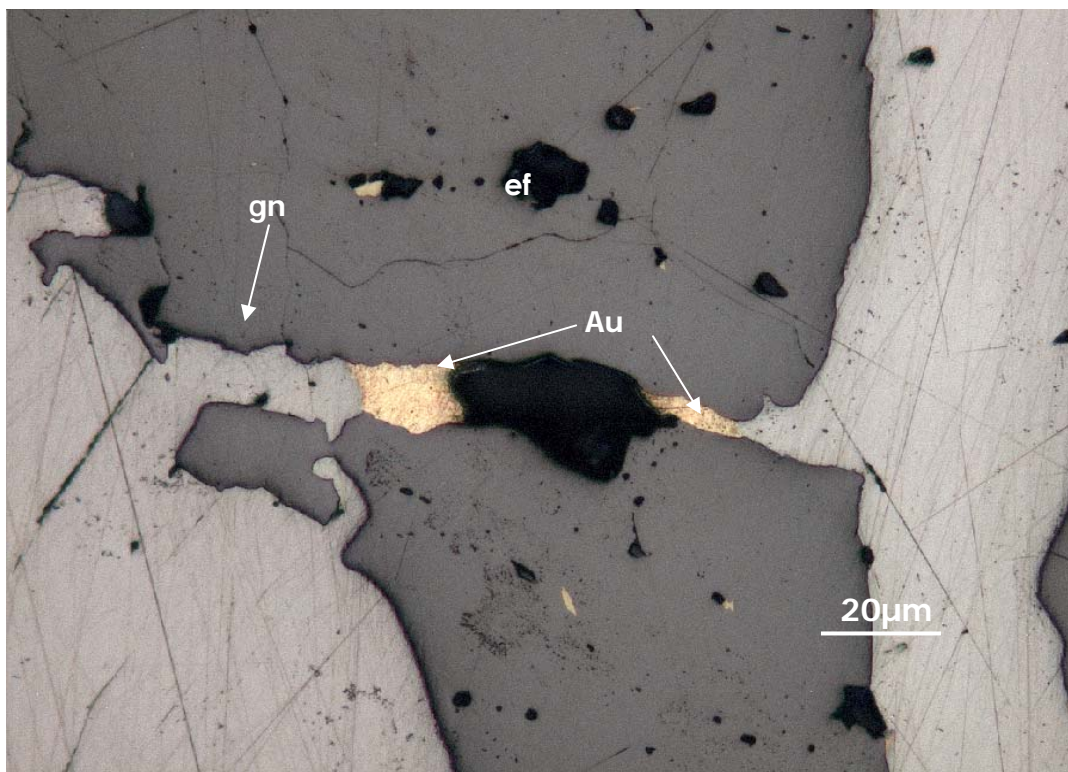


Foto 21: Galena (gn) reemplaza y junto con oro nativo (Au) rellenan fractura de esfalerita (ef).

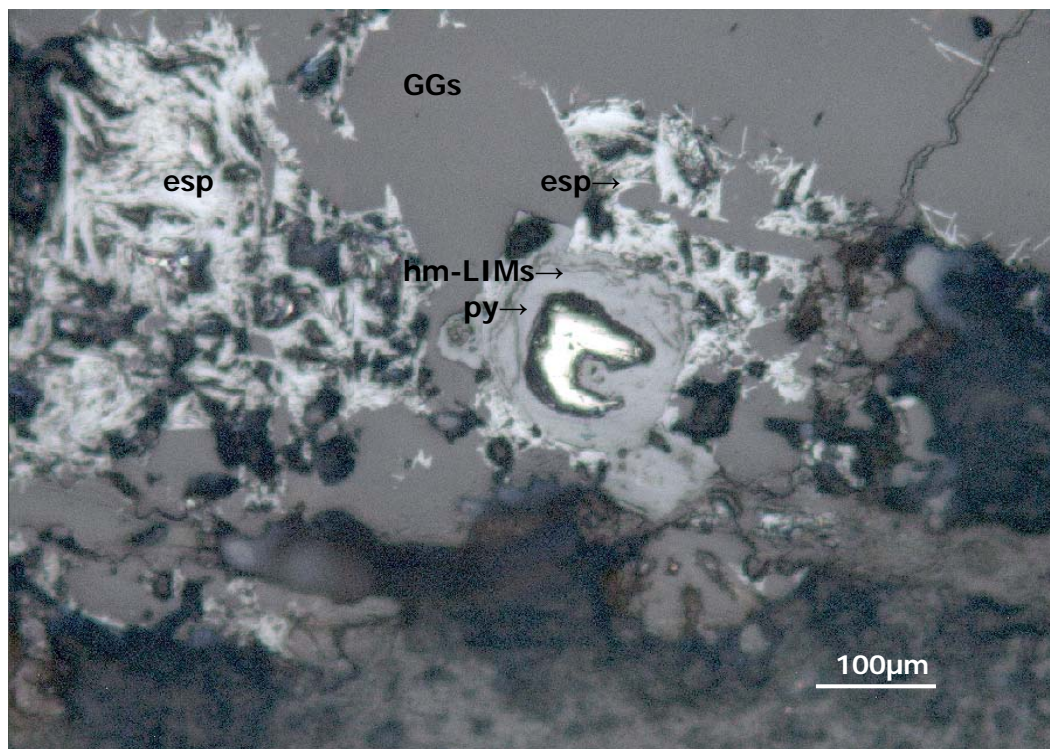


Foto 22: Grano de pirita (py) relíctica alterada por hematita limonitas (hm-LIMs), reemplaza a especularita (esp).

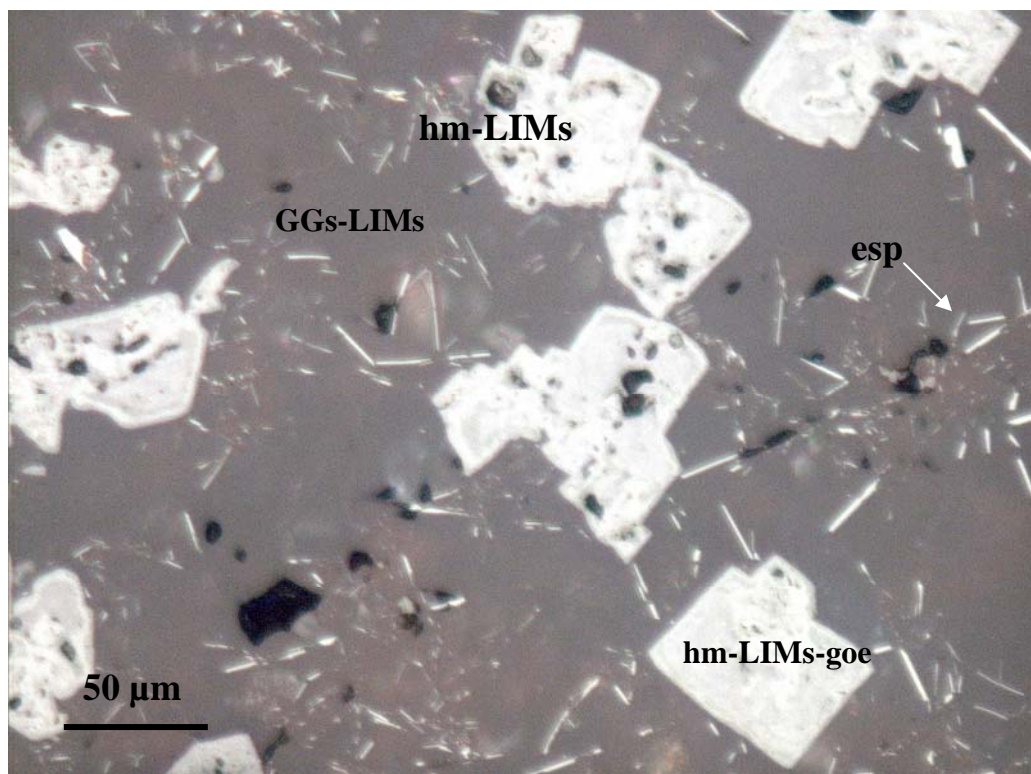


Foto 23: Cristales aciculares de especularita (esp) y pseudomorfos de hematita y limonitas (hm-LIMs) diseminados en la ganga impregnada por limonitas (GGs- LIMs).



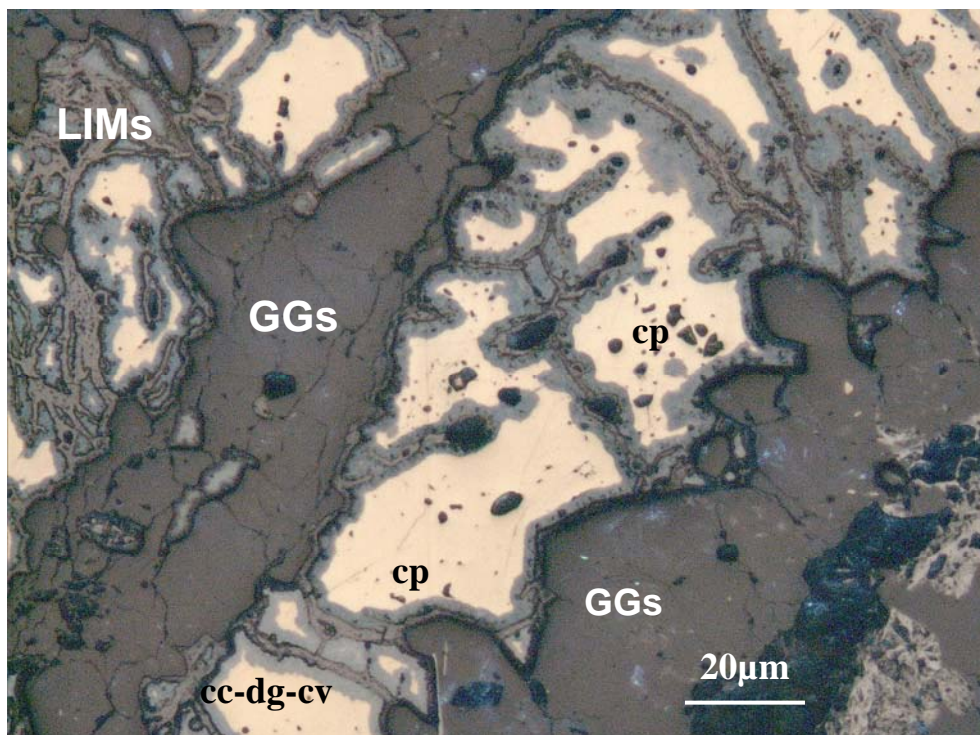


Foto 24: Ocorre calcopirita (cp) en fracturas de la ganga (GGs). La calcopirita está reemplazada por calcosita, digenita y covelita (cc-dg-cv) en sus bordes y rodeada por limonitas (LIMs).

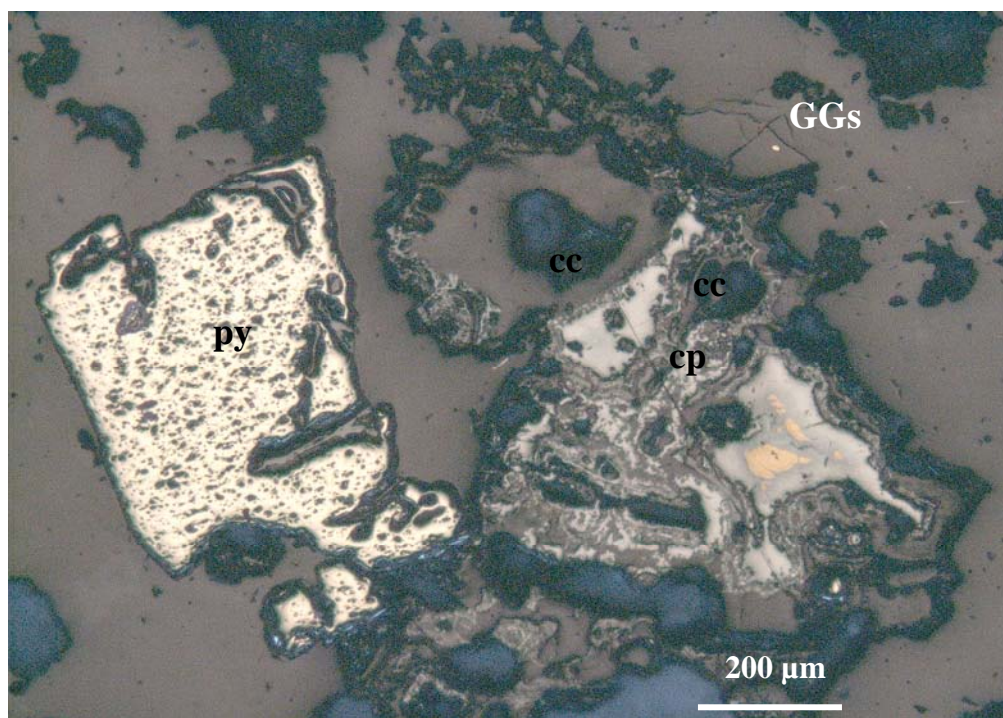


Foto 25: Se observa pirita (py) diseminada y relictos de calcopirita (cp) en calcosita (cc) en porosidades de la ganga (GGs).

### **Asociaciones del oro**

INGEMMET describe granos de oro cuyos tamaños en micras son de 6 x 8, 10 x 8, 14 x 8, 18 x 4, 14 x 4, 18 x 2, 18 x 26, y 60 micrones. De los 13 granos de oro identificados, el 50% ocurre dentro de la ganga (cuarzo) como inclusiones (Foto N° 26), el resto se encontró dentro de la calcopirita II, especularita, pirita, galena y esfalerita como inclusiones (Foto N° 27). Solo 2 granos de oro nativo han sido identificados, el resto ocurre como electrum.

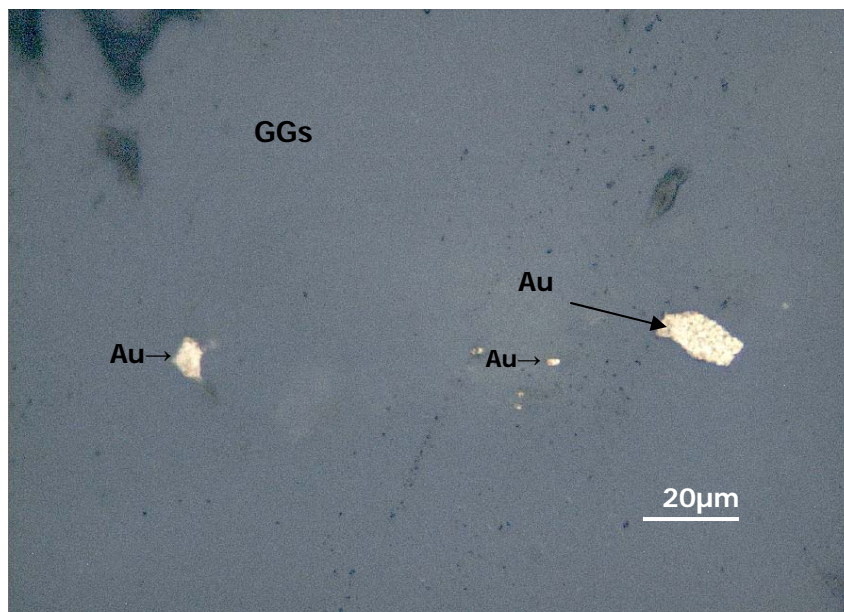


Foto 26: Granos de oro (Au) de diferente granulometría diseminados en la ganga (GGs).

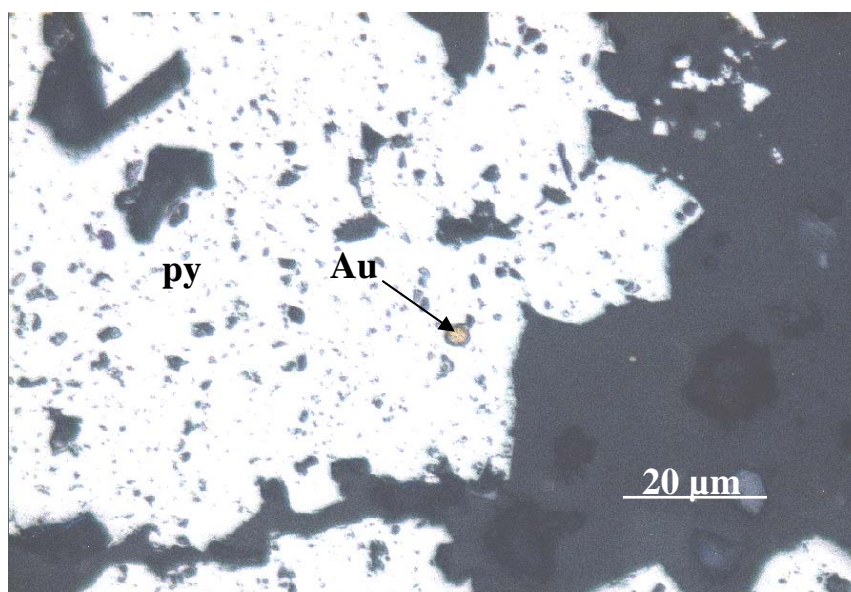


Foto 27: Se observa un grano de oro libre (Au) en porosidad de pirita (py).

### **Asociaciones de la plata**

Los 4 granos identificados como plata nativa ocurren dentro de microfracturas y como inclusiones en la ganga (cuarzo) (Foto N° 28). Los informes del INGEMMET no identifican sulfosales como la tetraedrita (sulfuantimoniuro de cobre) o tennantita (sulfuarseniuro de cobre), ambos como minerales de cobre y menor contenido de plata y arsénico. Los valores importantes de plata generalmente ocurren como galena argentífera, sin embargo para una mejor recuperación metalúrgica, la asociación con plata nativa, sulfosales y electrum debe de estar cuantificado.

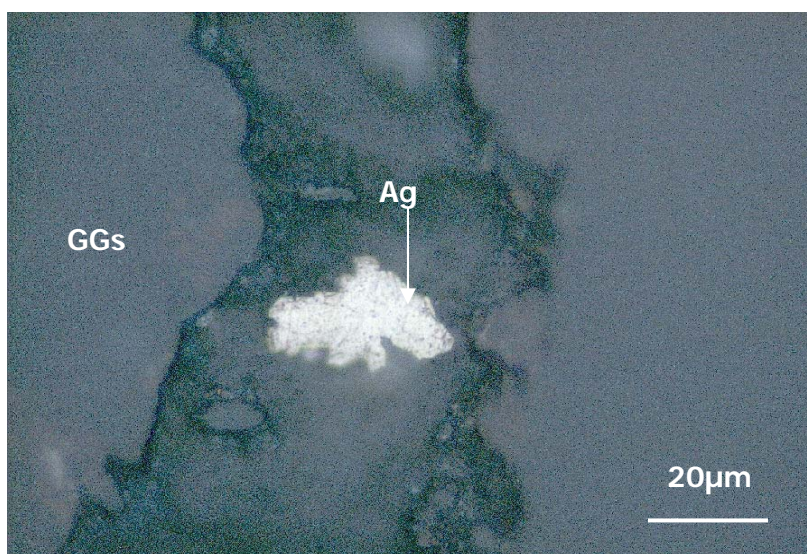


Foto 28: Un grano de plata nativa (Ag) rellenando una cavidad de la ganga (GGs).

#### **2.2.5.3 Secuencia de mineralización**

Una secuencia tentativa de eventos para la formación de las estructuras mineralizadas puede ser como sigue: Primero, la mayor parte de las estructuras mineralizadas parecen haber sido inyectadas en zonas de brechas freatomágmaticas controladas estructuralmente y localizadas en la periferia de domos volcánicos (Fotos N° 29 y 30). Segundo, estas zonas permeables y débiles al parecer fueron tempranamente fracturadas y mineralizadas por sulfuros de metales bases (Foto N° 31). Tercero, esta etapa fue seguida por una mayor extensión y brechamiento que dejaron espacios vacíos que posteriormente fueron rellenados por soluciones silíceas tempranas ricas en sulfuros, hematita hipógena y oro; finalmente esto fue seguido por fases tardías de cuarzo, pirita, hematita hipógena y oro. (Foto N° 32).

Parece ser que las zonas más ricas en oro presentan varios eventos mineralizantes sobreimpuestos, posteriores eventos supérgenos han depositado óxidos en los espacios abiertos que han dejado la disolución de sulfuros en algunas fracturas, lo cual ha motivado posiblemente un enriquecimiento local. (Foto N° 33).



Foto 29: Core de la veta Atenea en donde se aprecian fragmentos angulares de brecha en una matriz de cuarzo – calcita y sulfuros.



Foto 30: Afloramiento de la veta Atenea de 8 m de potencia promedio (mirando al Este); la mineralización ha rellenado fracturas pre existentes.



Foto 31: Brecha andesítica con relleno de sulfuros en las fracturas.



Foto 32: Core del sondaje AE-DDH-06-56 en el que se aprecia como el cuarzo y los sulfuros masivos han rellenado los espacios dejados por el brechamiento de la roca pre existente.

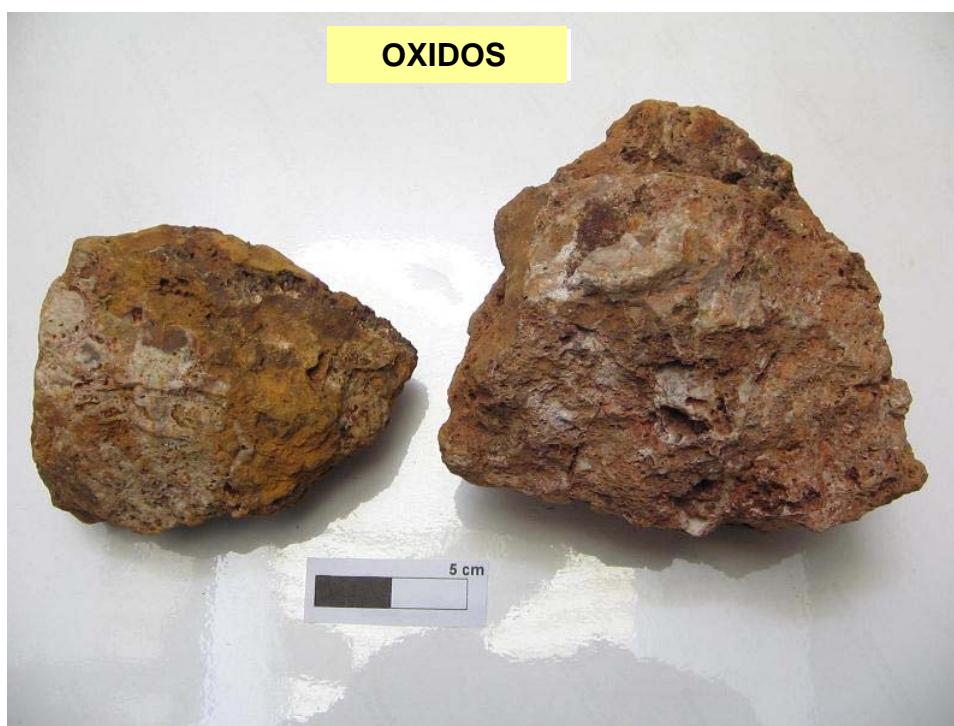


Foto 33: Procesos supérgenos han permitido la concentración del oro con un incremento en la ley en la zona de óxidos de Atenea.

## **Capítulo III**

# **TRABAJOS DE EXPLORACION**

### **3.1 GEOQUIMICA**

#### **3.1.1 Trabajos anteriores**

En Junio de 1996 Pangea inicia sus actividades en el área, efectúa un mapeo preliminar para identificar las zonas más interesantes, luego se excavan 72 trincheras: 18 sobre Atenea, 25 sobre Pucamina, 11 en la zona 4, 11 en la zona 3 y 7 en la zona 7; el espesor de la cobertura cuaternaria o la ausencia de mineralización restringió el muestreo en algunas trincheras. En total se tomaron 280 muestras que fueron analizadas por 35 elementos (ICP).

En abril de 1998, Pangea realiza un muestreo de sedimentos de quebrada para identificar estructuras mineralizadas no reconocidas hasta el momento, en total se tomaron 113 muestras de 7 quebradas, las cuales fueron analizadas por 14 elementos: Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Sb, As, Ni, Bi, Cd, Co, Mn y Fe; el Au fue analizado por ensayo al fuego y los otros 13 elementos por absorción atómica.

#### **3.1.2 Trabajos recientes**

Entre los años 2005 – 2008 Andean ha realizado trabajos geoquímicos superficiales en el área, solo en el último año se realizó muestreo subterráneo en la veta Atenea. En una primera etapa, se validó mediante un remuestreo de las mejores leyes la información proporcionada por Pangea y en una segunda etapa se buscó delimitar las zonas de interés económico e identificar áreas nuevas con potencial. (Figura N° 15).

Las muestras fueron de afloramientos, canales, trincheras y de la galería nivel 3400 que sigue a la veta. Se han tomado 840 muestras de superficie y 860 muestras subterráneas (Figura N° 16), las muestras fueron analizadas por 35 elementos (ICP) y el Au fue analizado por ensayo al fuego – peso nominal 30 gr; estos análisis fueron realizados por los laboratorios Act Labs Perú y CIMM.

Toda la data geoquímica se ha organizado en tablas con campos para las coordenadas de la muestra, descripción geológica, leyes y observaciones, de tal forma que sea manejable, auditable y permitan el análisis e interpretación de la información que contiene.

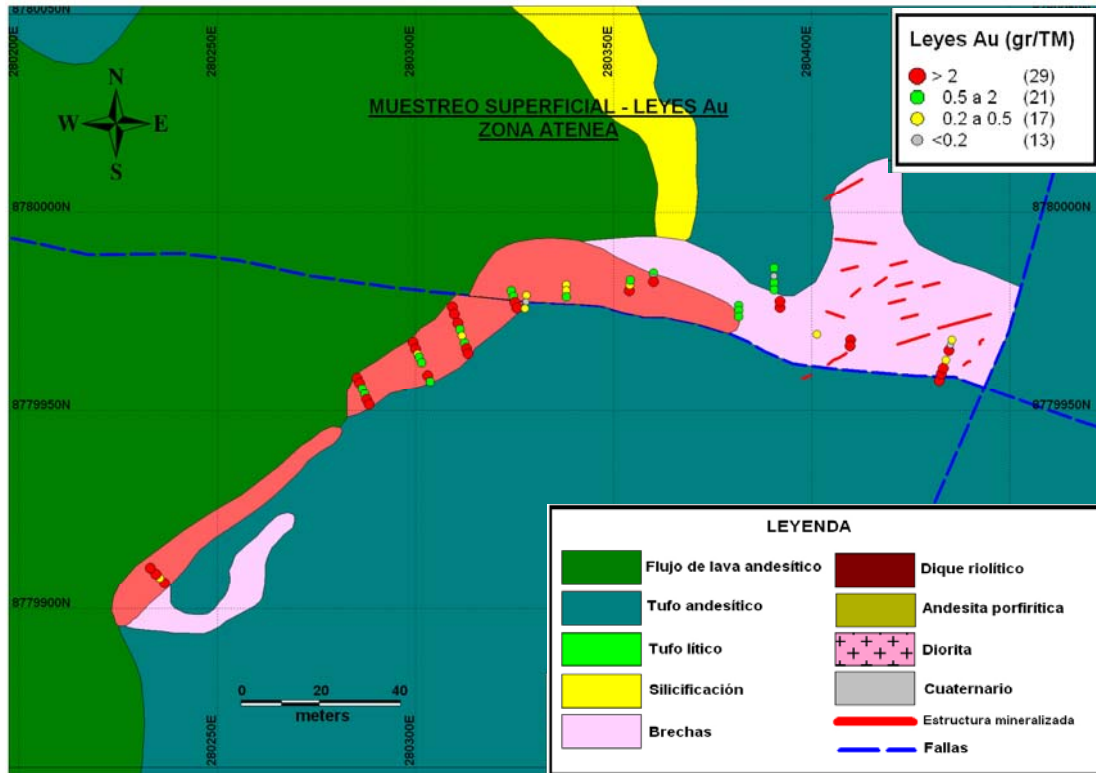


Figura 15: Plano geológico con ploteo de leyes Au de la zona Atenea.

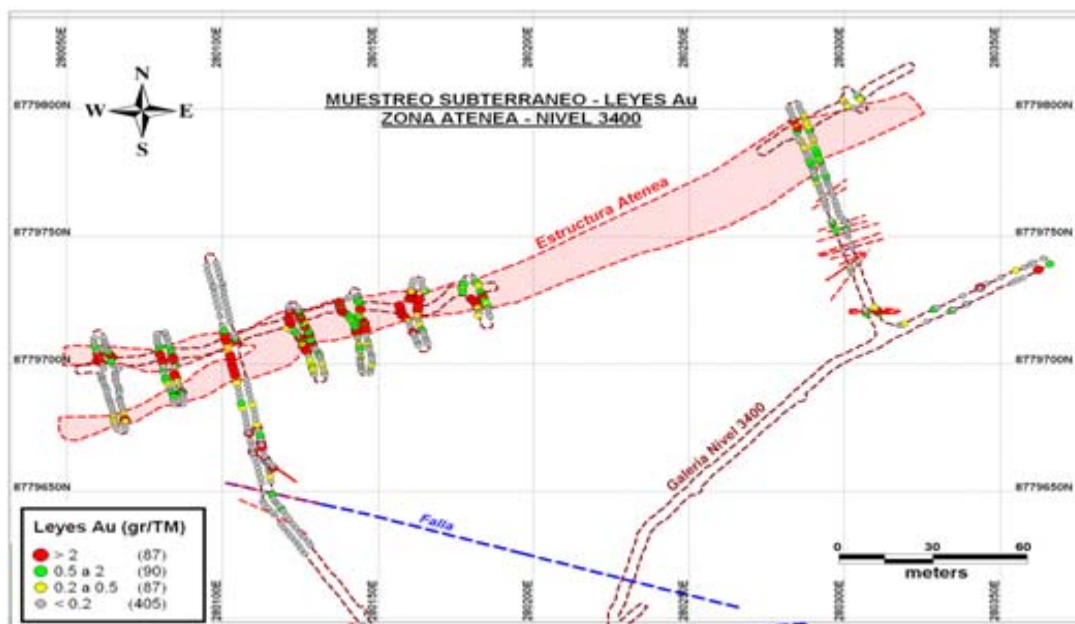


Figura 16: Muestreo subterráneo con ploteo de leyes Au realizado en la galería y labores que están al nivel 3400 siguiendo y cortando a la veta Atenea.



### **3.1.3 Tratamiento estadístico de la información**

La información se ha discretizado por zonas, solo en la zona Atenea se ha subdividido en muestras superficiales y subterráneas. No se ha considerado el dominio litológico para el análisis de la data debido a que las muestras fueron tomadas bajo el criterio de muestrear solo posible mineralización económica.

#### **3.1.3.1 Muestreo superficial**

Con las leyes se procedió a realizar una estadística básica para determinar parámetros estadísticos de posición y dispersión, el background y treshold para cada elemento de la data geoquímica. (Ver tabla 03).

PARAMETRO	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Pb %	Zn %	DOMINIO
Media	4.40	14.26	0.78	0.26	0.07	ZONA ATENEA (Superficie)
Mediana	0.74	5.36	0.05	0.18	0.06	
Desviación estándar	10.35	21.90	5.30	0.36	0.06	
Varianza de la muestra	107.19	479.48	28.11	0.13	0.00	
Mínimo	0.01	0.88	0.01	0.01	0.01	
Máximo	77.63	125.39	46.79	2.95	0.30	
N° Datos	80	72	79	79	80	
Background	4.40	14.26	0.78	0.26	0.07	
Treshold	25.11	58.05	11.38	0.99	0.19	

Tabla 03: Estadística del muestreo superficial realizado en la zona de Atenea.

#### **3.1.3.2 Muestreo subterráneo**

Similar al muestreo superficial, se procedió a realizar una estadística básica del muestreo subterráneo realizado en la veta Atenea. (Ver tabla 04).

PARAMETRO	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Pb %	Zn %	DOMINIO
Media	1.35	24.81	0.58	0.64	0.55	ZONA ATENEA (Subterráneo)
Mediana	0.11	4.30	0.12	0.07	0.10	
Desviación estándar	6.15	70.13	0.98	1.89	1.61	
Varianza de la muestra	37.81	4918.46	0.96	3.59	2.58	
Mínimo	0.01	0.20	0.00	0.00	0.00	
Máximo	108.44	1154.00	7.79	22.96	27.77	
N° Datos	670	670	670	670	670	
Background	1.35	24.81	0.58	0.64	0.55	
Treshold	13.64	165.07	2.55	4.43	3.77	

Tabla 04: Estadística del muestreo subterráneo realizado en la veta Atenea.

### **3.1.4 Correlaciones geoquímicas**

Los gráficos de correlación geoquímica permiten identificar afinidades positivas, negativas o ausencia de estas en la ocurrencia y/o distribución de elementos de interés económico, esta afinidad es medida mediante el índice de correlación (I.C.) cuyos valores mínimos y

máximos son de -1 y 1 respectivamente. En la práctica, se pueden establecer los siguientes rangos:

- Buena correlación entre elementos si el I.C.  $\geq 0.7$ .
- Moderada, si I.C.  $\geq 0.5$  y I.C.  $< 0.7$ .
- Baja, si I.C.  $\geq 0.3$  y I.C.  $< 0.5$ .
- Ausencia, si I.C.  $\geq 0$  y I.C.  $< 0.3$
- Negativa, si I.C.  $< 0$

### 3.1.4.1 Muestreo superficial

A partir de la información obtenida por el muestreo superficial realizado, se generan gráficos y tablas de correlación entre elementos de interés (Au, Ag, Cu, Pb y Zn). (Figura N° 17).

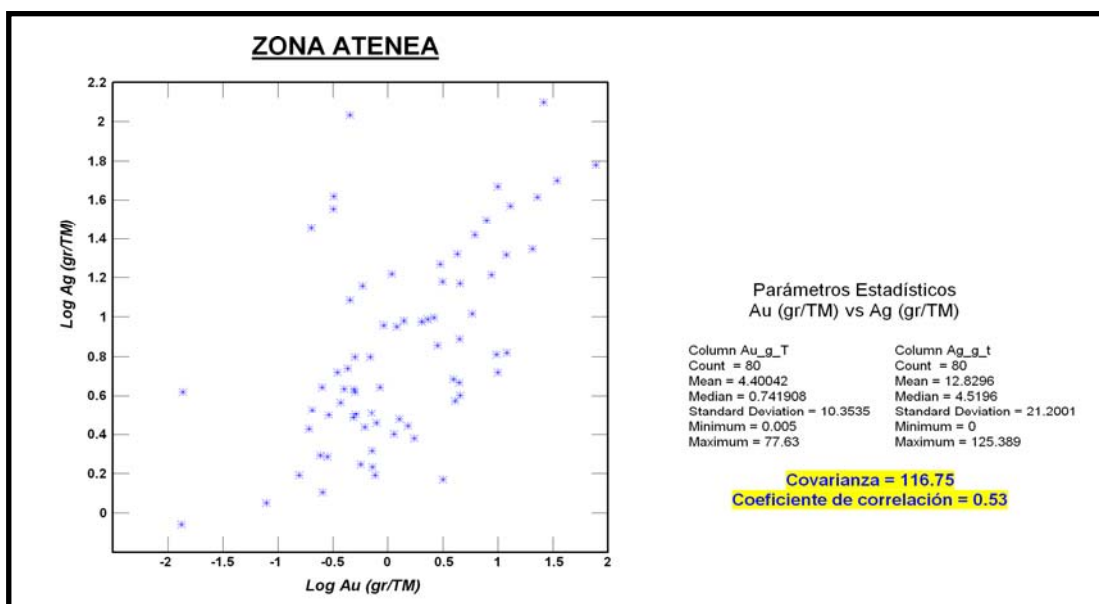


Figura 17: Gráfico de correlaciones Au versus Ag de muestras superficiales.

Elementos	Au (gr/TM)	Ag (gr/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
Au (gr/TM)	1	0.53	0.06	0.25	-0.08
Ag (gr/TM)		1	0.17	0.16	-0.21
Cu (%)			1	0.01	-0.11
Pb (%)				1	0.2
Zn (%)					1

Tabla 05: Tabla resumen mostrando los coeficientes de correlación entre Au, Ag, Cu, Pb y Zn en la zona Atenea a partir del muestreo superficial.

### 3.1.4.2 Muestreo subterráneo

Se procede de manera similar a lo realizado con las leyes del muestreo superficial. (Figura N°18).

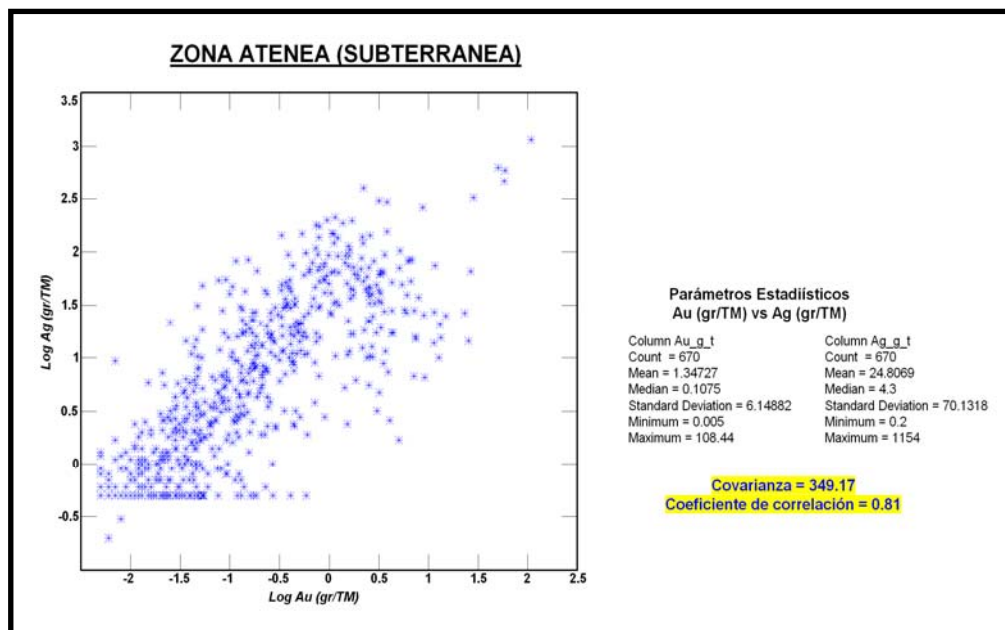


Figura 18: Gráfico de correlaciones Au versus Ag de muestras subterráneas tomadas en la veta Atenea al nivel 3400.

Elementos	Au (gr/TM)	Ag (gr/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
Au (gr/TM)	1	0.81	0.37	0.11	0.12
Ag (gr/TM)		1	0.65	0.38	0.21
Cu (%)			1	0.49	0.31
Pb (%)				1	0.52
Zn (%)					1

Tabla 06: Tabla resumen de los coeficientes de correlación entre Au, Ag, Cu, Pb y Zn en la veta Atenea a partir del muestreo subterráneo realizado al nivel 3400.

### 3.1.5 Resultados y conclusiones del trabajo geoquímico

En cuanto al muestreo superficial, se confirma la presencia de mineralización económica en las diferentes zonas de Invicta, los valores obtenidos por Au, Ag, Cu, Pb y Zn sugieren continuar las exploraciones con estudios más detallados. Todas las zonas arrojan una media de 1.5 Au gr/TM y 10 Ag gr/TM aproximadamente; la desviación estándar en todos los casos

es alta debido principalmente a la falta de un mayor número de muestras y a la erraticidad de las leyes. En cuanto a las correlaciones entre elementos, los datos empleados solo detectan una correlación moderada entre el oro y la plata (ver tabla 05).

El muestreo subterráneo tuvo la finalidad de brindar información más confiable (las muestras están menos perturbadas) y confirmar la continuidad de la mineralización económica; los datos empleados para el análisis dan una media de 1.5 Au gr/TM, 24 Ag gr/TM y 0.5 % de Cu, Pb y Zn, la desviación estándar sigue siendo alta. En cuanto a las correlaciones, existe una buena correlación entre el oro y la plata, correlación moderada entre la plata – cobre y plomo - zinc, y baja correlación entre el cobre – plomo. (Ver tabla 06).

## **3.2 GEOFISICA**

### **3.2.1 Trabajos anteriores**

Por encargo de Pangea, Val D'or Geofísica realiza estudios de Polarización Inducida e Intensidad Magnética (IP) sobre una malla de líneas geofísicas establecida por los geólogos de Pangea (Figura N° 19), se buscó establecer posibles relaciones y/o continuidades entre las zonas mineralizadas del proyecto y su proyección a profundidad.

La geofísica se llevo a cabo en dos fases: Fase I, de agosto a septiembre de 1996: 13.9 km de Magnetometría y 10.7 km de IP y la Fase II de agosto a septiembre de 1997: 32.2 km de Magnetometría y 37.2 km de IP. El espaciamiento de las lecturas fueron de 25 m para la fase I y 50 m para la fase II.

### **3.2.2 Trabajos recientes**

Andean Explorations a través de Geofísica Consultores lleva a cabo un programa de exploración geofísica buscando confirmar los trabajos de Val D'or, establecer posibles continuidades a profundidad de las estructuras mineralizadas reconocidas en superficie e identificar nuevas zonas con potencial prospectivo. El levantamiento geofísico se llevó a cabo entre los meses de junio y julio del 2007 con la aplicación de los métodos de Polarización Inducida / Resistividad (IP/RES) y Magnetometría (MAG) sobre una malla que fue determinada por los geólogos de Andean (Figura N° 20). En este estudio se levantaron 26 líneas de Magnetometría que hacen un total de 54 km y 19 líneas de Polarización

Inducida / Resistividad con un total de 42.5 km; la orientación de las líneas fueron NE-SW y espaciadas nominalmente cada 100 m.

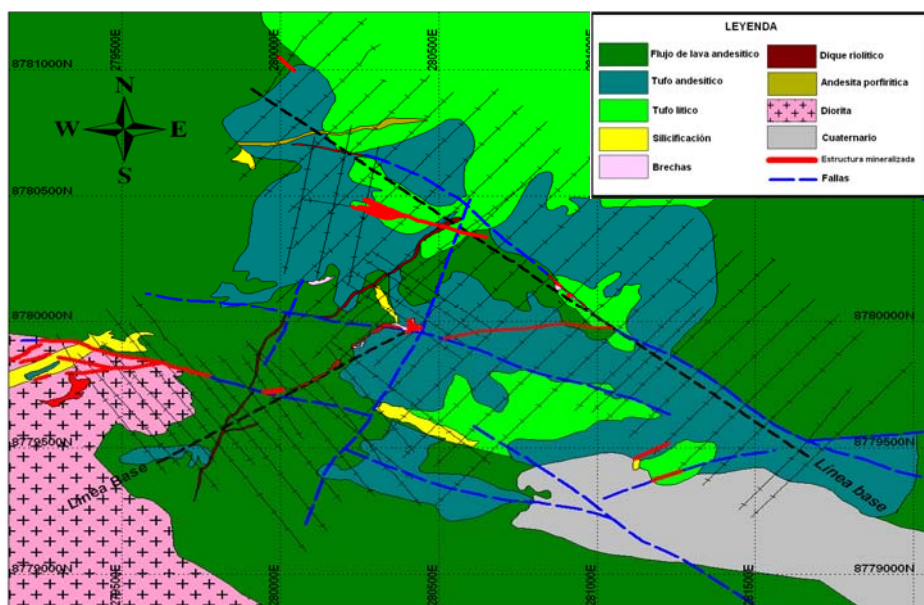


Figura 19: Malla geofísica que sirvió de base para los trabajos geofísicos realizados por Val D'or Geofísica Perú.

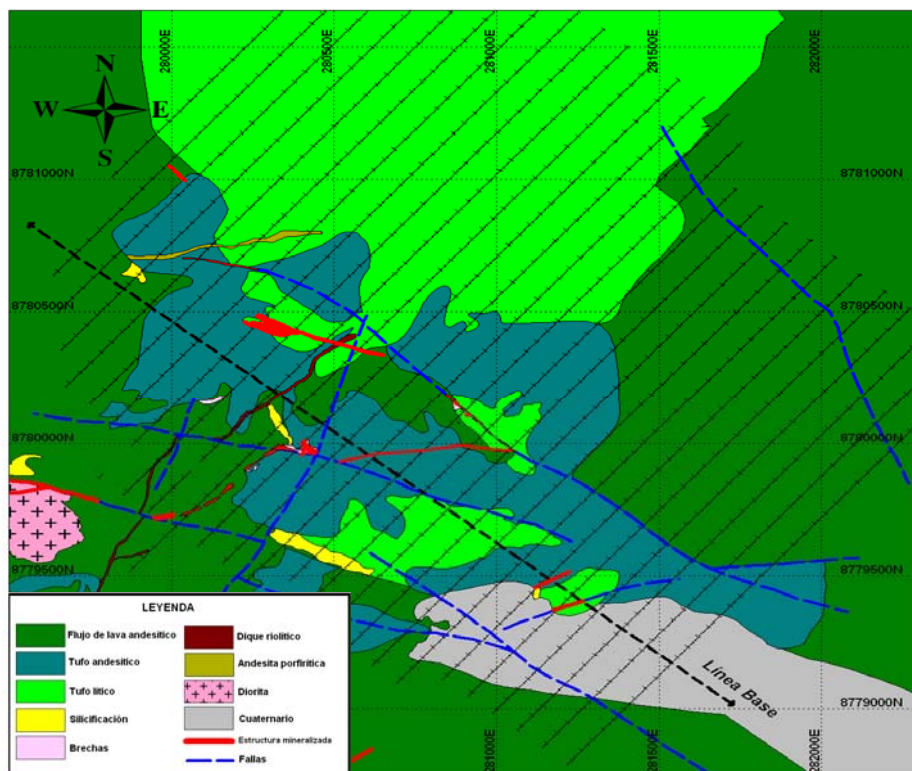


Figura 20: Malla geofísica que sirvió de base para los trabajos geofísicos realizados por Geofísica Consultores.

### **3.2.3 Interpretación de la información**

#### **3.2.3.1 Magnetometría (MAG)**

Los resultados magnéticos sugieren la presencia de zonas de susceptibilidades magnéticas y lineamientos magnéticos que pueden corresponder con el sistema de fallamiento local y/o que podrían relacionarse con estructuras geológicas (diques o contactos), las mismas que pueden haber sido controles estructurales para los fluidos mineralizantes (Figura N° 21).

Con el carácter de los datos magnéticos en el área se ha podido delimitar 3 zonas que se caracterizan por su contraste de susceptibilidades magnéticas (alta, media y baja), esto se puede deber a cambios litológicos o bien a una diferenciación mineralógica muy marcada en las rocas. (Figura N° 22).

La zona de susceptibilidad alta esta asociada a rocas intrusivas, se caracteriza por contener minerales ferromagnéticos y por presentar ruido de alta frecuencia cerca de la superficie. Además en esta zona se destaca zonas polarizables (IP1, IP2) y estructuras delgadas polarizables en profundidad.

La zona de susceptibilidad media, se encuentra en la parte central del área, se caracteriza por su profundidad de emplazamiento y su fuerte alteración (destrucción de la magnetita por procesos hidrotermales) o es más bien un asunto de litología (bajo contenido de minerales ferromagnéticos en los constituyentes de la roca). Dentro de esta zona se destacan los lineamientos magnéticos que están asociados con las estructuras delgadas polarizables y zonas polarizables (cargabilidad alta).

La zona de susceptibilidad baja al parecer no contiene material magnético por presentar un relieve magnético tranquilo. Se han definido anomalías aisladas de cuerpos magnéticos tabulares (C1, C2) cerca a la superficie, que por su respuesta representarían a posibles diques andesíticos.

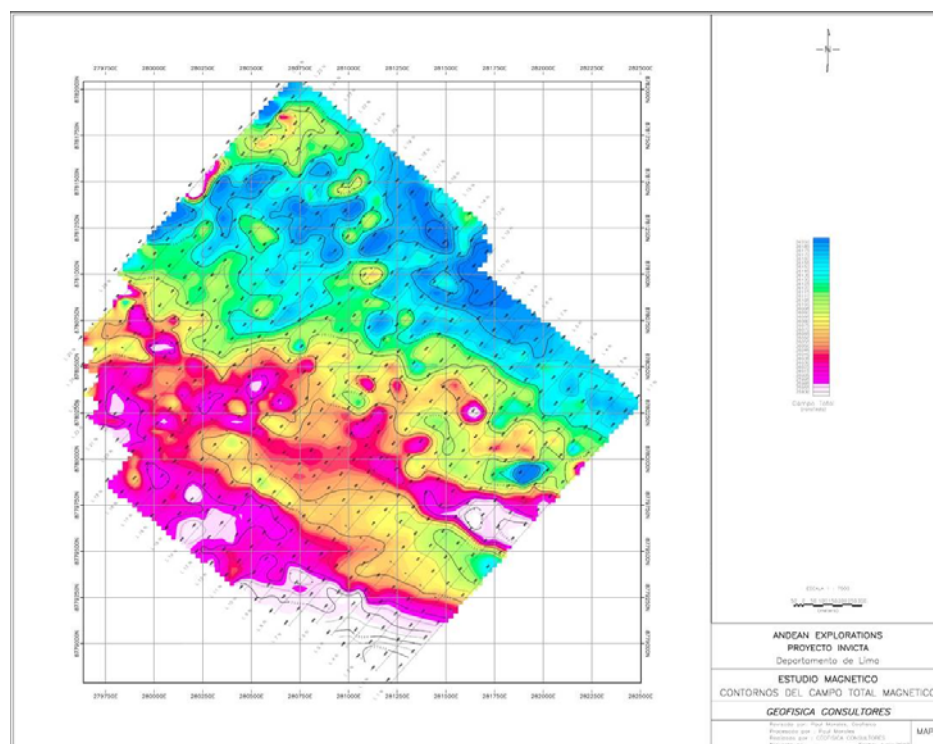


Figura 21: Plano de contornos del campo total magnético realizado por Geofísica Consultores, los tonos rojos son las áreas más favorables para la ocurrencia de mineralización económica.

### **3.2.3.2 Polarización Inducida / Resistividad (IP/RES)**

La interpretación de la Polarización Inducida/Resistividad se ha realizado tomando en cuenta la intensidad de las anomalías a través de los resultados de las inversiones 2D. En el área se presentan contactos definidos y gradacionales, se muestra una clara correlación con las diferentes unidades litológicas y/o estructuras existentes que son causadas por el contraste de resistividades. Esta correlación es más clara con respecto a los diferentes grados de alteración y porosidad de la roca, esto ha determinado en gran medida la forma y amplitud de las anomalías encontradas. (Figura N° 22)

En las zonas polarizables se observa que la amplitud de las anomalías tienen un efecto lateral, producto de la extensión del dipolo (dipolo=100 m), indicando la magnitud de la polarización; estas zonas se emplazan en zonas de susceptibilidad magnética alta, con intenso fracturamiento y alta permeabilidad, sus cargabilidades moderadas indican la presencia de mineralización de sulfuros en profundidad (diseminación de pirita, que se encuentran rellenando fracturas). En la zona polarizable IP2 se determina una estructura delgada polarizable que es truncada al chocar con el lineamiento magnético F2, al parecer ambos ramales evidencian anomalías que estarían relacionadas con mineralización de

sulfuros diseminados. En la zona central y sur de la línea de base, las estructuras delgadas polarizables están asociadas a resistividades altas y se encuentran alineadas con el rumbo estructural magnético, estas conformarían estructuras silicificadas (vetas) y se puede afirmar que la mayor contribución es producto de posibles ocurrencias significativas de mineralización de sulfuros en profundidad, por lo que se debe verificar la naturaleza de la fuente polarizable pues presentarían las mejores condiciones para la exploración geológica. (Figuras N° 23 y 24).

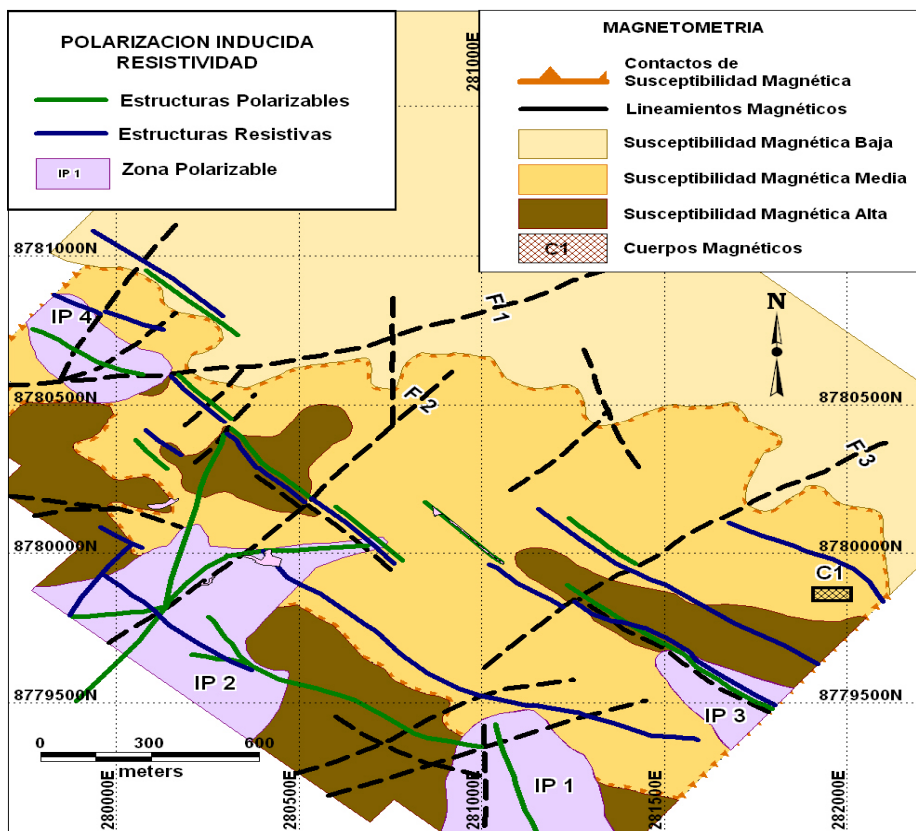


Figura 22: Plano de interpretación geofísica empleando la información obtenida de la Magnetometría y de la Polarización Inducida / Resistividad.

### **3.2.3.3 Líneas geofísicas**

Las secciones de inversión han sido determinadas mediante un proceso de inversión aplicando el software DCIP-2D (UBC University of British Columbia), cuyo objetivo es de localizar materiales altamente polarizables a lo largo de las secciones 2D, esto mejora la correlación geofísica – geológica, permitiendo optimizar la selección de objetivos del proyecto.



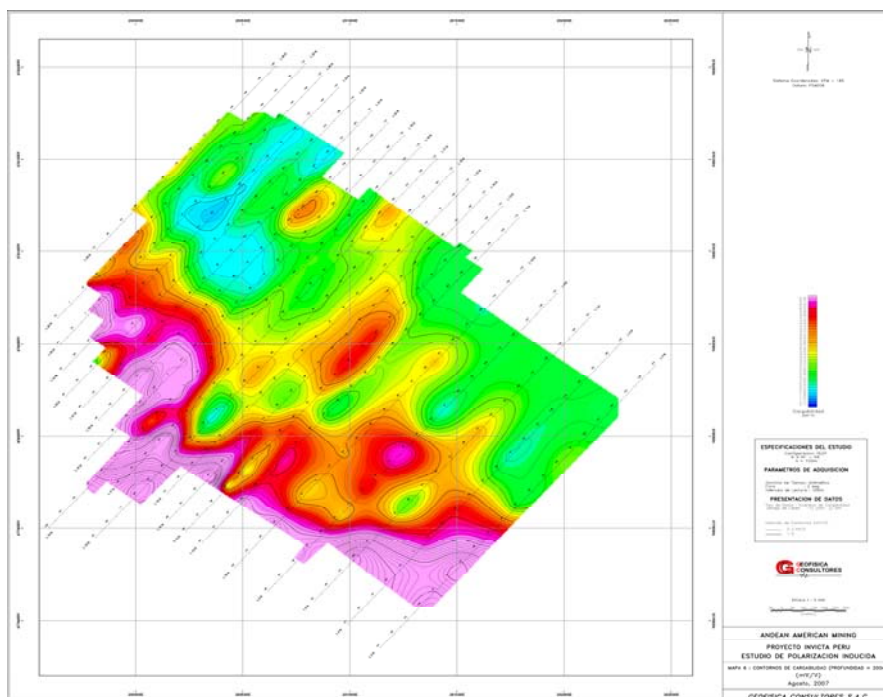


Figura 23: Plano de contornos de Cargabilidad (profundidad = 200 m) realizado por Geofísica Consultores; los tonos rojos son las áreas más favorables para la ocurrencia de mineralización económica.

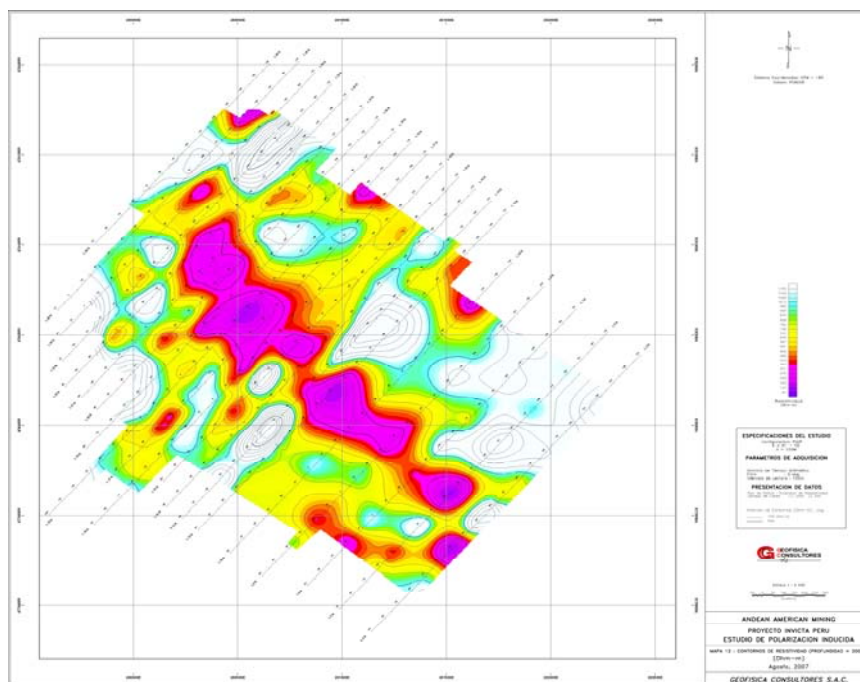


Figura 24: Plano de contornos de Resistividad (profundidad = 200 m) realizado por Geofísica Consultores; los tonos rojos son las áreas más favorables para la ocurrencia de mineralización económica.

### **.3.2.4 Interpretación final**

Val D'or Geofísica y Geofísica Consultores presentan a Pangea y Andean respectivamente, un informe de los trabajos realizados así como un juego de planos de planta a diferentes niveles y perfiles en donde muestran las anomalías geofísicas que se detectan en los estudios. Con esta información, Andean elabora planos compósitos y secciones en donde integra la información geológica de los trabajos de campo y la información geofísica. Esto permite establecer objetivos de perforación en profundidad, apuntando hacia las zonas de mayor anomalía geofísica encontrada y que según las interpretaciones presentan correlación con las anomalías geoquímicas. (Figura N° 25).

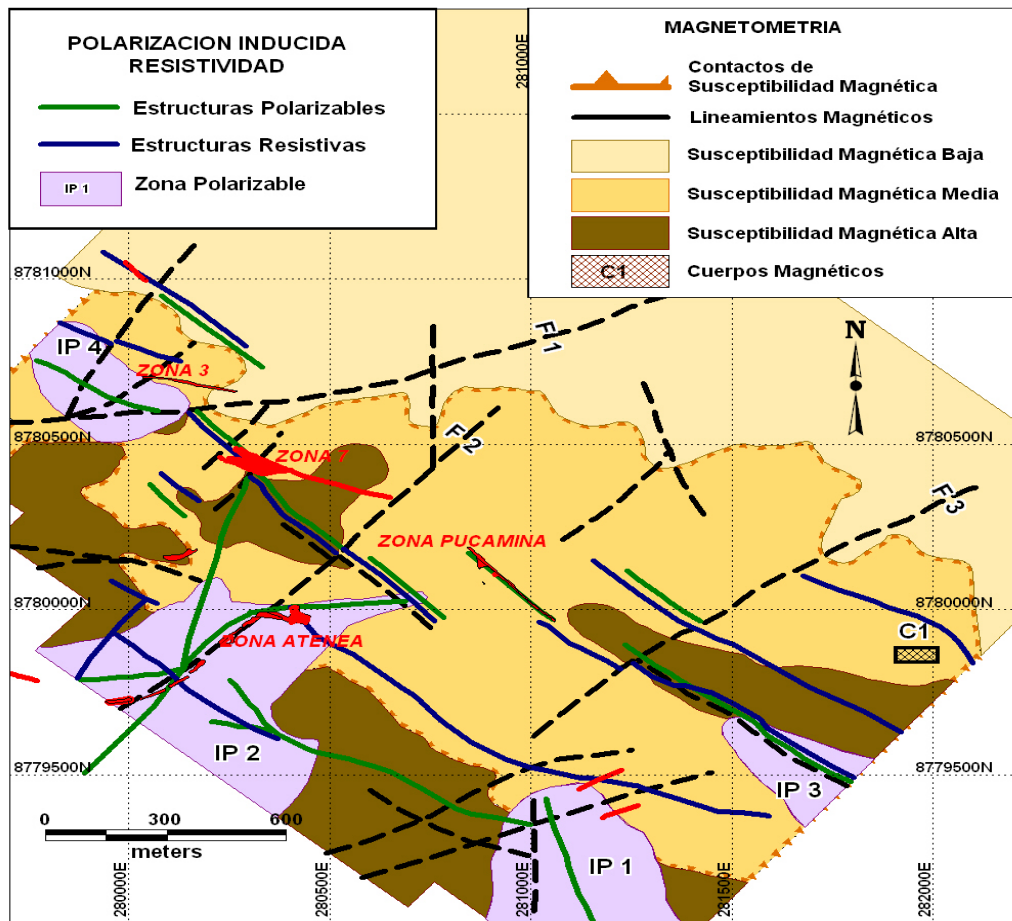


Figura 25: Plano de interpretación geofísica en donde se verifica la correlación entre las estructuras geofísicas y las vetas mineralizadas.

### **3.3 PERFORACION DIAMANTINA**

#### **3.3.1 Trabajos anteriores**

Entre febrero de 1997 y agosto de 1998, Pangea realizó 112 perforaciones diamantinas en el área totalizando 12476 m. Estas actividades se ejecutaron en 2 fases:

- Fase I: entre los meses de febrero y agosto de 1997, 4209 m de perforación en la zona 1 (Atenea), zona 2 (Pucamina), zona 4, zona 6 y 7.
- Fase II: entre octubre de 1997 y agosto de 1998, 8115 m de perforación en las zonas 1, 2, 4, 5 y 6 y 152 m (29 taladros) de perforación subterránea en la zona 1 (galerías 3557 y 3614).

Estos trabajos fueron realizados sobre las 6 zonas mineralizadas reconocidas hasta el momento, el espaciado entre taladros varía entre los 50 m y 100 m. Geodrill realizó la fase 1, y Bradley S.A. y MDH S.A. realizaron las perforaciones superficiales y subterráneas de la fase 2 respectivamente. Para cada taladro, los datos de RQD fueron obtenidos de la longitud total, las pruebas de densidad fueron realizadas sobre las zonas mineralizadas. Un total de 3313 muestras de los cores fueron analizadas por CIMM PERU S.A.

En la zona Atenea de un total de 32 taladros superficiales que totalizaron 4684.8 m, 28 de ellos interceptaron vetas mineralizadas. Los taladros 4411-98-101 y 4411-98-102 fueron perforados como prueba pero tuvieron que ser abandonados dentro de los primeros 10 m, el taladro 4411-98-57 tuvo como finalidad ubicar objetivos que permitiesen ampliar la zona mineralizada hacia el SW, dicho taladro no cortó mineralización. De los taladros cortos subterráneos, estos fueron realizados a un intervalo de 15 m en las galerías 3557 (120 m) y 3614 (31 m). (Figura N° 26).

En la zona Pucamina fueron realizados 31 taladros superficiales totalizando 4414.75 m; 28 de ellos interceptaron veta mineralizada. De los otros 3, el 4411 – 98 – 42 fue abandonado, y el 4411 – 98 – 62 apuntó hacia estructuras secundarias. Aunque la mayoría de los taladros dieron en el objetivo, solo 9 taladros interceptaron mineralización económica de oro (cut – off de 3 gr/TM).

En las zonas 4 y 6 se ejecutaron 17 taladros totalizando 2999.28 m de perforación. La mayoría de los taladros interceptaron estructuras angostas. Sin embargo, es difícil relacionar

estas estructuras con zonas mineralizadas específicas. La zona 7 se pensó sería una extensión de la veta Pucamina, pero debido a las diferencias entre las brechas de ambas zonas, Pangea decide no asociarlas y las separa en las zonas 3 y 7. El taladro 4411 – 97 – 27 fue perforado bajo los 4 m de una amplia zona de brecha (trinchera P25), sin embargo no interceptó la brecha. Como taladros de reconocimiento fueron perforados 2 taladros en la zona 5, totalizando 51.75 m.

### **3.3.2 Trabajos recientes**

En base a los resultados geoquímicos y geofísicos, Andean lleva a cabo un programa de perforación diamantina que tuvo como objetivos:

- Verificar y certificar la información proporcionada por Pangea (en los sondajes con mejores leyes).
- Incrementar y clasificar recursos en las zonas con mineralización conocida.
- Identificar nuevas áreas con potencial.

Este programa se llevo a cabo entre agosto del 2006 y junio del 2008, 52 sondajes diamantinos que totalizan 14282.19 m de perforación; los ejecutores fueron las compañías de perforación Geotecnia Peruana y Esondi. Estos sondajes están distribuidos de la siguiente manera:

- 31 en la zona de Atenea, con un total de 8282.67 m. (Figura N°26)
- 14 en las zonas de Idalia, 4 y 6, con un total de 4310.6 m.
- 7 en las zonas 3 y 7 con un total de 1688.97 m.

En la zona de Atenea, la mayoría de los taladros se ejecutaron para confirmar la continuidad de la mineralización en profundidad y poder clasificar recursos según normas internacionales; los sondajes AE-DDH-07-112, AE-DDH-07-118, AE-DDH-07-120 buscaron identificar la continuidad de la estructura al Oeste y Este respectivamente de la veta Atenea.

En las zonas Idalia, 4 y 6, los taladros mostraron la presencia de numerosas vetas mineralizadas con una orientación paralela a la veta Atenea; todos ellos cortan tramos mineralizados con un ancho promedio de 0.5 m de potencia. En las zonas 3 y 7, los sondajes ejecutados confirman la presencia de vetas con mineralización económica de poca potencia.

### **3.3.3 Muestreo de los cores de perforación**

Andean Explorations realizó un muestreo de cores así como un remuestreo de los testigos de perforación de Pangea en aquellos tramos en que reportaron las mejores leyes. Un total de 744 muestras fueron tomadas para la validación del muestreo realizado por Pangea: 390 de la veta Atenea (incluyendo 60 muestras de trincheras y 18 muestras de la galería 3557), 192 muestras de la veta Pucamina (incluyendo 27 muestras de trincheras) y 162 muestras de las zonas 4 y 6. Para el muestreo se tuvo en cuenta el tipo de mineralización interceptada por los taladros, litología, las texturas y alteraciones. (Foto N° 34).

Los cores obtenidos se dividieron en 2 partes por una cortadora de testigos, aire comprimido fue usado para limpiar la mesa en donde se apoyaba el core a muestrear. La toma de muestras se realizó con ayuda de un cepillo y una espátula de madera para recoger hasta el material fino; el ambiente en donde se realizaba el corte estaba separado de la del muestreo, las muestras obtenidas se llenaron en bolsas de plástico de 10" x 15", el resto del core se guardaba en su correspondiente caja portatestigo. El peso de las muestras variaba entre 1 y 3 kilos dependiendo de la longitud de muestreo y del tipo de mineralización; las muestras eran introducidas en bolsas de plástico gruesas con un ticket en el que se ponía el número de muestra además el mismo código con el número de taladro era escrito en la superficie de la bolsa con un plumón indeleble; luego, las muestras eran almacenadas en un cuarto seguro, con la ventilación adecuada y ambiente seco. Finalmente las muestras eran empacadas en grupos de 25, llenadas en costales y enviadas al laboratorio respectivo.



Foto 34: Caja portatestigo con cores del sondaje AE-DDH-06-80 lista para ser llevada al área de logueo y posteriormente al core shack (bodega de almacenaje) para su corte y muestreo.

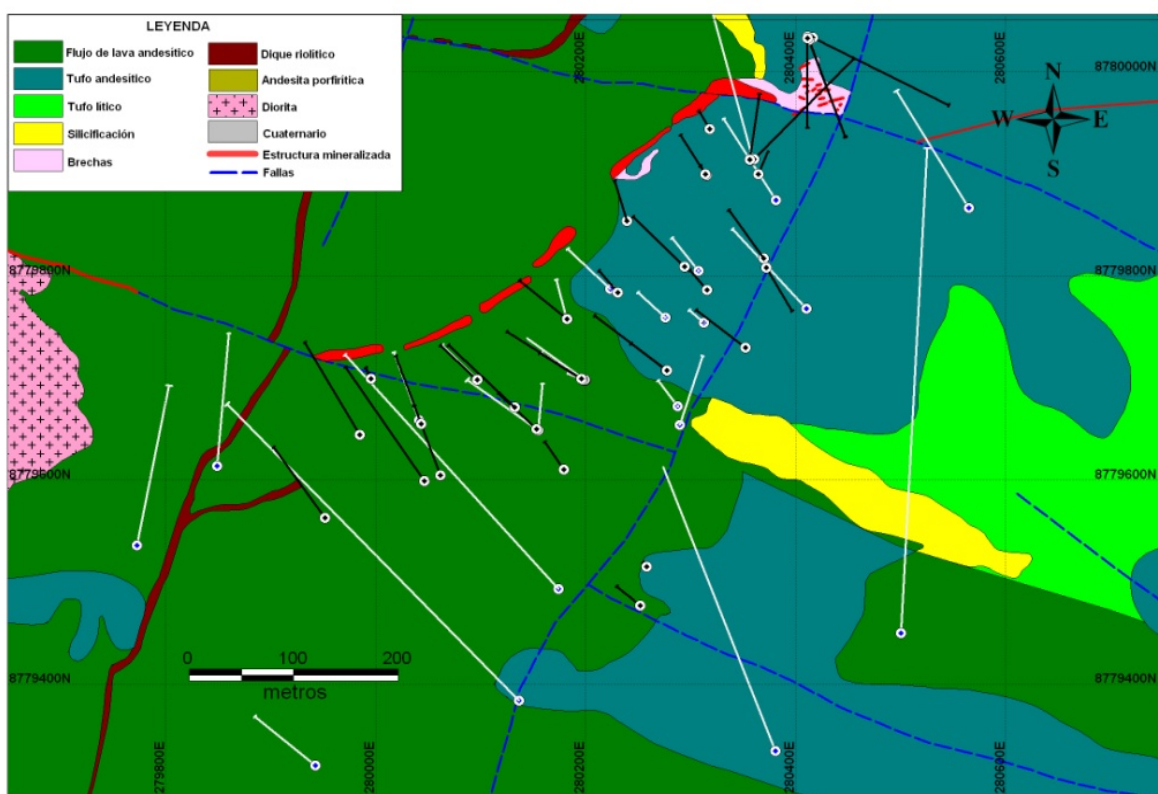


Figura 26: Ubicación de los sondajes ejecutados en la zona Atenea; en negro los realizados por Pangea y en blanco por la compañía Andean.

### **3.3.4 Seguro de calidad / Control de calidad (QA/QC)**

#### **3.3.4.1 Conceptos**

El valor de las acciones cotizadas en las principales bolsas del mundo de un proyecto minero se basa en las onzas (Au, Ag) y contenidos metálicos (Cu, Pb, Zn y otros) de recursos y reservas; los cálculos de recursos se basan en análisis que deben ser exactos, precisos y libres de contaminación. Se tiene la obligación de asegurar a los accionistas e inversionistas que los ensayos son de la más alta calidad.

- QA - Quality Assurance (**Evitar Problemas**): Todas aquellas acciones necesarias, planeadas o sistemáticas, para proveer confiabilidad adecuada en el proceso de recolección de datos y estimación de recursos.
- QC - Quality Control (**Detectar Problemas**): Sistemas y mecanismos que aseguran la calidad.

**3.3.4.2 Análisis de estándares**

Permiten conocer y asegurar la exactitud de los resultados enviados por el laboratorio. La exactitud mide cuan cercano es el valor de la medición a los valores proporcionados por los estándares. Para el análisis de la información se considerará como aceptable si los valores reportados por el laboratorio están dentro de la tolerancia permitida por los estándares usados para el control.

Para Invicta, se usaron dos tipos de estándares, el CDN – FCM -3 y el CDN – FCM -2, el primero como estándar de baja ley y el segundo como control de alta ley (Ver tabla 07). Para el caso del oro el estándar CDN – FCM -3 tiene un valor de  $0.40 \pm 0.07$ , entonces la ley que reporta el laboratorio debe de estar entre 0.33 y 0.47 para ser aceptado, caso contrario se evalúa la opción de repetir el análisis para todo el lote de muestras al que corresponde el estándar analizado. (Figuras N° 27 y 28).

Estándar	Valores				
	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Pb %	Zn %
CDN-FCM-3	$0.40 \pm 0.07$	$23.6 \pm 3.3$	$0.291 \pm 0.020$	$0.152 \pm 0.014$	$0.543 \pm 0.032$
CDN-FCM-2	$1.37 \pm 0.12$	$73.9 \pm 7.3$	$0.756 \pm 0.046$	$0.479 \pm 0.038$	$1.739 \pm 0.104$

Tabla 07: Para cada estándar, se muestra las leyes y rangos de valores permitidos por elemento.

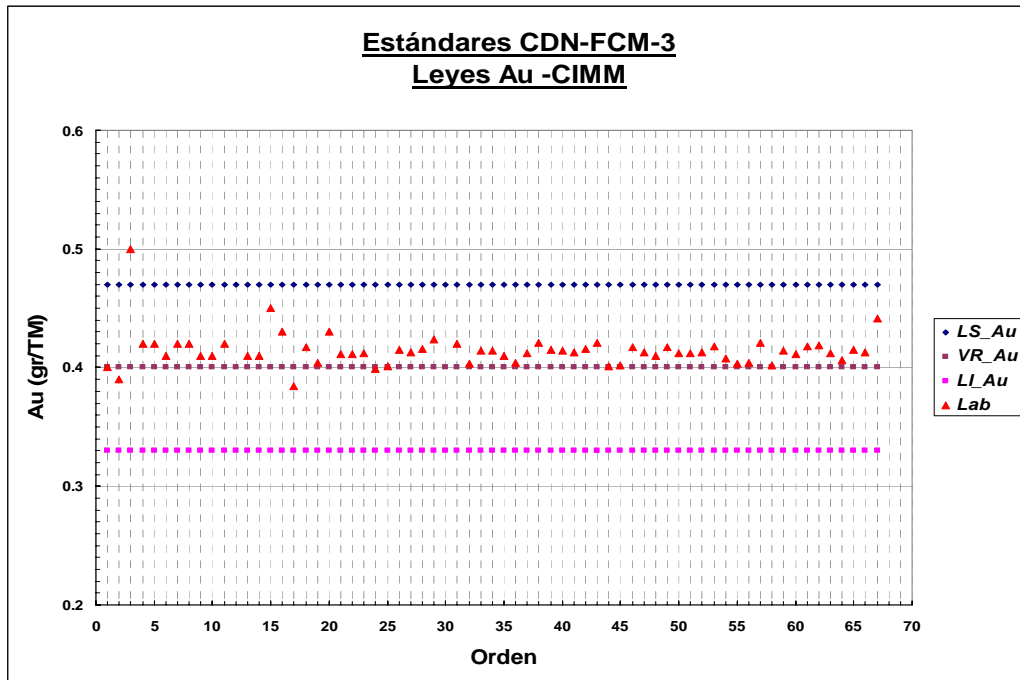


Figura 27: Gráfico de leyes Au procedente de muestras estándar reportadas.

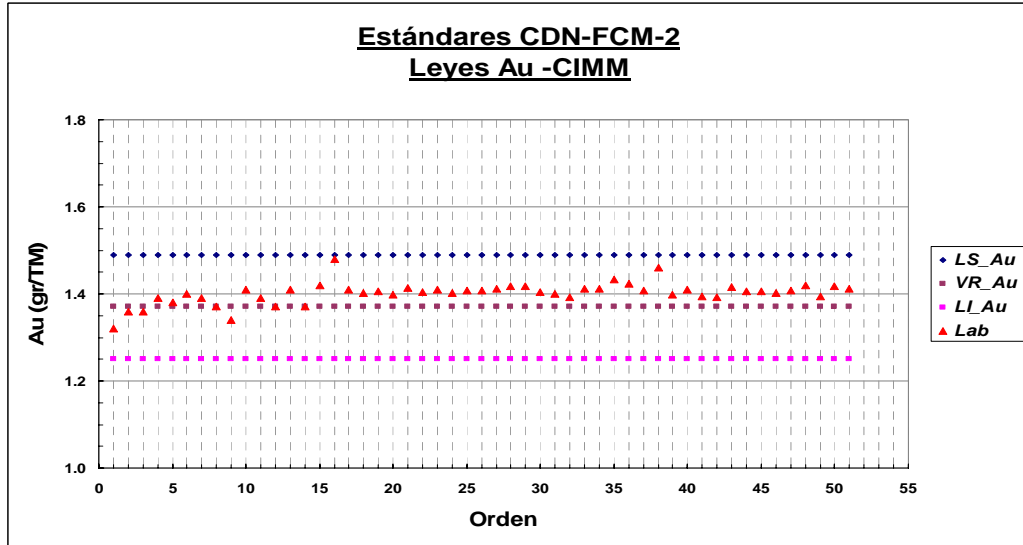


Figura 28: Gráfico de leyes Au procedente de muestras estándar reportadas.

### 3.3.4.3 Análisis de blancos

Permiten conocer y asegurar el buen manipuleo de las muestras enviadas al laboratorio así como el correcto uso de los equipos empleados en las mediciones que se realizan. Se considerará como aceptable si los valores reportados por el laboratorio para los blancos están por debajo del límite de detección del laboratorio para cada elemento (Ver tabla 08). (Figura N° 29).

Blancos	Valores				
	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Pb %	Zn %
Descripción	Au - EFAA	Ag - AAMA	Cu - AAMA	Pb - AAMA	Zn - AAMA
Mín. detección	0.005	0.5	1	5	1
Máx. detección	10	300	25000	10000	25000

Tabla 08: Límites mínimos y máximos de detección para cada elemento.

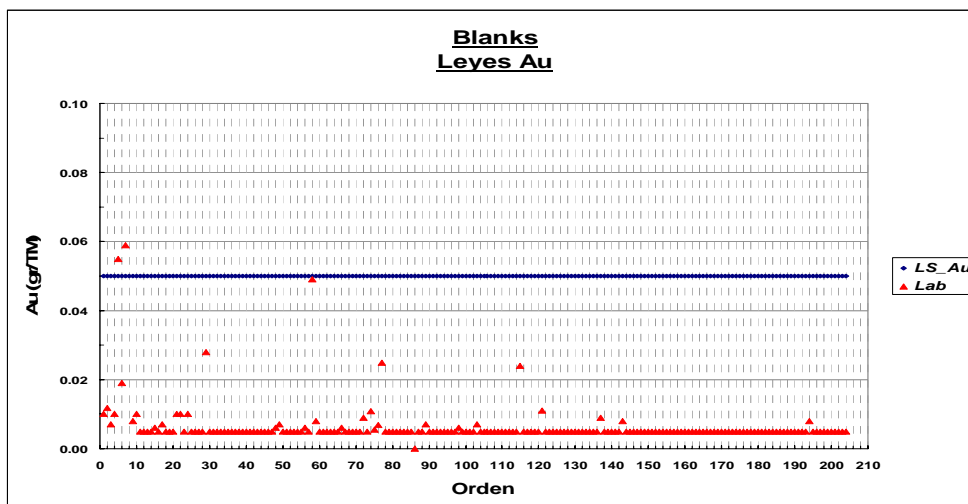


Figura 29: Gráfico de leyes Au de muestras blancas reportadas por el laboratorio.



### 3.3.4.4 Análisis de duplicados

Permiten conocer y asegurar la precisión del muestreo realizado y de los resultados enviados por el laboratorio. La precisión mide la reproducibilidad de la medición (dispersión) en torno a su valor medio (no necesariamente el valor verdadero). Para el análisis de la información se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

**Para la dispersión:** se cree conveniente establecer una tolerancia de +/- 20% de dispersión debido a las características del depósito (dificultades en el muestreo, erraticidad de las leyes, etc.). (Figuras N° 30 y 31).

**Para la precisión:** primero, filtrar aquellos datos cuyas medias entre valores originales y duplicados sea menor a diez veces el límite de detección (para cada elemento), esto para evitar las grandes discrepancias que se presentan entre los valores cercanos al límite de detección, desde el punto de vista económico estos valores no son importantes; segundo, aceptar como bueno que al menos el 80% de los datos filtrados presenten un error relativo acumulado menor o igual al 20%, esto debido al contexto geológico del yacimiento y a la dificultad que encierra el extraer un buen duplicado de la muestra. (Figura N° 32 y 33).

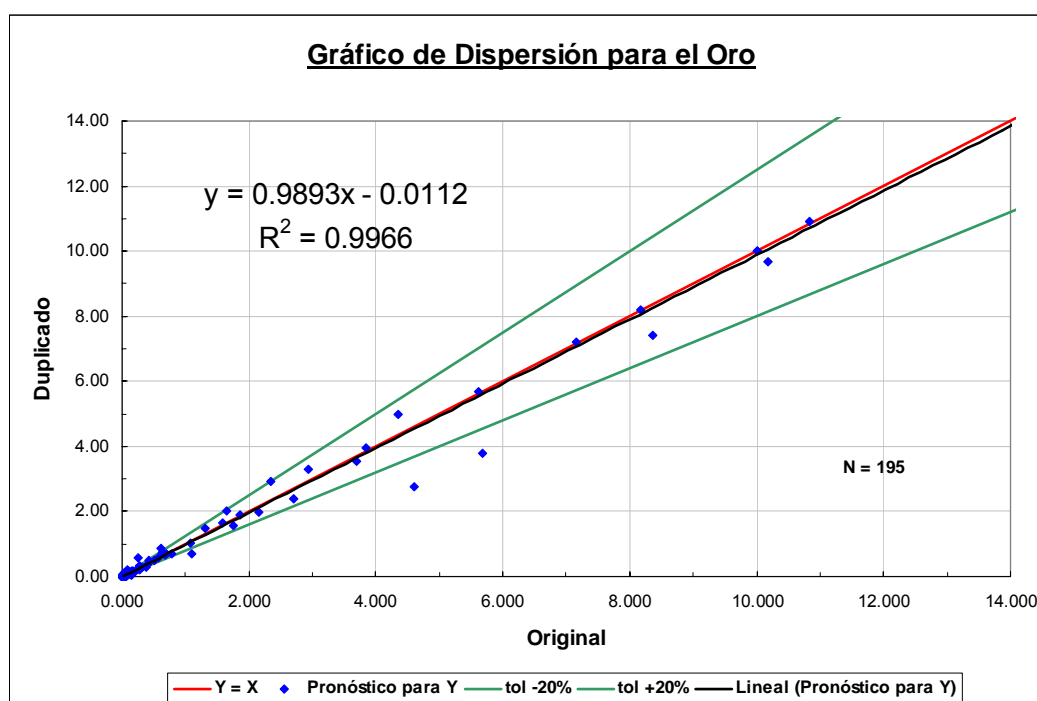


Figura 30: Gráfico de dispersión para el oro, buena correlación, dispersión aceptable.

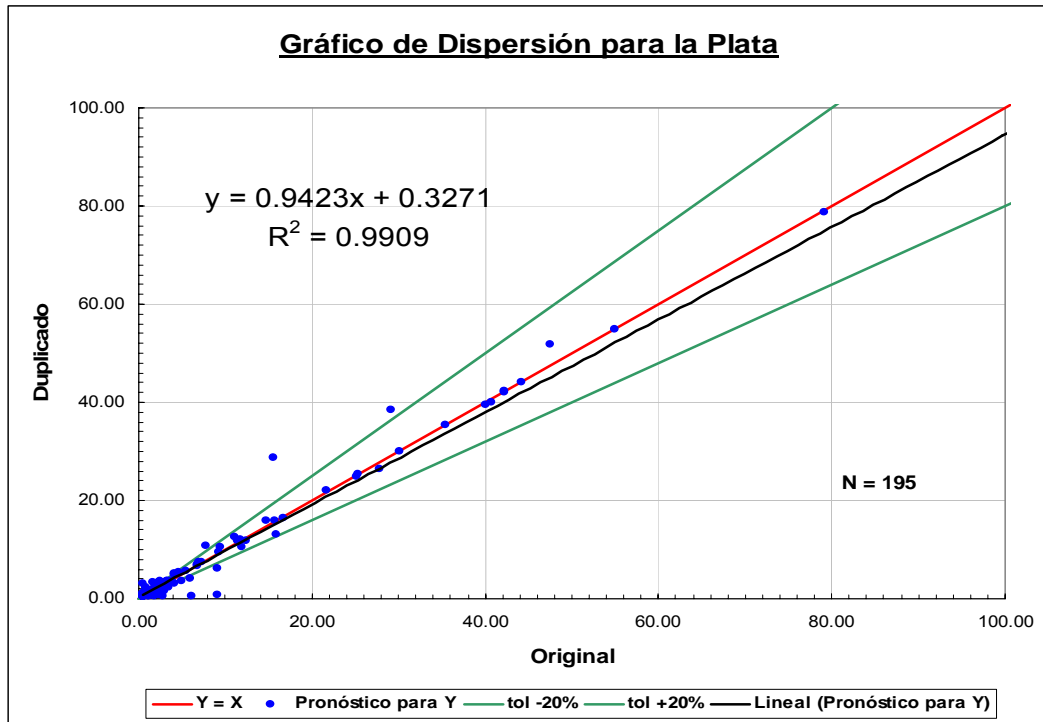


Figura 31: Gráfico de dispersión para la plata, buena correlación, dispersión aceptable.

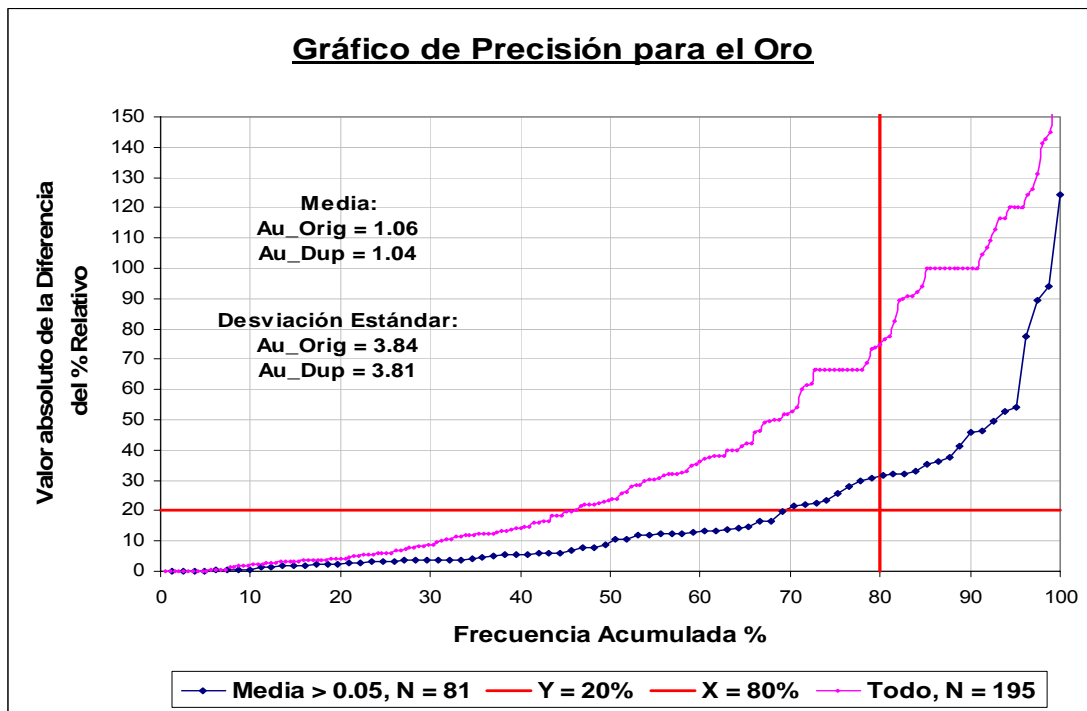


Figura 32: Gráfico de precisión o del error relativo acumulado para el oro.

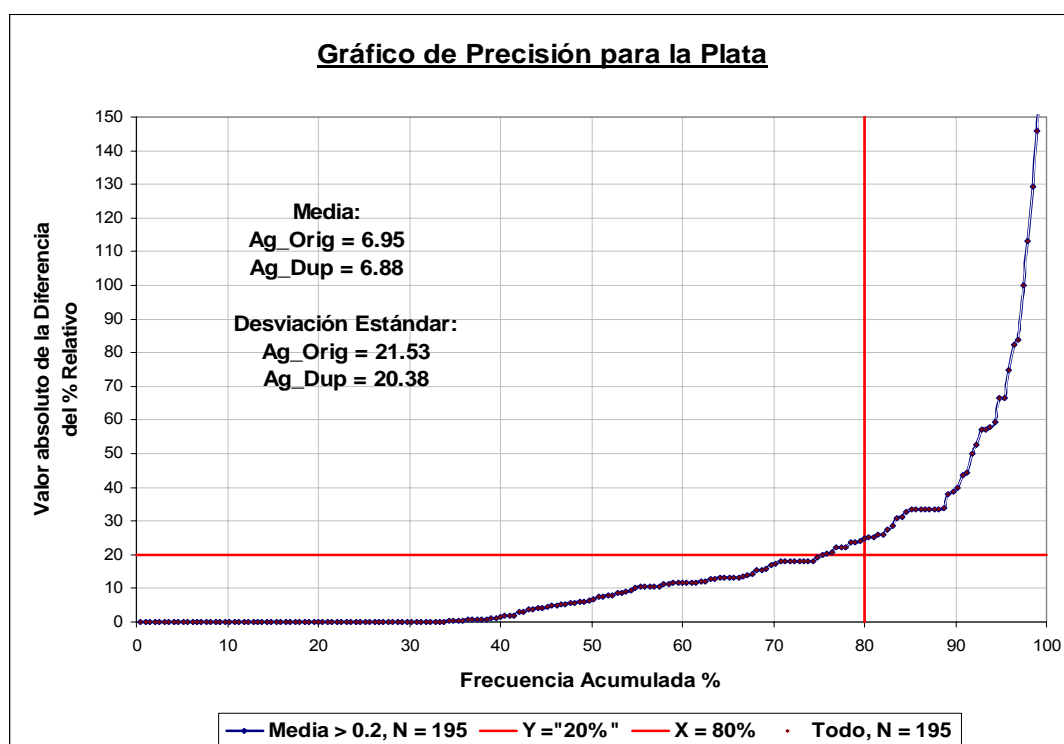


Figura 33: Gráfico de precisión o del error relativo acumulado para la plata.

### 3.3.4.5 Resultados del QA/QC

#### Estándares

Para CDN-FCM-2:

- Para el oro, el 97% de la información está dentro de los límites permitidos, se evidencia un sesgo positivo en los valores reportados por el laboratorio; el error es tolerable.
- Para la plata, menos del 20% está dentro de los límites permitidos, existe un marcado sesgo negativo en los valores reportados por laboratorio.
- Para el cobre, más del 95% de la información está dentro de los límites permitidos aunque existe un ligero sesgo negativo en los valores reportados por el laboratorio; el error es tolerable.
- Para el plomo, más del 97% de la información está dentro de los límites permitidos aunque existe un ligero sesgo negativo en los valores reportados por el laboratorio, el error es tolerable.
- Para el zinc, más del 97% de la información está dentro de los límites permitidos, casi no existe sesgo.

Para CDN-FCM-3:

- Para el oro, el 97% de la información esta dentro de los límites permitidos, se evidencia un sesgo positivo en los valores reportados por el laboratorio, el error es tolerable.
- Para la plata, el 100% de la información esta dentro de los límites permitidos, aunque existe un marcado sesgo negativo en los valores reportados por laboratorio.
- Para el cobre, más del 95% de la información esta dentro de los límites permitidos aunque existe un marcado sesgo negativo en los valores reportados por el laboratorio, el error es tolerable.
- Para el plomo, el 100% de la información esta dentro de los límites permitidos aunque existe un sesgo negativo en los valores reportados por el laboratorio, el error es tolerable.
- Para el zinc, más del 98% de la información esta dentro de los límites permitidos, existe un sesgo negativo en los valores reportados por el laboratorio, el error es tolerable.

#### **Blancos**

- Para el oro, el 99% de la información esta dentro de los límites permitidos solo en la muestra **108328** el laboratorio reportó un valor de 0.2 Au gr/TM; el error es tolerable.
- Para la plata, el 99% de la información esta dentro de los límites permitidos, solo en la muestra **1542** el laboratorio reportó un valor de 11.9 Ag gr/TM: el error es tolerable.
- Para el cobre, el 100% de la información esta dentro de los límites permitidos.
- Para el plomo, el 100% de la información esta dentro de los límites permitidos.
- Para el zinc, más del 99% de la información esta dentro de los límites permitidos, solo en la muestra **107071** el laboratorio reportó un valor de 0.18 % Zn; el error es tolerable.

#### **Duplicados**

Para la Dispersión:

- Para el oro, más del 95% de la información esta dentro de los límites permitidos, la correlación es de 0.9966 entre muestras originales y duplicadas.
- Para la plata, más del 95% de la información esta dentro de los límites permitidos, la correlación es de 0.9909 entre muestras originales y duplicadas.

- Para el cobre, aproximadamente el 80% de la información esta dentro de los límites permitidos, la correlación es de 0.9821 entre muestras originales y duplicadas.
- Para el plomo, aproximadamente el 80% de la información esta dentro de los límites permitidos, la correlación es de 0.9454 entre muestras originales y duplicadas.
- Para el zinc, aproximadamente el 80% de la información esta dentro de los límites permitidos, la correlación es de 0.9429 entre muestras originales y duplicadas.

Para la Precisión:

- Para el oro, el 70% de la población filtrada presenta un error relativo acumulado que esta dentro de los límites permitidos.
- Para la plata, el 77% de la población filtrada presenta un error relativo acumulado que esta dentro de los límites permitidos.
- Para el cobre, el 55% de la población filtrada presenta un error relativo acumulado que esta dentro de los límites permitidos.
- Para el plomo, el 65% de la población filtrada presenta un error relativo acumulado que esta dentro de los límites permitidos.
- Para el zinc, el 72% de la población filtrada presenta un error relativo acumulado que esta dentro de los límites permitidos.

#### **3.3.4.6 Conclusiones del QA/QC**

- Hoy en día es muy importante asegurar la calidad de la información con la que se trabaja y establecer mecanismos que permitan cuantificar y cualificar la misma, una base de datos que sea manejable y auditable contribuye en gran manera a la realización de cualquier proyecto minero. Si bien es cierto que existen protocolos que permiten esto, es también cierto que estos tienen que ser adaptados a las características propias de cada proyecto.
- En el caso de los estándares y blancos, se tiene que ser riguroso en los resultados que proporciona el laboratorio, son valores conocidos y las diferencias entre valores deberían ser mínimas. En el caso de los duplicados debe existir cierta flexibilidad y mucho criterio para aceptar o rechazar los resultados proporcionados, hay que tener en cuenta de que es difícil obtener un buen duplicado de muestra y más si se trata de un yacimiento de características geológicas complejas.
- Para los estándares, más del 95% de los datos están dentro de los límites permitidos; en el caso del oro existe un sesgo positivo en los resultados brindados

por el laboratorio, en los demás existe un sesgo negativo. En general, son aceptables los valores proporcionados por el laboratorio.

- Para los blancos, el 97% de la información esta dentro de los límites permitidos; esto indica un buen manipuleo de las muestras y un adecuado uso de equipos por parte del laboratorio. Es aceptable.
- Para los duplicados, en promedio el 90% de la información tiene una dispersión que esta dentro de los límites permitidos; la correlación es buena en todos los casos, del orden superior a los 0.99. En cuanto a la precisión, es sin lugar a dudas el punto más débil de la información proporcionada por el laboratorio, en ningún caso se llegó a cumplir los parámetros establecidos.

En resumen, son aceptables los valores proporcionados por el laboratorio, la validación es positiva.

### **3.3.5 Procesamiento e interpretación de la información**

Ya validada la información obtenida del muestreo de cores, se ha podido acceder a dos tipos de información para procesar y analizar: información tabular (base de datos), e información gráfica y visual a partir de la elaboración de planos de planta a diferentes niveles, y secciones transversales y longitudinales.

#### **3.3.5.1 Tabular**

Una vez recopilada y validada la información obtenida del relogueo, logueo, muestreo, análisis y resultados obtenidos del laboratorio, se procede a estructurar y elaborar las tablas en las que se almacenará de manera ordenada y sistemática toda la información; es importante considerar los parámetros y requerimientos que se necesitan para trabajar con la información en los programas gis y de modelamiento.

#### **3.3.5.2 Gráfica**

Se elaboran juegos de secciones longitudinales y perpendiculares a las vetas mineralizadas en las diferentes zonas; más la información obtenida gracias a los trabajos superficiales se realiza una interpretación de la geología y el comportamiento de la mineralización sección por sección y nivel por nivel para su posterior amarre. (Figuras N° 34 y 35).

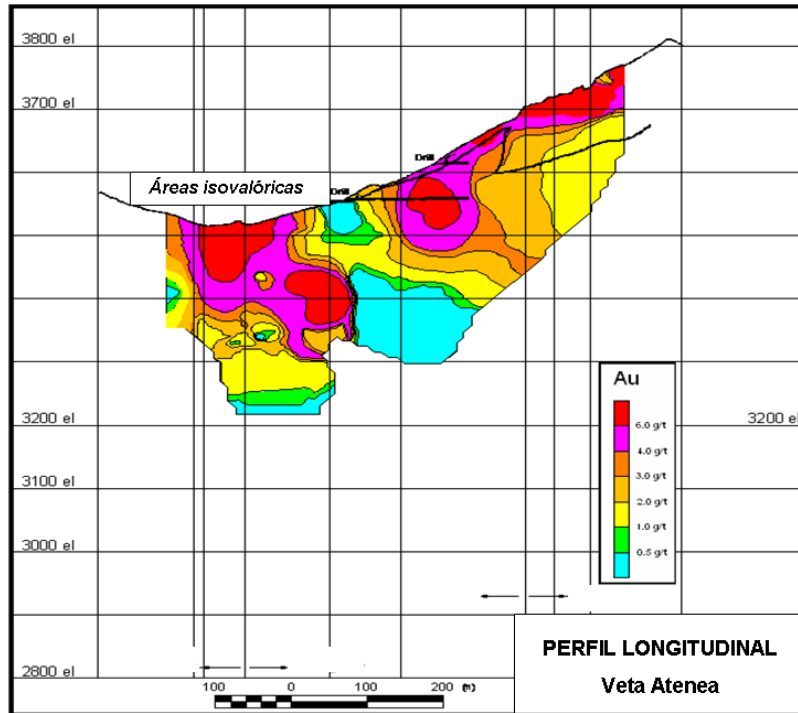


Figura 34: Perfil longitudinal de la veta Atenea mostrando una interpretación de áreas isovalóricas para el Au.

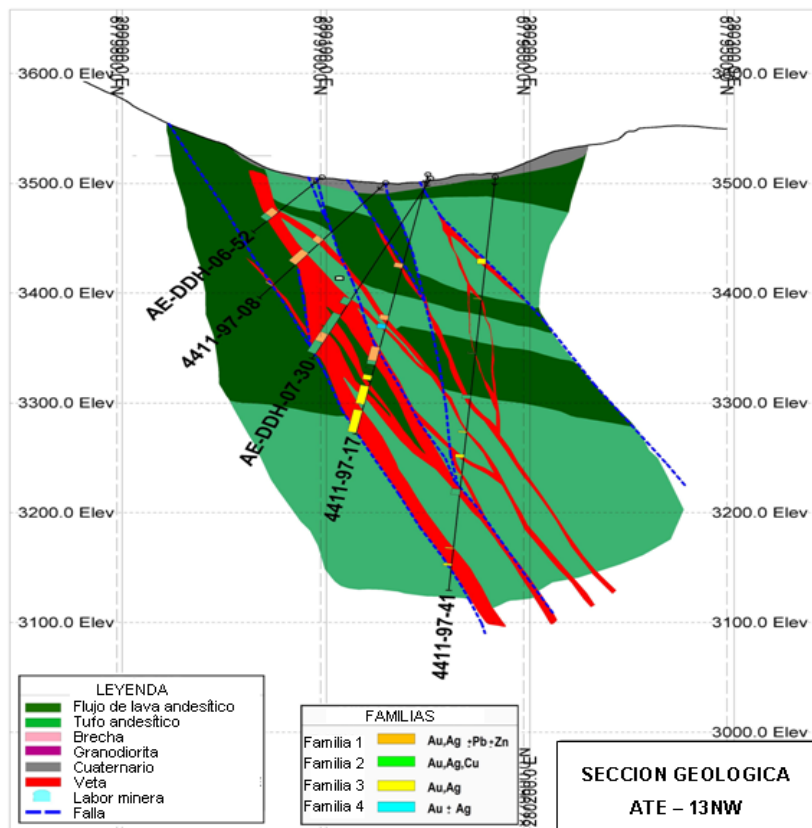


Figura 35: Interpretación geológica y mineralógica a partir de la información de los sondajes realizados (Sección ATE – 13NW).

## Capítulo IV

# MODELAMIENTO GEOLOGICO Y ECONOMICO DEL AREA

### 4.1 INTRODUCCION

La evaluación de un yacimiento (depósito mineral) consta de dos etapas. La primera consiste en la definición de la morfología de las mineralizaciones y el contenido de cada una de ellas. La segunda etapa se evalúa en base a criterios técnico-económicos las **reservas recuperables** (cantidad, valor actual y valor futuro) para estudiar la rentabilidad de la extracción y comercialización del proyecto. De la primera etapa se crea el modelo geológico del yacimiento y de la etapa posterior el modelo económico, ambos modelos del tipo numérico. El modelo geológico o **“Inventario mineralizado”**, tiene la finalidad de recoger la información básica de un yacimiento y refleja la realidad geológica de éste. Para la realización del mismo se obtienen los datos parciales constituidos por **muestras** o informaciones procedentes de diversa técnicas de investigación: calicatas, sondajes mecánicos, labores mineras, geofísicas, entre otras. Una de las técnicas más importantes de investigación son los sondajes.

Para el modelamiento geo – económico de un depósito se emplean dos conceptos: el primero es el del **modelo geométrico** que implica la forma de su discretización, es decir, como es posible aproximarse a la geometría del yacimiento mediante figuras geométricas simples (polígonos, prismas, etc.). Para realizar el modelo geométrico se debe contar con una malla de sondajes que no necesariamente debe ser regular y que debe estar referenciada por sus coordenadas y elevación (cota); luego se debe dividir el yacimiento en planos verticales y horizontales equidistantes, realizando una ponderación de la información de los sondajes en tramos coincidentes con la separación sección por sección. Un segundo concepto es el de **función de extensión**, se le denomina así a las técnicas o funciones matemáticas que se utilizan para la estimación de valores.



## **4.2 PREPARACION DE LA BASE DE DATOS**

Una base de datos permite reunir y organizar una gran cantidad de información en un archivo específico, lo primero que se hace al crear una base de datos es preparar una estructura de datos que tenga en cuenta los requerimientos del programa que se usará en el modelamiento; la información que almacenará esta base de datos proviene de los trabajos realizados en el campo, en gabinete y los resultados de los análisis químicos proporcionados por los laboratorios. Para el estudio, se crea una base de base de datos para sondajes al cual se añade el muestreo de trincheras y de labores subterráneas; a estos dos últimos se les considerará como taladros diamantinos. La base de datos estará compuesta de 4 tablas:

- **Collar:** contiene la información ubicacional del sondaje, es decir las coordenadas norte, este y su altitud (cota).
- **Survey:** contiene la información de la orientación en el espacio mediante el azimut y buzamiento que va tomando el sondaje a lo largo del mismo.
- **Assay:** contiene información sobre las leyes y descripción mineralógica de las muestras tomadas en los cores.
- **Geology:** contiene información sobre el tipo de litología que atraviesa el sondaje.

## **4.3 IMPORTACION DE LA BASE DE DATOS AL PROGRAMA Y EVALUACION**

El software usa como campo llave el nombre de los sondajes, en base a este campo crea un archivo de salida (archivo de sondajes) en el que se combina toda la información de las tablas ingresadas; para este estudio, solo se ha trabajado la información que corresponde a la zona Atenea. Para la evaluación, el software genera un reporte de errores de la data ingresada, con este archivo es más fácil corregir la información ingresada al programa.

Es importante la visualización de los sondajes en vistas verticales, transversales e isométricas, especialmente en aquellos tramos con mineralización económica; los taladros en 3D con ploteos de leyes en el software deben armonizar con las secciones geológicas interpretadas. Un giro de 360° nos irá dando ideas de la geometría del depósito.

## **4.4 ESTADISTICAS DEL MUESTREO DE CORES**

Se recomienda realizar un análisis estadístico de la data original para tener idea del comportamiento de la población de datos; pues cuando se empieza a “manipular” la

información (compósitos, cambios de soporte, cortes de leyes, etc.) buscando el ajuste a modelos teóricos se varía las características propias de la data original, lo ideal es que esta variación sea la menor posible.

#### **4.4.1 Para el oro**

Con un corte de explotación de 0.2 gr/TM, se tiene que casi el 75% de las leyes están por debajo del cutoff, la media es de 1 gr/TM y la desviación estándar es 5. (Figura N° 36).

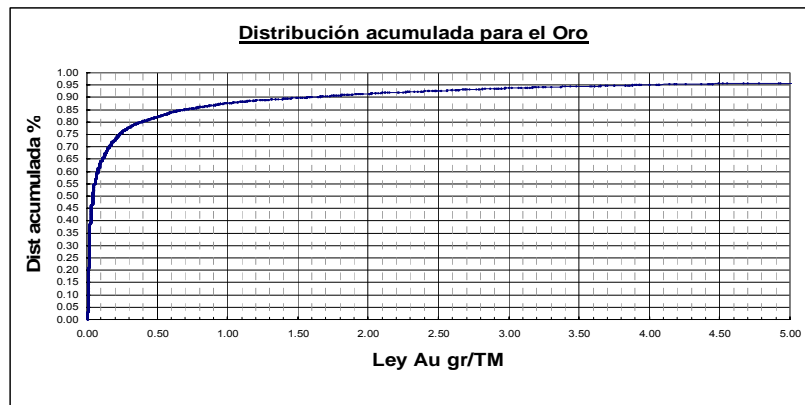


Figura 36: Gráfico de frecuencia acumulada para el oro, se aprecia que casi el 75% de la población presenta un valor por debajo de los 0.2 Au gr/TM.

#### **4.4.2 Para la plata**

Si consideramos un corte de explotación de 10 gr/TM, se tiene que el 82% de las leyes están por debajo del cutoff, la media es de 12 gr/TM y la desviación estándar es casi 160, al igual que para el oro pocos valores muy altos y muchos valores bajos. (Figura N° 37).

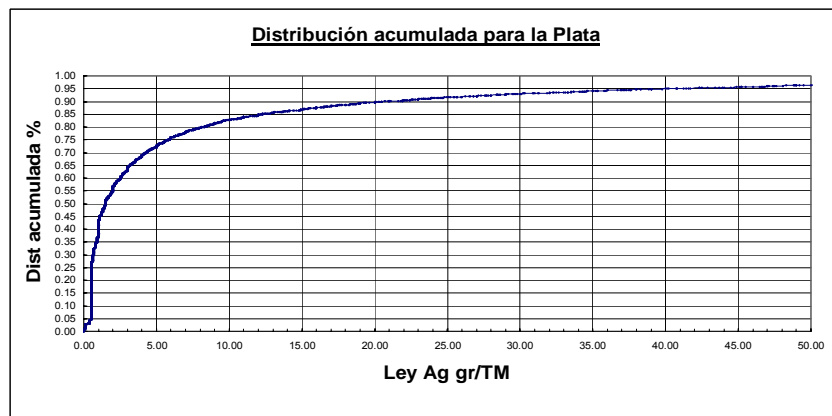


Figura 37: Gráfico de frecuencia acumulada para la plata, se aprecia que el 82% de la población presenta un valor por debajo de los 10 Ag gr/TM.

#### **4.4.3 Para el cobre**

Considerando un corte de explotación de 0.3%, se tiene que el 82% de las leyes están por debajo de dicho valor, la media es de 0.25% y la desviación estándar es de casi 0.6, los valores están bajos pero menos erráticos que en los casos anteriores. (Figura N° 38).

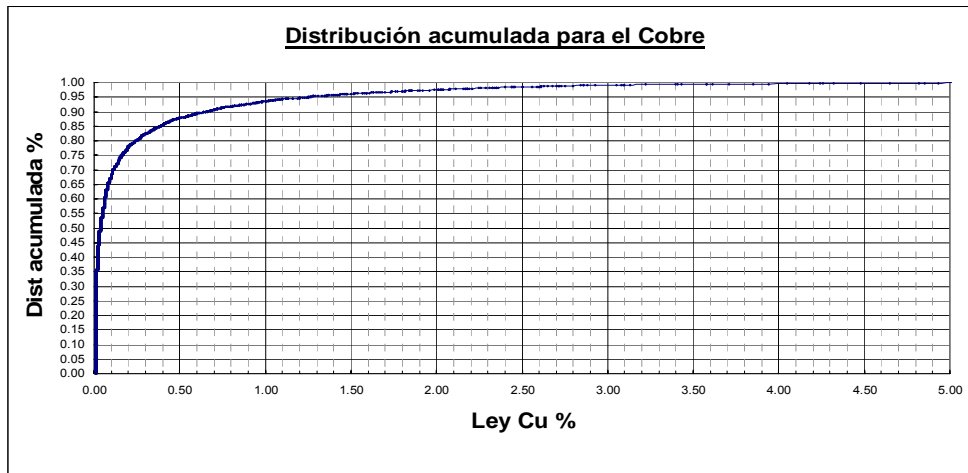


Figura 38: Gráfico de frecuencia acumulada para el cobre, se aprecia que el 82% de la población presenta un valor por debajo de los 0.3% Cu.

#### **4.4.4 Para el plomo**

Con un corte de explotación de 0.3%, se tiene que el 87% de las leyes están por debajo de dicho valor, la media es de 0.2% y la desviación estándar es de casi 1, los valores son bajos y presentan una mayor erraticidad que los valores del cobre. (Figura N° 39).

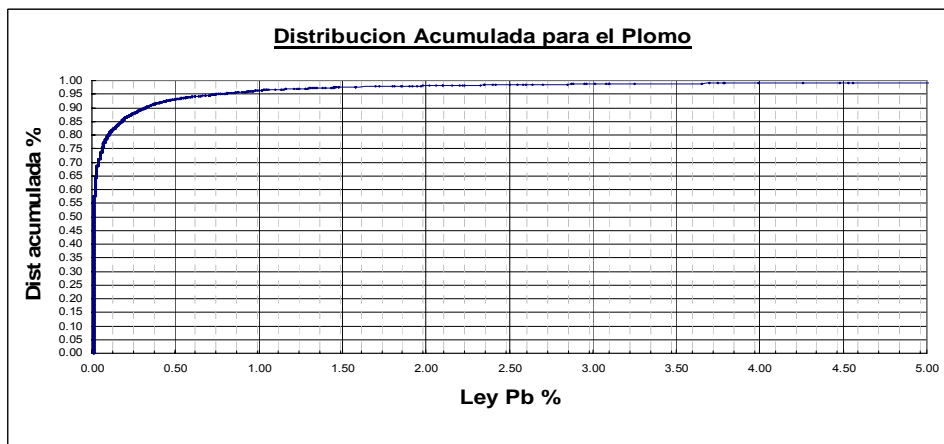


Figura 39: Gráfico de frecuencia acumulada para el plomo, se aprecia que el 87% de la población presenta un valor por debajo de los 0.3% Pb.

#### 4.4.5 Para el zinc

Considerando un corte de explotación de 0.3%, se tiene que el 90% de las leyes están por debajo de dicho valor, la media es de 0.18% y la desviación estándar es de casi 0.6, los valores son bajos y presentan una erraticidad baja. (Figura N° 40).

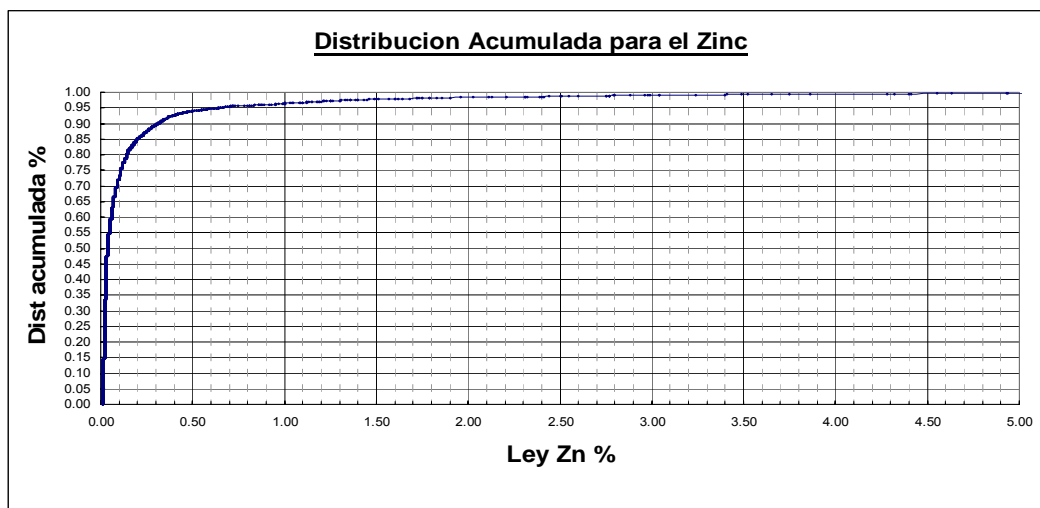


Figura 40: Gráfico de frecuencia acumulada para el zinc, se aprecia que el 90% de la población presenta un valor por debajo de los 0.3% Zn.

#### 4.5 ANALISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS COMPOSITADOS (EDA)

La data compositada es el resultado de uniformizar los tramos de muestreo de la data original a una longitud de tramo constante, esta longitud estará en función a la información disponible. El Análisis exploratorio de datos (EDA) para los compósitos se hará a través de gráficos de histogramas, curvas de probabilidades, boxplots y contacplots; todo esto para cada elemento y por el dominio usado. Antes se hace necesario establecer códigos numéricos para los dominios ya que el software solo procesa este tipo de información. (Ver tabla 09).

CODIGO DE ROCA	DESCRIPCION
0	Cuaternario
1	Veta
10	Flujo de lava andesítico
13	Andesita porfirítica
20	Tufo andesítico
22	Brecha hidrotermal
31	Brecha volcánica
32	Diorita
34	Granodiorita
36	Tufo lítico
37	Silica cap
40	Dique riódacítico

Tabla 09: Código numérico empleado para el tratamiento de la información por dominio.

#### **4.5.1 Longitud del compósito**

##### **4.5.1.1 Conceptos**

En el logueo de cores generalmente se da preferencia a los tramos que cortaron mineral, en estos el logueo es más minucioso, y muchas veces los geólogos optan por disminuir la longitud de la muestra en estos tramos buscando con ello caracterizar mejor la mineralización económica; es decir, donde hay mineral más muestras, donde hay roca caja los tramos para el muestreo son más grandes. Esta práctica acarrea consigo un sesgo en la información, la teoría dicta muestrear todo el taladro a una longitud constante pues la información debe ser insesgada; ante esta situación de tramos diferentes se hace necesario compositar los tramos a una misma longitud.

En el caso de Invicta, se han muestreado a 0.5 m y 1 m los tramos que cortaron veta, a 2 m o más aquellos tramos que cortaron roca caja con cierta evidencia mineral y no se muestrearon aquellos tramos con zonas estériles; por lo tanto la información esta sesgada.

##### **4.5.1.2 Determinación de la longitud compósito**

En minería a cielo abierto es práctica el compositar los tramos de sondaje a una longitud que sea igual a la altura o mitad del banco de explotación; en minería subterránea se manejan varios criterios, los más usados son la moda estadística de los datos, ancho de veta y por el método de explotación. Para el presente trabajo, se ha empleado el criterio de la moda estadística de los tramos de muestreo, esto por el nivel de avance del proyecto y con el fin de minimizar la variación entre los datos originales y compositados.

Al realizar la estadística básica tanto para los tramos que están en la veta Atenea como para los tramos de todo el logueo, se obtiene que el valor que más se repite es de 1 m (moda) (Ver tabla 10), por lo tanto esta es la longitud que se usará para compositar los sondajes. (Figuras N° 41 y 42).

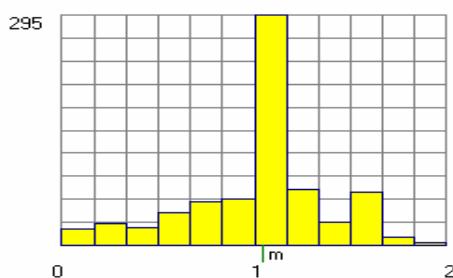


Figura 41: Histograma solo para tramos de veta

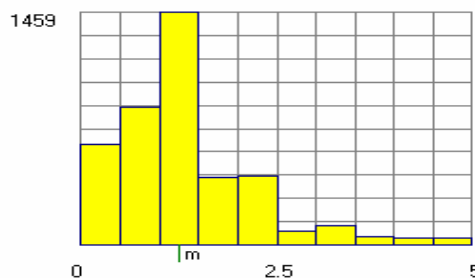


Figura 42: Histograma para tramos totales muestreados.

LONGITUD DE TRAMOS MUESTREADOS		
Parámetro	Veta Atenea	Todas las rocas
Media	1.04	2.89
Mediana	1.00	1.10
Moda	1.00	1.00
Desviación estándar	0.43	7.56
Varianza de la muestra	0.18	57.16
Mínimo	0.10	0.10
Máximo	3.00	211.20
N° de datos	741	4575
Coefficiente de variación	0.41	2.61

Tabla 10: Resumen estadístico para los tramos de la veta Atenea y para el total muestreado (todo el logeo).

#### 4.5.2 Histogramas y curvas de probabilidades

Se han realizado gráficos de histogramas y curvas de probabilidades para cada elemento, con los histogramas se verifica el comportamiento normal o lognormal de los datos, su media, moda, varianza y se identifican los valores extremos.

Con la curva de probabilidad se definen los límites de corte por elemento (Ver tabla 11) con el fin de disminuir el coeficiente de variación de la data, minimizar la variabilidad al realizar la variografía y de no sobreestimar los valores medios del depósito al realizar la interpolación. (Figura N° 43).

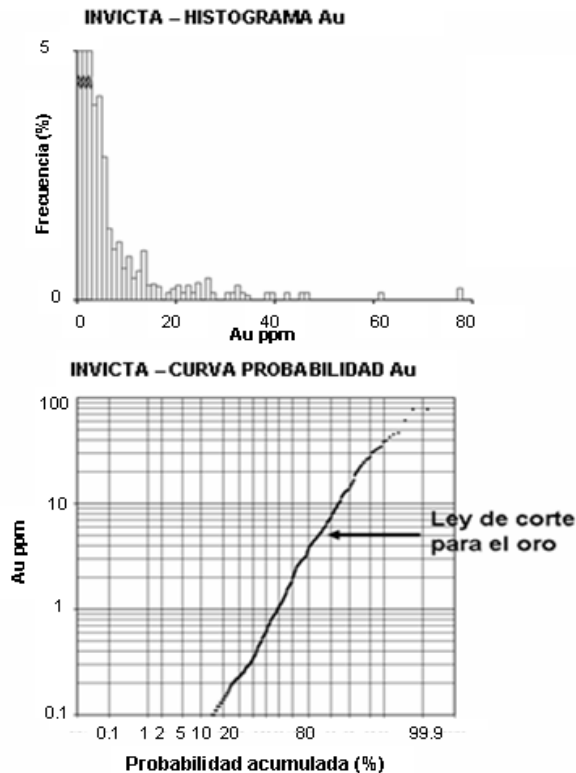


Figura 43: Histograma y curva de probabilidad acumulada del oro para la veta Atenea.

Elemento	Ley de corte	Confianza
Au	5 gr/TM	90%
Ag	50 gr/TM	90%
Cu	3%	95%
Pb	2%	95%
Zn	1.5%	95%

Tabla 11: Leyes de corte para cada elemento y su nivel de confianza.

#### 4.5.3 Boxplots

Permite comparar en un solo gráfico las estadísticas de distintos dominios.

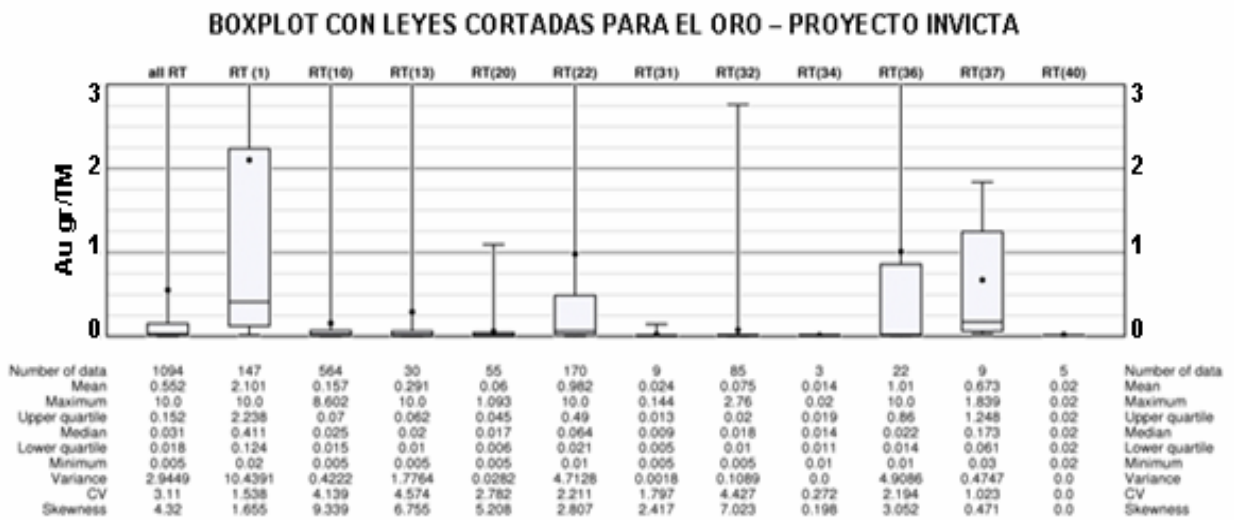


Figura 44: Gráfico boxplot para los dominios de la data total composada a 1 m.

De acuerdo al gráfico boxplot de la figura 44, la veta (RT1) presenta valores económicos de Au, Ag, Cu, Pb y Zn; y también se tienen los códigos 22, 36 y 37 (brecha hidrotermal, tufo lítico y capa de sílice respectivamente) como los dominios más favorables para albergar mineralización económica, les siguen en orden de importancia los dominios 10, 13 y 20 (flujo de lava andesítico, andesita porfírica y tufo andesítico respectivamente). En base a estos resultados se pueden agrupar los dominios iniciales con la finalidad de simplificar futuros modelamientos geológicos con fines económicos y de planificación minera. (Ver tabla 12).

CODIGO DE GRUPO	DOMINIOS INVOLUCRADOS
1	Rocas 1
2	Rocas 22, 36 y 37
3	Rocas 10, 13 y 20
4	Rocas 31, 32, 34 y 40

Tabla 12: Agrupaciones de dominios por su comportamiento estadístico.

De acuerdo a los boxplots y a las interpretaciones realizadas en secciones verticales y horizontales del depósito se ve por conveniente establecer un nuevo dominio en donde se involucren a todos aquellos tramos con valor económico que puedan ser modelados como un solo cuerpo con la veta Atenea; se realiza un nuevo gráfico boxplot solo para los compósitos que estén dentro del cuerpo modelado (Figura N° 45).

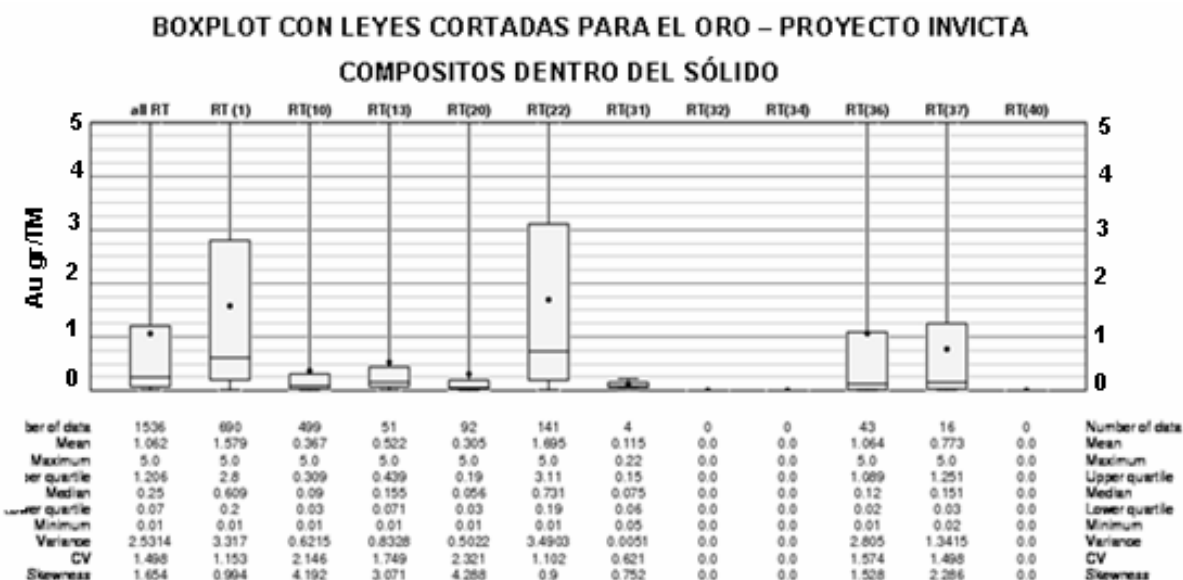


Figura 45: Gráfico boxplot de los compósitos que están dentro del sólido modelado de la veta Atenea.

#### 4.5.4 Contac profile

Son gráficos que permiten evaluar la variación de las leyes en función a la distancia de contacto entre dominios y grupos, se emplea para determinar entre que dominios y grupos se pueden utilizar muestras al realizar la interpolación. Los tipos de contactos y las nomenclaturas usadas son las siguientes:

- **Soft:** no hay efecto de contacto, contacto suave.
- **Firm:** contacto gradacional, contacto suave hasta cierta distancia.
- **Hard:** contacto abrupto, contacto duro.

En base a la información disponible, se ve por conveniente interpretar solo gráficos contacplots entre la veta y las demás litologías que servirá como base informativa para realizar y analizar los gráficos contacplots entre el sólido y los tramos litológicos que están fuera del sólido. Todos los compósitos que estén dentro del sólido serán tratados como un solo dominio para la elaboración de los contacplots.



En general los gráficos muestran un contacto duro entre el sólido y las cajas, esta información será importante al momento de realizar la interpolación de leyes, pues sugiere que al estimar leyes solo se deberían de usar las muestras que están dentro del sólido modelado. (Figura N° 46).

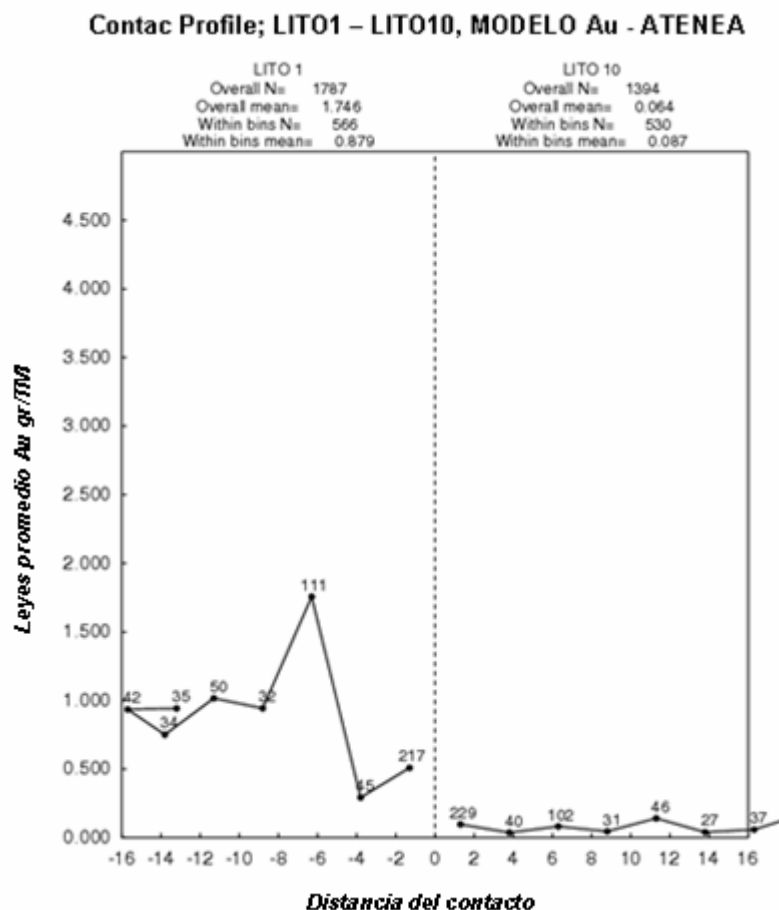


Figura 46: Contactplot para la veta Atenea y la roca 10 (ver código de dominios), se aprecia un cambio brusco entre sus leyes, por lo tanto es un contacto duro.

## **4.6 PREPARACION Y CREACION DEL SÓLIDO DEL CUERPO MINERALIZADO**

### **4.6.1 Criterios para el modelamiento**

Para esta parte, es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- Conocer el comportamiento y distribución espacial de la mineralización económica del proyecto, la opinión y sugerencias de geólogos de campo con amplia experiencia y que conozcan el depósito es importante.
- El EDA realizado tanto a la data original como a la data compositada.

Los geólogos de campo elaboran juegos de secciones verticales y horizontales buscando interpretar de la mejor manera el comportamiento de la mineralización; las secciones verticales buscarán ser lo mas perpendiculares posibles a las estructuras mineralizadas.

#### **4.6.2 Preparación de secciones en el software**

##### **4.6.2.1 Verticales**

En Invicta las secciones verticales interpretadas están espaciadas cada 25 m y tienen un alcance de 12.5 m a cada lado, al ser importadas al software servirán de armazón límite para el primer prototipo del sólido.

##### **4.6.2.2 Horizontales**

Para la zona Atenea se cuentan con dos planos, el superficial y el mapeo de la estructura en la galería y labores subterráneas, estos servirán de base para la interpretación del cuerpo nivel por nivel. A partir de la cota 3200, se generan secciones horizontales cada 10 m, en cada una se plotea las intersecciones de la sección con el prototipo del sólido y la información de los sondajes; es con estas secciones que se creará el sólido final del cuerpo mineralizado. (Figura N° 47).

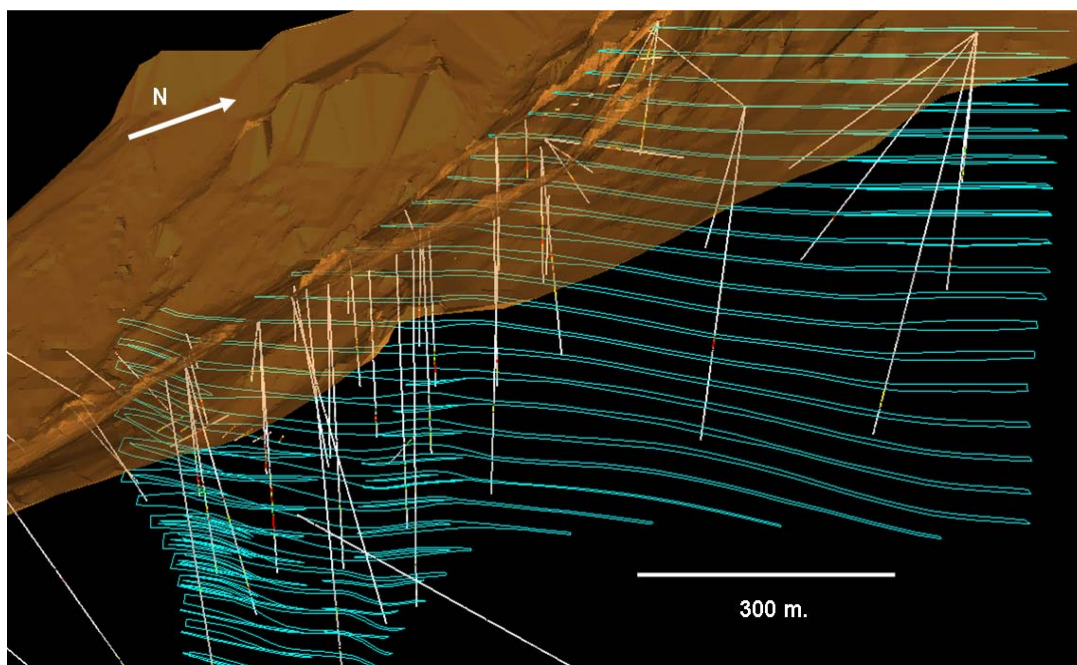


Figura 47: Secciones horizontales espaciadas cada 10m que sirvieron como límite para el sólido final de la estructura Atenea.

#### **4.6.3 Creación y evaluación del sólido de la veta Atenea**

Al terminar de interpretar las secciones horizontales se procede al amarre de las mismas con el fin de crear un “esqueleto de líneas” que servirá como armazón límite para el sólido que se va a generar. Una vez confeccionado este esqueleto, será necesario hacer uso de “líneas guías” cuya función es la de indicar al software el camino a seguir al momento de hacer el linkeo (creación de superficie o sólido entre dos líneas); una vez puestas las líneas guías necesarias se procede a crear el sólido. (Figura N° 48).

Generado el sólido se procede a su evaluación, el error más común en la creación de un sólido es la duplicidad de triángulos, para solucionar esto es necesario agregar más “líneas guías”, eliminar algunos nodos en las líneas del esqueleto, suavizar las líneas de contorno, entre otros; se recomienda realizar una rotación de 360° del sólido con los sondajes realizados para verificar que los tramos mineralizados que cortaron los taladros estén dentro del sólido. Se hace una corrida de volumen al sólido para estimar tonelajes y compararlo a posteriori con el tonelaje que nos dará el modelo de bloques.

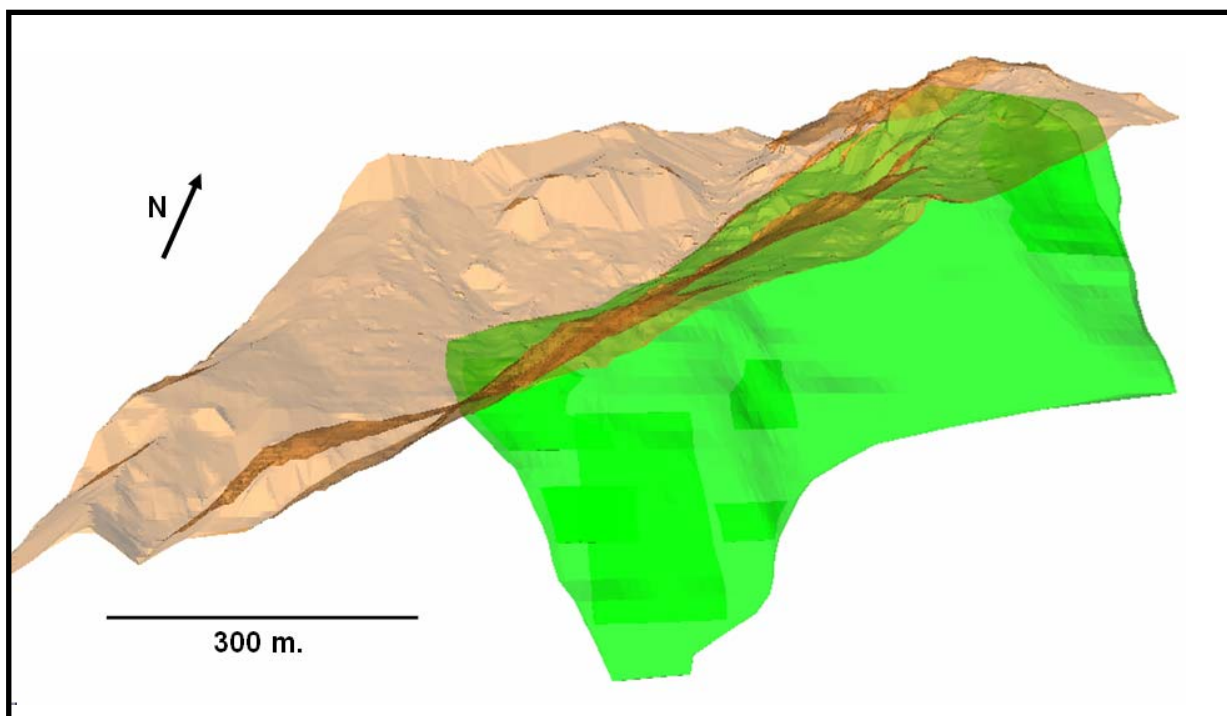


Figura 48: Vista isométrica del sólido generado para la veta Atenea.

## **4.7 MODELO DE BLOQUES**

### **4.7.1 Conceptos**

Los modelos digitales de terreno y las wireframes (sólidos digitales) son útiles para el modelamiento de superficies del terreno, cuerpos mineralizados, superficies mineras, tajos y excavaciones. Sin embargo ellos no describen las características geológicas de la información que contienen. Por esta razón es que se usan los modelos de bloques, para estimar la distribución de leyes y otras propiedades del macizo rocoso o estructura a explotar. El modelo de bloques consiste de celdas y subceldas que rellenan todo el volumen de interés. Cada celda ocupa un volumen discreto al que se le puede asignar la información que se considere necesaria para describir e interpretar de manera precisa y exacta al depósito; se puede evaluar todo el modelo de bloques o cualquier sección de éste y reportar el tonelaje y las leyes.

### **4.7.2 Creación y evaluación del modelo**

Para el proyecto, las dimensiones de las celdas que conformarán el modelo de bloques estarán en función a la longitud de compósito, características de la estructura a evaluar y los métodos tentativos de explotación; para el trabajo las dimensiones de las celdas serán de 5 m en X , Y y Z. No se usarán subceldas, todos los bloques tendrán el mismo tamaño, esto con el fin de que los valores estimados tengan el mismo soporte. (Figura N° 49).

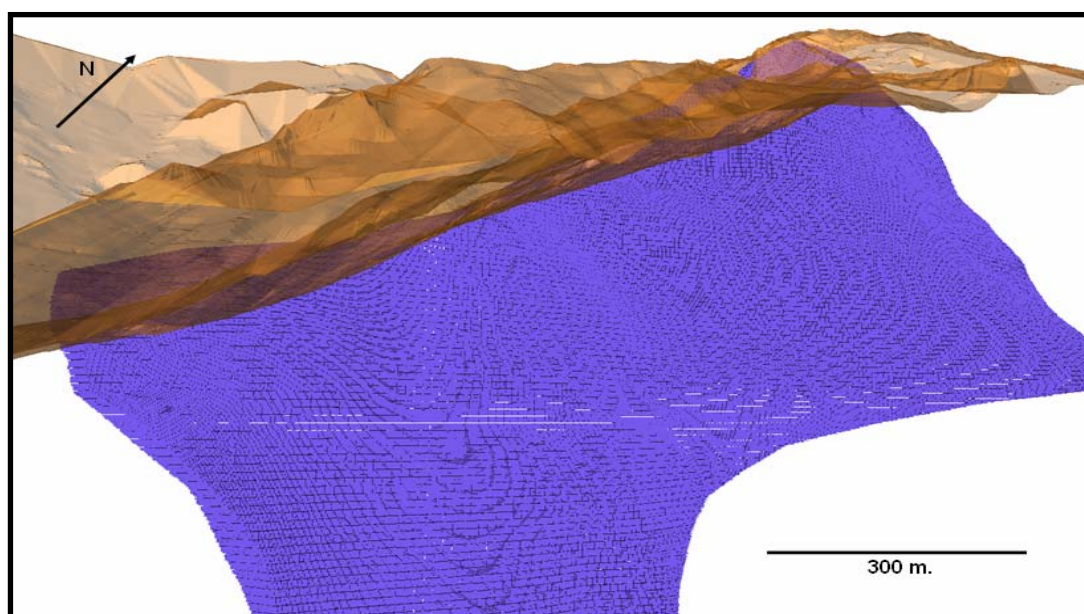


Figura 49: Modelo de bloques generado para la veta Atenea.

Para la evaluación del modelo, se verifican en planos de planta a diferentes niveles y en secciones verticales como los bloques encajan con los límites de la veta modelada, las discrepancias deben ser mínimas. Los volúmenes que se reportan del sólido como del modelo de bloques deben ser similares. (Figuras N° 50 y 51).

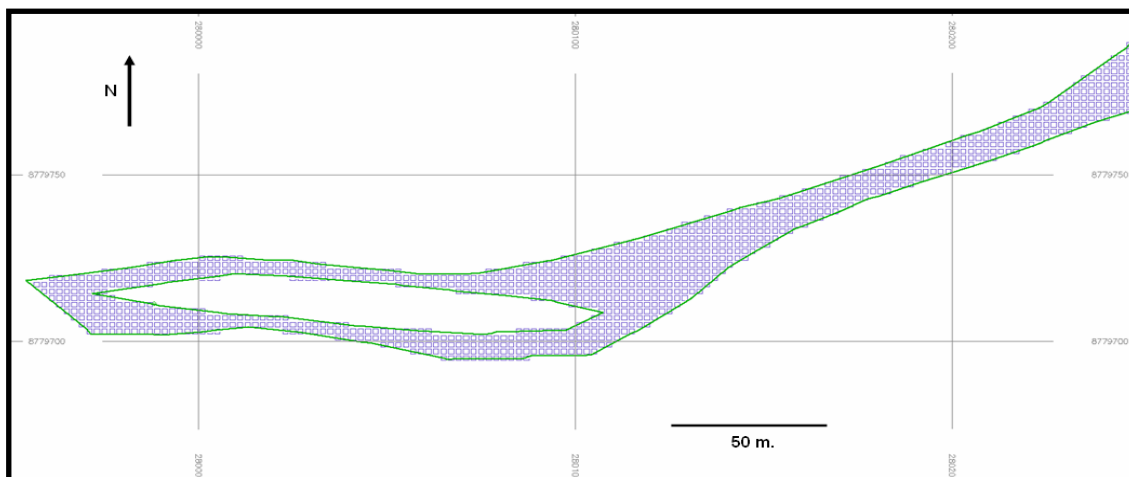


Figura 50: Nivel 3400, buena distribución y cobertura del modelo de bloques que rellena la wireframe de la veta Atenea.

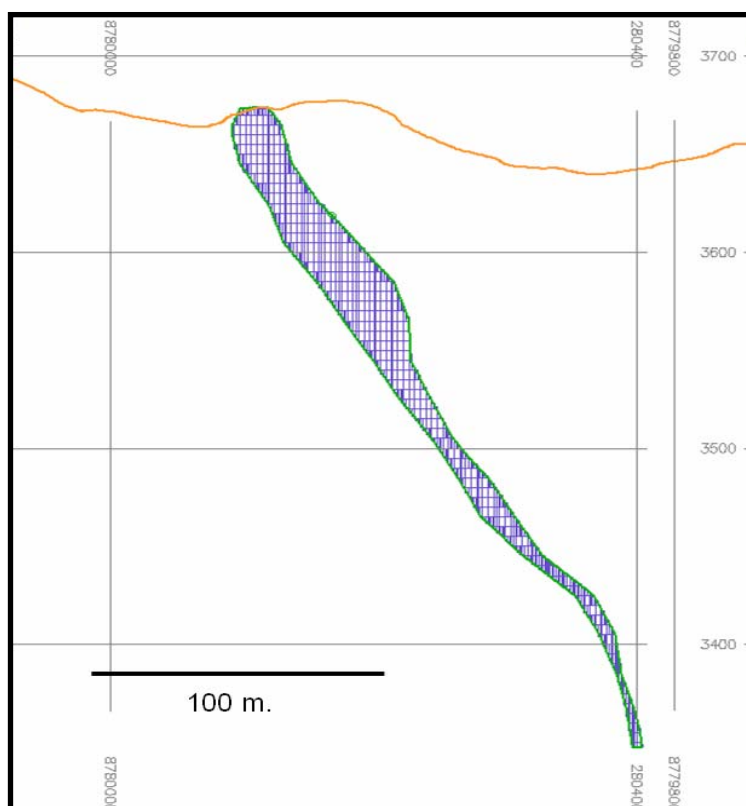


Figura 51: Vista en sección vertical, buena distribución y cobertura del modelo de bloques que rellena la wireframe de la veta Atenea.

## **4.8 ESTIMACION DE RECURSOS GEOLOGICOS MINEROS**

### **4.8.1 Definición de recurso geológico**

Los recursos geológicos son materiales que se extraen de la tierra para ser aprovechados con diversos fines. Se puede distinguir entre los recursos geológicos energéticos (carbón, petróleo y gas) y los recursos geológicos no energéticos que a su vez se dividen en metálicos y no metálicos. Desde un punto de vista minero, recurso geológico es una concentración natural o artificial de mineral cuya explotación en la actualidad es factible.

El concepto de recurso no está conectado a un objeto o a un material, pero si al valor asociado, es decir los que ayer fue considerado como recurso hoy tal vez no lo sea y viceversa.

### **4.8.2 Variografía**

#### **4.8.2.1 *Conceptos***

La variografía es el arte de caracterizar espacialmente una variable por medio del modelamiento de variogramas y constituye un punto crucial en cualquier esfuerzo geoestadístico de estimación de recursos, pues todos los cálculos posteriores se realizarán utilizando exclusivamente el modelo teórico obtenido a partir de la modelización de los variogramas experimentales.

Es evidente que el variograma teórico deberá respetar al variograma experimental, sobre todo en los primeros puntos que son los más confiables; para obtener un buen ajuste hay que tener en cuenta que uno de los objetivos finales es la estimación de leyes de los bloques, por lo tanto, esto se debe realizar dentro de una cierta vecindad restringida, de manera que no se consideren demasiadas muestras para estimar la ley del bloque. El objetivo de modelar un variograma experimental es obtener un modelo que represente la anisotropía (rangos), continuidad (rangos, modelo) y variabilidad (meseta, pepa) de la mineralización de interés.

#### **4.8.2.2 *Variogramas del proyecto***

Para el trabajo, el cálculo de los variogramas experimentales se ha realizado sin considerar los valores extremos de cada elemento, la ley de corte está en función a los resultados obtenidos en el EDA de la data original y compositada.

**Para la pepa**

Se calcula un variograma omnidireccional promedio (varhol) de todos los variogramas que se obtienen a lo largo de cada sondaje, este variograma nos da la pepa que se usará para el modelo teórico que se empleará en la estimación; este proceso se realiza para cada uno de los 5 elementos de interés y para la estimación de la densidad para cada bloque. Para Atenea, se usan los siguientes parámetros para el cálculo del variograma omnidireccional promedio del oro (Ver tabla 13):

PARAMETROS			
Lag	1 m.	Numhor	1
Lagtol	0.5 m.	Horinc	180°
Nlags	20	Numver	1
Azi	0°	Verinc	90°
Dip	0°	Value	Au

Tabla 13: Parámetros de estimación del variograma promedio para determinar la pepa para el caso del oro.

Al modelar el varhol del oro da una pepa de 0.5, este valor será usado al momento de modelar los variogramas que determinarán los alcances de nuestra estimación para cada elemento. (Figura N° 52).

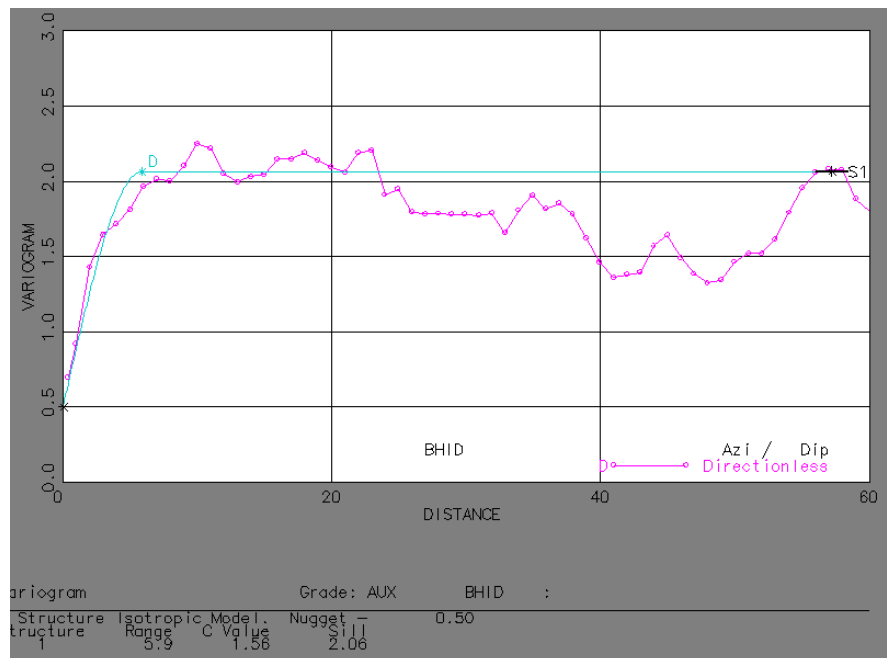


Figura 52: Variograma promedio para el oro de los variogramas determinados a lo largo de cada sondaje.

De igual forma se determinan las pepas para la plata, el cobre, plomo, zinc y la densidad.

### Para los alcances

La veta Atenea presenta un azimut y buzamiento promedio de 55° y 65° respectivamente, por ello se iniciará la búsqueda de los ejes de máxima anisotropía en el plano que se forma al utilizar estos valores. Usando como sistema de referencia el plano rotado y como dominio el campo litológico, se calculan variogramas para todas las posibles combinaciones entre azimuts y buzamientos con incrementos de 22.5° en ambos casos, paso de 10 m, tolerancia del paso de 5 m, tolerancia angular “horizontal” y “vertical” de 11.25° y radio del cilindro de búsqueda de 5 m. (Ver tabla 14).

PARAMETROS			
Lag	10 m.	Dip	0°
Lagtol	5 m.	Numver	8
Nlags	20	Verinc	22.5°
Nsublags	50	Verang	22.5°
Nlags1	10	Value	Au
Azi	0°	Angle1	145°
Numhor	8	Axis1	Z
Horinc	11.25°	Angle2	65°
Horang	11.25°	Axis2	X
Cylrad	5 m.	Angle3	0°
Key	ROCK	Axis3	Y

Tabla 14: Parámetros de estimación para determinar los ejes de máxima anisotropía, esto para todos los elementos y la densidad.

El software genera 55 variogramas para la veta, y para ajustar la información de estos variogramas a un modelo teórico se ha visto que los mejores resultados los da el modelo esférico de dos estructuras. Al modelizar y encontrar el variograma con el eje de máxima anisotropía se determinan con ayuda del programa los perpendiculares a este eje (Figura N° 53). Para el caso del oro el eje de máxima anisotropía tiene un azimut de 325° y un buzamiento de 70°, para los demás casos el eje de máxima anisotropía presenta un azimut de 145° y un buzamiento de 87.5°; los alcances para cada elemento son diferentes. En las tablas 15 y 16 se aprecian las características de cada variograma teórico para todos los elementos y la densidad.

Elemento	Nugget	Estructura n	Alcance			Varianza Espacial STnPAR4
			X Local: 90° / 0° Mundial: 235° / 0° STnPAR1	Y Local: 0° / 45° Mundial: 325° / 70° STnPAR2	Z Local: 180° / 45° Mundial: 325° / -20° STnPAR3	
Au	0.5	1	5	10	2.5	1
		2	15	35	15	1.5

Tabla 15: Ángulos locales como universales, pepa y alcances para los 3 ejes principales del elipsoide de búsqueda que se empleará en la estimación de valores de oro.



Elemento	Nugget	Estructura n	Alcance			Varianza Espacial STnPAR4
			X Local: 90° / 0° Mundial: 235° / 0° STnPAR1	Y Local: 0° / 22.5° Mundial: 145° / 87.5° STnPAR2	Z Local: 180° / 67.5° Mundial: 325° / 2.5° STnPAR3	
Ag	30	1	5	6	5	45
		2	10	35	25	70
Cu	0.02	1	2	3	2.5	0.15
		2	7	10	9	0.1
Pb	0.02	1	2	7	4	0.08
		2	10	40	25	0.07
Zn	0.02	1	10	30	25	0.01
		2	15	50	38	0.09
Densidad	0.001	1	1	13	5	0.01
		2	10	25	15	0.015

Tabla 16: Ángulos locales como universales, pepa y alcances para los 3 ejes principales del elipsoide de búsqueda para los demás elementos que se emplearán en la estimación.

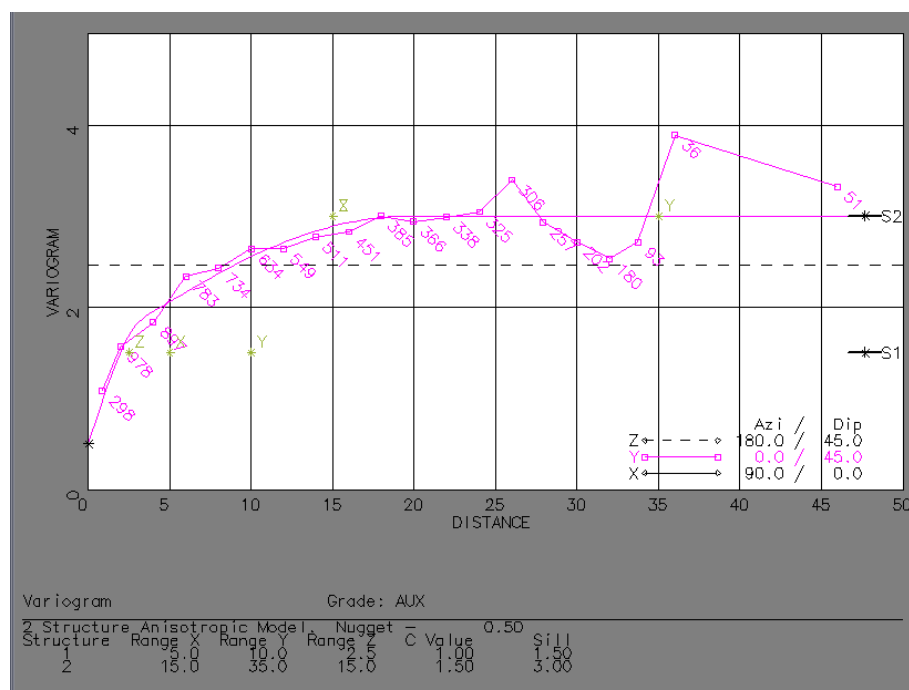


Figura 53: Ajuste a un modelo esférico de 2 estructuras del variograma para el oro que brinda el eje de máxima anisotropía para el elipsoide de búsqueda, los perpendiculares a este eje brindan los otros dos ejes principales.

### **4.8.3 Plan de interpolación**

Para el trabajo se ha decidido estimar leyes empleando los métodos del Kriging ordinario (OK), el Inverso de la distancia al cuadrado (IDW) y el Vecino más cercano (NN). Los dos primeros se usarán para generar un inventario de recursos y categorización de los mismos; el NN por sus características se empleará a manera de validación de la interpolación realizada por el OK y IDW.

Para los tres métodos de interpolación se harán uso de los mismos elipsoides de búsqueda, la estimación se realizará por elemento; en el OK y el IDW se hará uso del mismo variograma teórico determinado en las fases previas, el NN le asigna al bloque la ley del compósito más cercano. No se han restringido datos para interpolar los valores de densidad, estos serán de utilidad al momento de estimar tonelajes. Las características de los tres elipsoides de búsqueda que se emplean en la estimación son:

- **Elipsoide 1:** tiene como dimensiones los alcances principales de los variogramas modelados para cada elemento.
- **Elipsoide 2:** tiene como dimensiones los alcances de la primera multiplicados por un factor de 1.5 para sus 3 ejes.
- **Elipsoide 3:** tiene como dimensiones los alcances de la primera multiplicados por un factor de 2 para sus 3 ejes.

Se han estimado las leyes de los bloques con la data compósito que está dentro del sólido y sin considerar los valores extremos de cada elemento, esto con la finalidad de generar un reporte de recursos que refleje mejor los valores medios del depósito. (Figura N° 54).

#### **4.8.3.1 Kriging ordinario (OK)**

Para la interpolación por este método haremos uso del sólido del cuerpo, del modelo de bloques, de los compósitos que están dentro del sólido, las leyes cortadas y los variogramas modelados; todo esto para cada elemento. La interpolación por OK arroja 8.5 millones de TM con una ley media de 0.97 Au gr/TM, 10.24 Ag gr/TM, 0.38% Cu, 0.23% Pb y 0.30% Zn.

#### **4.8.3.2 Inverso de la distancia (IDW)**

Similar al método anterior, se harán uso de los mismos parámetros de interpolación para cada elemento. La interpolación por IDW arroja 8.5 millones de TM con una ley media de 0.99 Au gr/TM, 10.57 Ag gr/TM, 0.33% Cu, 0.23% Pb y 0.22% Zn.

#### **4.8.3.3 Vecino más cercano (NN)**

Este método le asigna a cada bloque el valor del compósito más cercano, como interpolador no es muy confiable, más se emplea como método de validación. La interpolación por NN arroja 8.2 millones de TM con una ley media de 0.88 Au gr/TM, 9.26 Ag gr/TM, 0.23% Cu, 0.21% Pb y 0.20% Zn.

#### **4.8.4 Evaluación de la interpolación (bloques versus compósitos)**

##### **4.8.4.1 Revisión visual de los bloques estimados**

Consiste en revisar en vistas de planta a diferentes niveles y secciones verticales la distribución de leyes de los bloques interpolados, aquellos lugares en donde los sondajes han atravesado zonas de alta ley deben encontrar su correspondencia en las leyes estimadas para los bloques y viceversa. (Figura N° 55).

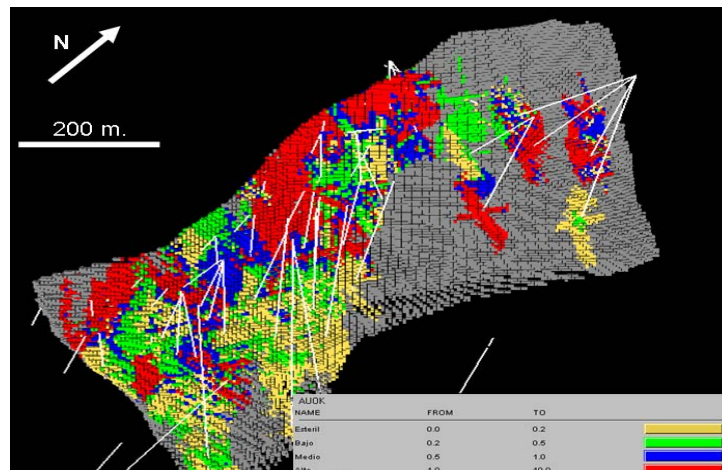


Figura 54: Vista isométrica de la distribución de leyes Au estimadas por el método del OK.

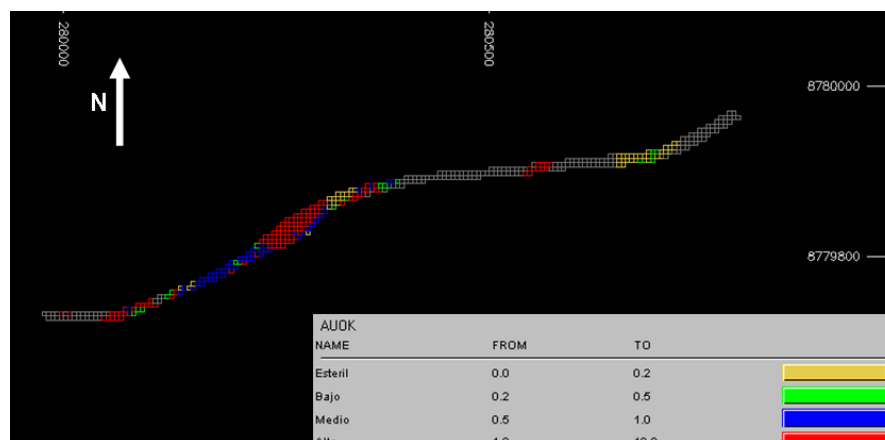


Figura 55: Revisión visual en vistas de planta y secciones a diferentes niveles de la distribución de las leyes Au estimadas por OK, de manera similar se procede para el IDW.

#### 4.8.4.2 Histogramas y curvas de probabilidades

Los parámetros estadísticos básicos y distribución de leyes interpoladas para el modelo de bloques deben de ser similares con las estadísticas de los compósitos usados en la estimación, en este caso existe una buena correlación. (Figura N° 56).

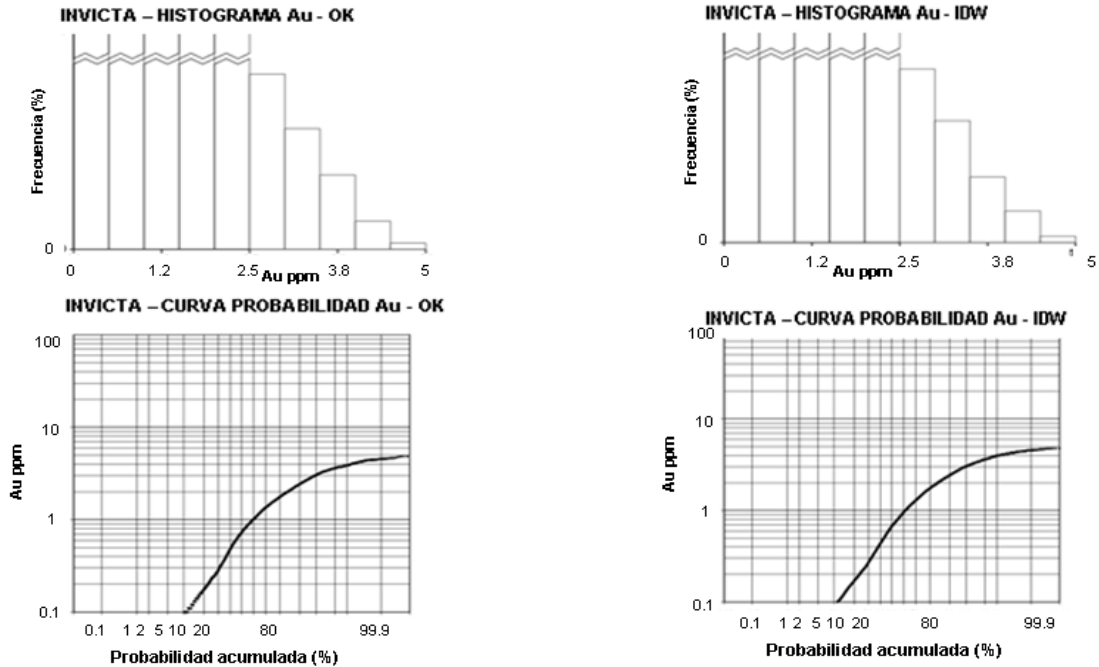


Figura 56: Histogramas y curvas de probabilidades de las leyes estimadas para el oro.

#### 4.8.4.3 Boxplots

En la figura 57 se verifica de manera visual la similitud y aceptable correlación estadística entre las leyes estimadas de los bloques y los compósitos empleados en la estimación.

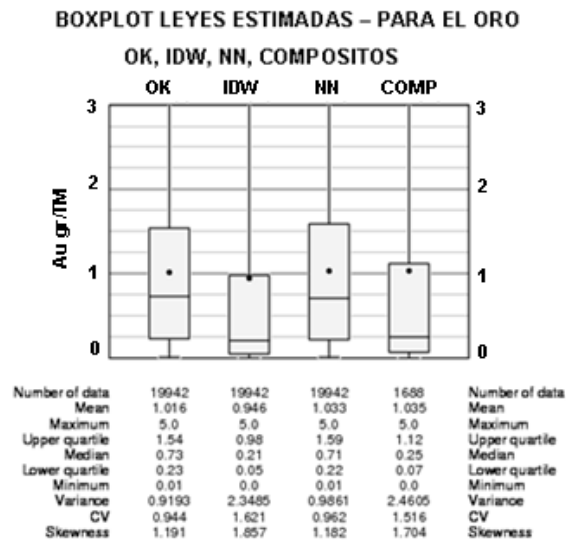


Figura 57: Gráfico boxplot en donde se aprecian los parámetros estadísticos de las leyes estimadas por los 3 métodos y los compósitos usados.

**4.8.4.4 Swathplots**

Es un gráfico que presenta el promedio de las leyes del depósito por niveles de planta o sección; las leyes estimadas para los bloques por dominio deberían reproducir las tendencias locales de los compósitos y del NN (con cierta suavización pero no excesiva). (Figura N° 58).

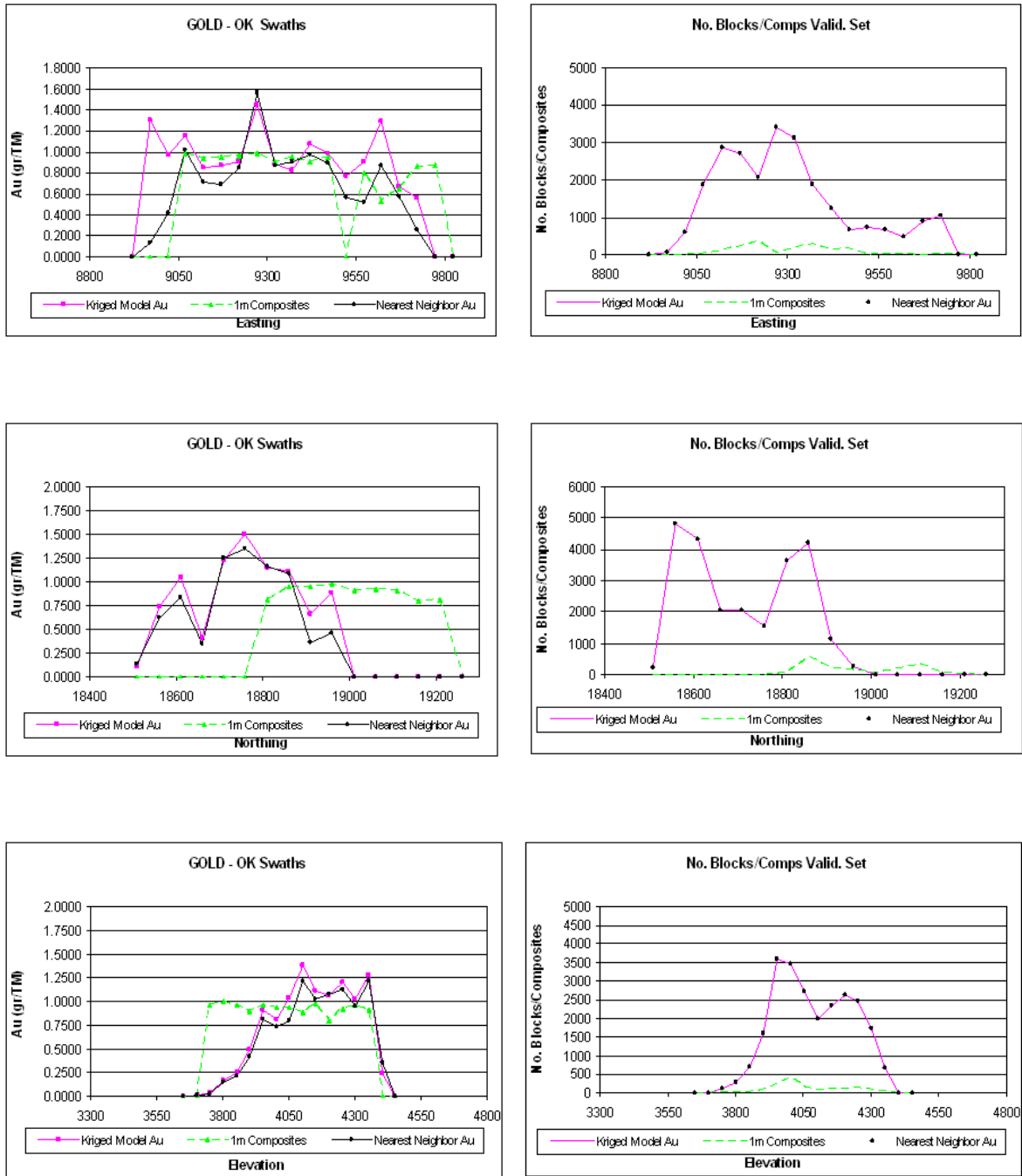


Figura 58: Gráficos swaths para la interpolación por OK.

En función a los resultados obtenidos de los gráficos swaths se puede afirmar que la estimación realizada es positiva, pues tanto para el OK como para el IDW, las leyes estimadas para los bloques representan muy bien las tendencias locales verificadas por los compósitos y el NN; además, en las zonas con mayor densidad de bloques estimados tienen su correspondencia con la cantidad de compósitos usados en su estimación. (Figuras N° 58 y 59).

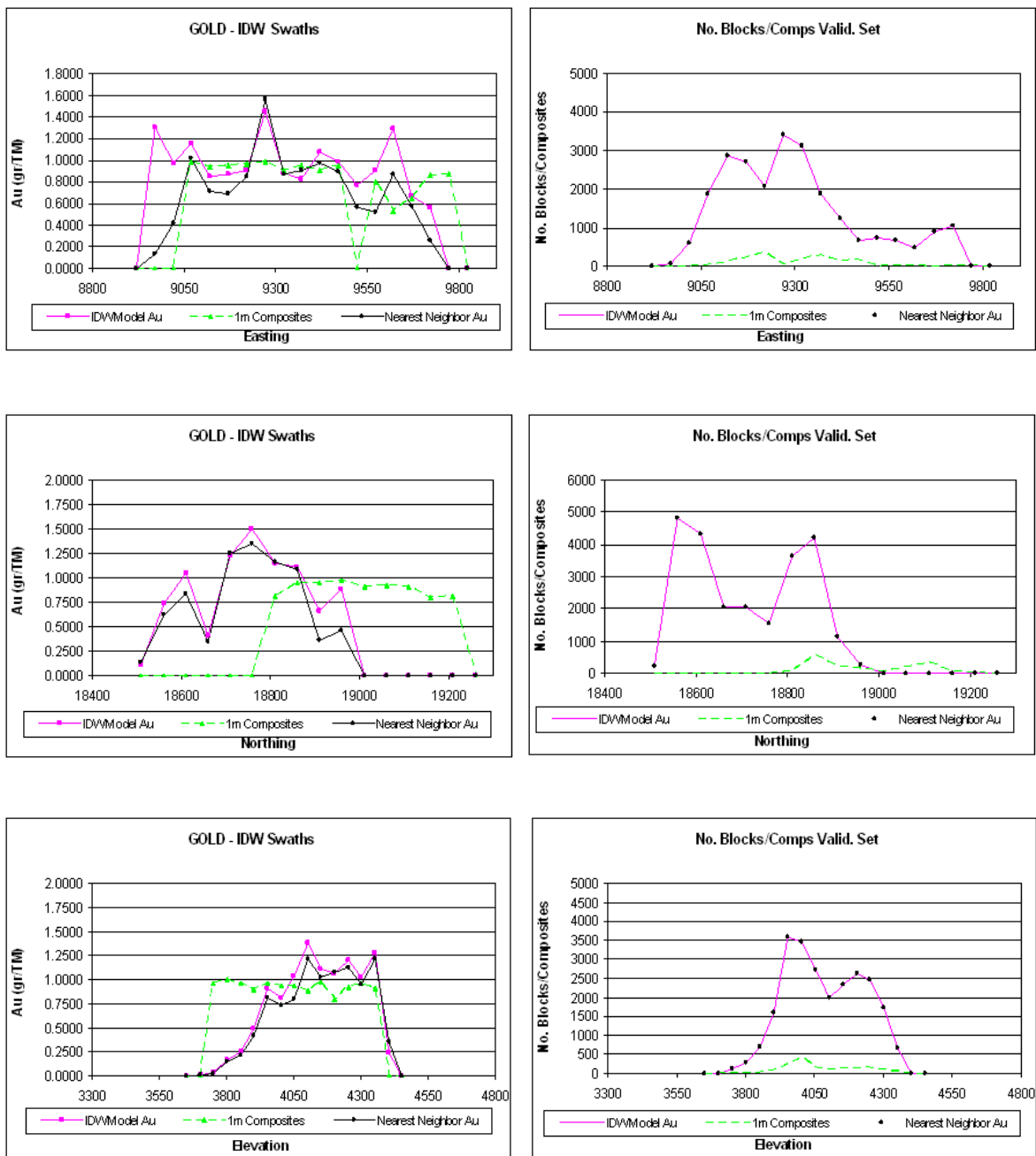


Figura 59: Gráficos swaths para la interpolación por IDW.

## 4.9 CATEGORIZACION DE RECURSOS GEOLOGICOS MINEROS

En el mundo minero existen numerosos criterios para la categorización de recursos geológicos, algunos más eficientes que otros, pero todos basados en el grado de confiabilidad de la información que se emplea. Así, algunas compañías mineras consideran que para que los recursos sean categorizados como medidos, mínimo un compósito debe de estar dentro del bloque, otras compañías consideran compósito más desarrollo de labor, entre otras alternativas.

### 4.9.1 Método del elipsoide de búsqueda

Para el trabajo y teniendo en cuenta el nivel de información existente, se ha creído conveniente categorizar recursos en función al elipsoide de búsqueda al que pertenece la estimación:

- **Recursos medidos:** los bloques que tengan leyes estimadas con el elipsoide 1 de la interpolación. (Figura N° 60).
- **Recursos indicados:** los bloques que tengan leyes estimadas con el elipsoide 2 y que no pertenezcan al primero.
- **Recursos inferidos:** los bloques que tengan leyes estimadas con el elipsoide 3 y que no pertenezcan al primero ni al segundo.
- **Potencial de mineralización:** los bloques que no tienen leyes estimadas, se les asigna como valor la ley media de la estructura mineralizada y para cálculos de tonelajes se considerará la densidad media del cuerpo mineralizado.

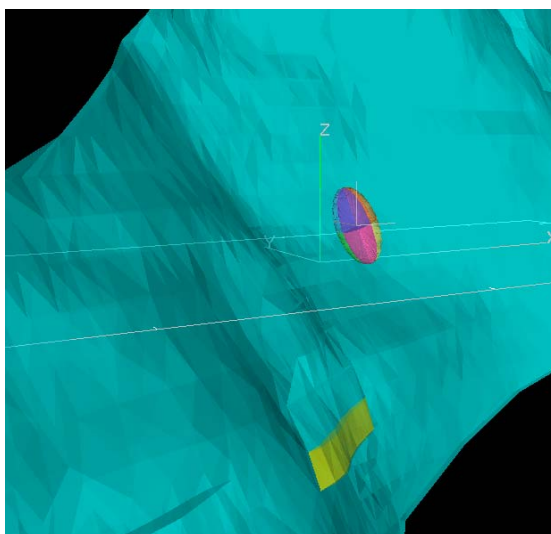


Figura 60: Primer elipsoide de búsqueda usada en la estimación y categorización de recursos, tiene como orientación el azimut y buzamiento promedio de la veta Atenea.

#### **4.9.2 Categorización de la estimación**

En el software usado para la estimación se crea una columna para identificar con cual de los tres elipsoides se realizará la estimación de la ley del bloque, es en base a esta columna que se filtra la información para calcular leyes promedios y tonelajes por categoría de recurso. (Figura N° 61).

Tanto el OK como el IDW deben de reportar tonelajes similares para cada categoría pues se han usado los mismos elipsoides en la clasificación, lo que si podría variar son las leyes promedio de cada dominio.

##### **4.9.2.1 Para el Kriging ordinario (OK)**

El Ok reporta:

- **Recursos medidos:** 4.6 millones de TM con una ley media de 1.07 Au gr/TM, 11.09 Ag gr/TM, 0.36% Cu, 0.25% Pb y 0.38% Zn.
- **Recursos indicados:** 2.2 millones de TM con una ley media de 0.9 Au gr/TM, 9.89 Ag gr/TM, 0.4% Cu, 0.22% Pb y 0.2% Zn.
- **Recursos inferidos:** 1.5 millones de TM con una ley media de 0.78 Au gr/TM, 8.16 Ag gr/TM, 0.4% Cu, 0.17% Pb y 0.18% Zn.
- **Potencial mineral:** 4.5 millones de TM con una ley media de 1 Au gr/TM, 10 Ag gr/TM, 0.4% Cu, 0.22% Pb y 0.25% Zn.

##### **4.9.2.2 Para el Inverso de la distancia (IDW)**

El IDW reporta:

- **Recursos medidos:** 4.6 millones de TM con una ley media de 1.09 Au gr/TM, 11.48 Ag gr/TM, 0.37% Cu, 0.26% Pb y 0.23% Zn.
- **Recursos indicados:** 2.2 millones de TM con una ley media de 0.91 Au gr/TM, 10.14 Ag gr/TM, 0.2% Cu, 0.22% Pb y 0.22% Zn.
- **Recursos inferidos:** 1.5 millones de TM con una ley media de 0.79 Au gr/TM, 8.39 Ag gr/TM, 0.4% Cu, 0.18% Pb y 0.19% Zn.
- **Potencial mineral:** 4.5 millones de TM con una ley media de 0.95 Au gr/TM, 9 Ag gr/TM, 0.3% Cu, 0.22% Pb y 0.22% Zn.



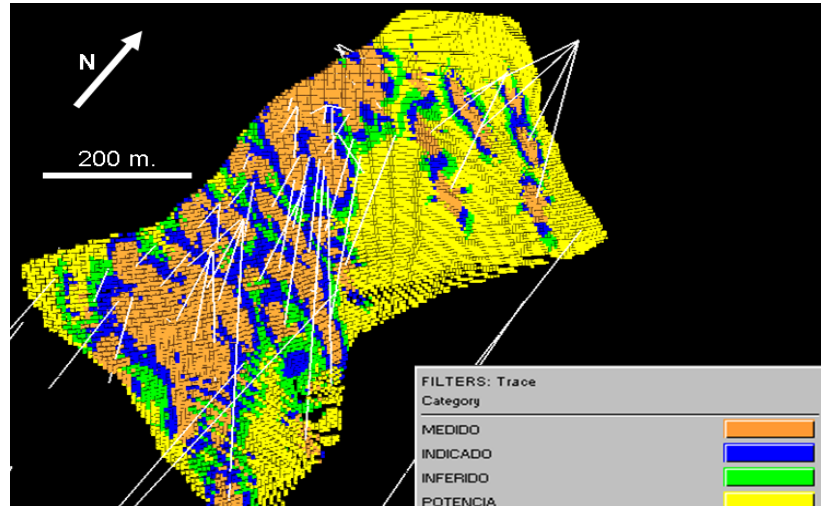


Figura 61: Vista isométrica de la clasificación de recursos mediante el criterio del elipsoide de búsqueda, en amarillo aquellos bloques que quedan como potencial.

### **4.9.3 Evaluación de la categorización**

#### ***4.9.3.1 Revisión visual de bloques en secciones verticales y horizontales***

En vistas verticales y horizontales separadas cada 25 m y 10 m respectivamente se evalúa la clasificación de recursos realizadas por el software; se verifica que aquellos bloques que cuentan con datos de compósito o están dentro de los alcances del primer elipsoide de búsqueda estén clasificados como recursos medidos, y que aquellos bloques que están en el área del segundo elipsoide estén categorizados como recursos indicados. (Figura N° 62).

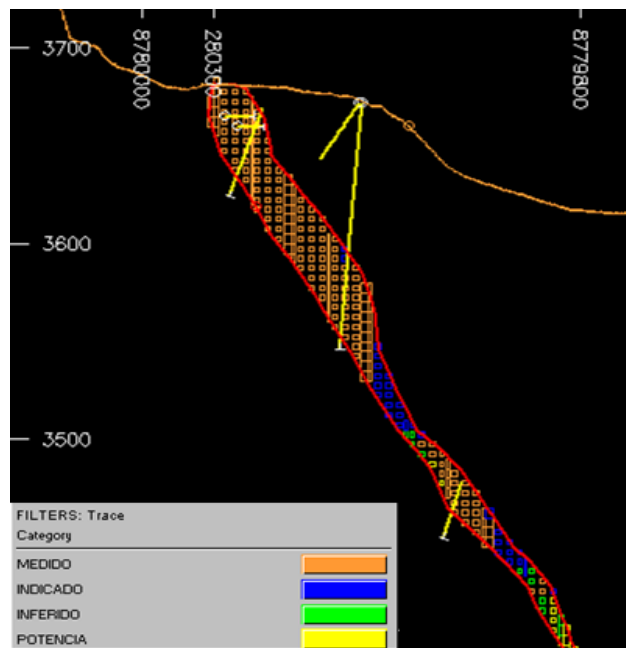


Figura 62: Revisión visual en vistas de planta y secciones a diferentes niveles para la categorización de recursos realizadas por el software.

**4.9.3.2 Histogramas y curvas de probabilidades**

Los parámetros estadísticos básicos y la distribución de leyes interpoladas para el modelo de bloques por categoría de recursos son similares con las estadísticas y distribución de los datos compositados usados en la estimación; tanto para los recursos medidos como indicados existe una buena correlación con los compósitos. (Figura N° 63).

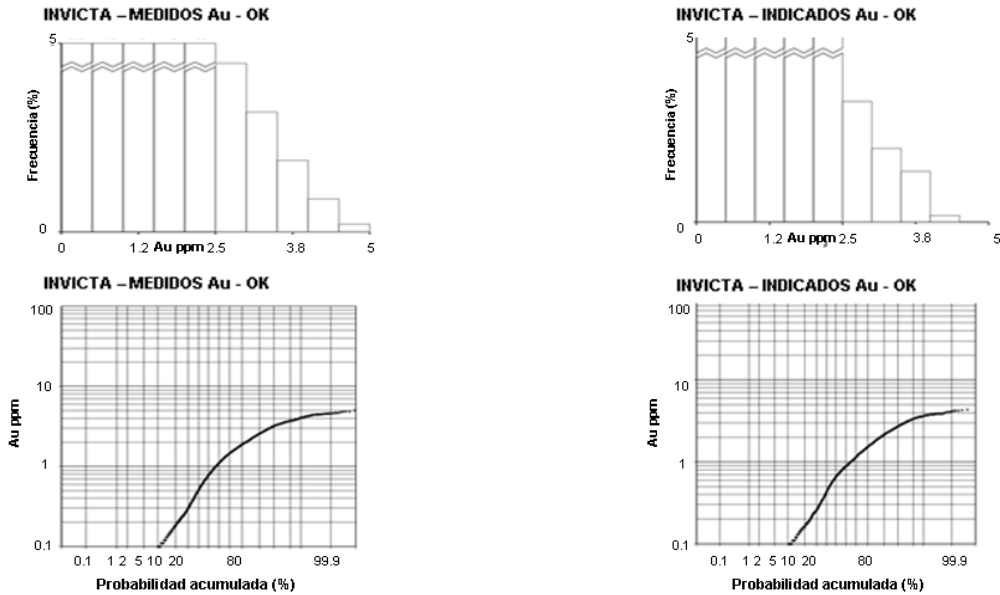


Figura 63: Histogramas y curvas de probabilidades de los recursos medidos e indicados de la estimación realizada por el método de OK.

**4.9.3.3 Boxplots**

Por categoría se verifica las similitudes estadísticas que existen entre los recursos medidos al ser comparados con las estadísticas de los recursos medidos por NN y los compósitos; se procede de manera similar para los recursos indicados. (Figura N° 64).

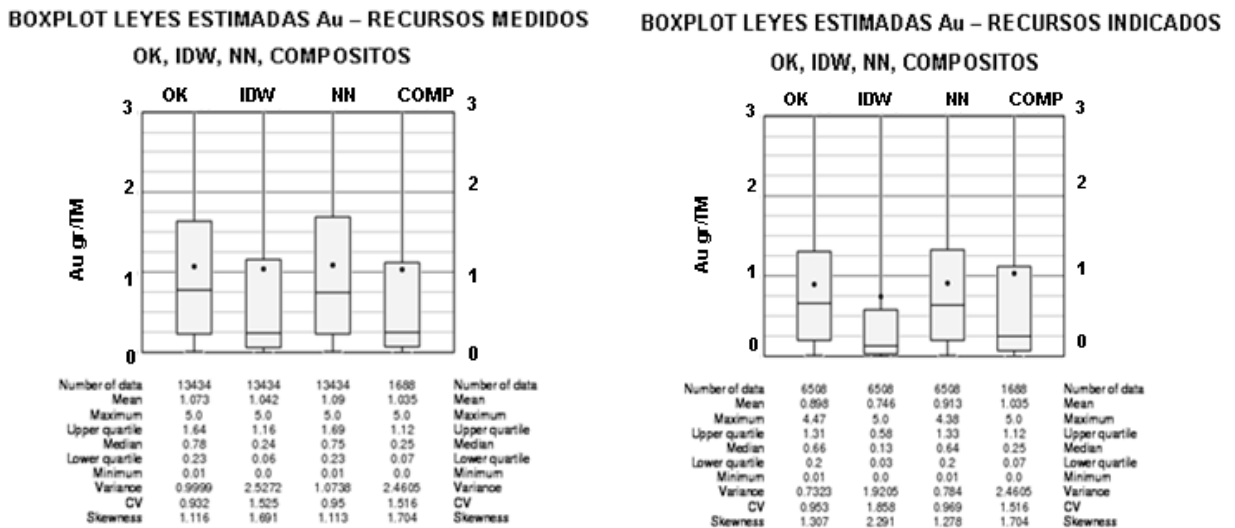


Figura 64: Gráfico boxplot en donde se comparan los recursos medidos e indicados estimados por OK y IDW versus los recursos del NN y las estadísticas de los compósitos.

**4.9.3.4 Swathplots**

En los gráficos de las figuras 65 y 66 se aprecia que la categorización de recursos realizada para los bloques representan muy bien las tendencias locales que se observaron tanto en el NN como en los compósitos; además se verifica que en las zonas con mayor densidad de bloques estimados encuentran su correspondencia con la cantidad de compósitos usados en su estimación.

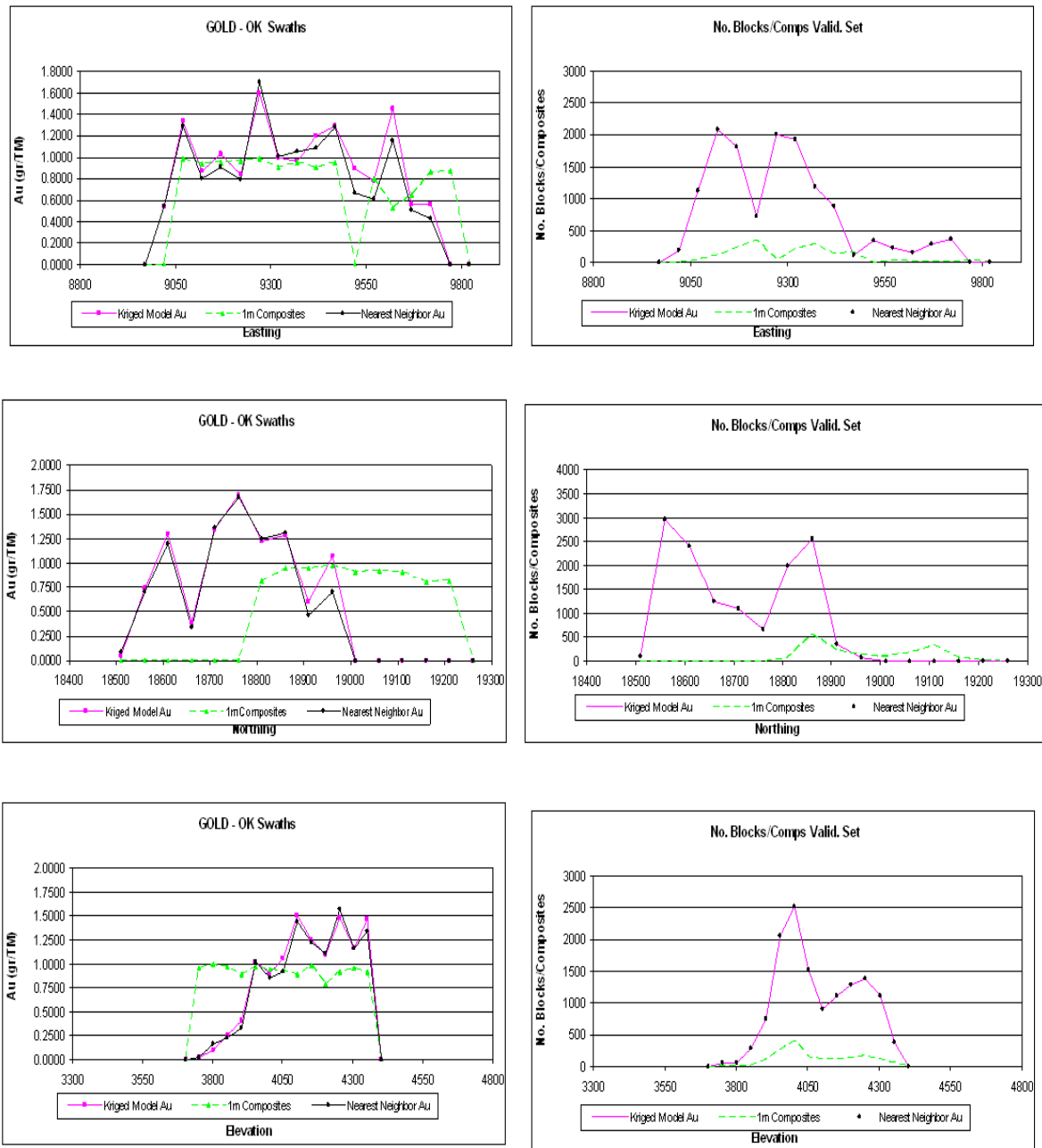


Figura 65: Gráficos swaths para los recursos medidos con leyes Au interpoladas por OK.

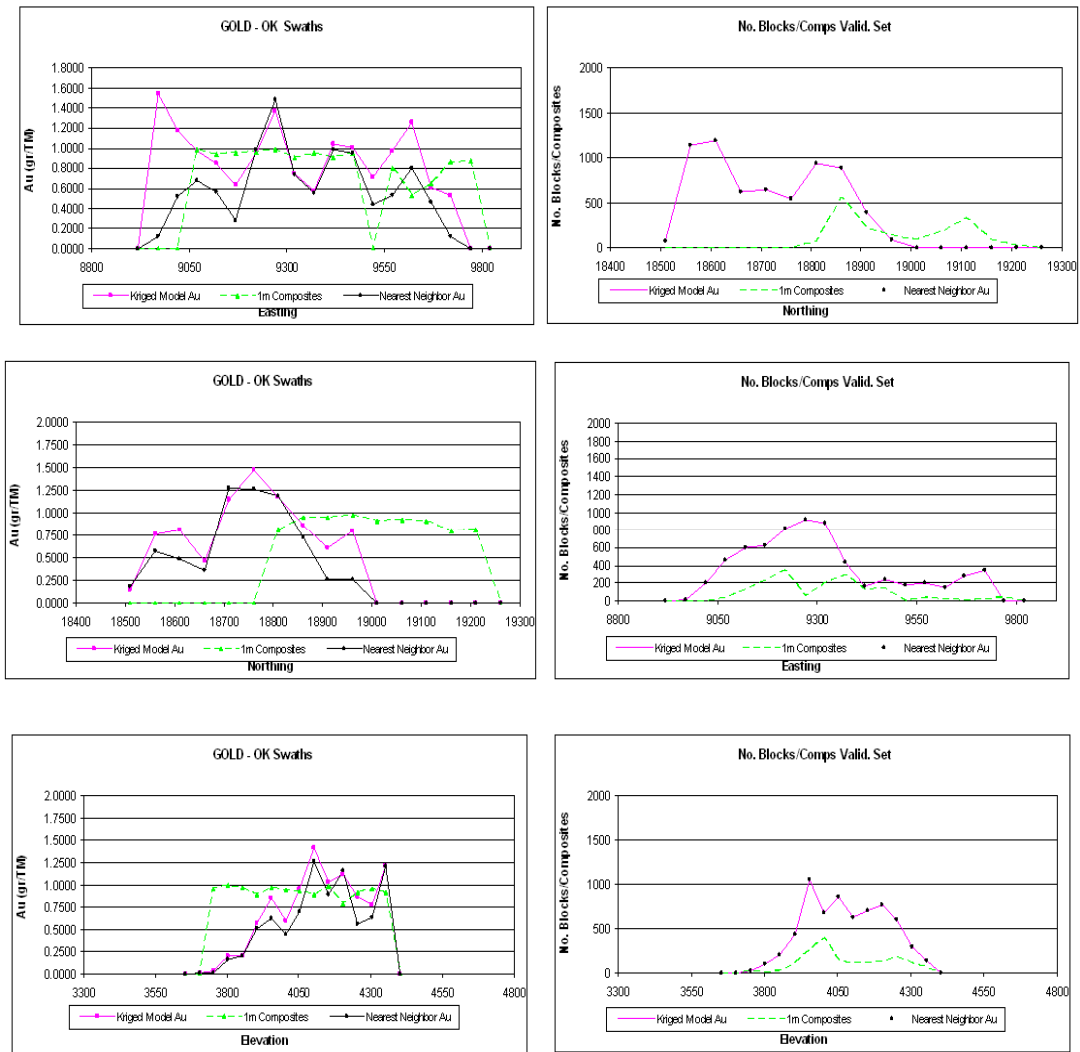


Figura 66: Gráficos swaths para los recursos indicados con leyes Au interpoladas por OK.

#### 4.9.4 Inventario final de recursos

Siendo positiva la evaluación realizada a la categorización, finalmente se presenta un reporte de recursos para la mineralización económica presente en la veta Atenea del área Invicta. (Ver tabla 17).

Método	Categorización	Au (gr/TM)	Ag (gr/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	TM	Total TM
Kriging ordinario (OK)	Medido	1.07	11.09	0.36	0.25	0.38	4,556,902	12,651,783
	Indicado	0.90	9.89	0.40	0.22	0.20	2,204,168	
	Inferido	0.78	8.16	0.40	0.17	0.18	1,477,477	
	Potencial	1.00	10.00	0.40	0.22	0.25	4,413,236	
Inverso de la distancia (IDW)	Medido	1.09	11.48	0.37	0.26	0.23	4,564,289	12,693,712
	Indicado	0.91	10.14	0.20	0.22	0.22	2,207,668	
	Inferido	0.79	8.39	0.40	0.18	0.19	1,482,434	
	Potencial	0.95	9.00	0.30	0.22	0.22	4,439,322	

Tabla 17: Inventario final de recursos para la veta Atenea.

## **CONCLUSIONES**

**5.1** El proyecto se encuentra ubicado en la provincia metalogenética de oro, plata y polimetálicos del Terciario medio a superior de la franja volcánica Cenozoica en la Cordillera Occidental, su formación estaría relacionada al tectonismo andino de la fase Quechua. Invicta es un yacimiento polimetálico emplazado en un ambiente epitermal – mesotermal, la mineralización económica esta controlada estructuralmente y atraviesa parte del plutón Paccho y a las secuencias volcánicas plegadas del Calipuy.

**5.2** Se han identificado siete zonas mineralizadas, en el presente estudio solo se ha realizado una estimación y categorización de recursos de la zona Atenea. La veta Atenea tiene una potencia que varía entre 2 m a 25 m, un azimut y buzamiento promedio de 55° y 65° NE respectivamente; presenta una zona oxidada, mixta y una zona de sulfuros. De los análisis de laboratorio se han identificado como minerales primarios a la calcopirita “II”, bornita, galena, esfalerita, especularita (hematita hidrotermal), calcopirita “I”, digenita, oro nativo, electrum y plata nativa; como minerales secundarios se tiene hematita, limonitas, calcosita –digenita y covelita. Como minerales accesorios se tiene magnetita – ilmenita, espinela, pirrotita, arsenopirita, cobres grises (enargita?), rutilo, y como ganga cuarzo y piritita.

**5.3** Los trabajos geoquímicos han permitido delimitar las áreas de interés económico, existe una buena correlación entre el oro y la plata, correlación moderada entre la plata – cobre y plomo - zinc, y baja correlación entre el cobre – plomo. Las leyes medias del muestreo geoquímico son similares a los valores medios de los cores compositados.

**5.4** Los resultados de aproximadamente 100 km de líneas geofísicas de Magnetometría y Polarización Inducida / Resistividad correlacionan positivamente con las anomalías geoquímicas, estos trabajos han permitido elaborar y ejecutar un exitoso programa de perforación diamantina.

**5.5** Las perforaciones han comprobado las anomalías geoquímicas y geofísicas, dándole valor económico al proyecto pues confirman la presencia de mineralización del orden de los

8.5 millones de TM con una ley media de 0.97 Au gr/TM, 10.24 Ag gr/TM, 0.38% Cu, 0.23% Pb y 0.30% Zn. En la zona Atenea se han totalizado 13119.22 m de perforación diamantina complementados con 1600 m de labores subterráneas, la recuperación promedio de los cores ha sido del 97%.

**5.6** La calidad de los métodos usados para la estimación y categorización de recursos en Atenea se conocerán con el resultado de la conciliación de leyes estimadas versus leyes explotadas en la etapa de explotación minera.

## **RECOMENDACIONES**

- 6.1** Programar sondajes en aquellas zonas que han sido clasificadas como recursos potenciales en el modelo.
- 6.2** Preparar material estándar propio del proyecto para su uso en el QA/QC.
- 6.3** Realizar trabajos de evaluación complementarios en otras zonas mineralizadas del área Invicta y que geológicamente son similares a Atenea.

## **BIBLIOGRAFIA**

**ALFARO, M. (2003).** Introducción al muestreo minero. Instituto de Ingenieros de minas de Chile.

**ALFARO, M. (2007).** Estimación de recursos mineros. Instituto de Ingenieros de minas de Chile.

**ALFARO, G. (2008).** Del prospecto a la mina. Instituto de Geología Económica Aplicada. Universidad de Concepción – Chile.

**ARAYA, M. (2002).** Tesis: Estimación de reservas aplicando el software Surpac Vision.

**AUBERTIN, R. (1998).** Exploration Campaign, 1996 – 1998. Victoria Property, Peru. Internal report for Pangea.

**BELANGER, M. (2007).** Technical report for Maricunga Gold mine, pp. 40 – 58, 78-90.

**BRUNO, R. (2008).** Geoestadística minera. Consultor INTERCADE.

**CASTILLO, H. (1997).** Geología regional - local de los denuncios Victoria y alrededores. Su relación e interpretación. Pangea. Perú.

**COBBING, J. (1973).** Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral, y Canta. Boletín N° 26. Servicio de Geología y Minería.

**COBBING, J. y SPENCER, W. (1979).** El Batolito Costanero en la parte central del Perú. Boletín N°7. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

**DELGADO, J. y CARPANETTI, A. (2002).** Programa Internacional en Geoestadística Lineal aplicada a la minería. Universidad de Antofagasta.



**GABOURY, F. (2000).** The Victoria Project: Property Investigation Summary. Barrick Misquichilca internal report.

**JARAMILLO, V. (2006).** The Invicta Property Technical Report. Prepared for Andean American Mining Corp.

**MORENO, F. y ANGUITA F. (1991).** Procesos Geológicos Internos.

**PALACIOS, O. (1985).** Geología del Perú. Boletín 55 – Serie A. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

**PINEAULT, R. (1997).** Geophysical report: Pangea Peru S.A. Victoria Project. Val d'Or Geofisica (Peru) S.A.

**TUMIALAN, P. (2003).** Compendio de Yacimientos Minerales del Perú. Bol. Soc. Geol. del Perú. Serie B, N° 10, pp. 84-86, 91-94, 125-128, 568-570.

**SCOTT, L. (2000).** Assay quality assurance – quality control program for drilling projects at the pre-feasibility to feasibility report level -3<sup>rd</sup>. edition.

**VELA, L. (2006).** The Flor de Loto Property, Internal Report for Andean Explorations S.A.C.

**VELA, L. y CACERES W. (2005).** Atenea Vein Indicated Resources Validation and Infill Program, Invicta Project. For Andean Explorations SAC.

## **ABREVIATURAS**

Ag	: plata
As	: arsénico
Au	: oro
Bi	: bismuto
°C	: grados centígrados
cc	: calcosita
cd	: cadmio
Co	: cobalto
cp	: calcopirita
Cu	: cobre
cv	: covelita
dg	: digenita
EDA	: análisis exploratorio de datos
ef	: esfalerita
Fe	: hierro
esp	: especuladita
gn	: galena
GGs	: ganga
gr/TM	: gramos / tonelada
has	: hectáreas
hm	: hematita
I.C.	: Índice de correlación
IDW	: Inverso de la distancia al cuadrado
IP/RES	: Polarización inducida / Resistividad
km	: kilómetros
kv	: kilovoltios
LIMs	: limonitas
lt/s	: litros / segundo
m	: metros
MAG	: magnetometría

ml	: mililitros
Mn	: manganeso
Mo	: molibdeno
mt	: magnetita
Ni	: níquel
NN	: vecino más cercano
OK	: kriging ordinario
Pb	: plomo
PGIs	: plagioclasas
py	: pirita
Sb	: antimonio
ser	: sericita
Zn	: zinc

## **APENDICES**

- III – 1 Planos geológicos con ploteo de leyes
- III – 2 Correlaciones geoquímicas
- III – 3 Planos y secciones geofísicas interpretadas
- III – 4 Gráficos de control de calidad
- III – 5 Fotos de secciones pulidas y descripciones
- III – 6 Fotos de muestras de mano y cores
- IV – 1 Gráficos EDA

## **Apéndice III – 1**

### **Planos geológicos con ploteo de leyes**

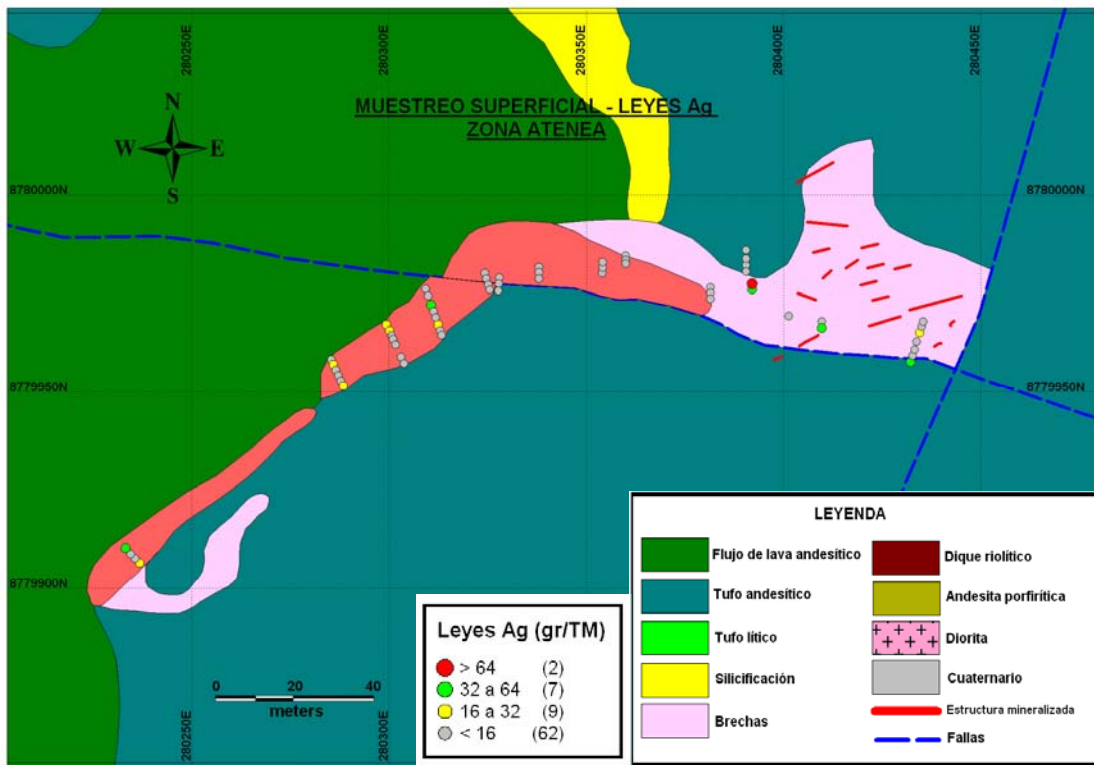


Figura 01: Plano geológico local de la zona Atenea con ploteo de leyes de plata.

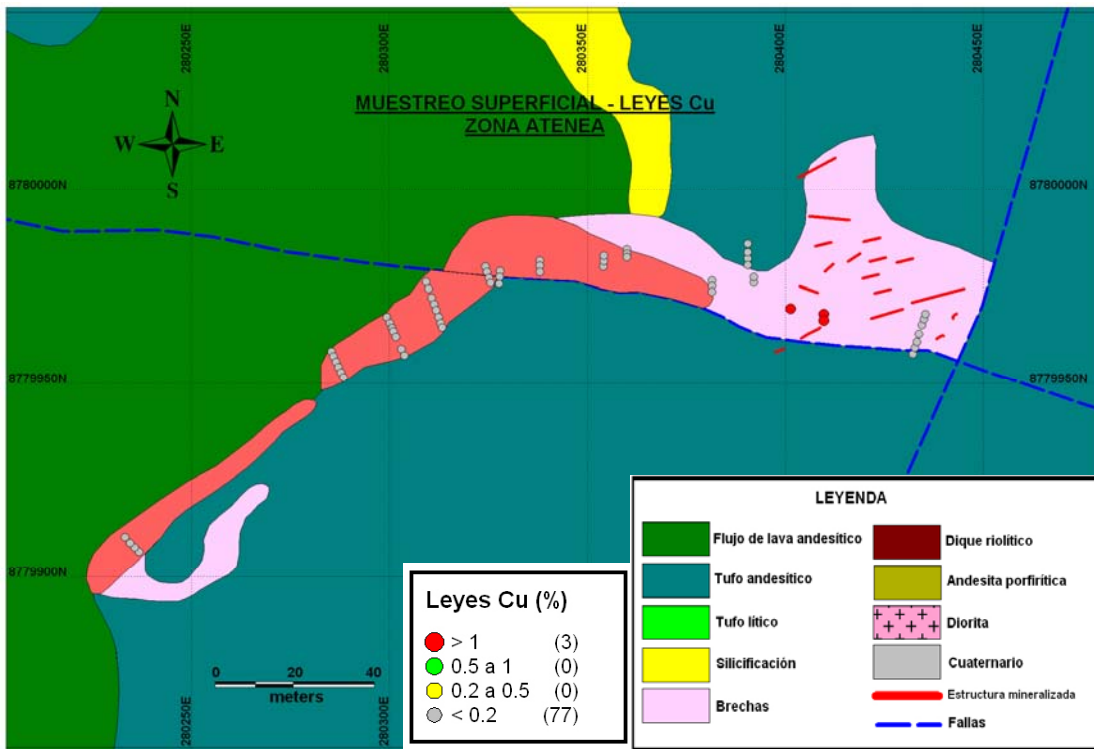


Figura 02: Plano geológico local de la zona Atenea con ploteo de leyes de cobre.

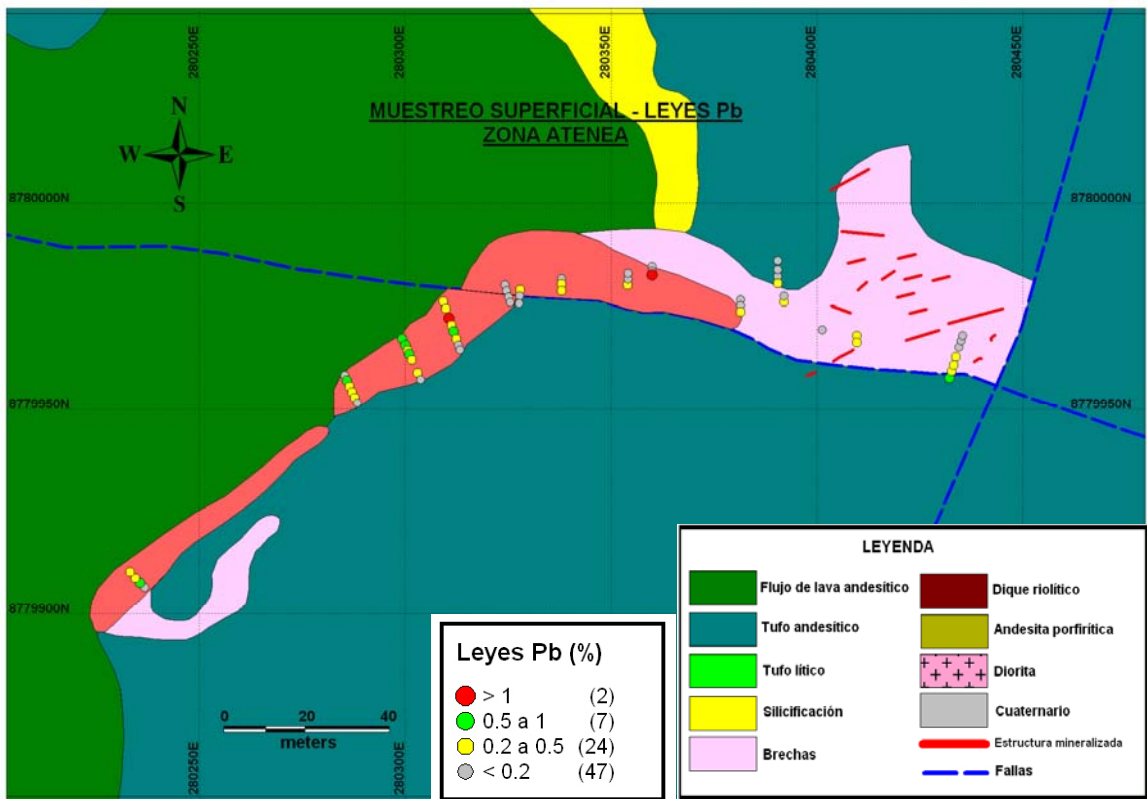


Figura 03: Plano geológico local de la zona Atenea con ploteo de leyes de plomo.

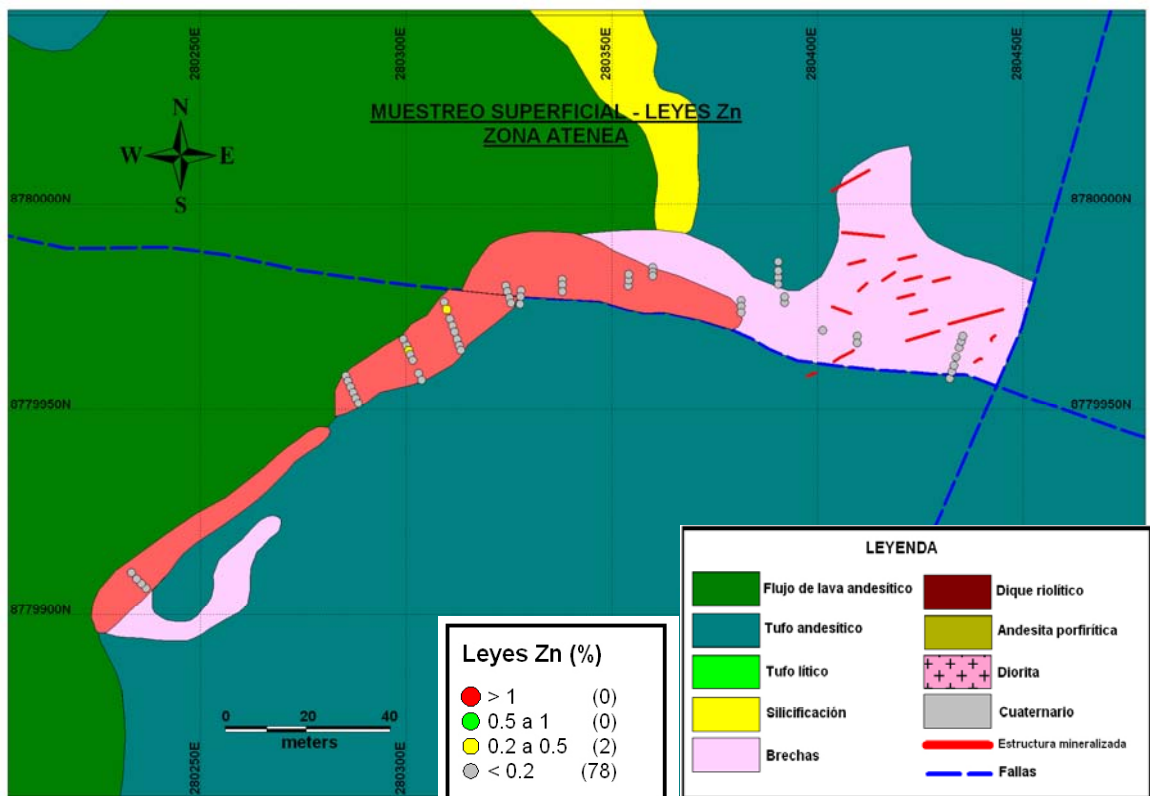


Figura 04: Plano geológico local de la zona Atenea con ploteo de leyes de zinc.

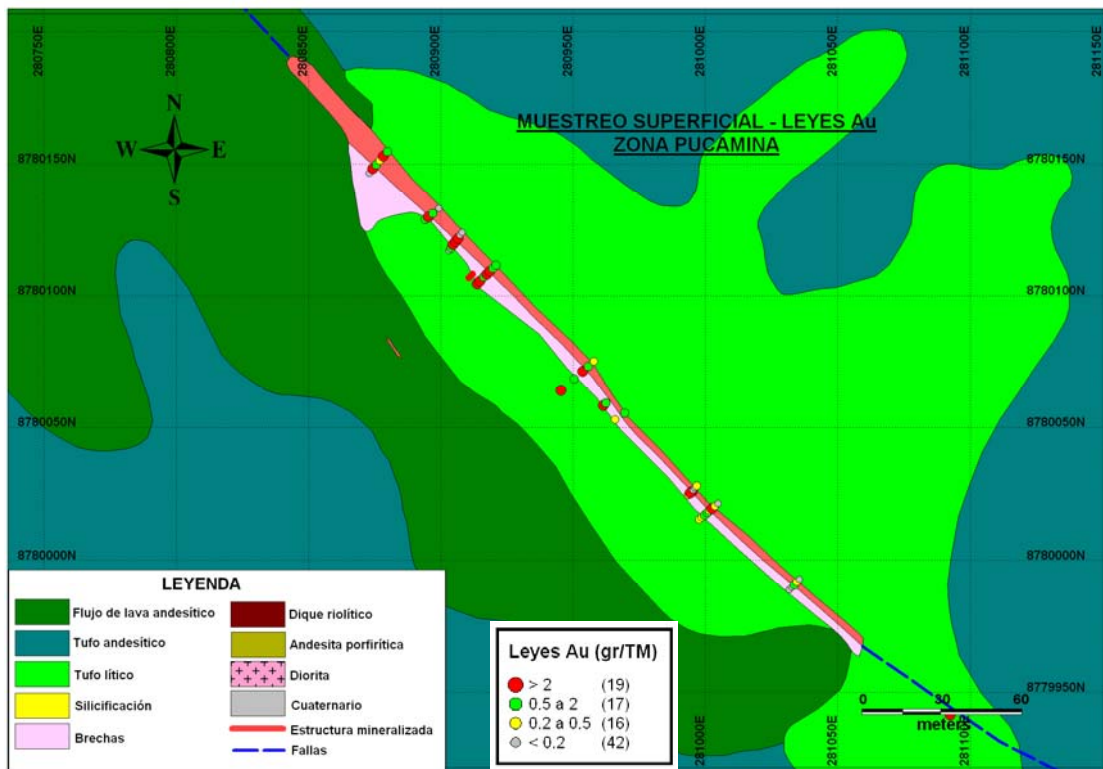


Figura 05: Plano geológico local de la zona Pucamina con ploteo de leyes de oro.

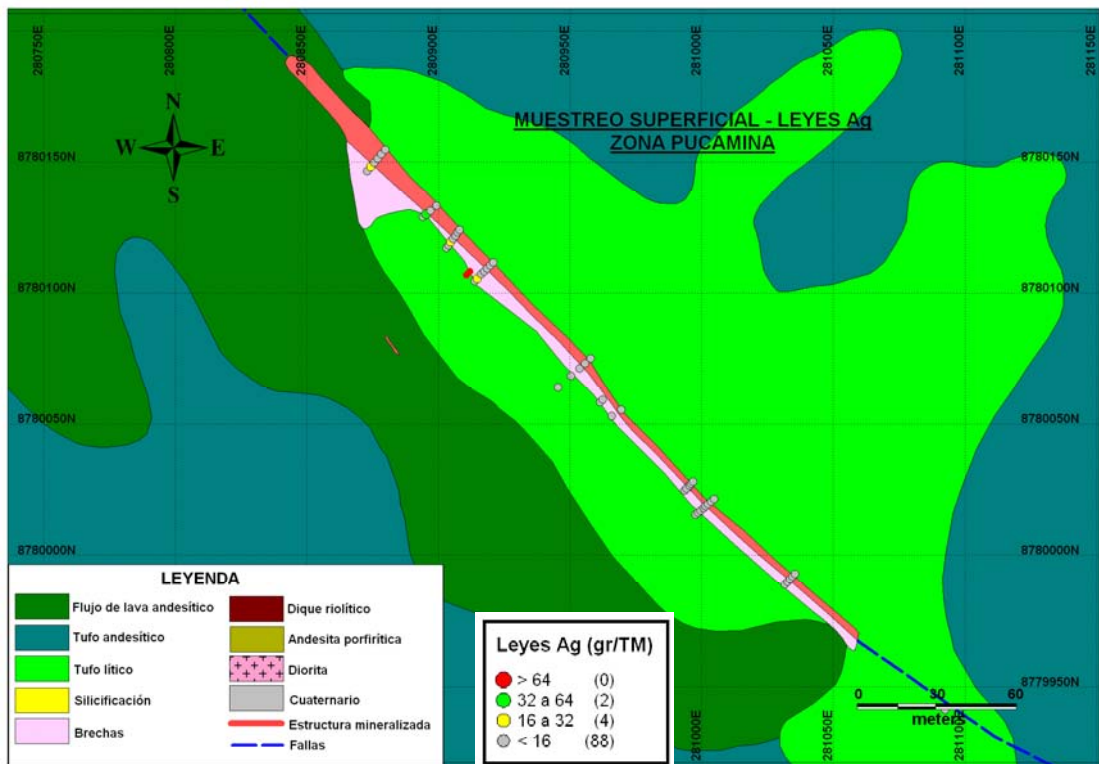


Figura 06: Plano geológico local de la zona Pucamina con ploteo de leyes de plata.



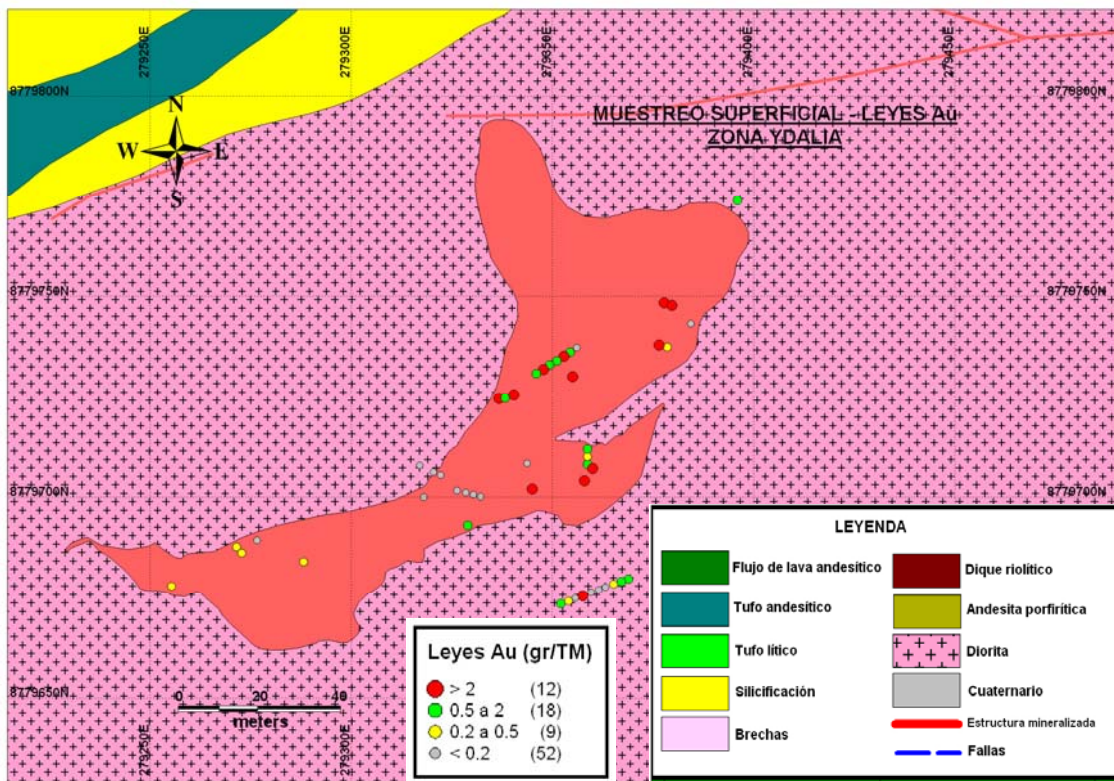


Figura 07: Plano geológico local de la zona Ydalia con ploteo de leyes de oro.

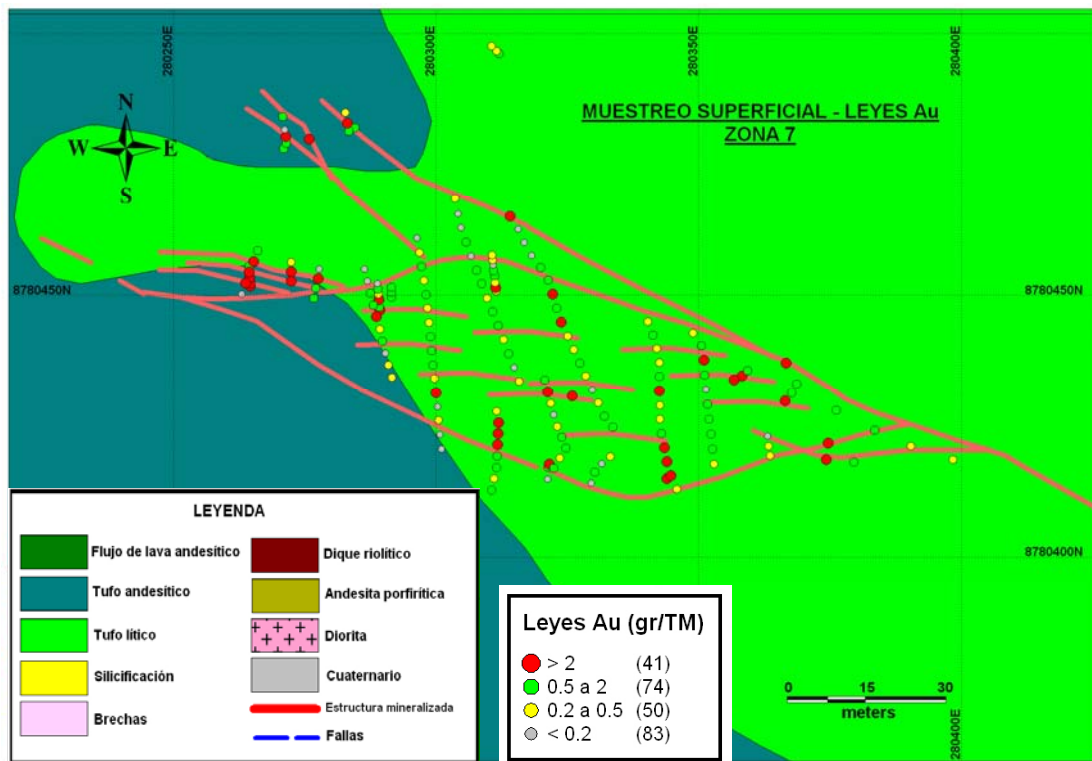


Figura 08: Plano geológico local de la zona 7 con ploteo de leyes de oro.



Figura 09: Plano geoquímico de Atenea al nivel 3400 con ploteo de leyes de plata.

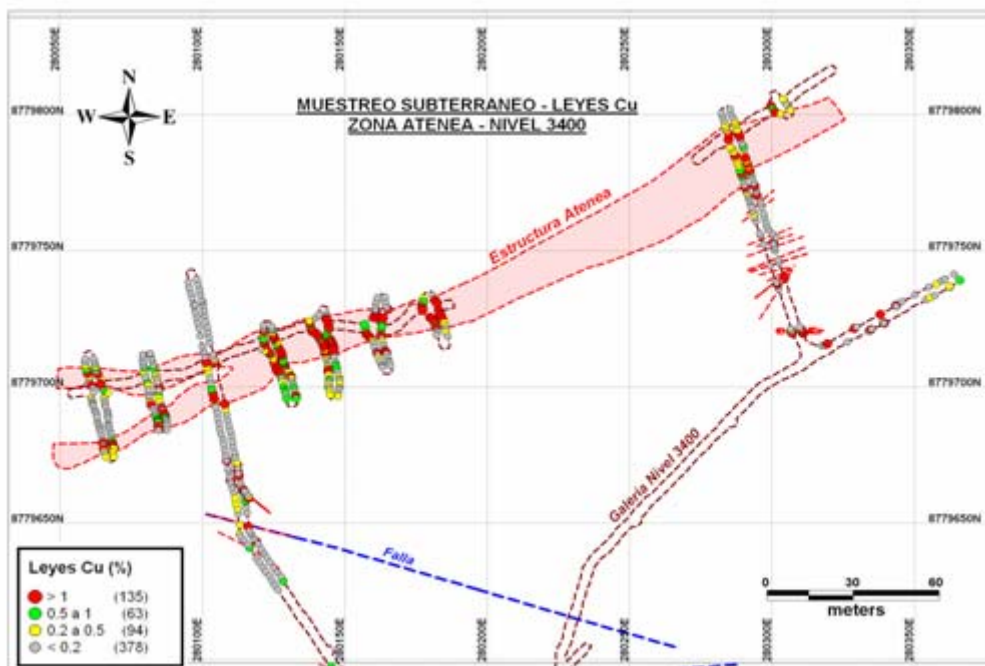


Figura 10: Plano geoquímico de Atenea al nivel 3400 con ploteo de leyes de cobre.

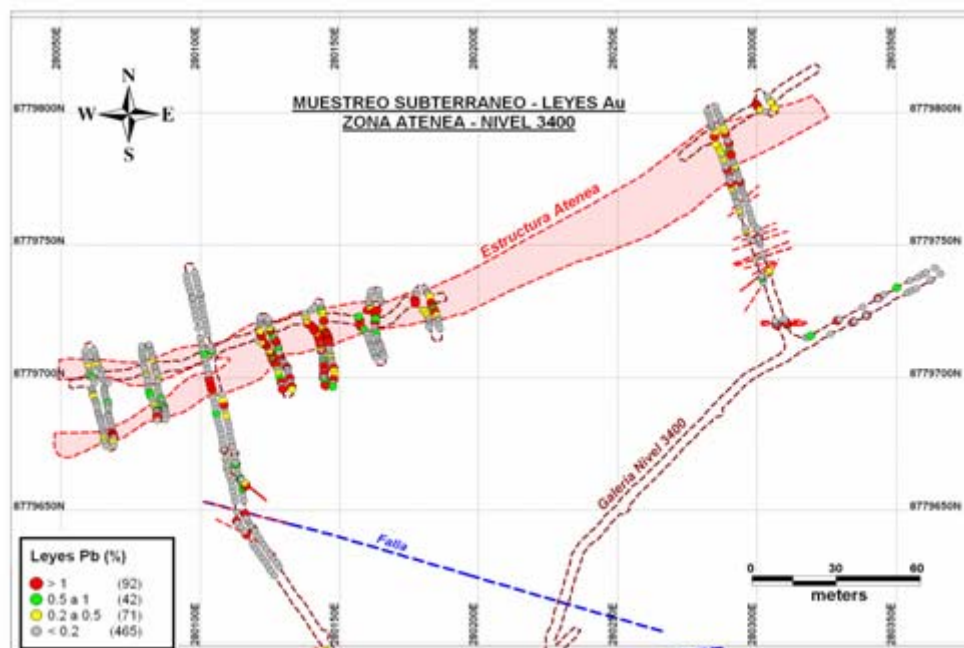


Figura 11: Plano geoquímico de Atenea al nivel 3400 con ploteo de leyes de plomo.

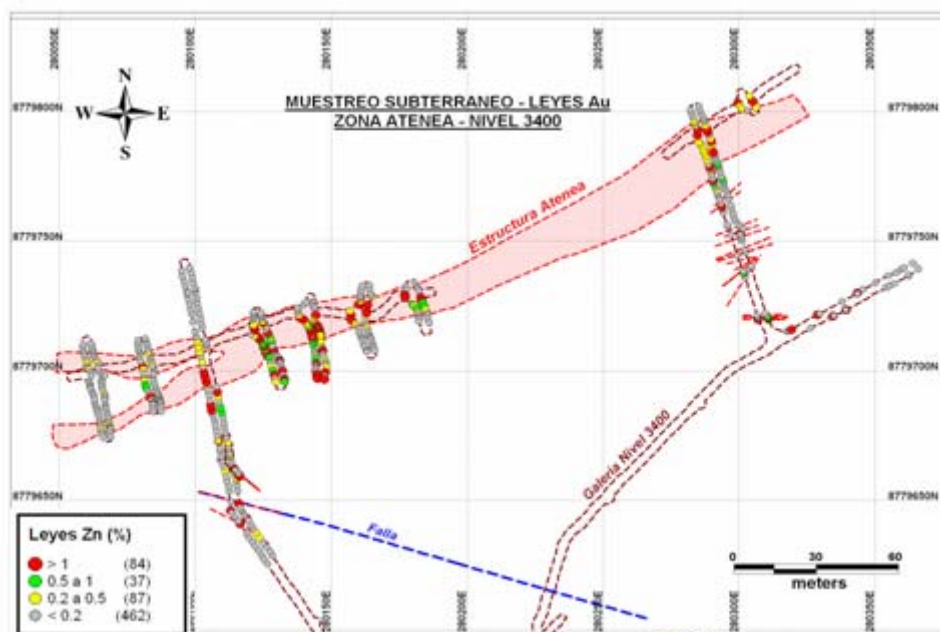


Figura 12: Plano geoquímico de Atenea al nivel 3400 con ploteo de leyes de zinc.

## **Apéndice III – 2**

### **Correlaciones geoquímicas**

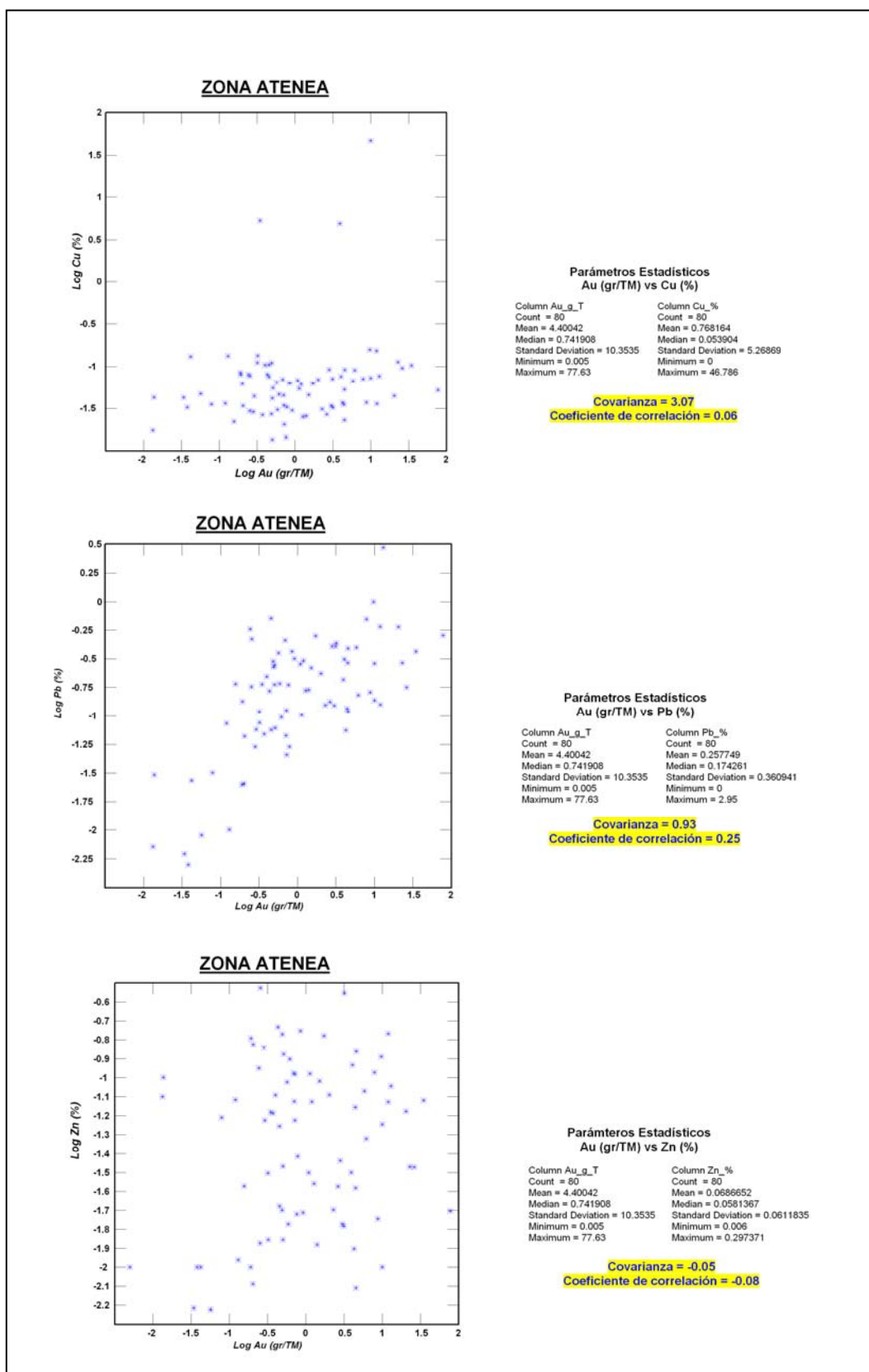


Figura 13: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo superficial en la zona Atenea.

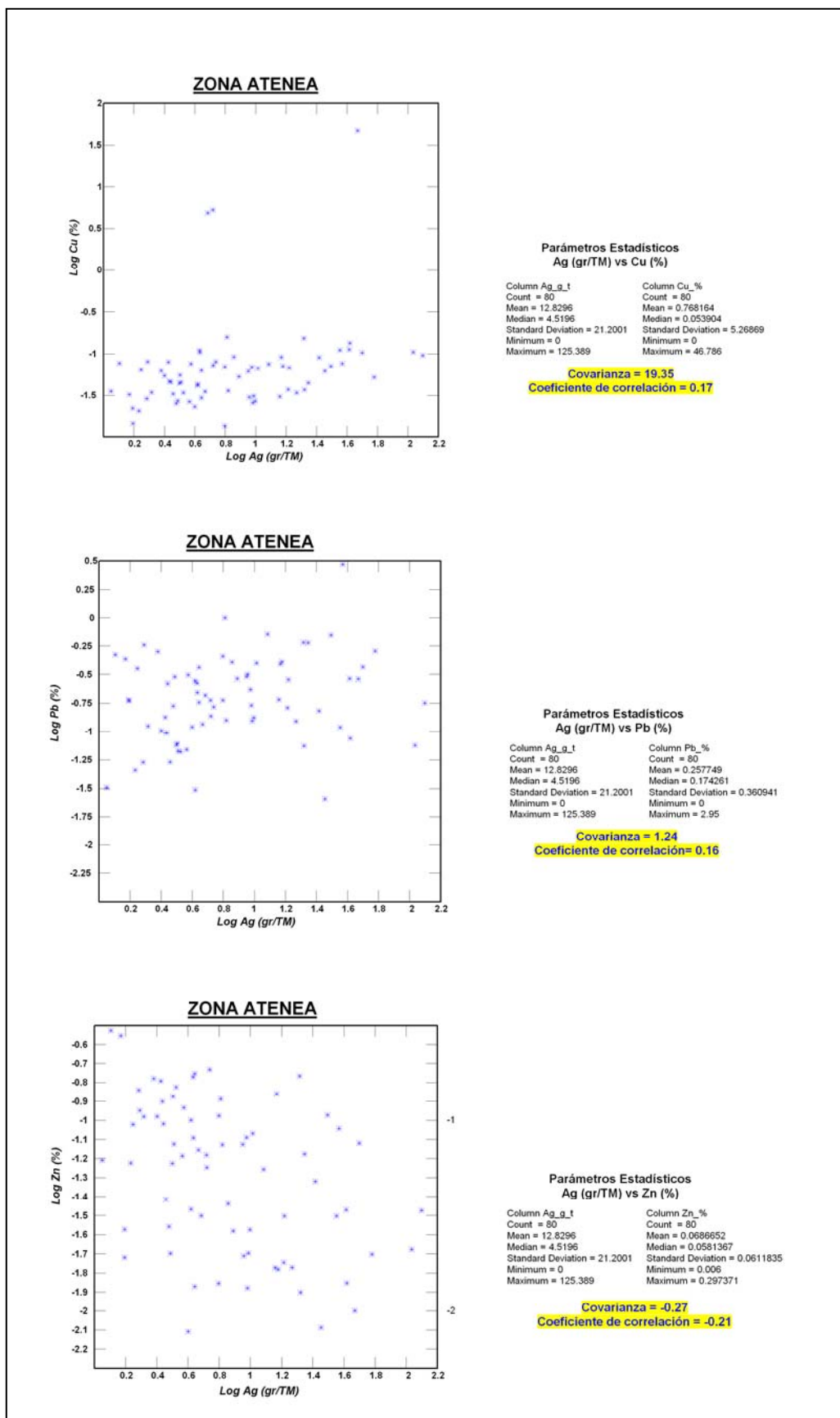


Figura 14: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo superficial en la zona Atenea.

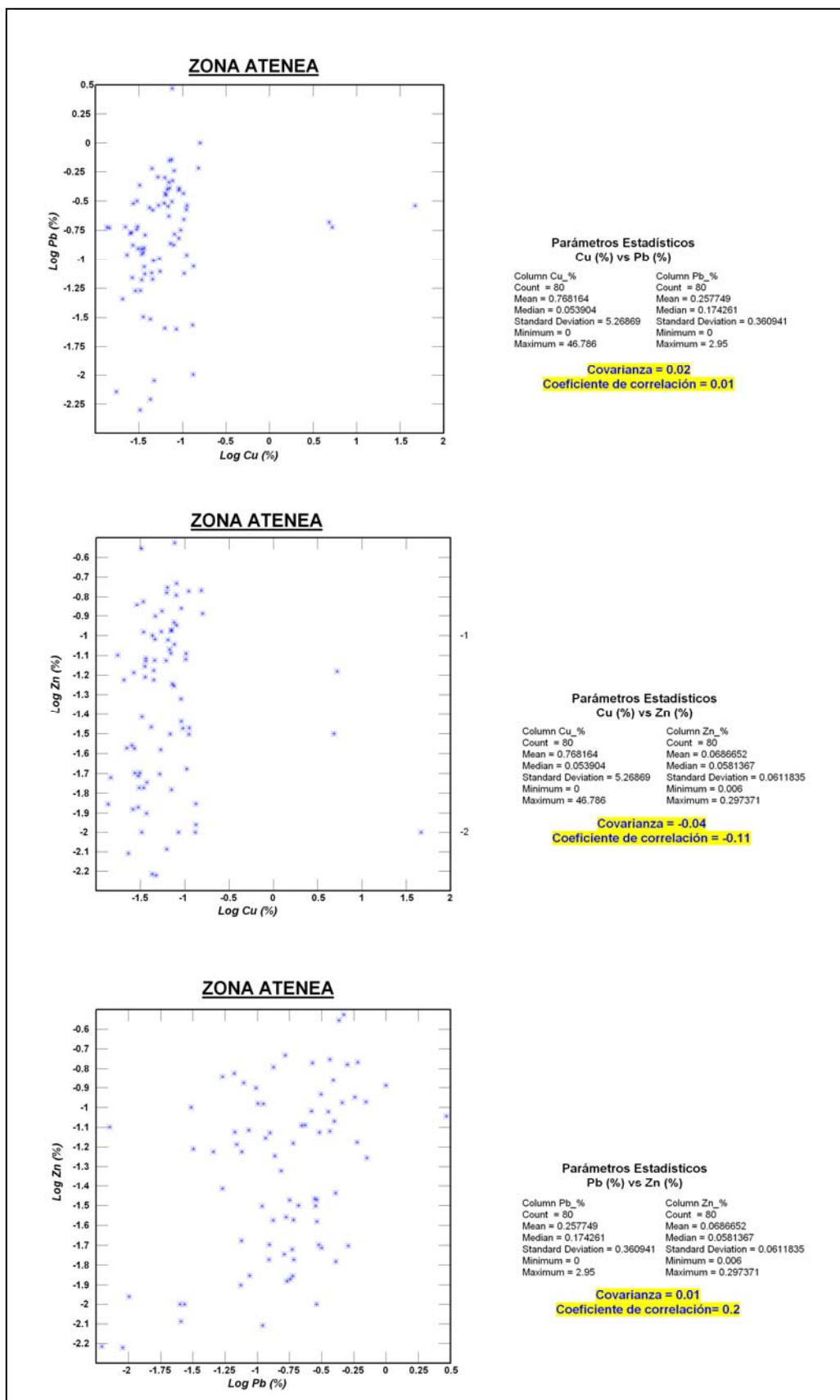


Figura 15: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo superficial en la zona Atenea.

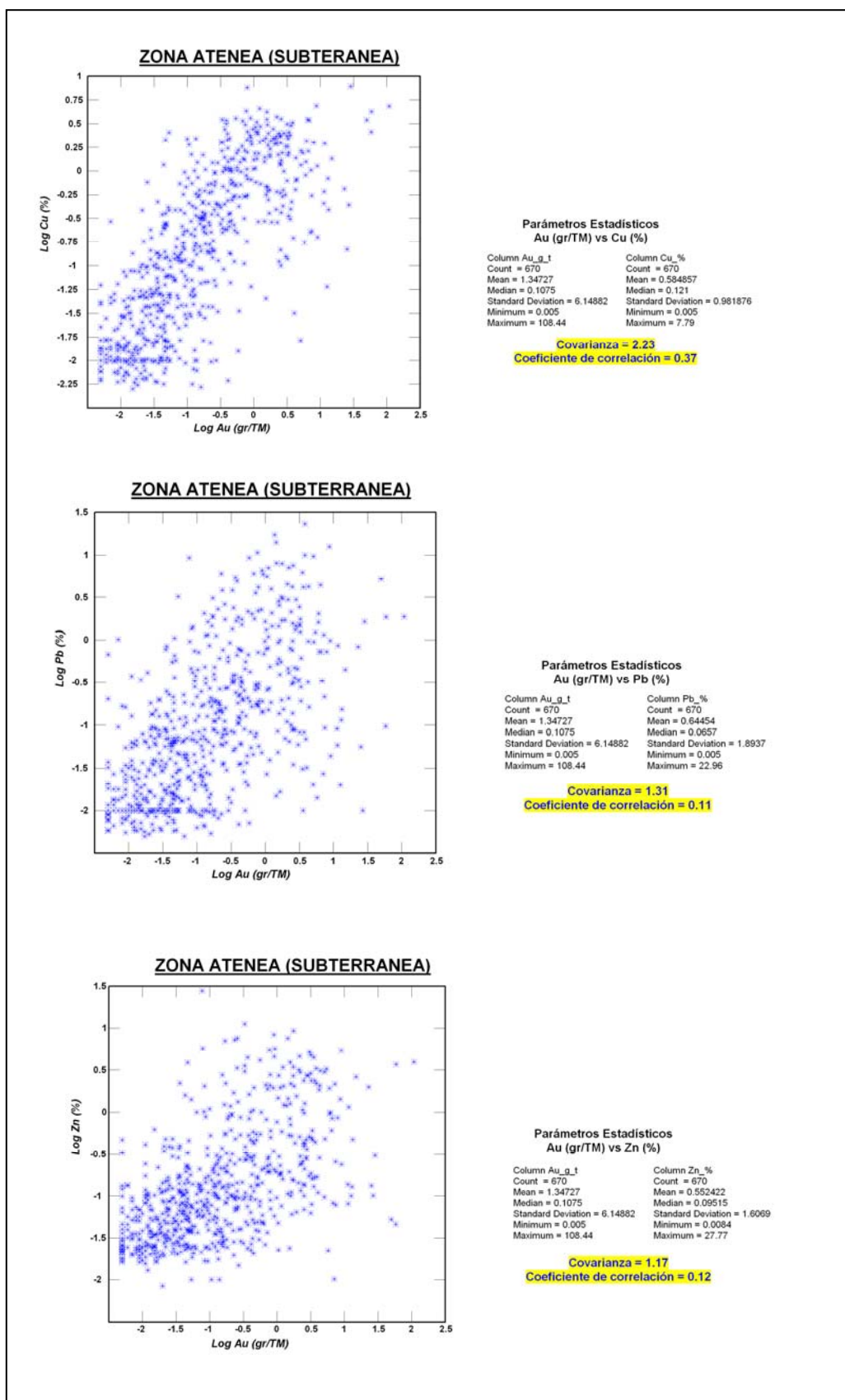


Figura 16: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo subterráneo en la zona Atenea.



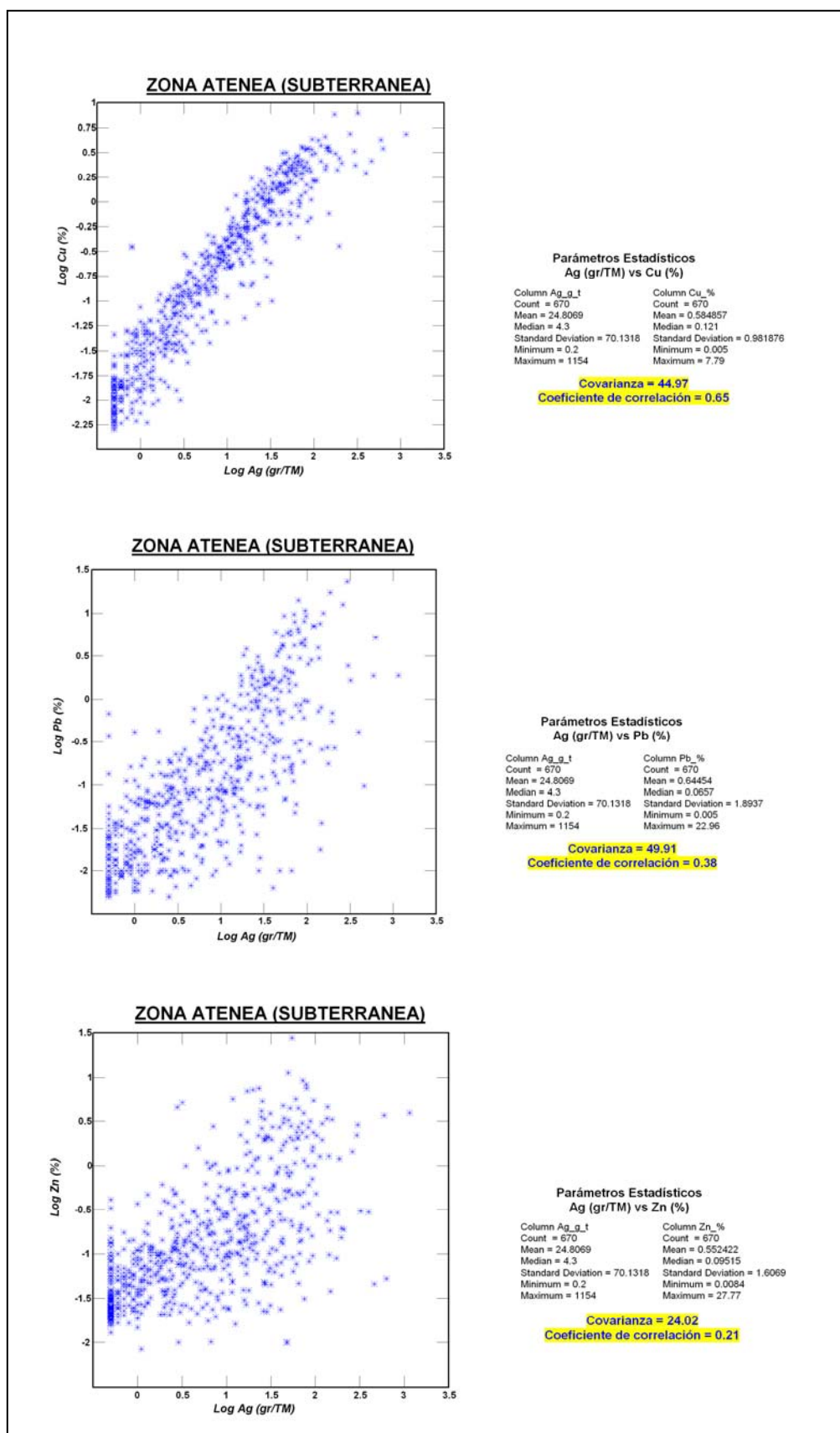


Figura 17: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo subterráneo en la zona Atenea.

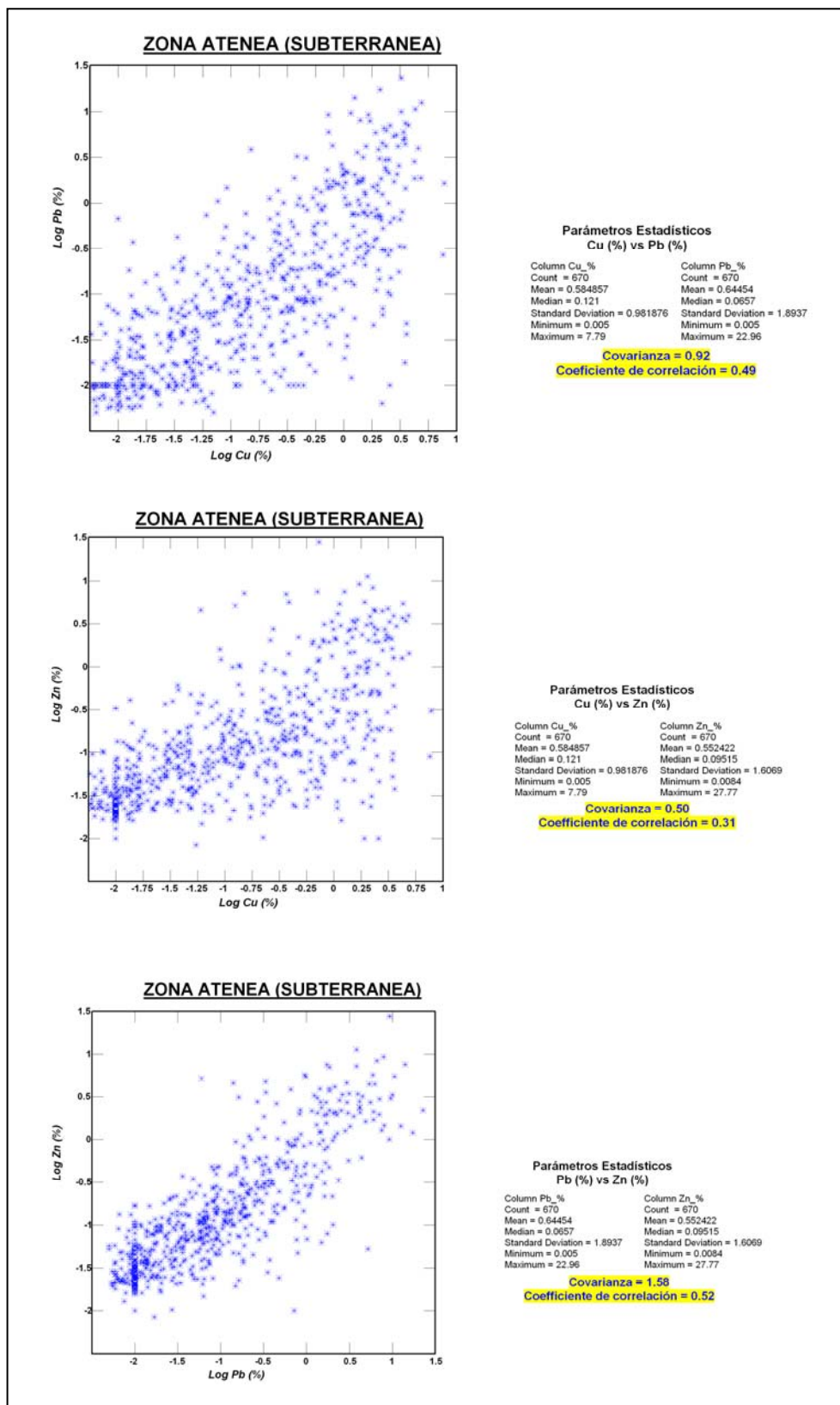


Figura 18: Gráfico de correlaciones geoquímicas para los elementos de interés del muestreo subterráneo en la zona Atenea.

## **Apéndice III – 3**

### **Planos y secciones geofísicas interpretadas**

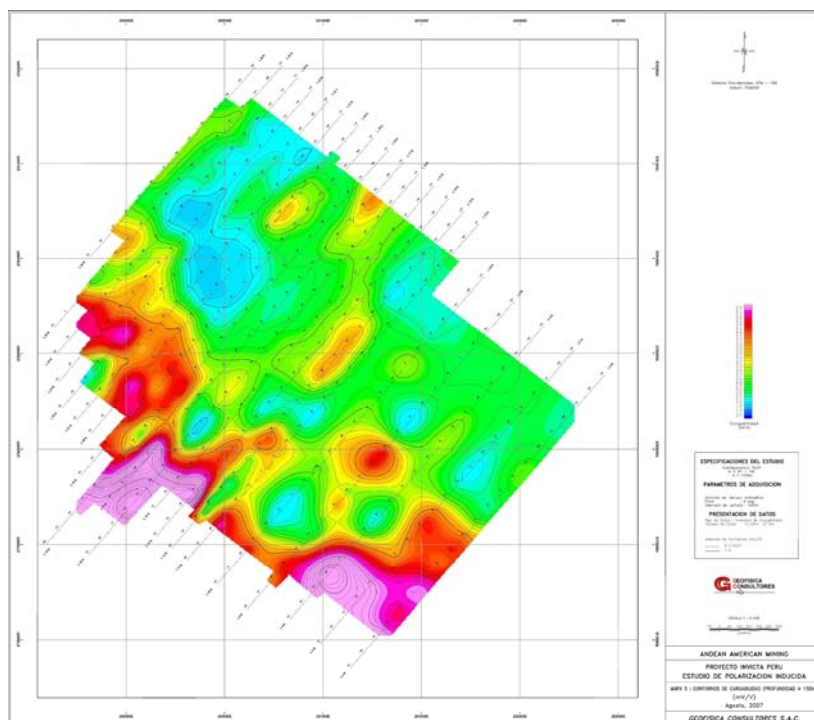


Figura 01: Plano de contornos de cargabilidad (mV/V) – profundidad 150 m.

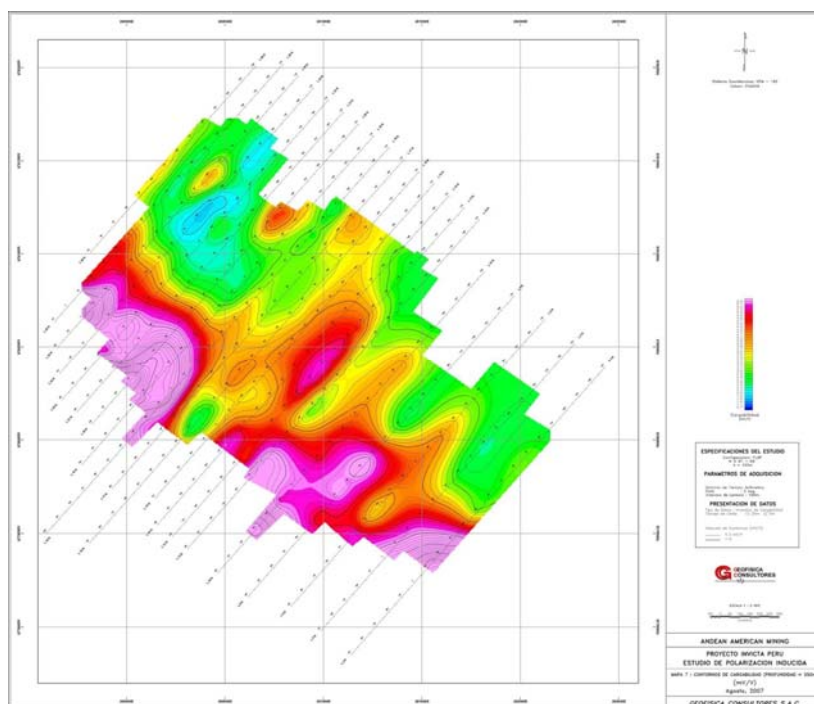


Figura 02: Plano de contornos de cargabilidad (mV/V) – profundidad 250 m.

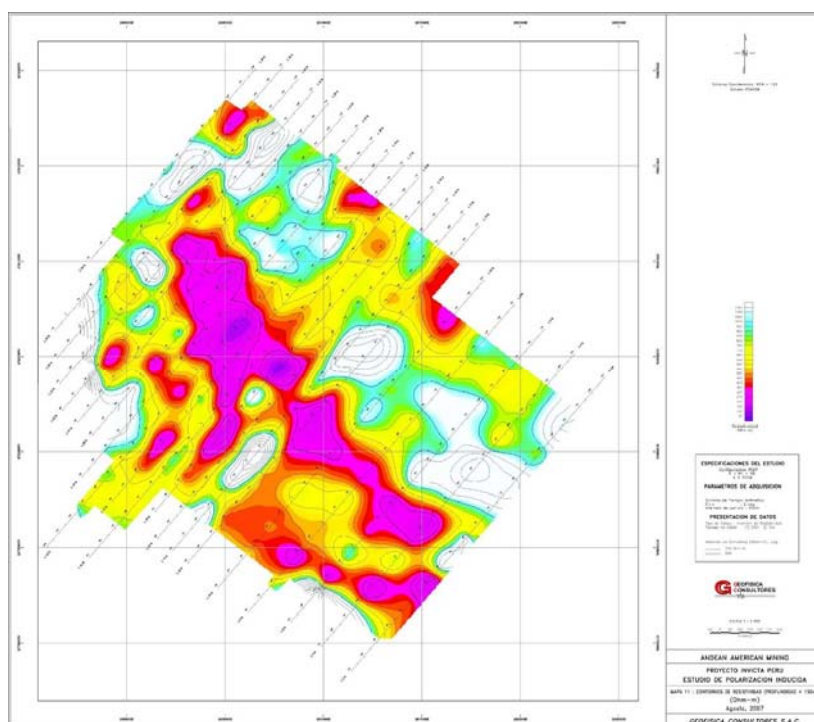


Figura 03: Plano de contornos de resistividad (Ohm-m) – profundidad 150 m.

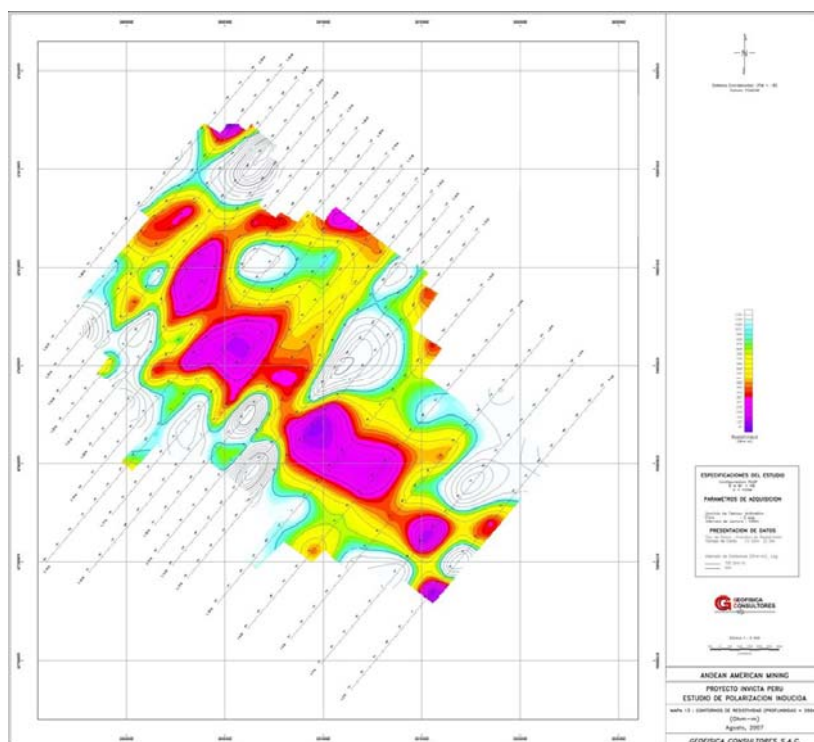


Figura 04: Plano de contornos de resistividad (Ohm-m) – profundidad 250 m.

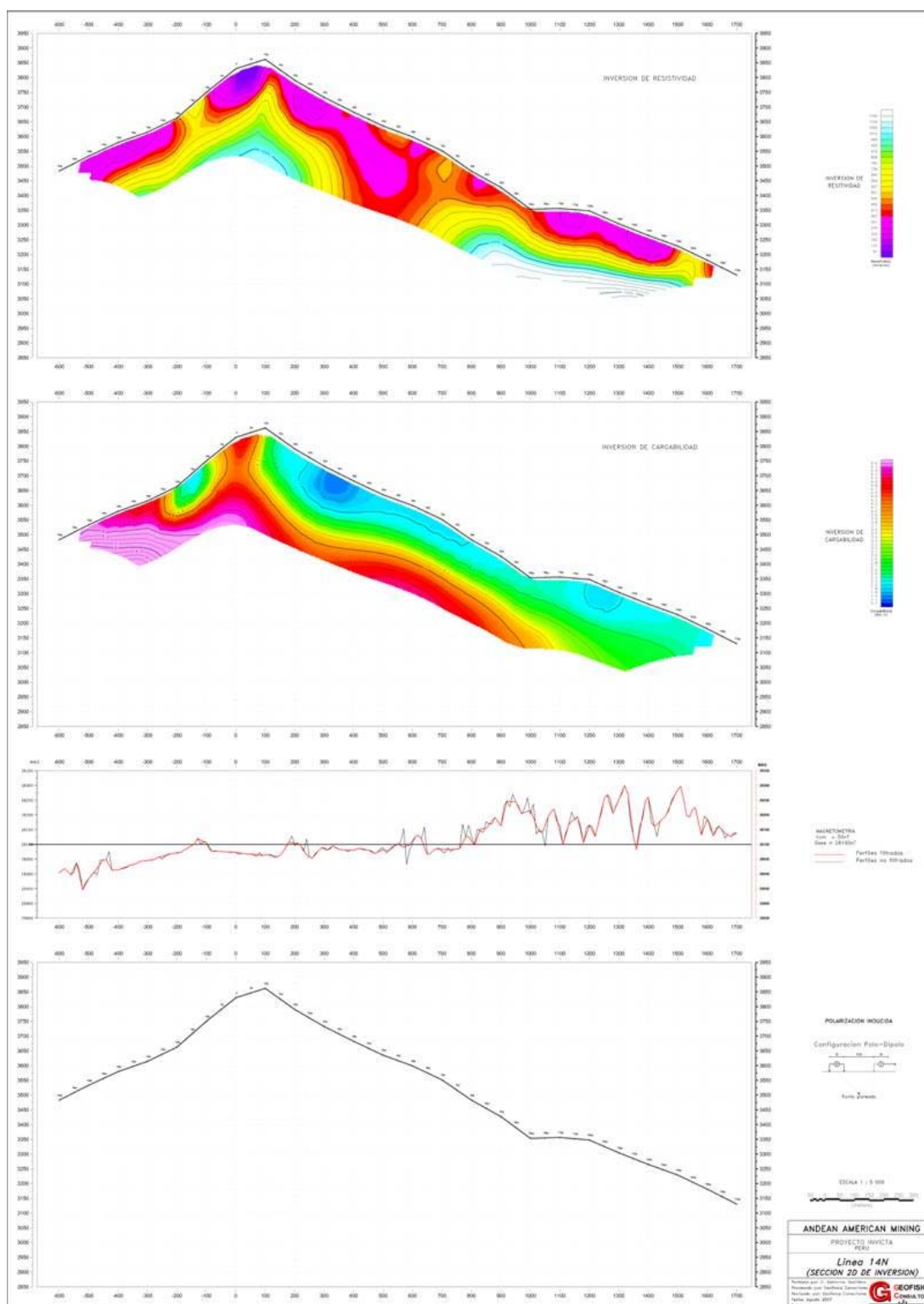


Figura 05: Perfil con inversiones de Resistividad y Cargabilidad a lo largo de la línea 14N (sección 2D de inversión).

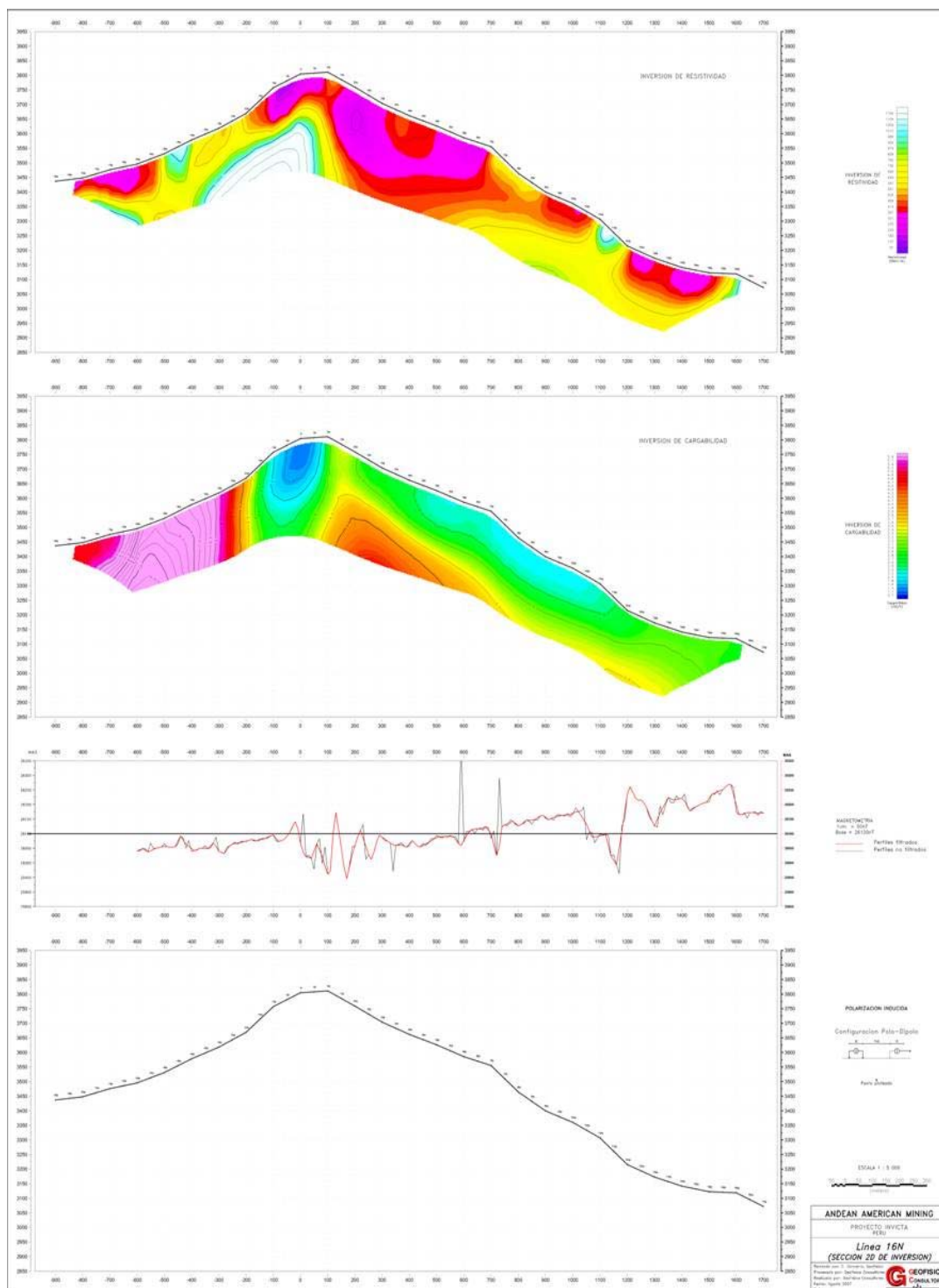


Figura 06: Perfil con inversiones de Resistividad y Cargabilidad a lo largo de la línea 16N (sección 2D de inversión).

## **Apéndice III – 6**

### **Gráficos de control de calidad**



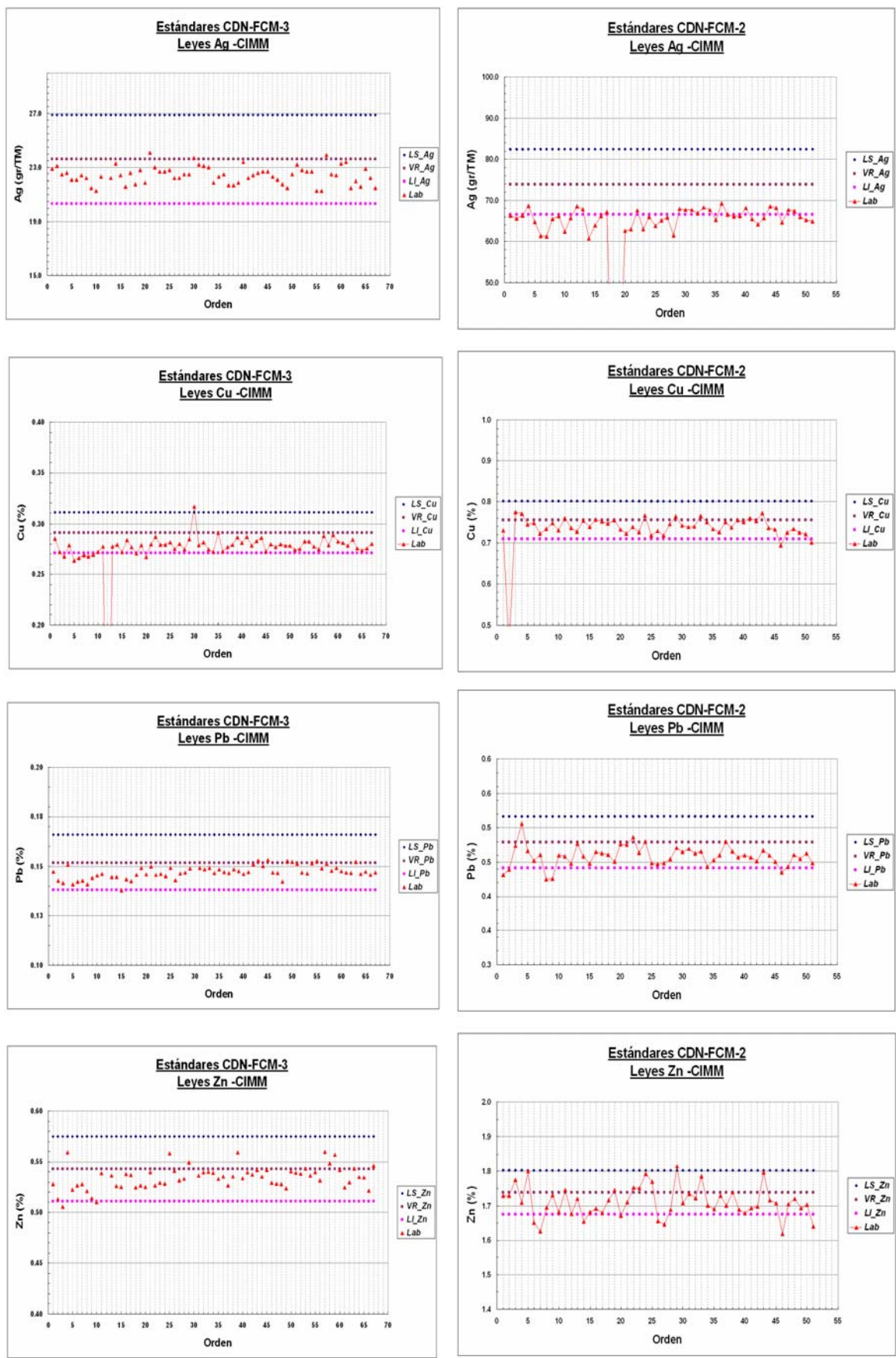


Figura 01: Gráficos del control de calidad por elementos realizado a los estándares.

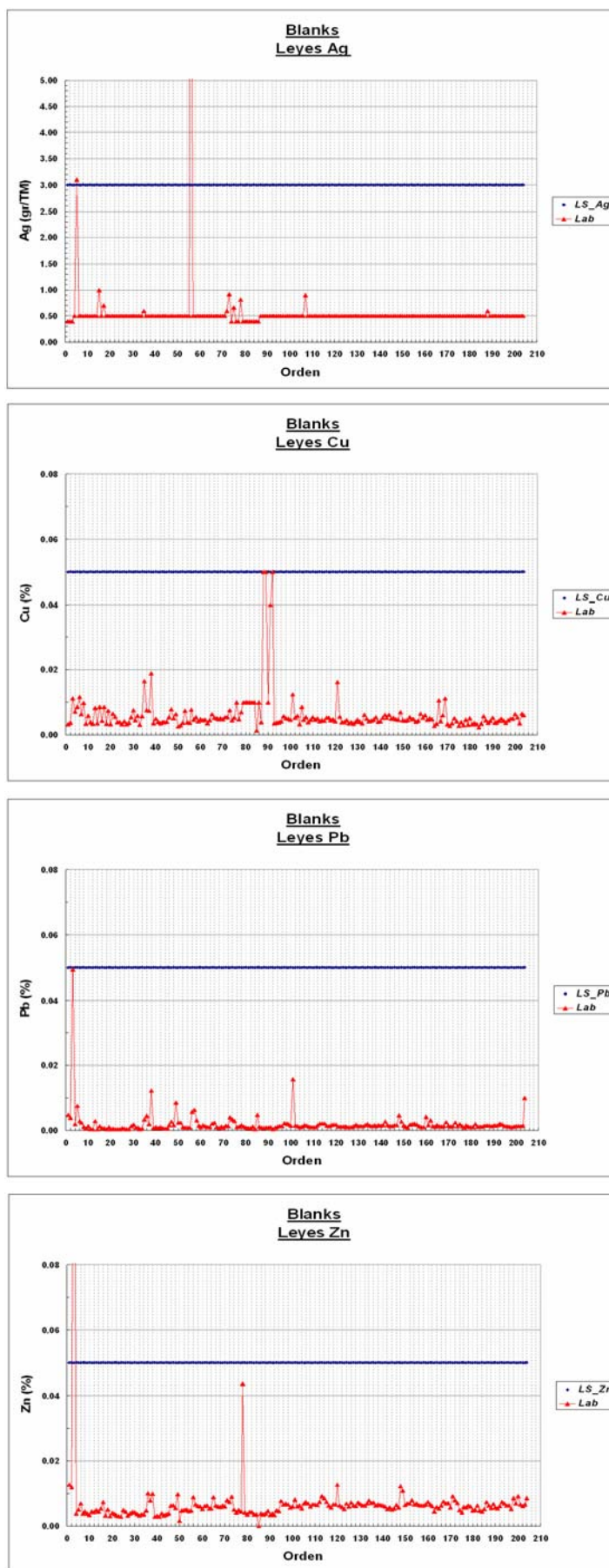


Figura 02: Gráficos del control de calidad por elementos realizado a los blancos.

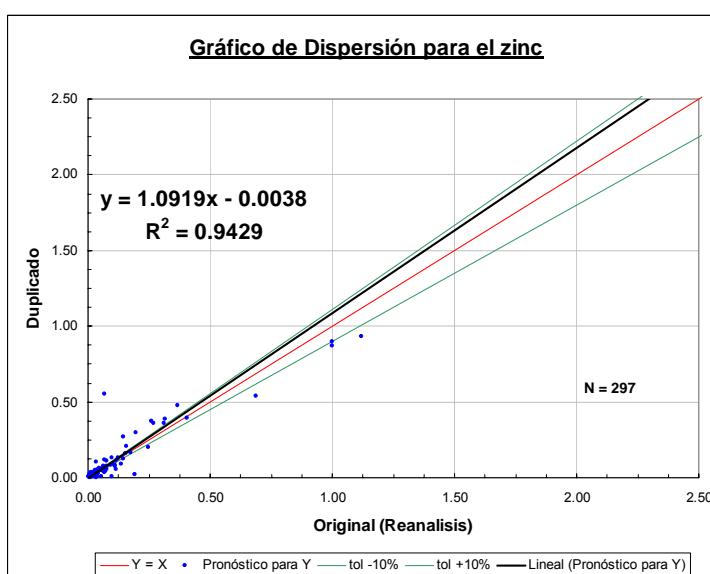
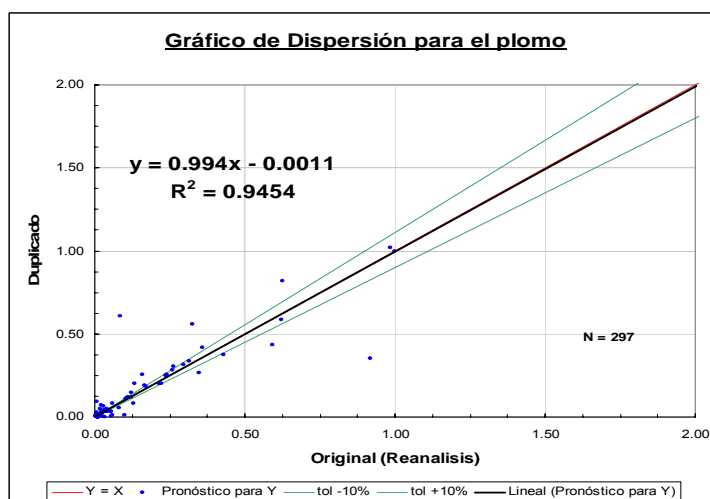
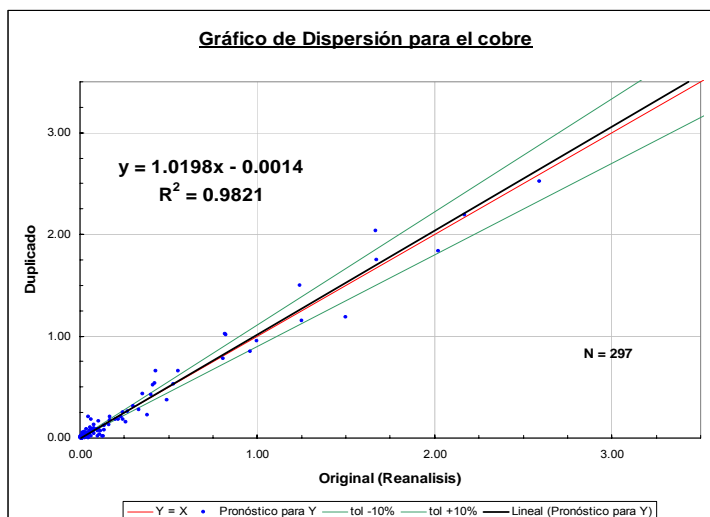


Figura 03: Gráficos de dispersión por elemento del control de calidad realizado.

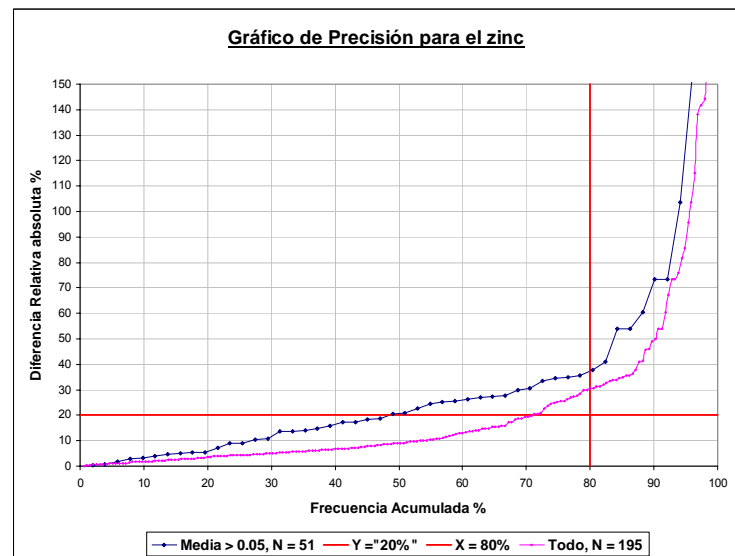
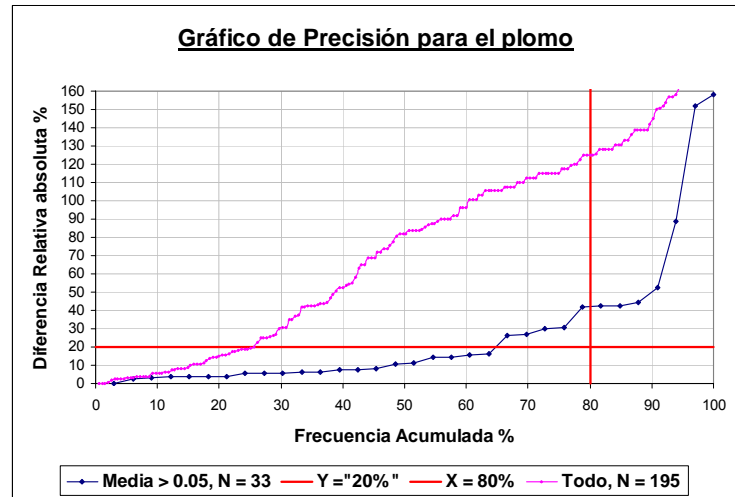
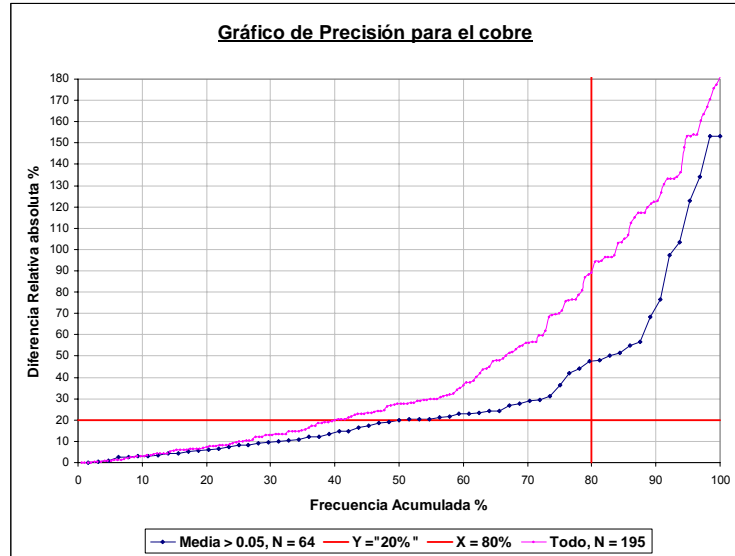


Figura 04: Gráficos de precisión por elemento del control de calidad realizado.

## **Apéndice III – 5**

### **Fotos de secciones pulidas y descripciones**

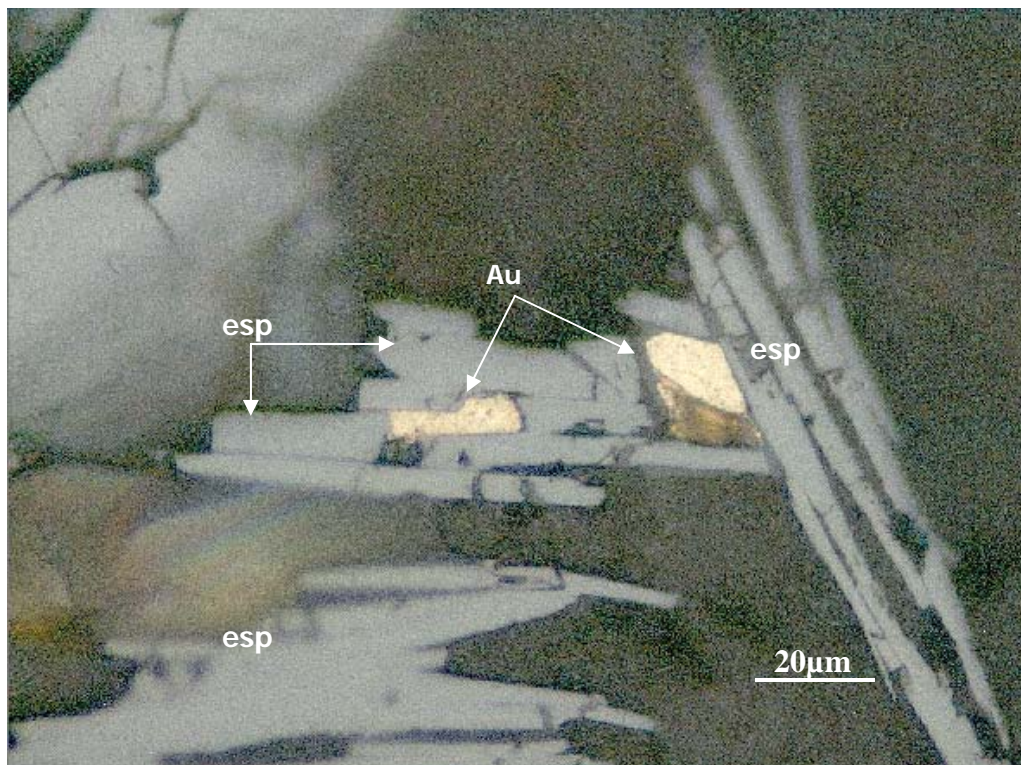


Foto 01: Granos de oro (Au) en bordes de cristales de especularita (esp).



Foto 02: Grano de oro (Au) incluido en la ganga (GGs).

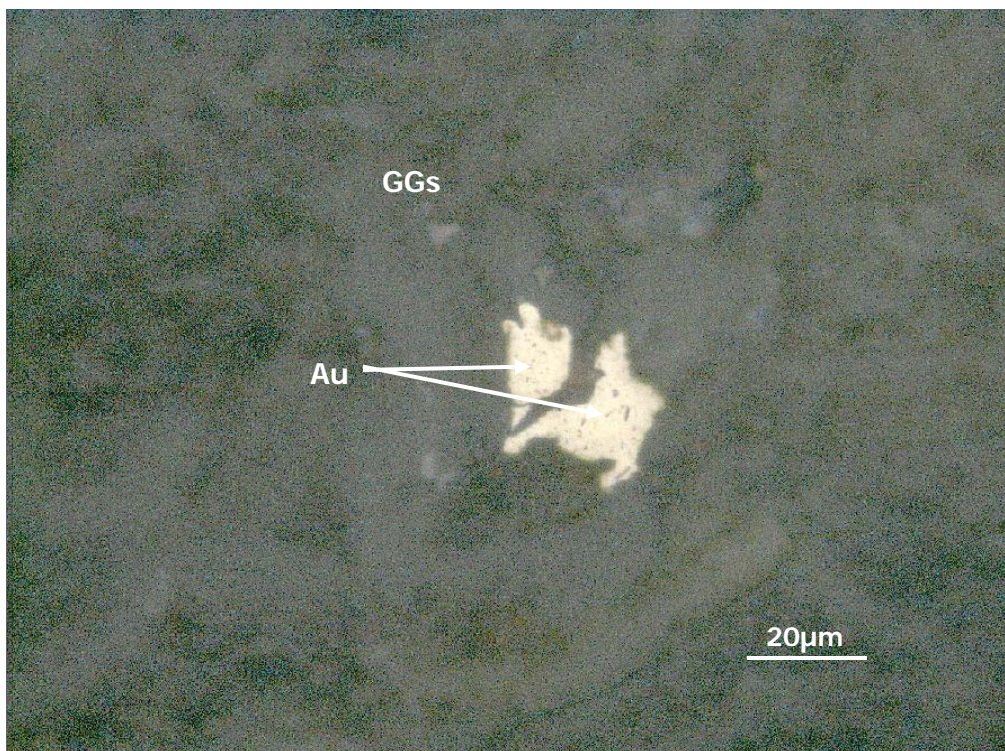


Foto 03: Granos de oro (Au) incluidos en la ganga (GGs).

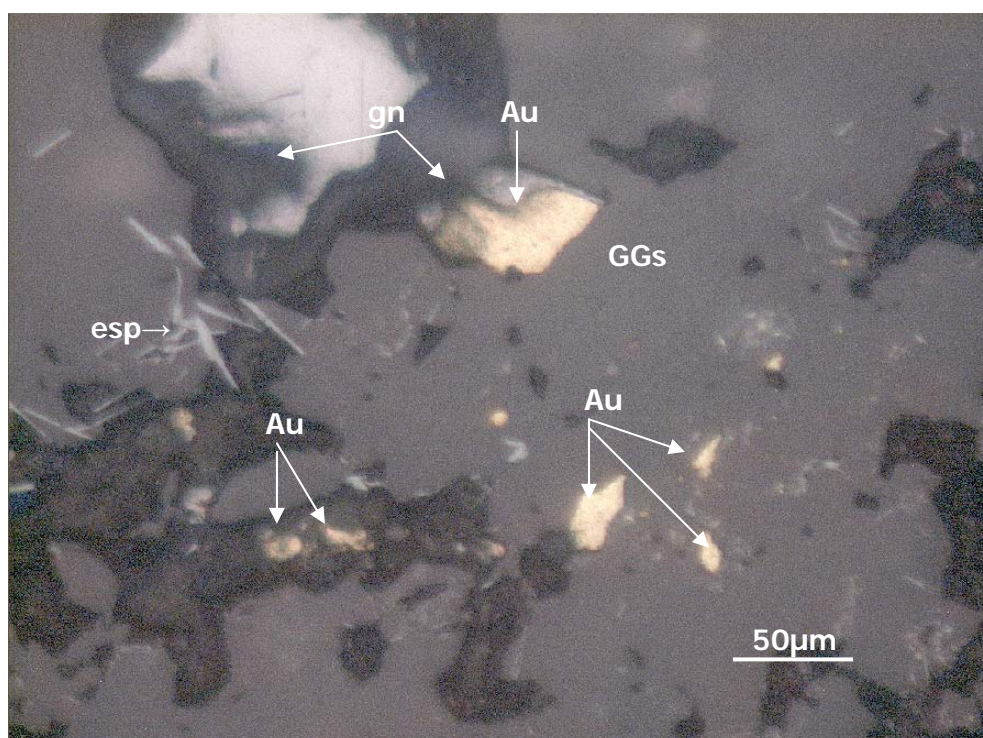


Foto 04: Agujas de cristales de specularita (esp) y galena (gn) diseminados en la ganga (GGs). Granos de oro (Au) diseminados o relleno de cavidades de la ganga.

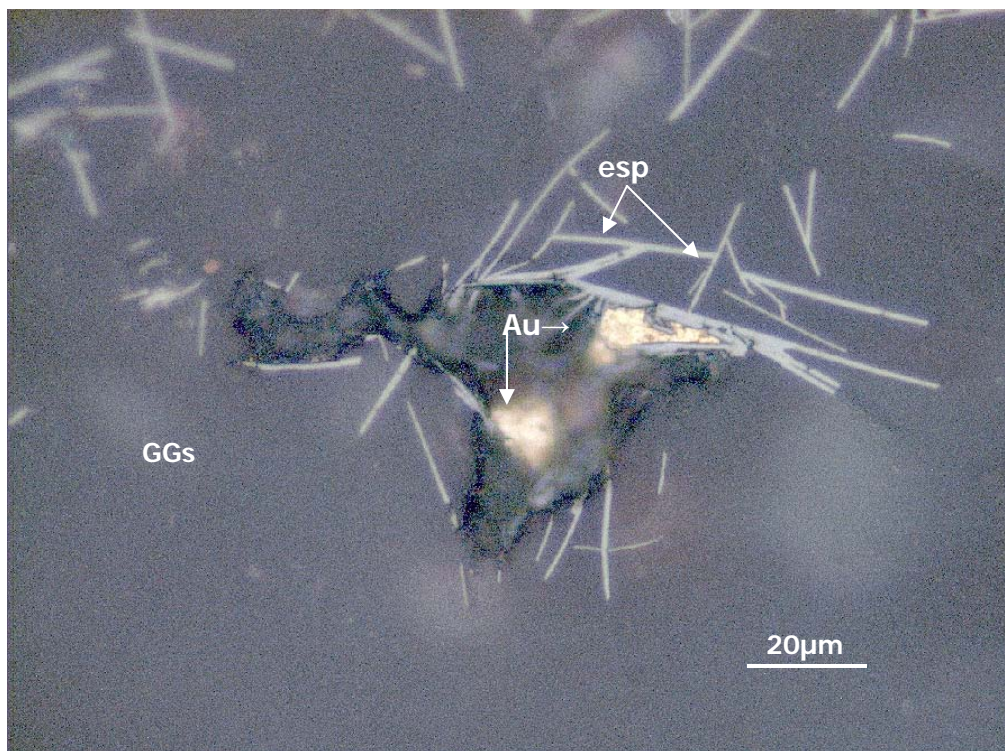


Foto 05: Agujas de cristales de especularita (esp) diseminados y granos de oro relleno una cavidad de la ganga (GGs).

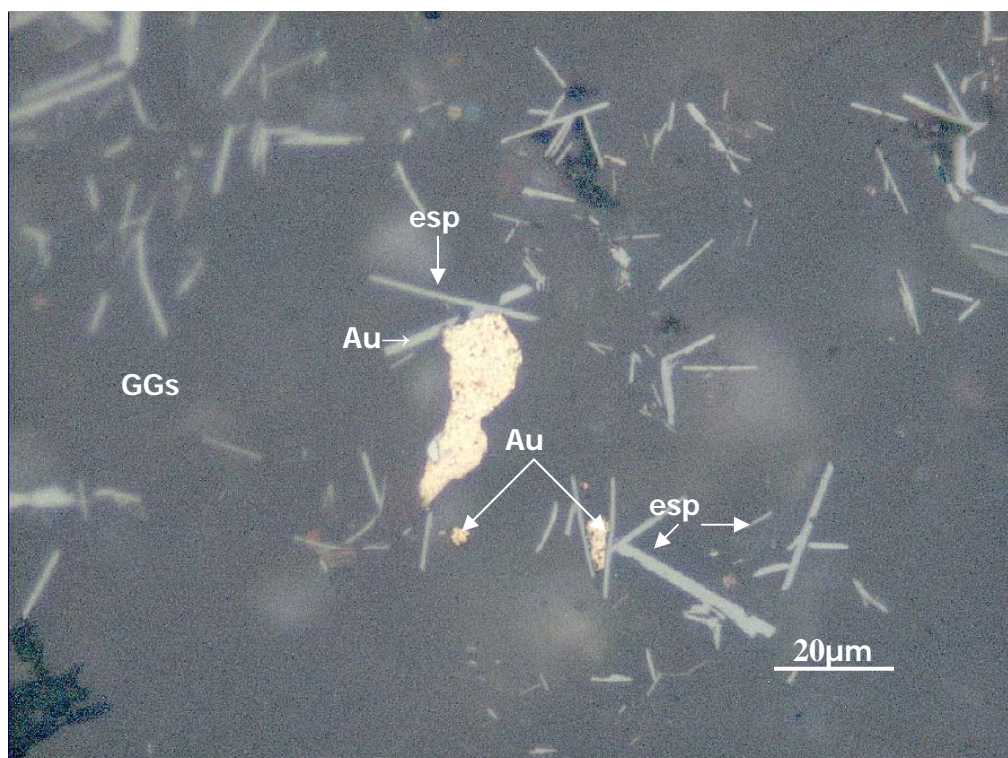


Foto 06: Granos de oro (Au) de diferente granulometría en bordes de cristales de especularita (esp) en la ganga (GGs).



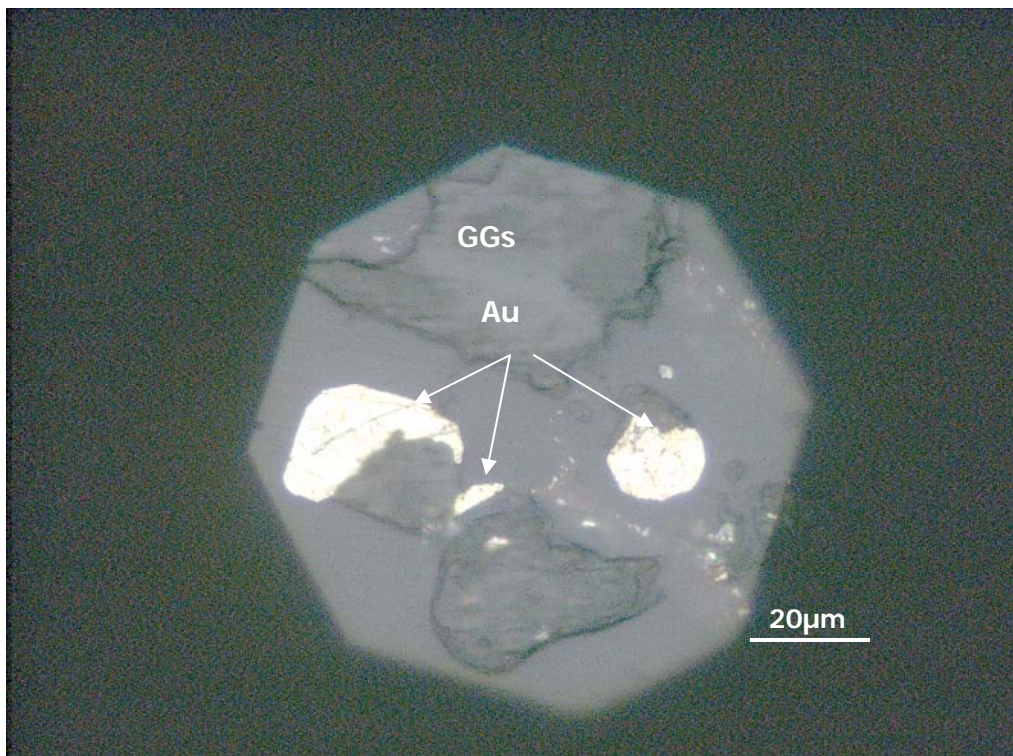


Foto 07 Granos de oro nativo (Au) dispersos en la ganga (GGs).

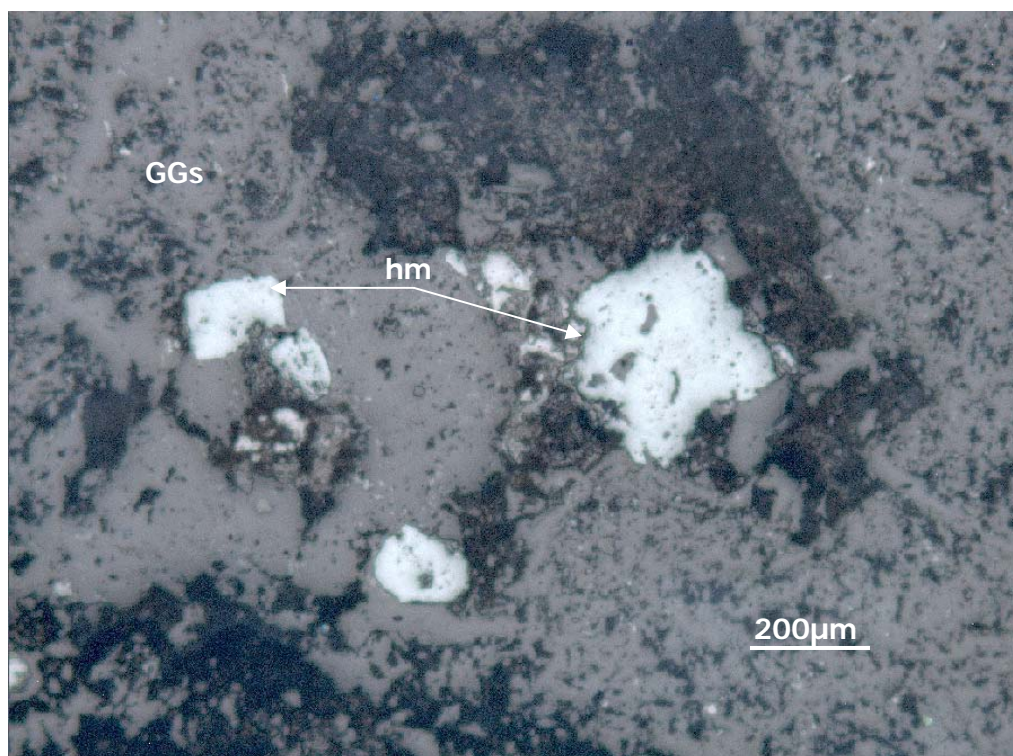


Foto 08: Seudomorfos de hematita (hm) diseminados en la ganga (GGs).

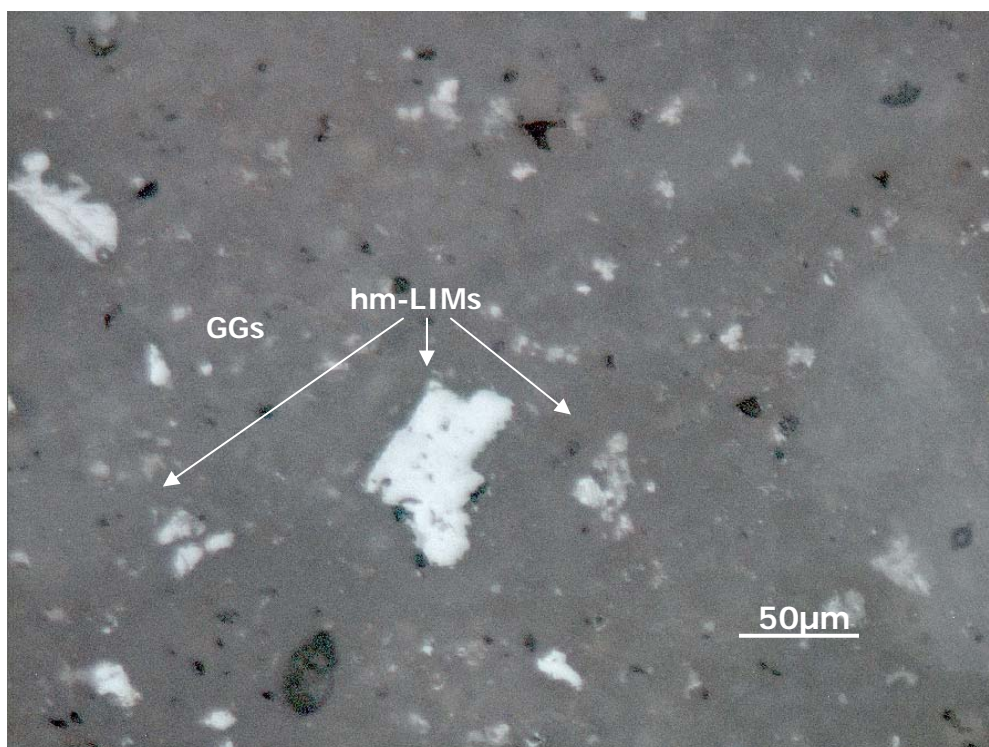


Foto 09: Cristales de hematina limonitas (hm-LIMs) de diferente granulometría diseminados en la ganga.

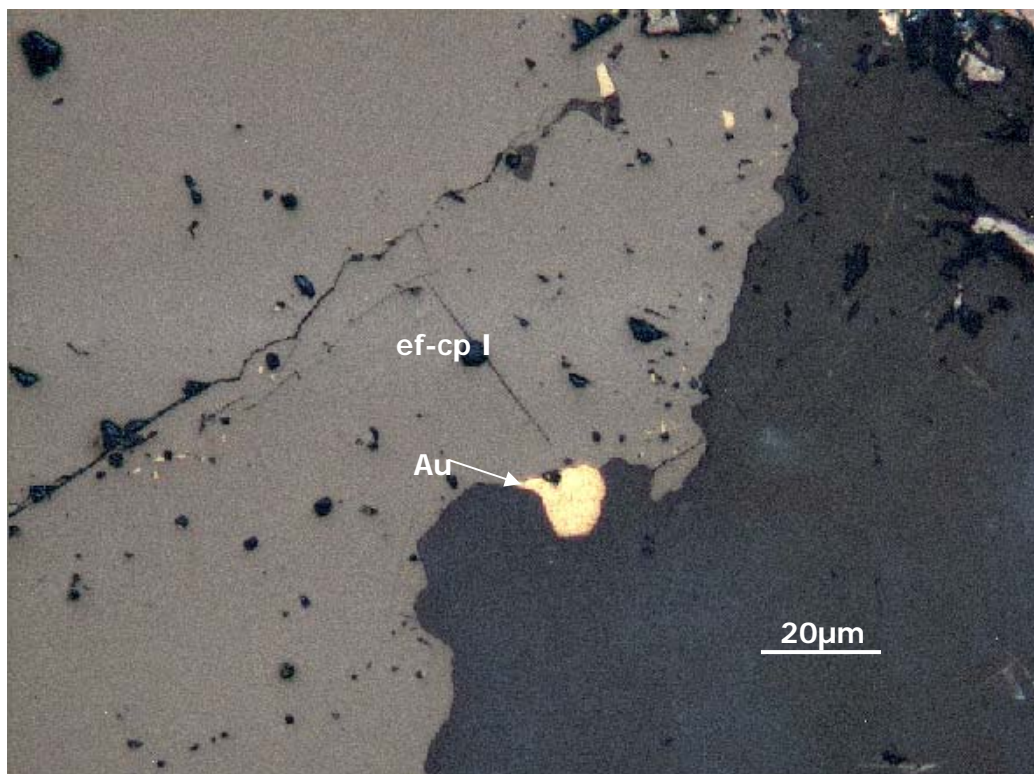


Foto 10: Grano de oro en borde de esfalerita con escasa exsolución de calcopirita (ef-cp I).

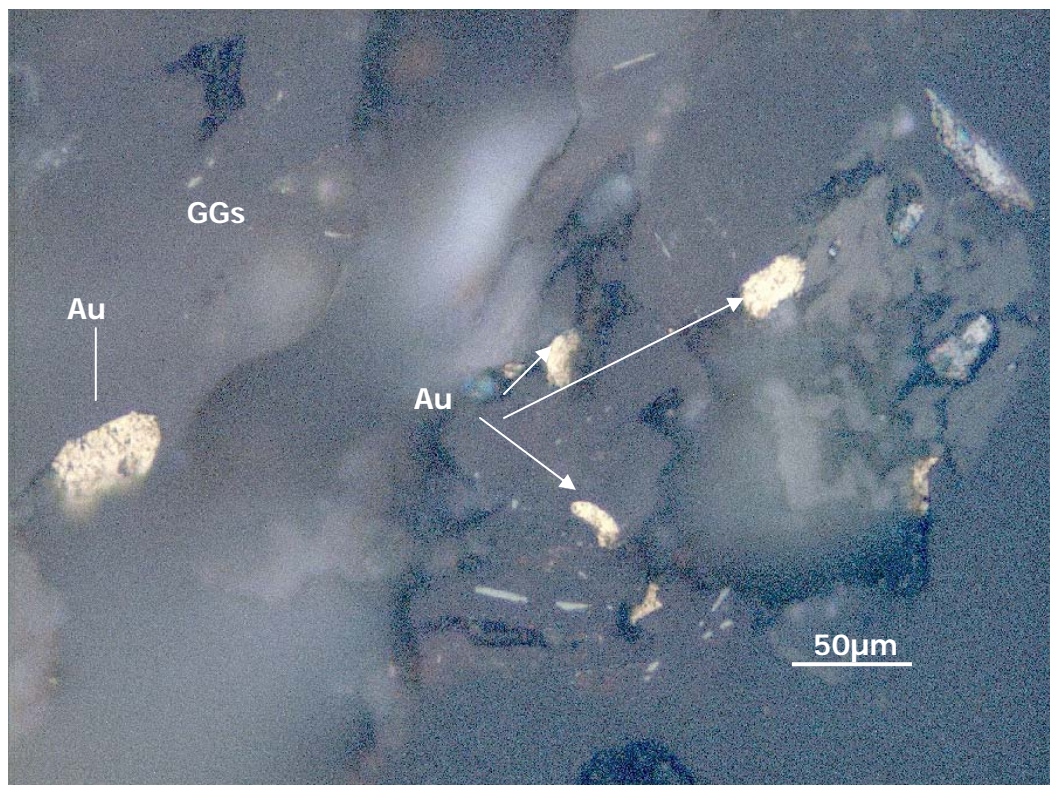


Foto 11: Varios granos de oro nativo (Au) diseminados en la ganga (GGs).

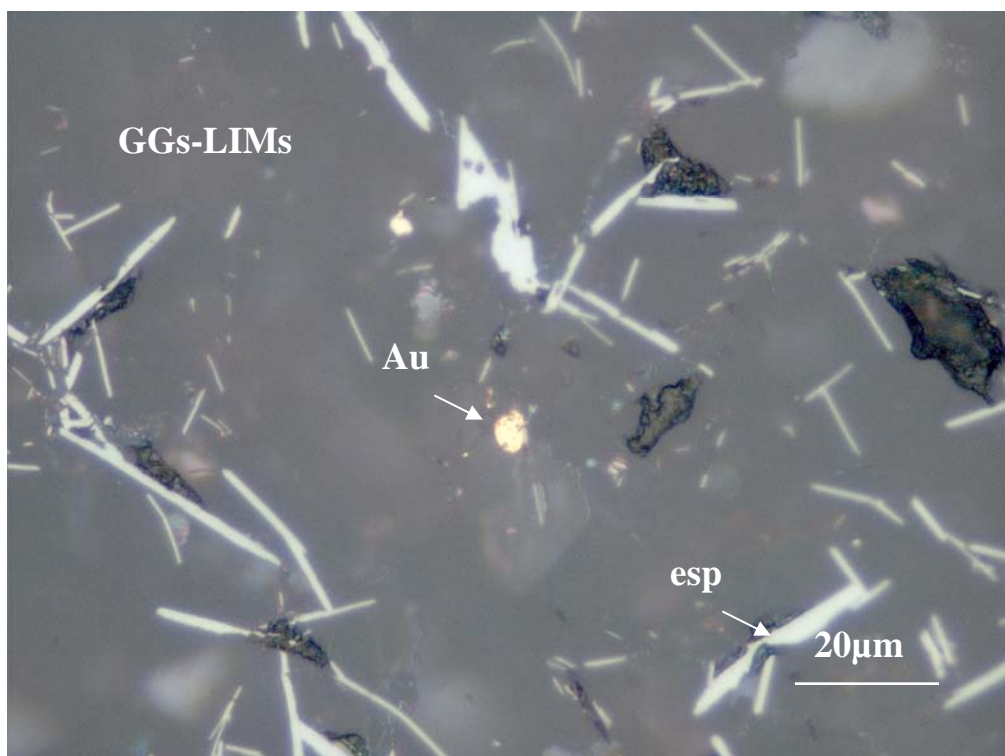


Foto 12: Cristales con formas tabulares y aciculares de especularita (esp) diseminados en la ganga, la que se encuentra impregnada por limonitas (GGs- LIMs) y grano de oro como inclusión en la ganga.

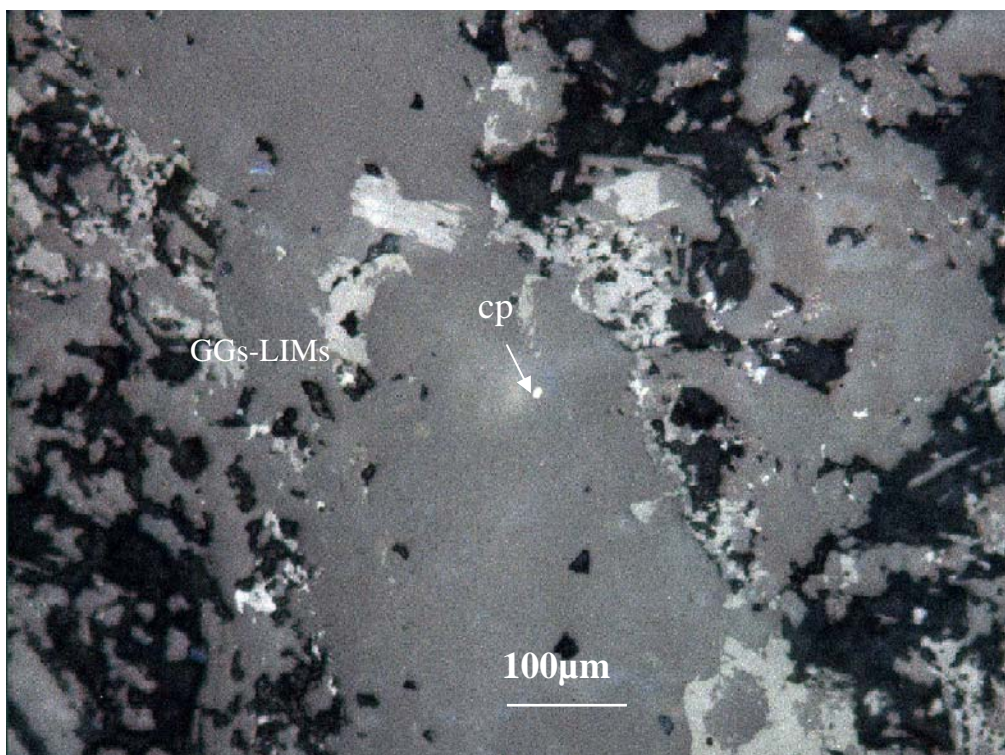


Foto 13: Se observa trazas de calcopirita (cp) en la ganga, que se encuentra impregnada por limonitas (GGs-LIMs).

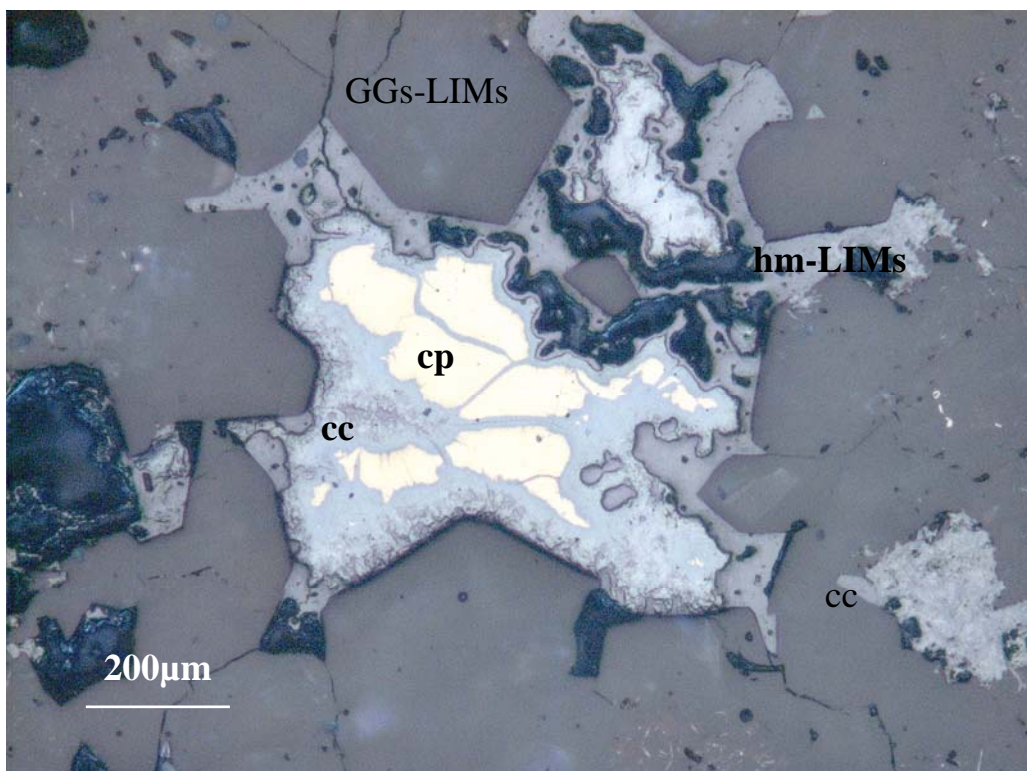


Foto 14: Se observa calcopirita reemplazada por calcosita (cp-cc) con hematita y limonitas (hm-LIMs) en los bordes. La ganga se encuentra impregnada por limonitas (GGs-LIMs).

## **Apéndice III – 6**

### **Fotos de muestras de mano y cores**

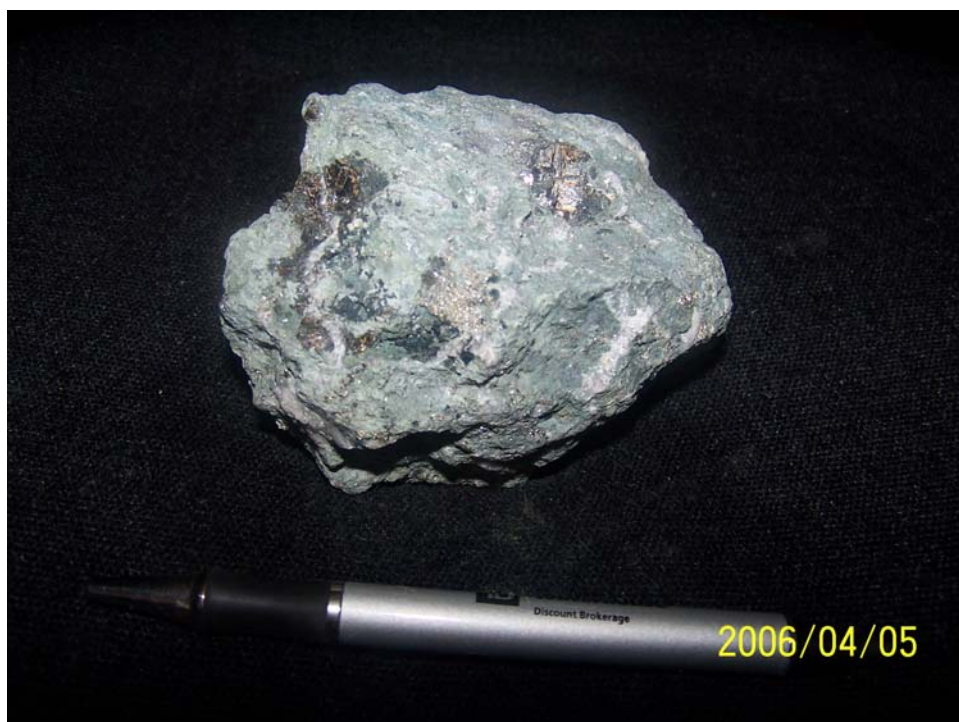


Foto 01: Muestra de mano de la estructura Atenea, se aprecian cristales de esfalerita con clorita.

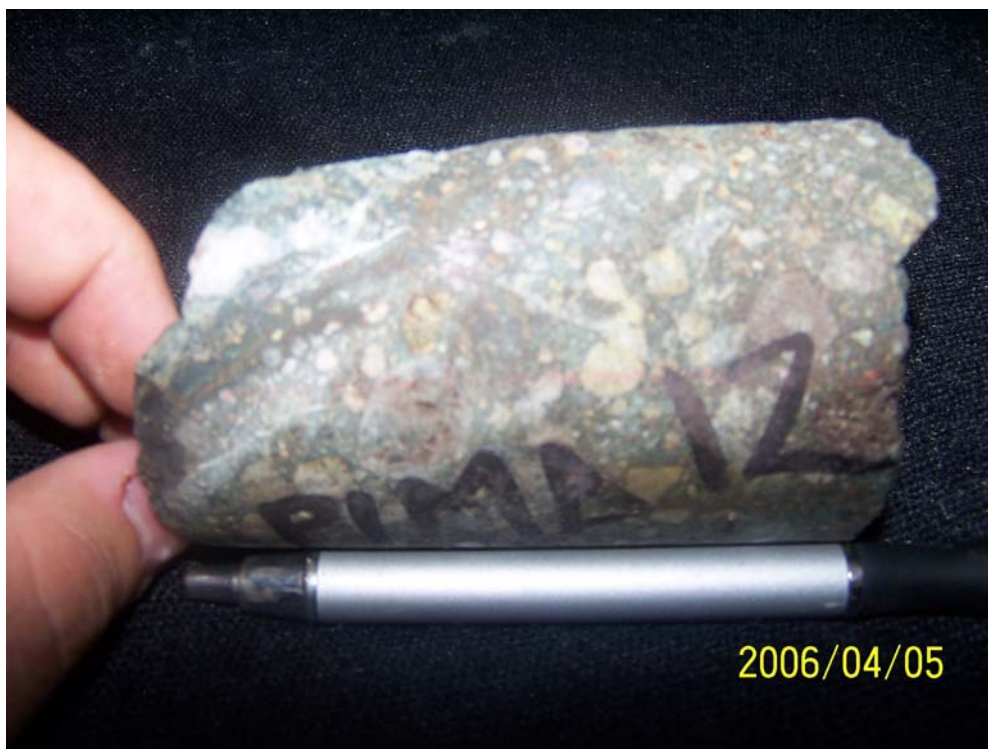


Foto 02: Muestra de mano de la estructura Atenea, fragmentos polimícticos redondeados a subredondeados en una matriz clorítica, cortados por venillas de sílice - hematita.



Foto 03: Muestra de mano de la veta Atenea en la que se aprecia sílice englobando clastos de roca.



Foto 04: Muestra de core del sondaje 56 en Atenea. Obsérvese la textura de brecha con presencia de clorita más epidota y con pirita y calcopirita en la matriz. Véase como el cuarzo – sericita alberga a los sulfuros.



Foto 05: Área de almacenamiento de las cajas portatestigos del campamento Invicta.



Foto 06: Área de logueo de cores del campamento Invicta.



## **Apéndice IV – 1**

### **Gráficos EDA**

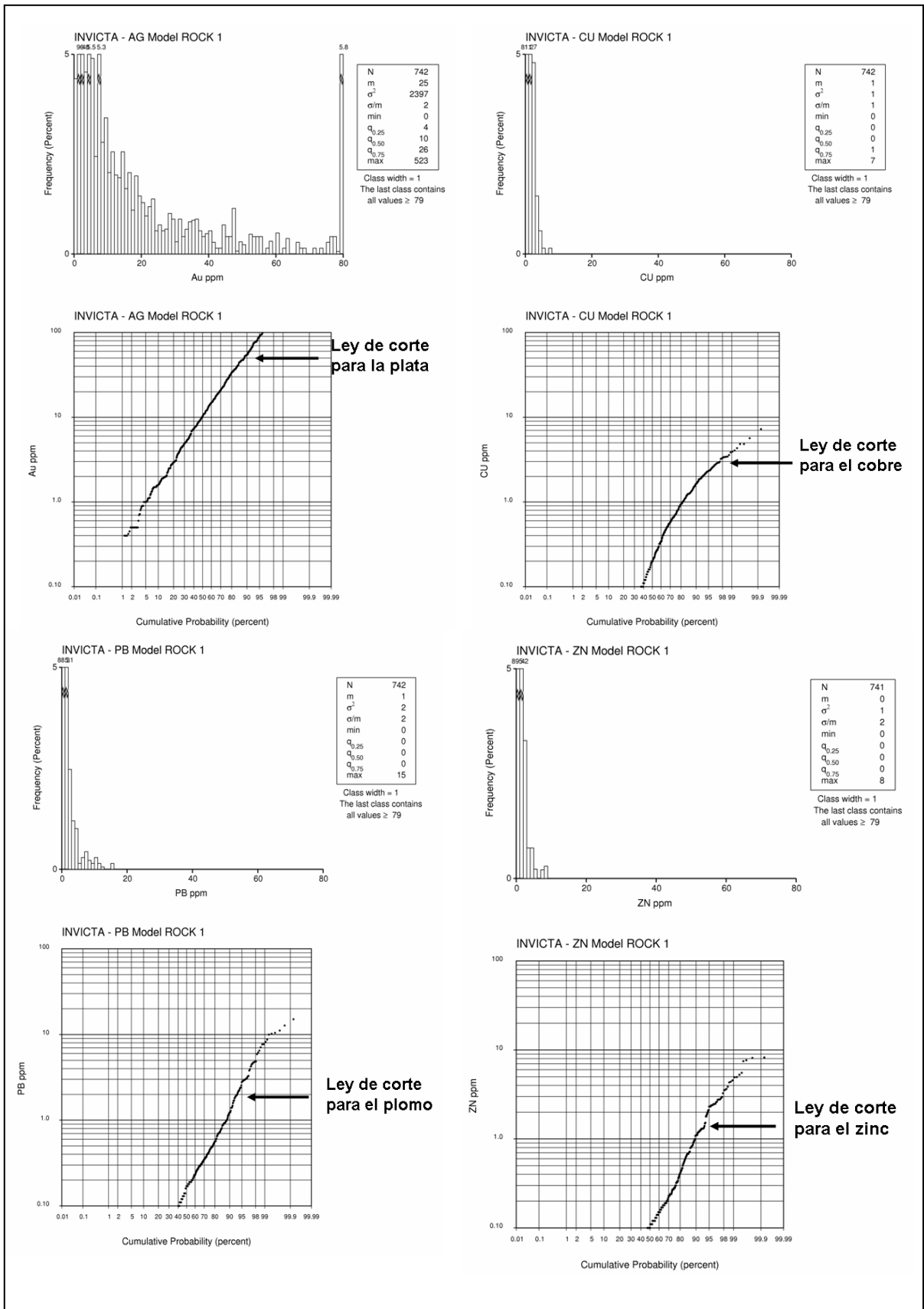


Figura 01: Histogramas y curvas de probabilidades acumuladas para Ag,Cu, Pb y Zn

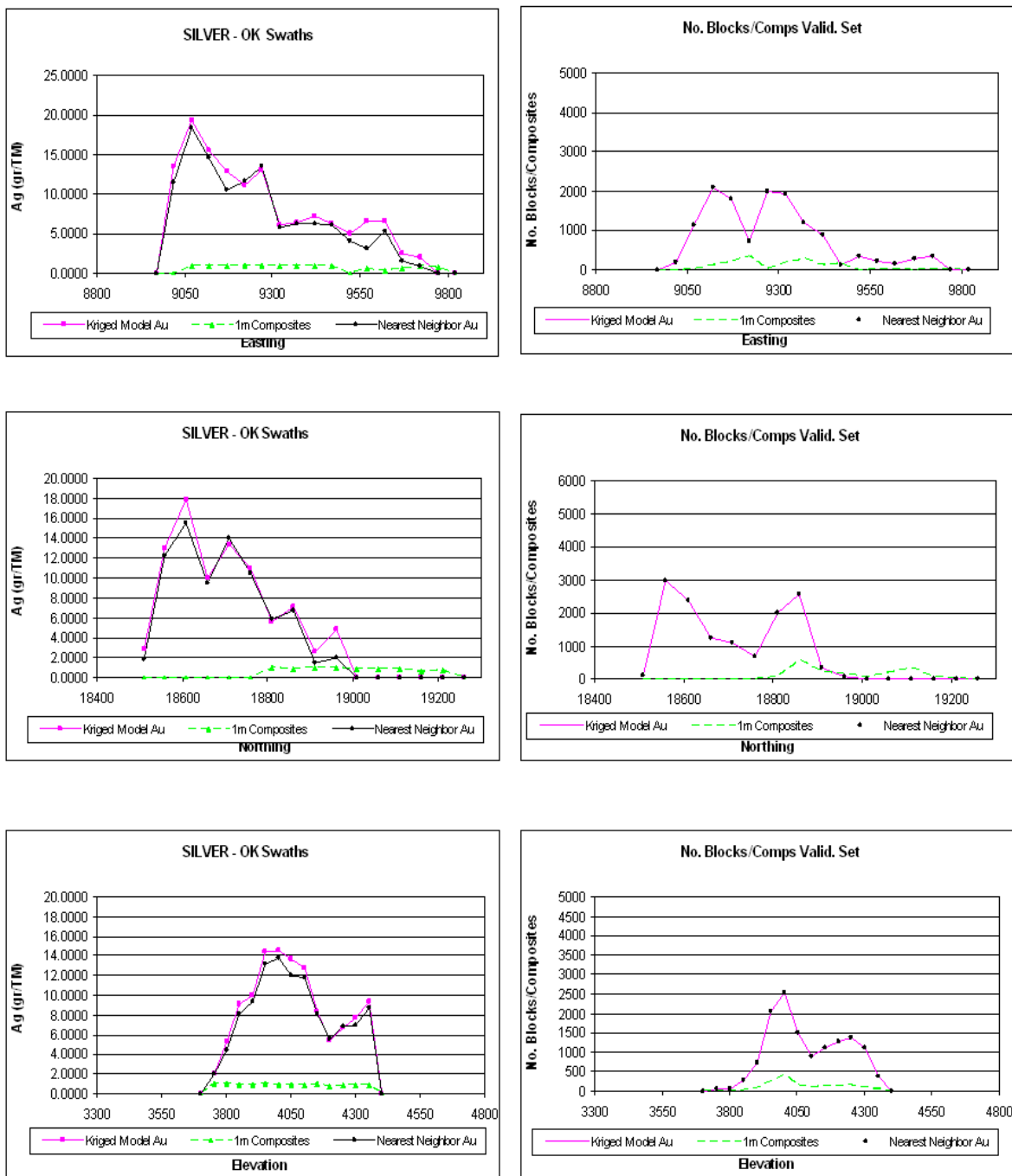


Figura 02: Gráficos swaths para los recursos medidos por OK, leyes de plata.

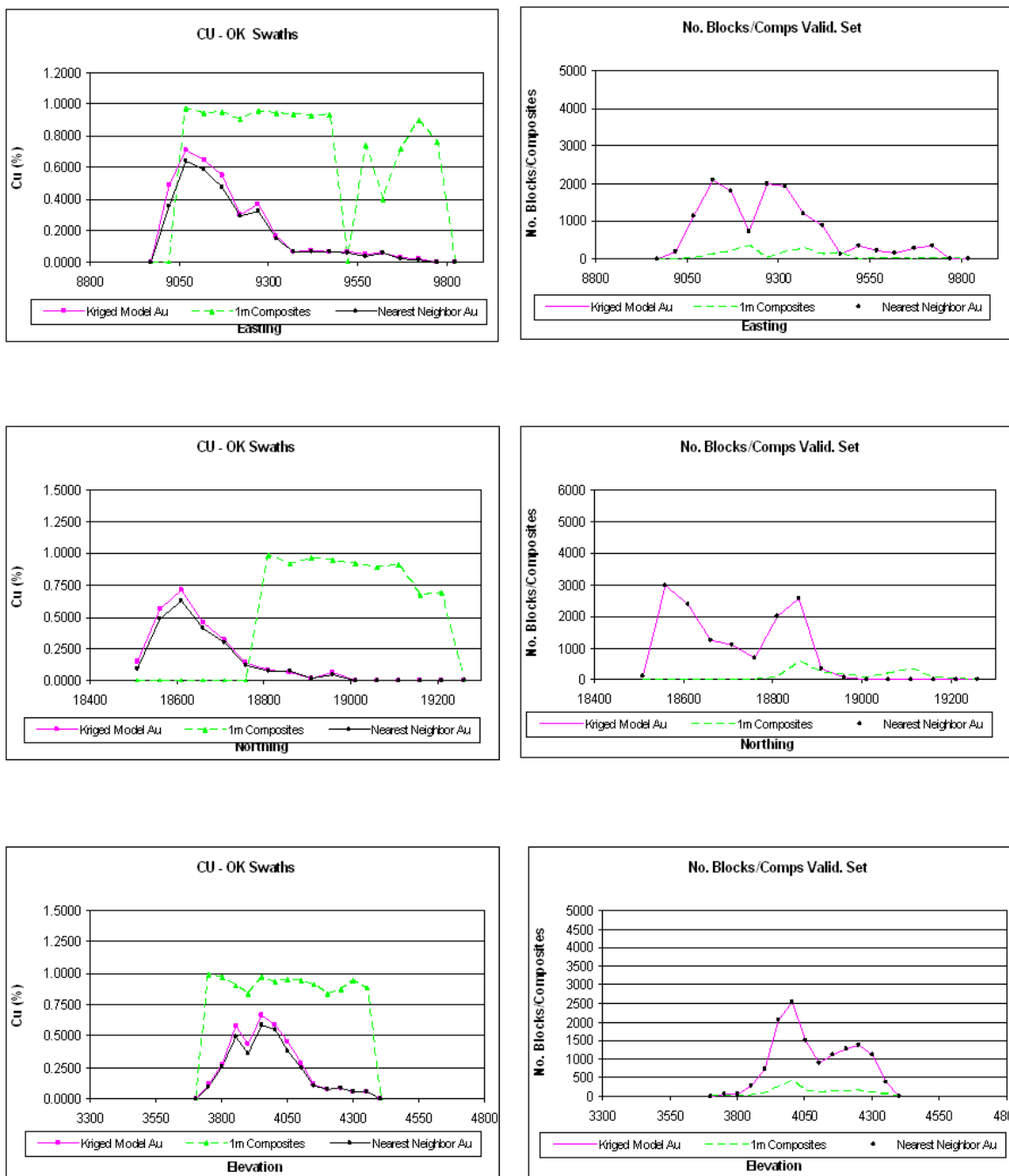


Figura 03: Gráficos swaths para los recursos medidos por OK, leyes de cobre.

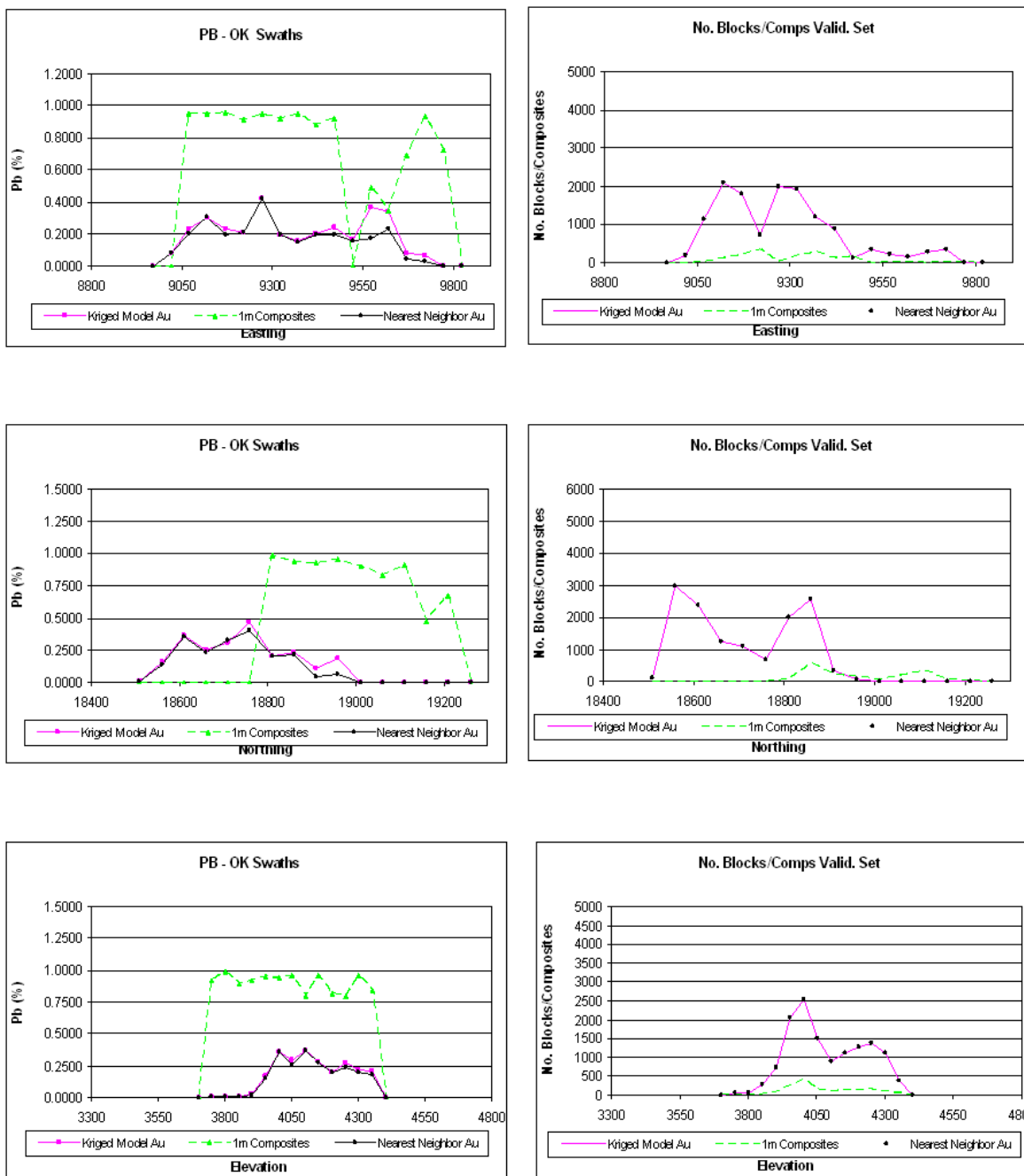


Figura 04: Gráficos swaths para los recursos medidos por OK, leyes de plomo.

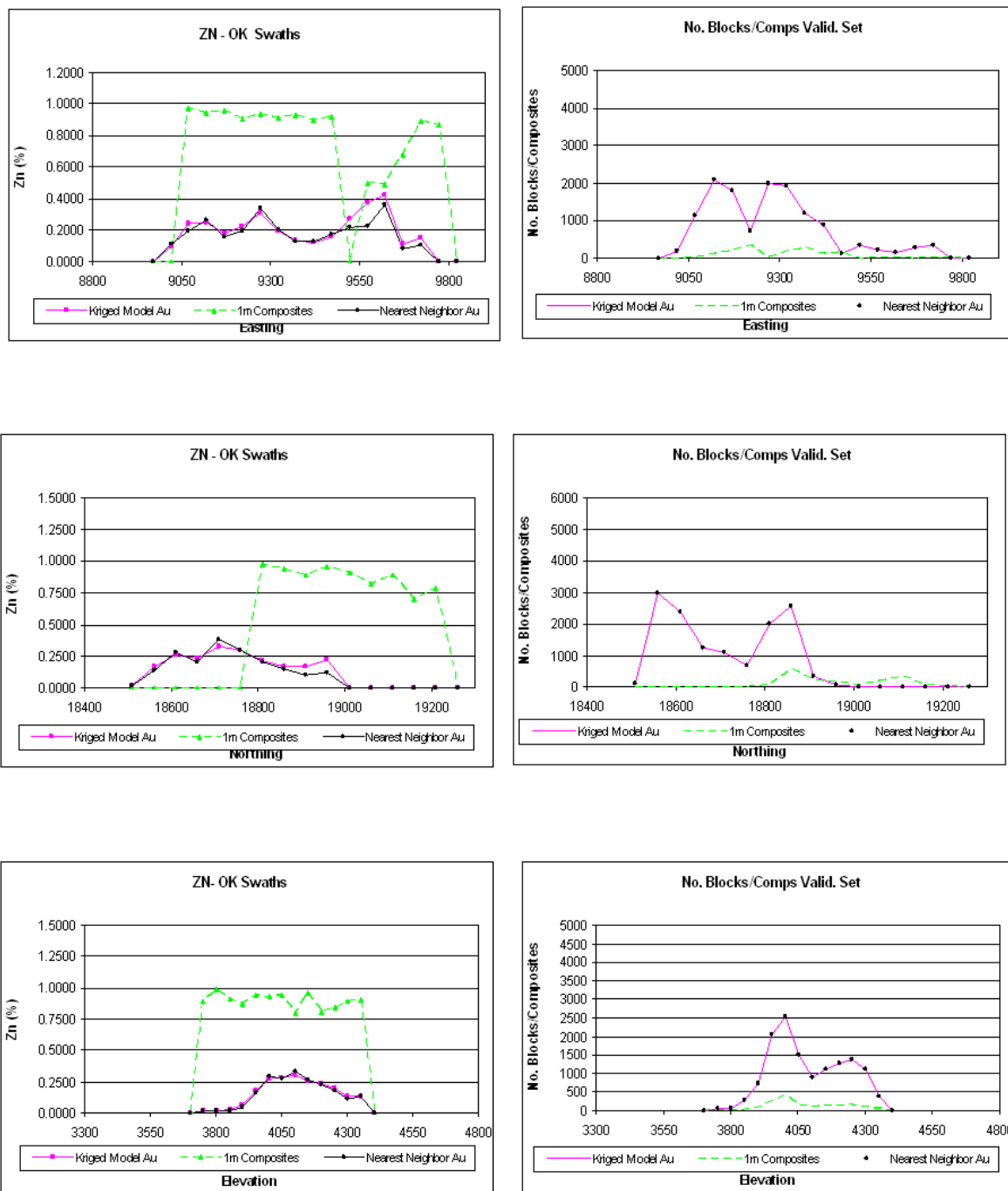


Figura 05: Gráficos swaths para los recursos medidos por OK, leyes de zinc.