

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



“EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA POR Au-Cu EN EL PROYECTO "LA MINA", ZONA DE FREDONIA, ANTIOQUÍA, COLOMBIA”

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:
ANGEL JESÚS NEYRA PEÑA**

**ASESOR:
MSc. Lic. ATILIO MENDOZA APOLAYA**

**Lima - Perú
2013**

RESUMEN

El Proyecto "La Mina" se encuentra ubicado entre los municipios de Fredonia y Venecia, en el suroeste del departamento de Antioquia, a unos 30Km al sur-oeste de la ciudad de Medellín capital del departamento de Antioquia, la concesión del proyecto consta de 1794 hectáreas.

Con la exploración realizada por la empresa Bellhaven Copper and Gold se determino que la concesión está cubierta por secuencias volcánicas, flujos lávicos basálticos/andesíticos, tobas de cristales y tobas líticas pertenecientes a la Formación Combia. Estas secuencias volcánicas son intruidas por stocks del Mioceno Tardío, algunos de estos intrusivos aportan la mineralización, como por ejemplo el reconocido Pórfido de Au-Cu, "Pórfido Cantera", donde actualmente se centra la exploración siguiendo un programa de perforación diamantina.

En el 2010-2011 se realizo una campaña de exploración geoquímica en toda la concesión y se procesó la información geoquímica antigua a Bellhaven. La exploración geoquímica consistió en tomar muestras sistemáticas de rocas en los afloramientos así como toma de muestras de suelo. Con el procesamiento de toda esa información geoquímica y asociándola al cartografiado y a estudios geofísicos se establecieron nuevos targets dentro de la concesión, así también se identificaron nuevos estilos de mineralización al ya reconocido Pórfido de Au-Cu, se encontró

mineralización en rocas volcánicas con vetillas bandeadas de Cuarzo-Pirita así como vetillas de Calcita.

Además se llegó a definir los controles de mineralización: controles litológicos y estructurales, con los cuáles se pudo orientar de una mejor manera la exploración a una exploración más al detalle en los nuevos targets encontrados.

ABSTRACT

The project "La Mina" is located between Fredonia and Venecia towns, at southwestern of Antioquia department, about 30 km south-west of the capital city of Medellin Antioquia department, project concession consists of 1794 hectares.

Bellhaven Copper and Gold determined that the mining concession is covered by volcanic sequences, basaltic/andesitic lava flows, crystal tuff and lithic tuffs belonging to Combia Formation. These volcanic sequences are intruded by Late Miocene stocks, some of these intrusive bring mineralization, such as the renowned Porphyry Au-Cu, "Cantera Porphyry" where exploration is currently focused following a program of diamond drilling.

In 2010-2011 we made a geochemical exploration campaign in the entire concession and we processed all geochemical information, before Bellhaven campaign. The geochemical exploration consisted of systematic rock sampling in outcrop and soil sampling. With all that geochemical information processed, in combination with the mapping and geophysical survey, we could established new targets within the concession, and also, new styles of mineralization were identified in addition to the already recognized porphyry Au-Cu, mineralization was found in volcanic rocks with banded quartz-pyrite veinlets and calcite veinlets.

What is more, we define the controls of mineralization: lithological and structural controls, with what could be a better way to guide the exploration to a detail exploration in the new targets.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCION	10
Objetivos del Trabajo	11
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	12
1.1 Antecedentes Históricos	12
1.2 Localización del Área de Estudio	13
1.3 Fisiografía	15
1.4 Clima	16
CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	17
2.1 Estratigrafía	17
2.2 Rocas Intrusivas	18
2.3 Marco Estructural-Tectónico	21
2.4 Contexto Metalogenético Regional	24
CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL PROYECTO "LA MINA"	27
3.1 Unidades Litológicas	27
3.1.1 Secuencias Volcánicas	27
3.1.2 Rocas Porfiríticas	28
3.1.3 Brechas	32
3.2 Geología Estructural	34
3.2.1 Fallas	34
3.2.2 Estructuras Circulares	35
3.2.3 Vetillas	35
3.3 Alteraciones y Mineralización	37
3.4 Tipo de Depósito	38

	CAPÍTULO IV: EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA	40
4.1	Metodología de Exploración Geoquímica	41
4.2	Tratamiento Estadístico de los Datos Geoquímicos	49
4.2.1	Tratamiento Estadístico de Muestras de Roca	49
4.2.2	Tratamiento Estadístico de Muestras de Suelo	75
4.3	Interpretación de los Datos Geoquímicos y Determinación de Anomalías	83
4.4	Relación de las Anomalías Geoquímicas con la Geología y Geofísica	92
4.4.1	Relación: Geoquímica con Geofísica	92
4.4.2	Relación: Geoquímica con Litología/Mineralización	94
4.4.3	Relación: Geoquímica con Geología Estructural	96
	CAPÍTULO V: CONTROLES DE MINERALIZACIÓN	98
5.1	Controles Estructurales	98
5.2	Controles Litológicos	100
5.3	Generación de Nuevas Zonas de Interés	100
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Mapa de Ubicación Regional de la concesión de "La Mina"	14
Figura 1.2	Mapa de Ubicación Distrital de la concesión de "La Mina"	15
Figura 2.1	Mapa Geológico Regional de la concesión de "La Mina"	19
Figura 2.2	Columna Estratigráfica Esquemática	20
Figura 2.3	Mapa Litotectónico y Morfoestructural de Sudamérica	23
Figura 2.4	Principales Franjas Metalogenéticas de Au en Sudamérica	24
Figura 2.5	Principales Franjas Metalogenéticas de Au en Colombia	25
Figura 2.6	Principales prospectos cercanos a la concesión de "La Mina"	26

Figura 3.1	Diagrama de bloques morfoestructurales de la zona de Antioquia	28
Figura 3.2	Fotografía de muestra de mano del Pórfido C1	29
Figura 3.3	Fotografía de muestra de mano del Pórfido X2	30
Figura 3.4	Fotografía de muestra de mano del Pórfido L1	31
Figura 3.5	Fotografía de muestra de mano del Pórfido G1	31
Figura 3.6	Mapa Litológico de la concesión de "La Mina"	33
Figura 3.7	Mapa Estructural de la concesión de "La Mina"	36
Figura 3.8	Sección Litológica esquemática del Pórfido "La Cantera"	39
Figura 4.1	Certificado del laboratorio ALS Chemex	42
Figura 4.2	Fotografía panorámica del proyecto "La Mina"	44
Figura 4.3(a)	Muestra de canal	45
Figura 4.3(b)	Muestra de rockchip	45
Figura 4.4	Muestro de suelos	47
Figura 4.5	Dendograma de los 34 elementos químicos en la Población de Rocas Volcánicas	51
Figura 4.6	Gráfico de valores del Au(ppm) en la Población de Rocas Volcánicas	52
Figura 4.7	Estadígrafos del Au(ppm) para la Población de Rocas Volcánicas	53
Figura 4.8	Estadígrafos del Ln(Au(ppb)) para la Población de Rocas Volcánicas	54
Figura 4.9	Gráfico de valores del Cu(ppm) en la Población de Rocas Volcánicas	56
Figura 4.10	Estadígrafos del Cu(ppm) para la Población de Rocas Volcánicas	56
Figura 4.11	Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)) para la Población de Rocas Volcánicas	57
Figura 4.12	Dendograma de los 34 elementos químicos en la Población de Rocas Porfiríticas	58
Figura 4.13	Gráfico de valores del Au(ppm) en la Población de Rocas Porfiríticas	59
Figura 4.14	Estadígrafos del Au(ppm) para la Población de Rocas Porfiríticas	60
Figura 4.15	Estadígrafos del Ln(Au(ppb)) para la Población de Rocas Porfiríticas	61
Figura 4.16	Gráfico de valores del Cu(ppm) en la Población de Rocas Porfiríticas	62
Figura 4.17	Estadígrafos del Cu(ppm) para la Población de Rocas Porfiríticas	63

Figura 4.18	Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)) para la Población de Rocas Porfíricas	64
Figura 4.19	Dendograma de los 34 elementos químicos en la Población de Brechas	66
Figura 4.20	Gráfico de valores del Au(ppm) en la Población de Brechas	67
Figura 4.21	Estadígrafos del Au(ppm) para la Población de Brechas	68
Figura 4.22	Estadígrafos del Ln(Au(ppb)) para la Población Brechas	69
Figura 4.23	Histograma Acumulado del Au(ppm)	70
Figura 4.24	Gráfico de valores del Cu(ppm) en la Población de Brechas	71
Figura 4.25	Estadígrafos del Cu(ppm) para la Población de Brechas	72
Figura 4.26	Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)) para la Población de Brechas	73
Figura 4.27	Histograma Acumulado del Cu(ppm)	74
Figura 4.28	Dendograma de los 34 elementos químicos en las Muestras de Suelo	76
Figura 4.29	Gráfico de valores del Au(ppm) en las Muestras de Suelo	77
Figura 4.30	Estadígrafos del Au(ppm) para las Muestras de Suelo	78
Figura 4.31	Estadígrafos del Ln(Au(ppb)) para las Muestras de Suelo	79
Figura 4.32	Gráfico de valores del Cu(ppm) en las Muestras de Suelo	80
Figura 4.33	Estadígrafos del Cu(ppm) para las Muestras de Suelo	81
Figura 4.34	Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)) para las Muestras de Suelo	82
Figura 4.35	Mapa Geoquímico de Au de las muestras de suelo	85
Figura 4.36	Mapa Geoquímico de Au de las muestras de roca	86
Figura 4.37	Mapa Geoquímico de Cu de las muestras de suelos	87
Figura 4.38	Mapa Geoquímico de Cu de las muestras de rocas	88
Figura 4.39	Mapa de Anomalías Geoquímicas	91
Figura 4.40	Mapa Magnetométrico de la concesión	92
Figura 4.41	Mapa Magnetométrico con las Anomalías Geoquímicas	93
Figura 4.42	Mapa Litológico con las Anomalías Geoquímicas	95
Figura 4.43	Mapa Estructural con las Anomalías Geoquímicas	96
Figura 4.44	Mapa Estructural con los datos geoquímicos de Au(ppm)	97
Figura 5.1	Mapa Magnetométrico con la geología estructural	99
Figura 5.2	Mapa de las Zonas de Interés	103

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 4.1	Valores del BG y TH en muestras de roca y suelo	83
Tabla 4.2	Valores de los rangos geoquímicos de Au y Cu.	84

NOMENCLATURA

Au:	Oro
Cu:	Cobre
E:	Este
gr:	Gramo
Kg:	Kilogramo
Km:	Kilómetro
m:	Metro
Ma:	Millones de años
Moz:	Millones de onzas
N:	Norte
ppb:	Partes por billón
ppm:	Partes por millón
S:	Sur
UTM:	Universal Traslator Mercator
W:	Oeste
°C:	Grados Celsius

INTRODUCCIÓN

Mediante el desarrollo del presente informe se pretende encontrar nuevas zonas de interés, a partir de anomalías geoquímicas de Au y Cu, en el Proyecto "La Mina", así como definir los principales controles de mineralización asociados a estas zonas de interés. En el Proyecto "La Mina", se conoce que la mineralización está asociada a depósitos tipo Pórfido de Au/Cu, pero en este informe se muestra otros estilos de mineralización presentes en la zona de estudio.

Para la realización del trabajo en la zona de estudio se llevo a cabo una campaña de exploración geoquímica para muestras de roca y se realizo el cartografiado de toda la concesión, en una siguiente campaña geoquímica se tomaron muestras de suelo de algunas zonas de interés. La zona de estudio tiene pocos afloramientos debido a la gran cobertura vegetal, siendo esto una limitación en el trabajo, motivo por el cual juega un papel importante las muestras de suelo. Finalmente se realizo todo el procesamiento estadístico para la determinación de las anomalías, y sus relaciones con la geología y geofísica.

Finalmente como se mostrará en este informe se ubicaron nuevas zonas de interés, como la zona de "La Garrucha", "Filo de Oro" y "La Cristalina/Cadenas", además se postularon algunas ideas con respecto a los controles de mineralización en la concesión.

Con este informe se espera poder direccionar de una mejor manera la exploración en la concesión.

Objetivos del Trabajo

Los principales objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Determinar anomalías geoquímicas relacionadas a cuerpos mineralizados.
- Lograr un mejor entendimiento de la geología/mineralización en la concesión para poder orientar de una mejor manera la exploración.
- Determinar nuevas zonas de interés para la exploración.
- Obtener el título de Ingeniero Geólogo

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El distrito de Antioquia en Colombia, en el que se encuentra la concesión de La Mina, ha sido una fuente de extracción de oro que se remonta varios siglos hasta la época precolombina. Hay vestigios de minería artesanal en pequeña escala ya que en la concesión se tiene antiguas labores, estas minas artesanales habrían sido gestionados por una empresa minera a pequeña escala de Inglaterra. Además, hay restos de presencia de oro aluvial que ha sido explotado por mineros artesanales, algunos de los cuales aún viven en la zona. Diversas fuentes confirman que la actividad minera se remonta a la década de 1920.

En la década de 2000, **AngloGold Ashanti (AGA)**, Sociedad Kedahda S.A. en Colombia, llevó a cabo programas de exploración geoquímica en toda esta región de Colombia y fue responsable del descubrimiento inicial de la mineralización de cobre y oro en superficie, en el afloramiento de La Cantera. En 2006, AGA perforó seis pozos en el objetivo La Cantera, cuatro de los cuales

interceptó con éxito stocks porfiríticos con valores económicos de oro y cobre, con intersecciones mineralizadas de 50-100m.

En el 2007, AGA formó la empresa conjunta **Avasca** junto con **Bema Gold** (posteriormente transferida a **B2Gold**) que continuó con campañas de exploración geoquímica en superficie y estudios de geofísica.

A partir del 2010 la empresa **Bellhaven Copper and Gold Inc. (Aurum Exploration Inc, en Colombia)** empieza a explorar en la concesión de La Mina. Entre octubre de 2010 a julio de 2011 se continuo con los trabajos de exploración en el título minero, con cartografía de superficie y muestreo geoquímico de rocas y suelos, además de perforaciones. Estos trabajos han permitido obtener información nueva que ha modificado las dimensiones del cuerpo mineralizado y por lo tanto el modelo geológico del depósito.

1.2 Localización del Área de Estudio

El estudio se centra en la concesión del Proyecto "La Mina", con 1794 hectáreas identificado con la Concesión de Exploración 5263.

La concesión está ubicado entre los municipios de Fredonia y Venecia, en el suroeste del departamento de Antioquia, a unos 30Km al sur-oeste de la ciudad de Medellín capital del departamento de Antioquia, ver **Figura 1.1** y **Figura 1.2**.



Figura 1.1. Mapa de ubicación regional de la concesión de "La Mina".

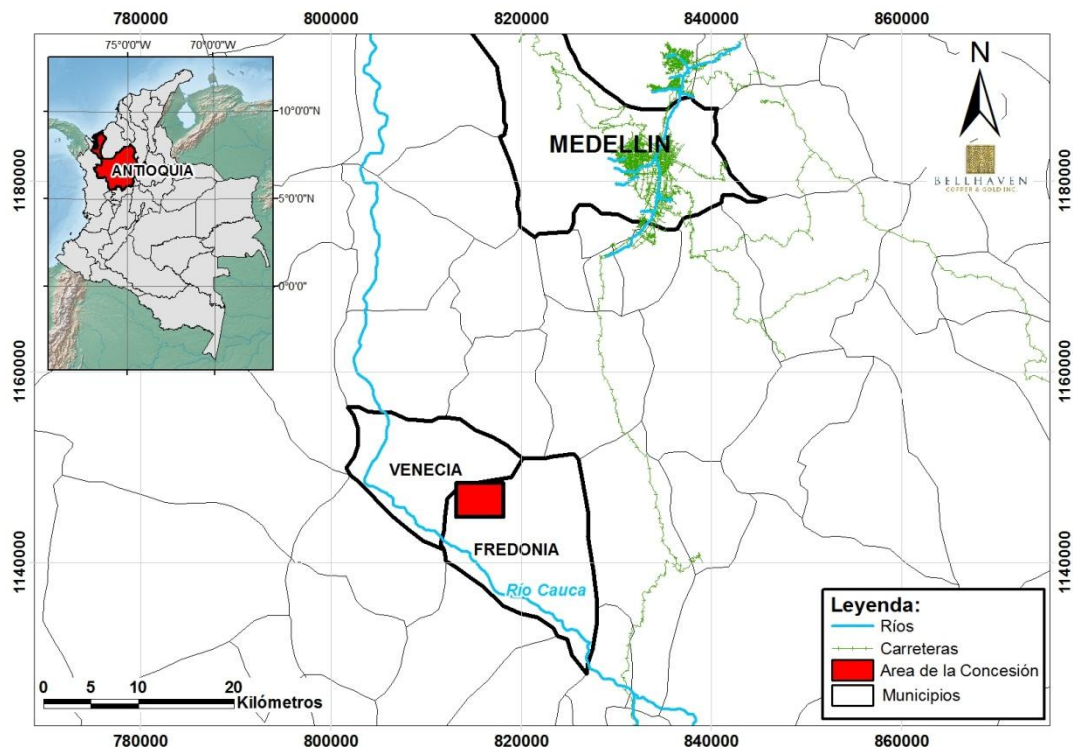


Figura 1.2. Mapa de ubicación distrital de la concesión de "La Mina".

1.3 Fisiografía

El área del proyecto "La Mina" se encuentra en el margen oriental del río Cauca, que marca una importante característica fisiográfica ya que es el límite entre las regiones fisiográficas occidental y central, donde se encuentra la concesión de La Mina.

La topografía en el área de la propiedad es de montaña tropical, con los cambios positivos y negativos agudos en relieve de una altura media de unos 1700m con crestas aproximadamente de 2000m.

La propiedad esta esencialmente cubierta por vegetación en un 100%, hay crecimiento de maleza secundaria densa, cultivos agrícolas y pastizales para ganadería.

1.4 Clima

El clima en esta zona puede variar bruscamente con la altitud, ya que por debajo de los 1000m (en el Valle del río Cauca) el clima es caliente ($> 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que más arriba de los 1000m hasta los 2000m la temperatura tiende a ser templada ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$) y por encima de 2000m (temperaturas entre los $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$). La precipitación anual es de aproximadamente 2000mm, los meses más húmedos son de marzo a mayo y de septiembre a diciembre.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el presente capítulo se describen las unidades litológicas comprendidas entre las coordenadas UTM 18N, 400000E-640000N y 440000E-670000N, que corresponde al área de estudio.

2.1 ESTRATIGRAFÍA

Tal como se observa en la **Figura 2.1.** se tiene básicamente dos grandes dominios litológicos, los cuáles son:

- **Dominio Metamórfico Paleozoico-Neoproterozoico:** Ubicado en la parte oriental del área de estudio, constituido por rocas metamórficas como esquistos, cuarcitas, mármol, anfibolitas y gneis comprendidos en el Complejo Cajamarca, de edad Paleozoica, y rocas metasedimentarias de Sinfana, de edad Neoproterozoica.

- **Dominio Volcano-Sedimentario del Oligoceno-Mioceno:** Ubicado en la parte central y occidental del área de estudio, constituido por rocas volcánico-sedimentarias de la Formación Combia, Mioceno Superior al Plioceno

(Van der Hammen, 1958) pero estudios recientes sugieren edades de Paleoceno (Ramírez et al., 2006). Además de secuencias sedimentarias silicoclásticas de la Formación Amaga, Oligoceno Medio al Mioceno Inferior (Van der Hammen, 1958), ver **Figura 2.2**.

2.2 Rocas Intrusivas

Los dominios metamórficos y volcano-sedimentarios han sido intruidos por diversas rocas intrusivas en distintos tiempos geológicos, que se detallan a continuación:

- Stock de Amaga: Rocas intrusivas del Triásico de composición monzogranítica (Grosse, 1926).
- Diorita de Pueblito: Roca intrusiva del Cretácico Inferior de composición diorítica (Grosse, 1926).
- Gabro de Altamira: Roca intrusiva del Cretácico Superior de composición diorítica (Grosse, 1926).
- Rocas Hipoabisales Porfídicas: rocas Porfíricas del Neógeno de composición andesíticas-dacíticas, a las cuales se les asocia la mineralización del tipo Pórfido de Au-Cu en la concesión.

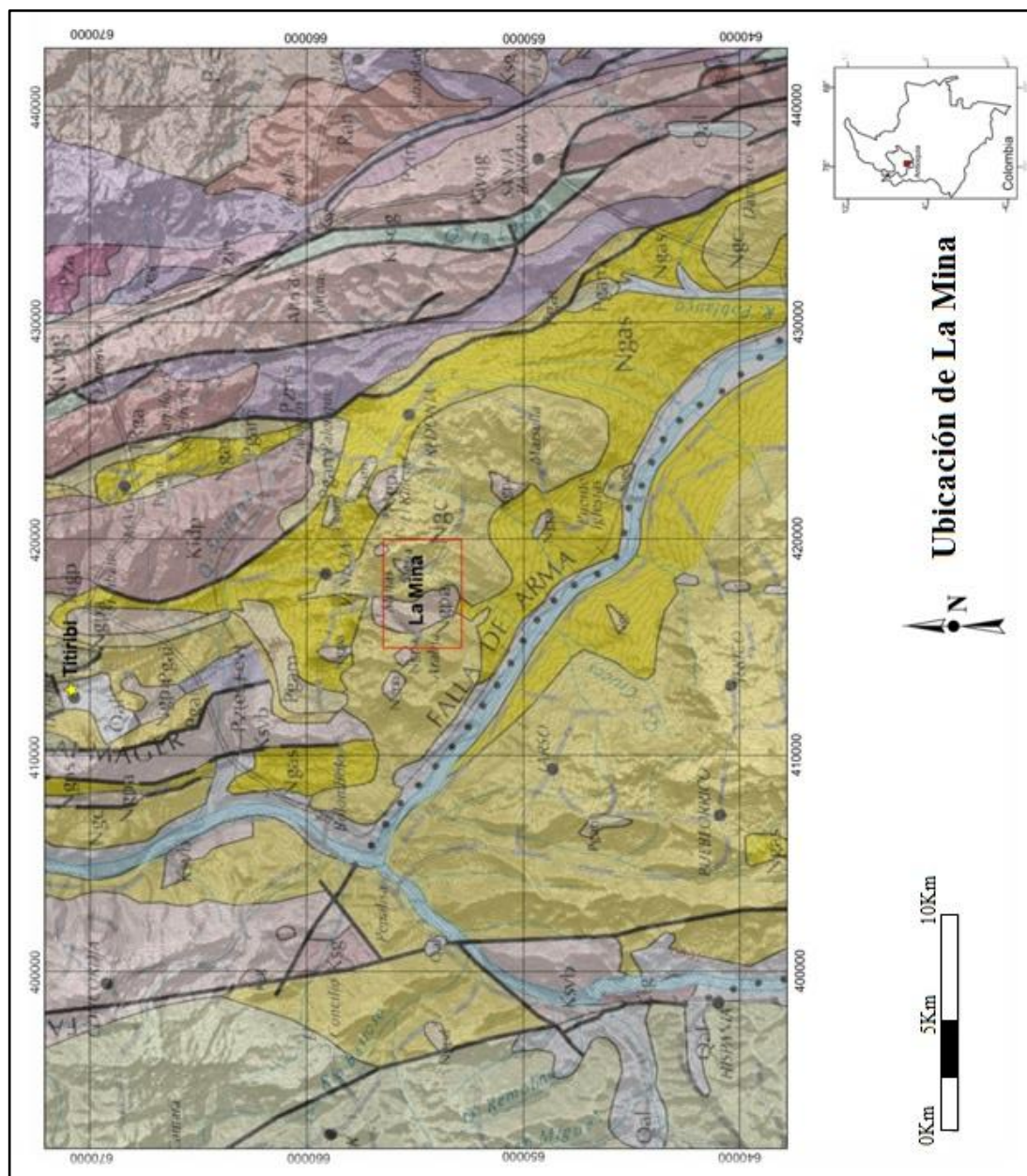


Figura 2.1, Mapa Geológico Regional de la zona de "La Mina", se observa la litología: El Dominio Metamórfico es representado por tonalidades lilas, El Dominio Volcano-Sedimentario es representado por tonalidades amarillas y las rocas intrusivas son representadas por tonalidades rosadas.

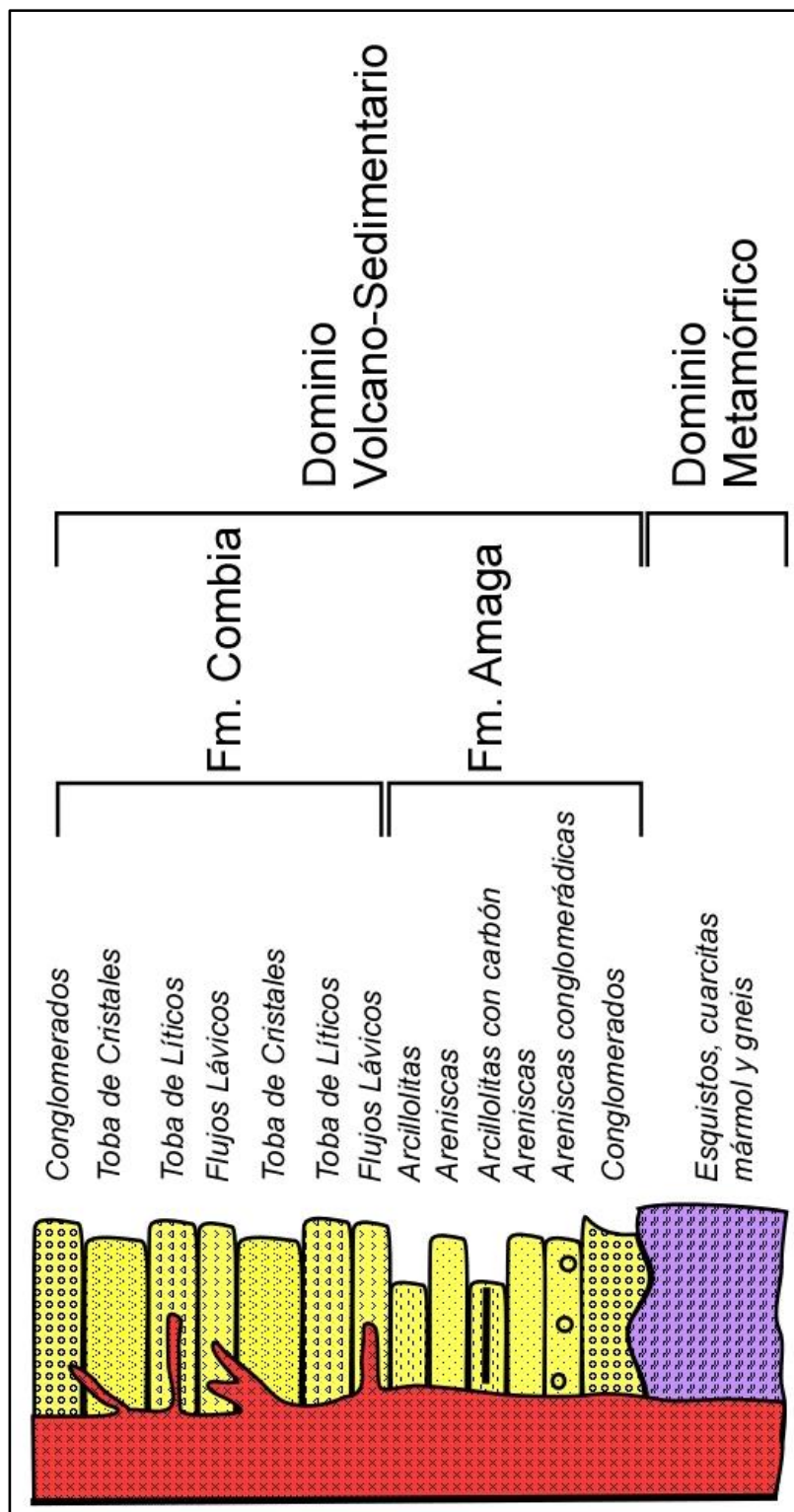


Figura 2.2, Columna Estratigráfica esquemática de la zona de estudio.

2.3 Marco Estructural-Tectónico

La zona de estudio se encuentra dentro del terreno Romeral, ver **Figura 2.3**, este terreno sufrió acreción al margen continental a lo largo de la Falla de Romeral, que se encuentra al este del río Cauca, en el Aptiano (125-110 Ma). El movimiento en la Falla de Romeral fue dextral indicando que la acreción del terreno fue muy oblicua desde el suroeste. La zona de la Falla Romeral está marcada por rocas ofiolíticas, incluyendo esquistos glaucófanos, y se interpreta como un terreno de sutura marcando una zona de subducción antigua. El terreno Romeral está limitada al oeste por la Falla Cauca. Más al oeste, adicionalmente arcos de islas y arcos oceánicos fueron acrecionados a la Cordillera Occidental en el Paleógeno y Neógeno, que culminó en la colisión en curso del Arco de Choco desde finales del Mioceno, esto reactivó la Falla Romeral y el Sistema de Fallas del Cauca con movimientos sinestrales e inversos (Cediel y Cáceres, 2000. Cediel et al, 2003). La estructura original del Sistema de Fallas de Romeral ha sido modificado por diversos eventos tectónicos post-Romeral.

Siguiendo los eventos de acreción temprana, la región fue sometida a la deformación compresiva durante el Mioceno Temprano al Medio y el Mioceno Medio al Tardío. En ambos casos, la deformación se relaciona con eventos tectónicos de acreción adicionales que tienen lugar hacia el oeste a lo largo del margen Pacífico activo. La arquitectura estructural de la Falla Romeral y de su sistema de fallas es esencialmente la de una amplia serie de fallas dextrales transcurrentes, con rumbo regional N-S y buzamientos sub-verticales, de más de 10 kilómetros de distancia. Prácticamente todos los contactos litológicos dentro

de las rocas del basamento Romeral son de carácter estructural y se caracterizan por la abundancia de cizallamiento, milonitización y la formación de panizo de fallas rico en arcilla.

Reactivación estructural durante el Mioceno resulta en compresión ortogonal acompañado en su mayoría por fallas inversas de alto ángulo de rumbo E-W en su mayoría sobre rocas del basamento. La Formación Amagá se deforma, formando pliegues verticales, de inclinación local y pliegues isoclinales que se asocian con las fallas inversas E-W. La Formación Combia registra plegamiento.

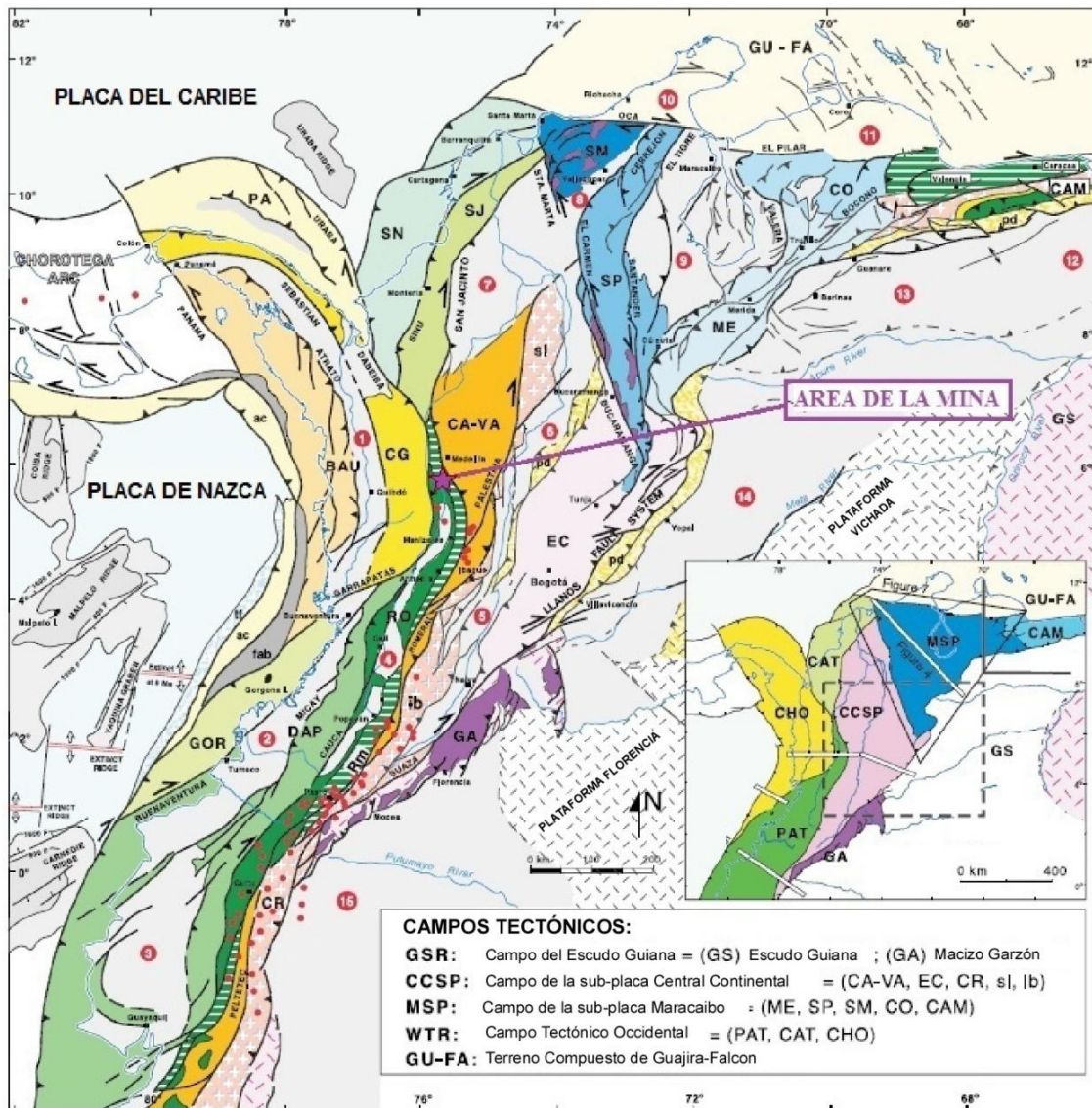


Figura 2.3, Mapa Litotectónico y Morfoestructural de la parte noroeste de Sudamérica (Cediél et al., 2003). Se observa que el Proyecto de "La Mina" se encuentra en el Terreno Romeral (RO).

2.4 Contexto Metalogénico Regional

El Proyecto "La Mina" se encuentra ubicado metalogénicamente en la Franja Media del Cauca del Mioceno (Sillitoe, 2008), ver **Figura 2.4** y **Figura 2.5**, esta franja esa compuesta por depósitos magmato-hidrotermales como del tipo Pórfido de Au-Cu, Epitermales de Intermedia Sulfuración y Pórfidos de Cu-Au (Sillitoe, 2008). Dentro de los depósitos más conocidos en esta franja se tiene al depósito de Marmato, Epitermal de Intermedia Sulfuración, con + 10Moz de Au y La Colosa, Pórfido de Au, con alrededor de 13 Moz de Au.

La Franja Media del Cauca se encuentra ubicada a lo largo del Sistema de Fallas Cauca-Romeral, que durante el Mioceno estuvo bajo un régimen transpresivo dextral (Rossetti and Colombo, 1999; Cediel et al., 2003).

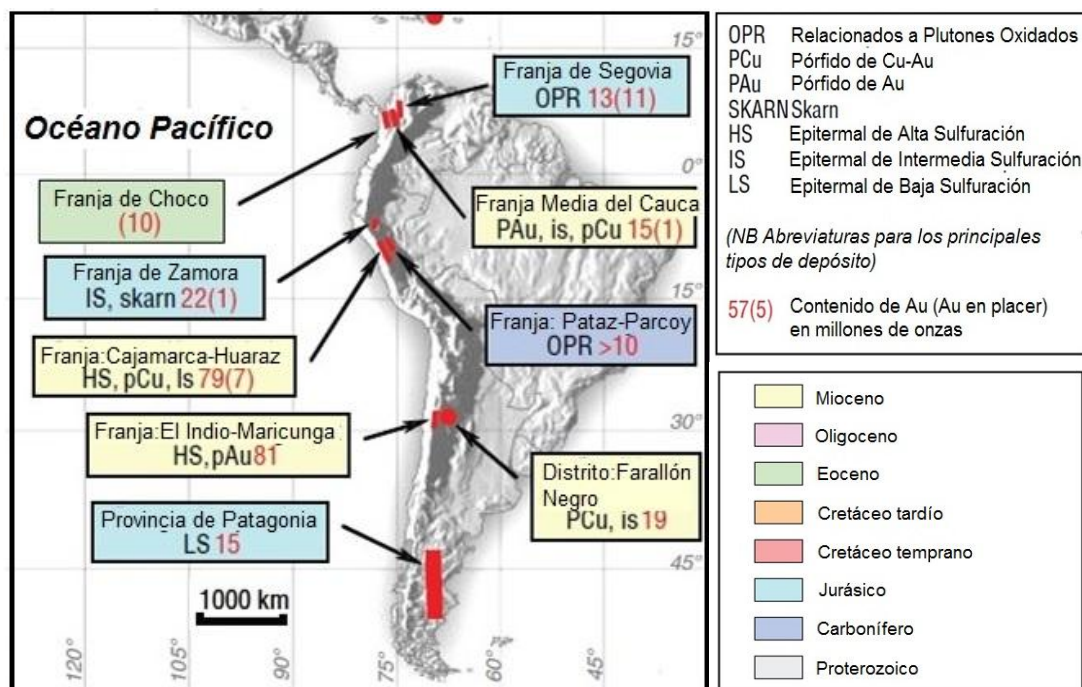


Figura 2.4. Principales Franjas Metalogénicas de Au (Sillitoe, 2008), en Colombia solo se han reconocido 3 franjas metalogénicas: Franja de Choco, Franja de Segovia y la Franja Media del Cauca.

En la **Figura 2.6** se observa los depósitos encontrados en la Franja Media del Cauca del Mioceno, además de "Marmato" y "La Colosa", se tiene los siguientes: "Titiribi" depósito Epitermal de Intermedia Sulfuración con alrededor de 5Moz Au (Stewart, 2011), "Quebradona" depósito Pórfido de Au, "Quinchia" depósito Pórfido de Au con 3Moz de Au (Stewart, 2011), "Zancudo" depósito Epitermal de Intermedia Sulfuración (Stewart, 2011). Se resalta la orientación predominante N-S en la ubicación de los depósitos.

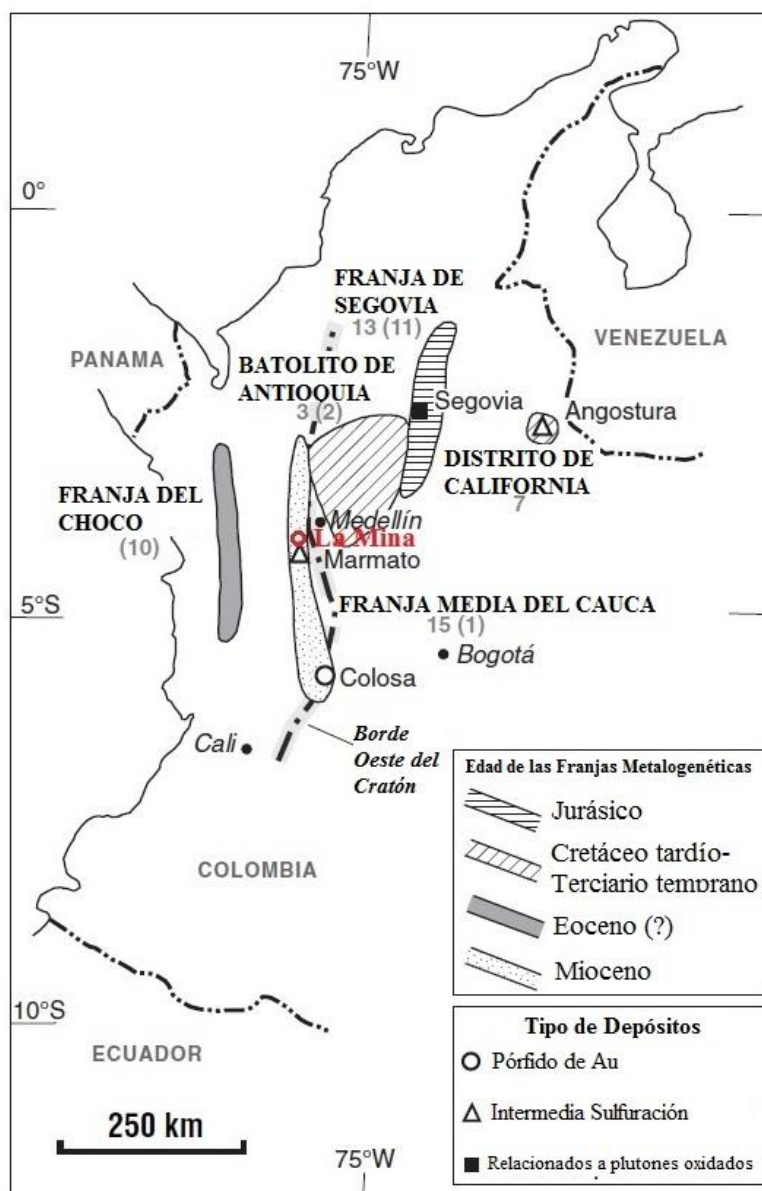


Figura 2.5, Se observa las principales franjas metalogenéticas de Au en el norte de los Andes colombianos, (Sillitoe, 2008). Se observa la edad de la franja y el tipo de depósito. El Proyecto "La Mina" se encuentra ubicado en la Franja Media del Cauca, donde se tiene a Marmato como el depósito de mayor renombre.

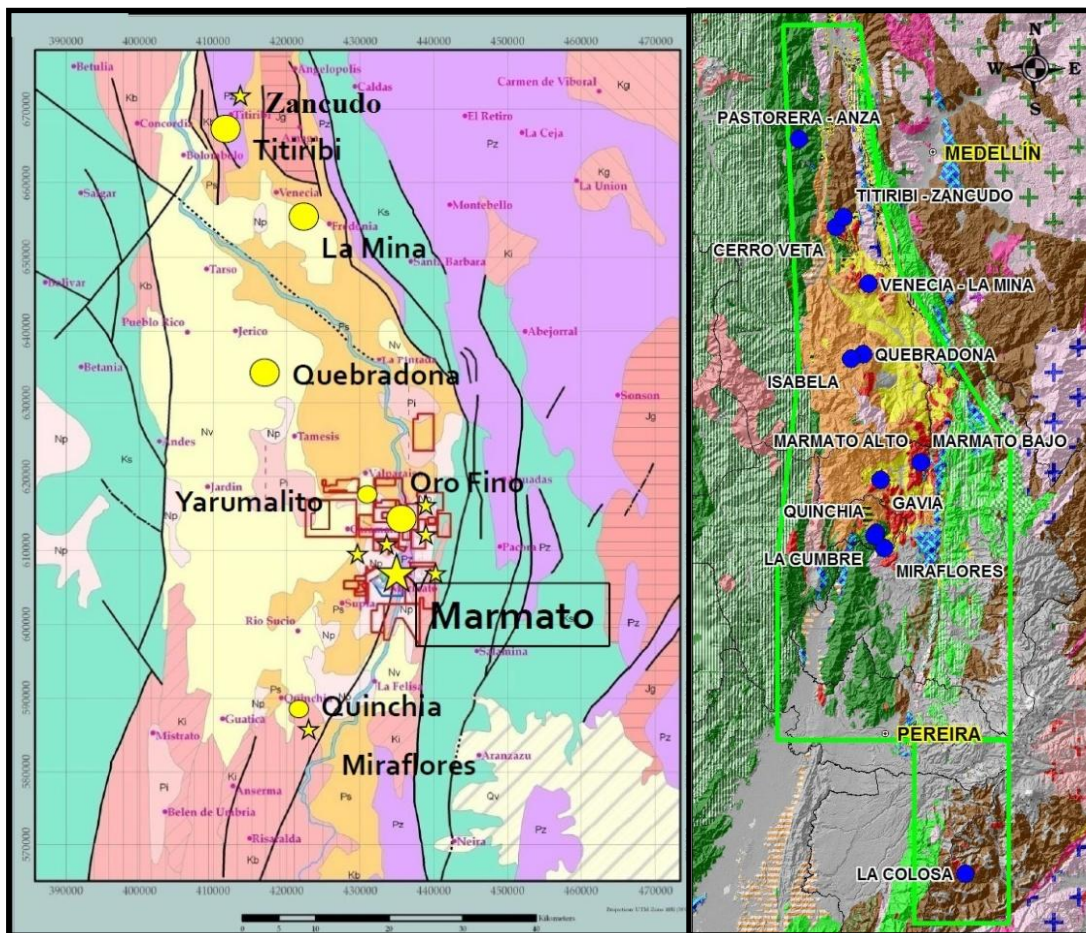


Figura 2.6. Ambas figuras muestran los depósitos cercanos al proyecto de "La Mina", la figura de la izquierda fue elaborado por la empresa Medoro (Stewart, 2011), los círculos amarillos representan depósitos del tipo Pórfido Au/Cu y las estrellas amarillas representan depósitos Epitermales de Intermedia Sulfuración. En la figura de la derecha se observa la orientación N-S de los depósitos (elaborada por Bellhaven C&G).

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL PROYECTO "LA MINA"

El proyecto La Mina, se encuentra ubicado al sureste del distrito aurífero de Titiribi, que se asocia al borde continental de la Placa Suramericana, y a su contacto con el terreno alóctono, denominado Arco del Choco (López et al., 2006), de afinidad Oceánica, tal como se observa en la figura 3.1.

3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

Las unidades litológicas presentes en el Proyecto de "La Mina" son las siguientes:

3.1.1 Secuencias Volcánicas

Constituido principalmente por la Fm. Combia (Grosse, 1926), miembro volcánico, con una edad de Mioceno Tardío (Restrepo et al., 1981). Estas secuencias volcánicas se encuentran distribuidas en gran parte de la concesión.

Las secuencias volcánicas constan de flujos lávicos de composición andesítica/basálticos, en los cuáles también se observan aglomerados, la

secuencia se completa con flujos piroclásticos constituidos por Tobas de Cristales, Tobas Líticas, Brechas Volcánicas y Tobas de Cenizas.

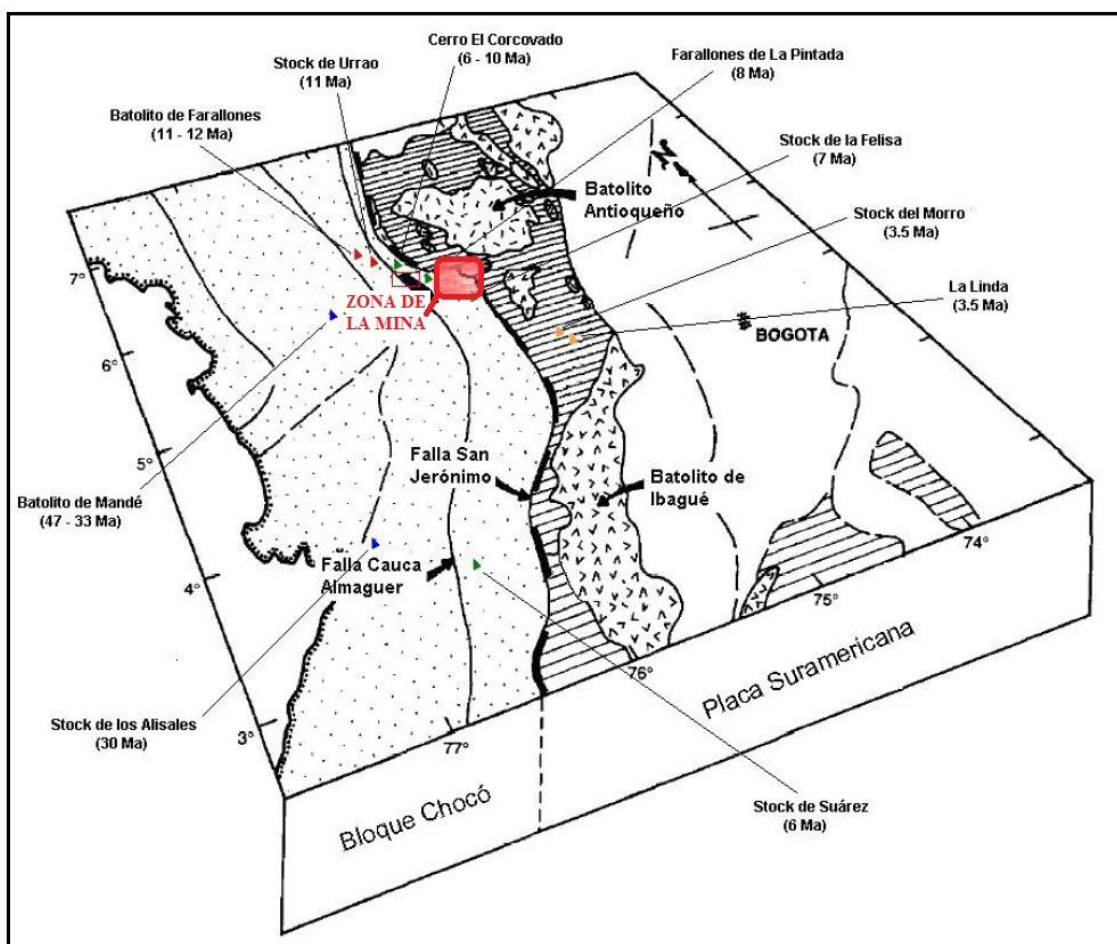


Figura 3.1, Ubicación del Proyecto "La Mina", al borde del Bloque de Choco y la Placa Suramericana. (Tomado de López et al., 2006).

3.1.2 Rocas Porfíricas

Estas secuencias volcánicas son intruidas por múltiples stocks porfíricos. Los pórfidos se describen a continuación:

a) Pórfido C1

Ubicado en los alrededores de la Hacienda "La Mina" en el área denominada "La Balastrea" y algunos afloramientos en la zona de "La Cordillera" y "Miraflores". Este Pórfido tiene una composición mineralógica de: Plagioclasas (55%) como fenocristales de tamaños milimétricos bimodales, Anfíboles (4%) de tamaños milimétricos como fenocristales y Biotitas (5%), ver figura 3.2



Figura 3.2, Pórfido C1.

b) Pórfido X2

Ubicado en los alrededores de la Hacienda "La Mina" en el área denominada "La Balastrea", este Pórfido tiene una composición mineralógica de: Plagioclasas (45%) como fenocristales de tamaños milimétricos bimodales, Anfíboles (15%) de tamaños milimétricos como fenocristales y Biotita (7%), ver figura 3.3.



Figura 3.3, Pórfido X2.

c) Pórfido L1

Se tiene afloramientos de este pórfido en una gran extensión en el área de "Miraflores". La composición mineralógica de este pórfido es la siguiente: Plagioclasas (35%) como fenocristales de tamaños milimétricos , Anfiboles (8%) de tamaños milimétricos como fenocristales y Biotita (1%), ver figura 3.4.

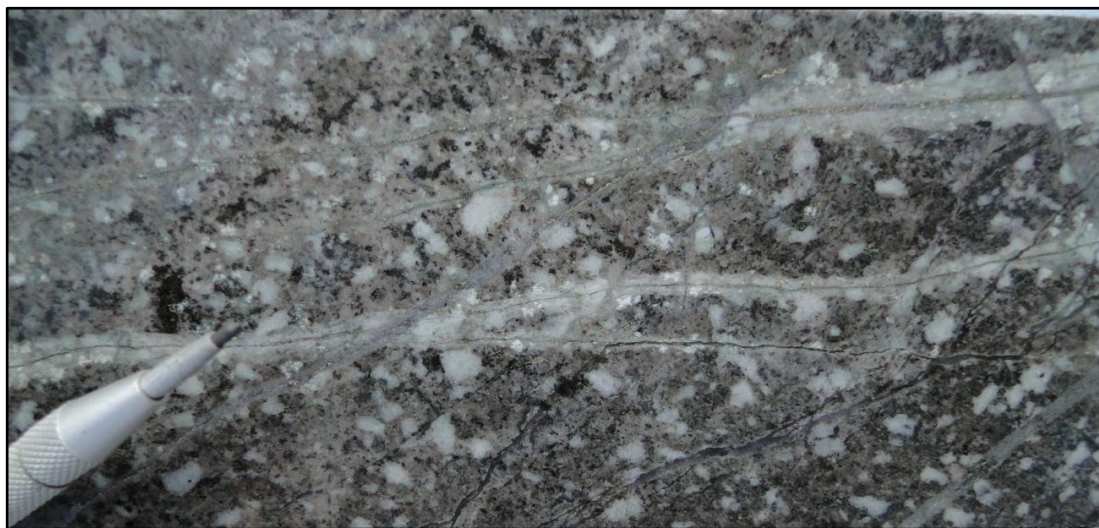


Figura 3.4, Pórfido L1.

d) Pórfido G1

Este Pórfido aflora en la quebrada de la Garrucha, está compuesto por: Plagioclasas (60%) como fenocristales de tamaños milimétricos bimodales y Anfíboles (5%) como fenocristales, ver figura 3.5.

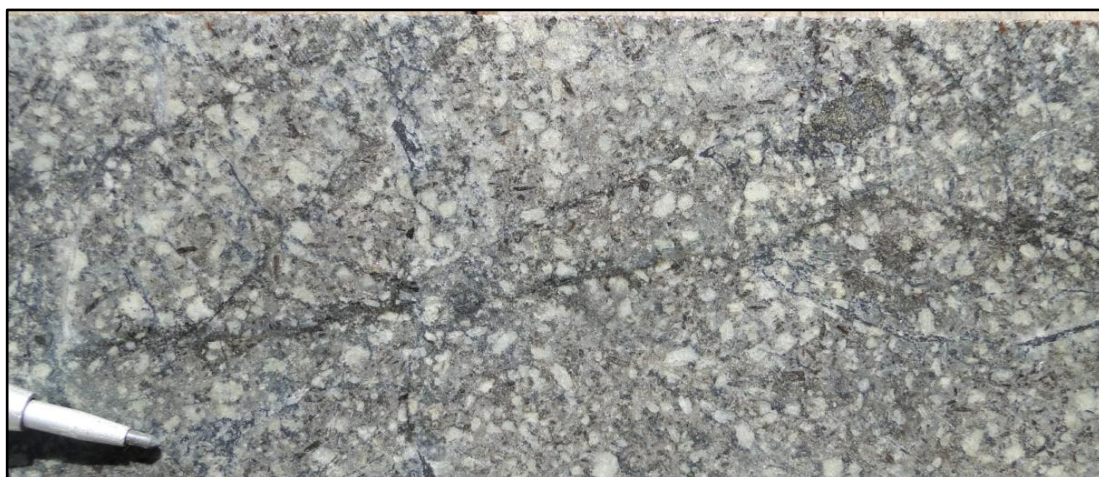


Figura 3.5, Pórfido G1.

e) Pórfido G2

Se tiene en superficie en la quebrada de la Garrucha, su composición mineralógica es la siguiente: Plagioclasas (45%) como fenocristales de tamaños submilimétricos y Biotita (7%).

f) Otras rocas porfiríticas

En la concesión afloran otras rocas porfiríticas que no se han podido correlacionar, estas rocas en su mayoría se encuentran frescas, solo algunas están silicificadas.

3.1.3 Brechas

Los Pórfidos C1, X2, L1 y G1 forman brechas intrusivas las cuales son BxC1, BxC2, BxL1 y BxG1 respectivamente, estas brechas se formaron durante la misma intrusión de los pórfidos. Las brechas se caracterizan por tener fragmentos de los pórfidos que intruyen así como de las rocas encajonantes y una matriz intrusiva. Las brechas generalmente se localizan en los bordes de los pórfidos. Además se tiene Brechas de Falla (BxT) y otras Brechas silicificadas en la zona del Morrón.

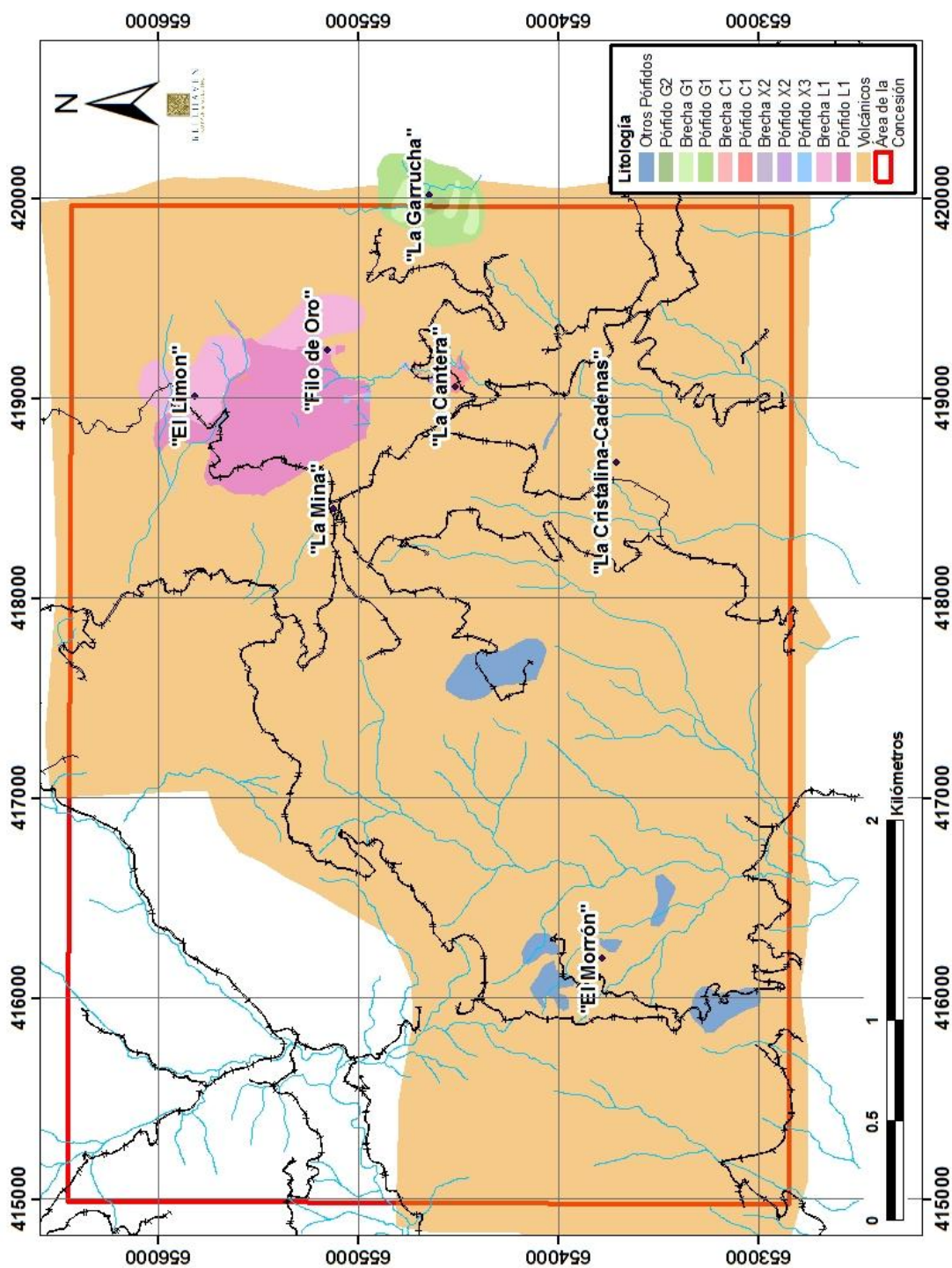


Figura 3.6. Mapa Litológico de la concesión de "La Mina", hasta la fecha de la elaboración del informe se tenía cartografiado solo el 80% del área total.

3.2 Geología Estructural

La zona de estudio está controlada por un sistema de fallas regionales y alineamientos mayores de dirección Norte-Sur, los cuáles fueron fotointerpretados a partir de imágenes satelitales y modelos de elevación digital, contruidos a partir de las curvas de nivel. Con el trabajo de cartografiado se pudieron reconocer las siguientes estructuras en el área de estudio:

3.2.1 Fallas

En el área de estudio se reconocen tres sistemas de fallas:

- **Sistema de Fallas N-S:** Es el principal sistema de fallas en la zona de trabajo, se puede mencionar las siguientes fallas regionales de este sistema: Falla Morrón, Falla Central, que delimita la concesión en dos sectores: Sector Oeste, bajos valores de Au y Cu, y el Sector Este, donde se encuentran las anomalías de Au y Cu, y la Falla Cantera, a lo largo de la cual se encuentran los valores anómalos en Au y Cu.
- **Sistema de Fallas N 40°-60° E:** Otro sistema regional importante, se observa las fallas regionales: Falla "La Arabia" y Falla "La Cristalina"
- **Sistema de Fallas N 50°-70° W:** Este sistema de fallas es más local, controlando el emplazamiento del Pórfido Cantera, Pórfido C1, en algunos sectores este sistema se convierte en E-W, cerca a la zona de "Filo de Oro".

3.2.2 Estructuras Circulares

A partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales y modelos de elevación digital, se identificaron dos estructuras circulares, una en el área del Morrón y la otra en La Cristalina.

La estructura circular en La Cristalina se asoció a datos de rumbo y buzamiento tomados en campo, donde los estratos volcánicos de lavas y tobas, se encuentran radial con respecto a la estructura circular, así mismo los buzamientos eran salientes a la estructura circular, por tales evidencias, se cree que la estructura circular de La Cristalina, podría ser un antiguo aparato volcánico.

3.2.3. Vetillas

A partir del cartografiado en campo se reconocen varios tipos de vetillas asociados al Pórfido Cantera y Garrucha, estas diversas vetillas tienen rumbos variados, prácticamente en todas las direcciones, en este caso no son concéntricas a los pórfidos, pero las vetillas de más interés son las vetillas en la zona de "Filo de Oro", vetillas de Cuarzo bandeado-Pirita fina, de orientación preferencial E-W. En el área de "La Cristalina/Cadenas", se tiene vetillas de Calcita-Cuarzo-Baritina, también de orientación preferencial E-W, ambas vetillas están relacionadas con mineralización de oro.

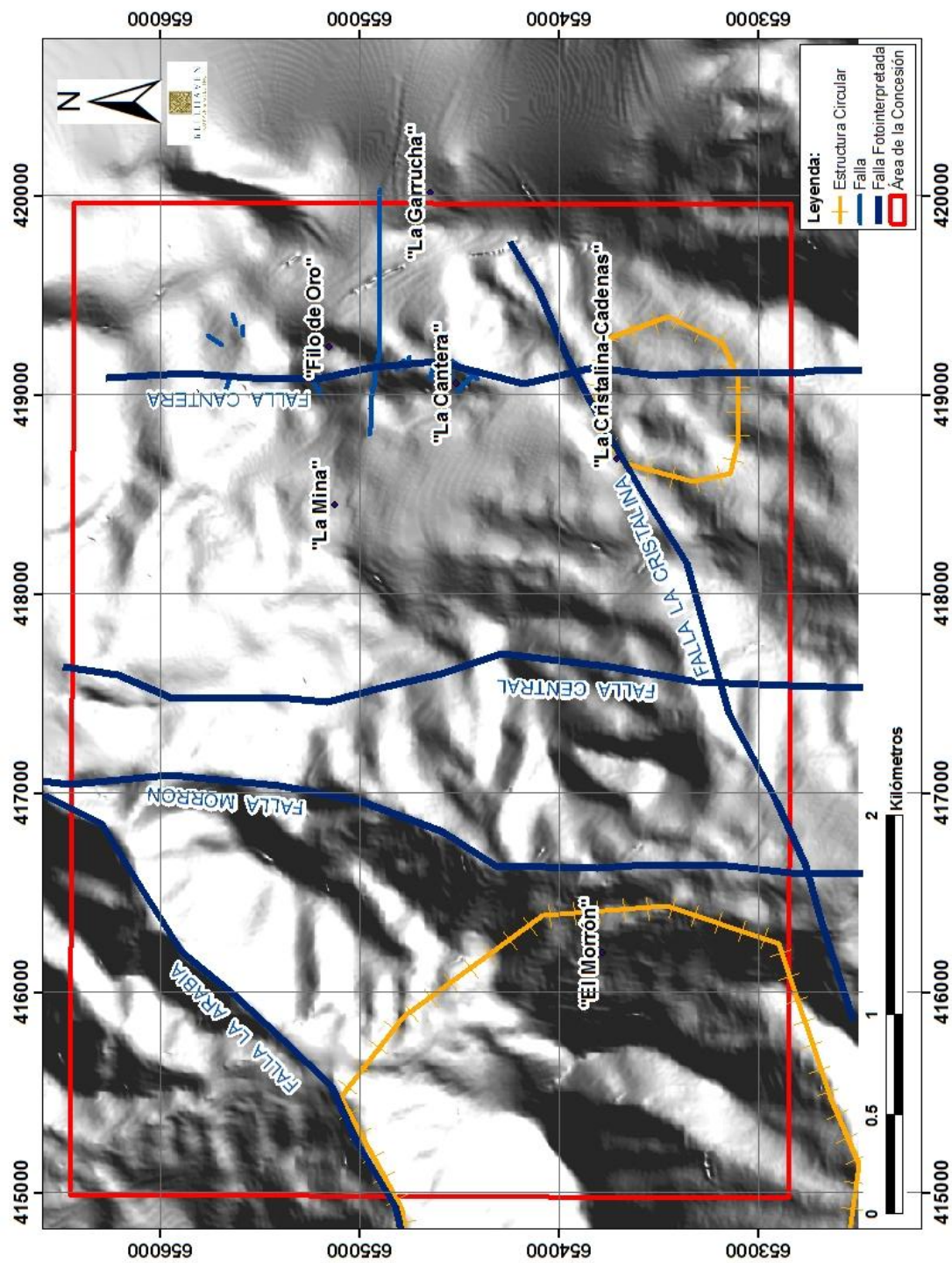


Figura 3.7, Mapa Estructural de la concesión de "La Mina".

3.3 Alteraciones y Mineralización

En general las alteraciones hidrotermales se distribuyen en mayor intensidad en los cuerpos porfiríticos principalmente en los Pórfidos C1, L1, G1 y X2 con sus respectivas brechas intrusivas, en estos cuerpos se observan en superficie la presencia de **Alteración Potásica** (Magnetita-Actinolita-Feldespato Potásico-Biotita-Cuarzo), esta alteración varía en intensidad y asociación mineralógica teniendo en algunas zonas predominancia de Feldespato Potásico o Magnetita o Biotita. En esta alteración también se observa vetillas de Cuarzo-Magnetita y Magnetita-Actinolita. Estos cuerpos porfiríticos también presentan **Alteración Propilítica** (Clorita-Calcita-Pirita-Epídota), donde generalmente se observan los cristales de Anfíboles reemplazados por clorita y vetillas de Pirita-Clorita-Calcita y Calcita-Pirita. En los cuerpos porfiríticos del área del Morrón se observa **Silicificación** pervasiva haciendo imposible el reconocimiento del protolito debido al intenso reemplazamiento de Cuarzo en la roca. En estos Pórfidos también se observa vetillas bandeadas (Cuarzo-Magnetita-Pirita).

En las secuencias volcánicas la alteración que prevalece es la **Alteración Fílica** (Cuarzo-Pirita-Sericita-Arcillas) y vetillas de Cuarzo-Pirita-Sericita, Sericita como halos, y en algunos sectores se observa alteración propilítica y Magnetita diseminada tanto en las lavas como en las tobas.

La mayor parte de estas alteraciones se encuentran sobreimpuestas por **Alteración Argílica Supérgena** (Arcillas).

La mineralización presente en el área se encuentra como minerales supérgenos de cobre, Crisocola-Malaquita relleno de fracturas y como parches en las rocas tanto porfiríticas como volcánicas. También se observan vetillas de Cuarzo-Pirita-Calcopirita, Calcita-Baritina-Bornita-Galena-Calcopirita y Calcita-Pirita-Calcopirita.

El Oro se encuentra asociado a diversas vetillas de Cuarzo, tanto Cuarzo granular y vetillas bandeadas de Cuarzo.

3.4 Tipo de Depósito

El depósito reconocido en la concesión es el Pórfido "La Cantera", ubicado en el stock del mismo nombre. AngloGold Ashanti / Bema Gold perforó seis pozos en el objetivo de Pórfido "La Cantera". Dos pozos lograron interceptos de más de noventa metros con leyes superiores a 1 gr/Tn de oro y cobre significativo a poca profundidad. Otros dos taladros también contenían valores significativos situados cerca de la superficie.

Bellhaven continuo la perforación logrando varios pozos con buenos interceptos de mineralización. El depósito de "La Cantera" es de estilo Pórfido de Au/Cu, siendo el pórfido mineralizador el Pórfido C1, Pórfido Cantera, el cual es de composición diorítica. El pórfido Cantera corta a las rocas volcánicas y se le asocia una brecha intrusiva, Brecha C1. Finalmente se tiene un evento tardío de un pórfido estéril, Pórfido X2, que corta al Pórfido C1, a su vez este pórfido también tiene asociado una brecha intrusiva, Brecha X2. El depósito de La

Cantera tiene una geometría relativamente simple, es casi vertical, como se puede ver en la figura 3.8, y de forma elongada en planta.

La mineralización se encuentra en vetillas de cuarzo-sulfuros (Calcopirita-Bornita), generalmente en la alteración potásica, el oro se encuentra asociado a vetillas de cuarzo granular.

En julio de 2012, Bellhaven C & G publicó sus recursos minerales inferidos en el Proyecto de La Mina, por un total de 1,6 millones de onzas de oro y 419M de libras de cobre.

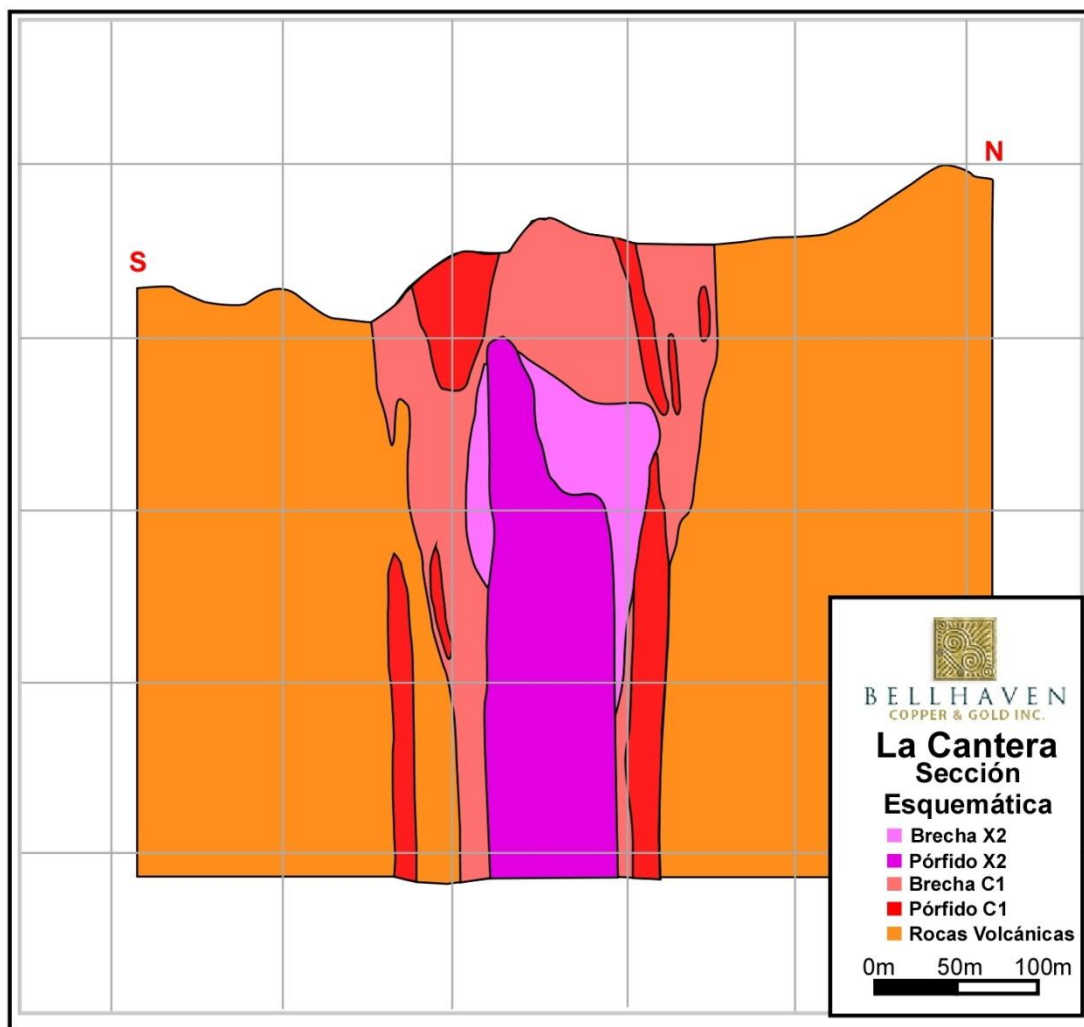


Figura 3.8, Sección Litológica esquemática del Pórfido "La Cantera".

CAPÍTULO IV

EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

La geoquímica es una herramienta poderosa que en conjunto con un buen cartografiado litológico/estructural y de alteraciones, así como un estudio geofísico, puede llegar a constituir una excelente herramienta en la etapa de exploración.

Todo trabajo de exploración geoquímica considera de gran importancia las técnicas de muestreo así como el análisis químico que se emplea.

El procesamiento de los datos geoquímicos, las leyes de los elementos de interés, mediante métodos estadísticos aplicativos es fundamental, ya que permite caracterizar estos datos geoquímicos en parámetros estadísticos los cuales son derivados a parámetros geoquímicos como: el *background*, "valor de fondo" (BG) y el *threshold*, "umbral" (TH) definiendo así la anomalía geoquímica.

Toda esta información permitirá conocer el comportamiento geoquímico en el área de estudio, que junto con la litología/geología estructural/alteraciones y geofísica permitirán direccionar de una mejor manera la exploración en el área de estudio.

4.1 METODOLOGÍA DE EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

La campaña de exploración geoquímica realizada por la empresa Bellhaven Copper & Gold, se uso para delimitar nuevas zonas de interés. La metodología que se desarrollo fue la siguiente:

Recopilación de información geoquímica anterior

Bellhaven C&G contaba con una base de datos geoquímicos de la empresa AngloGold Ashanti (Sociedad Kedadha S.A.), con 983 muestras: 522 muestras de roca, 368 muestras de suelo y 92 muestras de sedimentos de quebrada. En la base de datos geoquímica se especifica el tipo de muestra: roca (canal, "rockchip" u otros), suelo o sedimento de quebrada, la ubicación de la muestra, litología y alteración.

Las muestras de roca fueron tomados de manera selectiva, en los alrededores del principal cuerpo mineralizado, el stock "La Cantera". La gran mayoría de muestras fueron muestras de canales de 2m de longitud.

Las muestras de suelo fueron tomadas en una malla regular, pero solo por sectores, la malla fue de 100m x 100m, las muestras fueron tomados con el aparato *auger*. Las muestras de sedimentos de quebrada fueron tomadas de manera selectiva.

Se contaba con los certificados de laboratorio, ver figura 4.1, donde se observa que el laboratorio que analizo las muestras fue **ALS Chemex**, se analizaron 47 elementos por el método de *Espectrometría de Emisión por Plasma con*

Espectrómetro de Masas (ICP-MS), y para el caso del Au se realizó análisis de fuego, Au 50 gr FA AA. En el momento de la campaña geoquímica actual se seguía trabajando con el mismo laboratorio y siguiendo las mismas especificaciones, por lo cual se decidió usar esta base de datos geoquímicos junto con los nuevos datos que se obtuvieron en la campaña por ser compatibles por lo explicado líneas arriba.



 ALS Chemex EXCELLENCE IN ANALYTICAL CHEMISTRY ALS Peru S.A. Calle 1 LT-1A Mz-D, esq. Calle A Urb. Industrial Bocanegra Callao 01 Lima Phone: +51 (1) 574 5700 Fax: +51 (1) 574 0721 www.alschemex.com	To: SOCIEDAD KEDAHDA S.A. CALLE 114 NO. 9-01 TORRE A OF. 1206 BOGOTÁ CUNDINAMARCA COLOMBIA	Page: 1 Finalized Date: 12-SEP-2006 Account: SCCKDH																								
	CERTIFICATE LI06068956																									
Project: 44-01-01 P.O. No.: 2000367 This report is for 61 Pulp samples submitted to our lab in Lima, Peru on 27-JUL-2006. The following have access to data associated with this certificate: MONICA URIBE	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">SAMPLE PREPARATION</th> </tr> <tr> <th>ALS CODE</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LOG-24</td> <td>Pulp Login - Rod w/o Barcode</td> </tr> </tbody> </table>	SAMPLE PREPARATION		ALS CODE	DESCRIPTION	LOG-24	Pulp Login - Rod w/o Barcode	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">ANALYTICAL PROCEDURES</th> </tr> <tr> <th>ALS CODE</th> <th>DESCRIPTION</th> <th>INSTRUMENT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Au-AA24</td> <td>Au 50g FA AA finish</td> <td>AAS</td> </tr> <tr> <td>ME-MS61</td> <td>47 element four acid ICP-MS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hg-CV41</td> <td>Trace Hg - cold vapor/AAS</td> <td>FIMS</td> </tr> <tr> <td>Cu-AA61</td> <td>Trace Cu - four-acid digestion</td> <td>AAS</td> </tr> </tbody> </table>	ANALYTICAL PROCEDURES			ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT	Au-AA24	Au 50g FA AA finish	AAS	ME-MS61	47 element four acid ICP-MS		Hg-CV41	Trace Hg - cold vapor/AAS	FIMS	Cu-AA61	Trace Cu - four-acid digestion	AAS
SAMPLE PREPARATION																										
ALS CODE	DESCRIPTION																									
LOG-24	Pulp Login - Rod w/o Barcode																									
ANALYTICAL PROCEDURES																										
ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT																								
Au-AA24	Au 50g FA AA finish	AAS																								
ME-MS61	47 element four acid ICP-MS																									
Hg-CV41	Trace Hg - cold vapor/AAS	FIMS																								
Cu-AA61	Trace Cu - four-acid digestion	AAS																								
To: SOCIEDAD KEDAHDA S.A. ATTN: MONICA URIBE CALLE 114 NO. 9-01 TORRE A OF. 1206 BOGOTÁ CUNDINAMARCA COLOMBIA	Signature:  Milder Mascaraqui, Laboratory Manager, Peru																									
<small>This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.</small>																										

Figura 4.1, Se observa el certificado del laboratorio ALS Chemex, que detalla el método del análisis químico.

Preparación de la campaña de exploración geoquímica

En esta campaña se buscaba cubrir la totalidad de la concesión, 1794 hectáreas, se contaba con una base topográfica al detalle, curvas de nivel cada metro, se diseñó el siguiente plan de trabajo:

1. Cartografiado litológico, estructural y alteraciones de toda la concesión, en esa época solo se tenía el mapa geológico de la principal zona de interés, Stock de "La Cantera".
2. Muestreo geoquímico de rocas en toda la concesión.
3. Muestreo sistemático de suelos, por medio del auger, en las zonas de mayor interés.
4. Generación de nuevas zonas de interés para una futura perforación.

La zona de estudio cuenta con una gran adversidad, la escasez de afloramientos, ya que tiene una gran cobertura vegetal y fuerte meteorización, los afloramientos se encuentran generalmente en los cortes de las carreteras/caminos, en las quebradas y en los deslizamientos, todos estos afloramientos se recorrieron en su totalidad para el cartografiado geológico y el muestreo geoquímico de rocas, determinándose 100m como la distancia mínima para tomar una muestra en zonas donde a simple vista no se encuentren indicios de mineralización.

Debido a la escasez de afloramientos se tomo la decisión de muestrear todas las zonas de afloramientos, incluso aquellos que a simple vista no tenían indicios de mineralización, se opto por tomar muestras de rockchip en los afloramientos que se podían y/o muestras de canales de 2m de longitud.

En esta etapa se determino que el muestreo se realizaría en rocas, dejando de lado las muestras de sedimentos de quebrada, esto debido a la presencia de muchos centros poblados en el área de estudio, teniendo en las quebradas una contaminación antropogénica fuerte, incluso se podía encontrar hasta cables de cobre tirados en las quebradas, así como electrodomésticos. La primera etapa consistió en muestrear rocas, y en las zonas de interés identificadas se procedió a

realizar muestreo sistemático en una malla regular de 100m x 100m o 50m x 50m de suelos, y si era posible se realizaron trincheras, tal como se hizo en la anomalía de "Filo de Oro".

En esta etapa también se coordinó los permisos para los recorridos durante el cartografiado y toma de muestras geoquímicas, con lo cual se llevaron a cabo algunas reuniones con los pobladores y dueños de las haciendas para que se les explicara en qué consistía el trabajo a realizar por los geólogos.

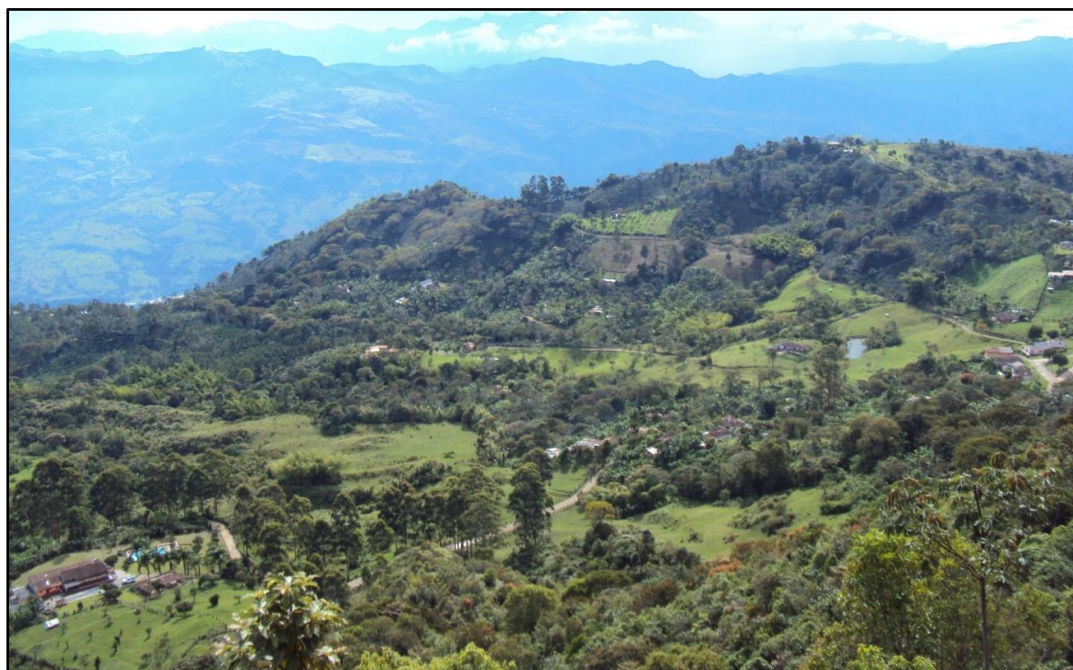


Figura 4.2, Se observa gran cobertura vegetal en la zona de estudio.

Desarrollo de la campaña de exploración geoquímica

En esta etapa se desarrolló el trabajo de campo que consistió en el cartografiado geológico, estructural y de alteraciones, así como muestreo geoquímico de rocas,

como se menciono anteriormente las zonas de mayor interés fueron los cortes de las carreteras/caminos, las quebradas y los deslizamientos.

Las muestras de rocas fueron de dos tipos: rockchip y canales, ver figuras 4.3 (a) y 4.3 (b), y el peso de las muestras se encontraba entre los 5kg en promedio. En total en esta campaña se tomaron 857 muestras de roca.

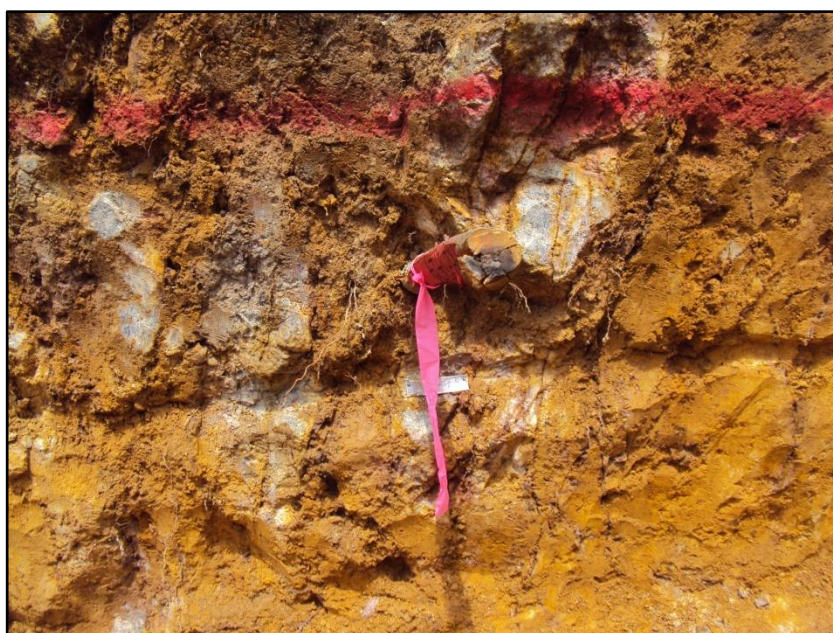


Figura 4.3(a),
Se observa una muestra de canal tomada en la zona de "Filo de Oro", con una longitud de 2m.



Figura 4.3(b),
Se observa el afloramiento de La Cantera, donde se tomaron muestras de rockchip.

Las muestras de suelos se tomaron con ayuda del auger (taladro tirabuzón), que consta de un barreno hueco con cuchillas helicoidales con una rosca en su parte superior con la que se acopla a otras varillas de acero inoxidable (según la profundidad del avance). Esto permite que las cuchillas helicoidales del barreno corten e impulsen el suelo por su interior conforme se avanza hasta llegar a la profundidad seleccionada y/o condicionada por la longitud de cada varilla. Se utiliza sólo en suelos blandos y granulares compuestos por materiales arcillosos, limosos y arenosos y tiene una capacidad de prospección de hasta 4m de profundidad en función de la dureza de los materiales a perforar, las muestras se tomaron del horizonte B, este horizonte se detecta rápidamente en campo, se observa un cambio en la coloración: de una coloración más oscura del horizonte A pasa a una coloración más clara (rojizo) del horizonte B, cada muestra pesaba alrededor de 4Kg. En esta campaña se tomaron 20 muestras de suelo.



Figura 4.4, Se observa el muestreo en suelos por medio del aparato llamado auger, se retira todo el horizonte A, para proceder a muestrear 4kg del horizonte B.

Durante el muestreo se trato de ser lo más cuidadoso posible para evitar la contaminación de las muestras, algunas de las precauciones que se tomaron fueron las siguientes:

- Las muestras fueron tomadas bajo la estricta supervisión del geólogo.
- Material de muestreo adecuado y limpio, se utilizo paños húmedos de alcohol para limpiar la picota entre muestra y muestra.
- Las bolsas fueron selladas correctamente con zunchos plásticos de fácil cerrado.

- El personal que realizo el muestreo no llevaba puesto ningún anillo u otras joyas.
- Se realizo el llenado de las tarjetas de muestreo en el acto y con el mayor cuidado.

Además se insertaron las muestras de control como blancos, duplicados y estándares. En total en cada grupo de 20 muestras se tenían 3 muestras de control.

Trabajo de gabinete

En esta etapa se realizó la entrada de datos de campo a la base de datos de las muestras geoquímicas, esto se hacía de manera diaria y por cada geólogo encargado.

Además se validó la base de datos geoquímicos de la empresa AngloGold Ashanti, y se decidió trabajar con los datos geoquímicos de AngloGold Ashanti. La validación se realizo de una manera simple ya que ambas campañas fueron analizadas por el mismo laboratorio y bajo las mismas especificaciones y métodos, se decidió juntar los datos de la anterior campaña con los de la actual campaña, luego se plotearon los datos de la anterior campaña con los de la nueva campaña y se compararon los valores de las leyes de los elementos de muestras muy cercanas, coincidiendo los valores de las leyes, de esta manera se validó de una manera rápida de la base de datos anterior.

Otro aspecto importante en esta etapa fue la homogenización de la litología, para ello se reviso las descripciones de las muestras de la anterior campaña y se las

adapto a las litologías establecidas en el cartografiado en la actual campaña, luego se ploteo estas homogenizaciones y se comparo con los mapas litológicos generados.

Finalmente se realizo el tratamiento estadístico de los datos geoquímicos unificados (campaña AngloGold Ashanti y campaña Bellhaven Copper & Gold), esto se detallara a continuación.

4.2 Tratamiento Estadístico de los Datos Geoquímicos

4.2.1 Tratamiento Estadístico de Muestras de Roca

Durante la presente campaña se recolectó 857 muestras de rocas y en conjunto con las muestras de la campaña de AngloGold Ashanti, 522 muestras, se tuvieron un total de 1379 muestras de roca que se analizaron por 34 elementos.

A partir de las características litológicas, el estilo de mineralización que se podría asociar con dichas litologías y las edades de las principales unidades litológicas que afloran en la zona de estudio, se dividió el tratamiento estadístico por poblaciones. Para una mejor caracterización estadística de los datos geoquímicos, las poblaciones son las siguientes:

- Población de Rocas Volcánicas
- Población de Rocas Porfíricas
- Población de Brechas

Para cada población se realizo el tratamiento estadístico de los elementos químicos Au y Cu, por ser los de interés económico.

Para el procesamiento estadístico se necesitó la ayuda de los programas de Microsoft Excel y Minitab 16.0, para la determinación de los diferentes parámetros estadísticos también para la elaboración de los diferentes gráficos estadísticos que se presentarán a continuación.

a) Población de Rocas Volcánicas

Esta población se encuentra conformada por los flujos lávicos, tobas de cristales y líticas pertenecientes a la Formación Combia (Grosse, 1926), con una edad del Mioceno Tardío (Restrepo et al., 1981).

En esta población se tiene en total 1088 muestras que representan el 78.90% del total de las muestras de roca, se analizaron por 34 elementos teniendo en total 36992 valores geoquímicos de los cuales solo se trataron los correspondientes a los elementos Au y Cu, por ser los de interés económico.

No hay mucha correlación entre los elementos químicos de esta población, tal como se observa en el dendograma de la figura 4.5, se observa que ni el Au ni el Cu se correlacionan con los otros elementos, solo se observa correlación entre: Na/Sr, Tl/W, Cd/Zn y Ag/Pb.

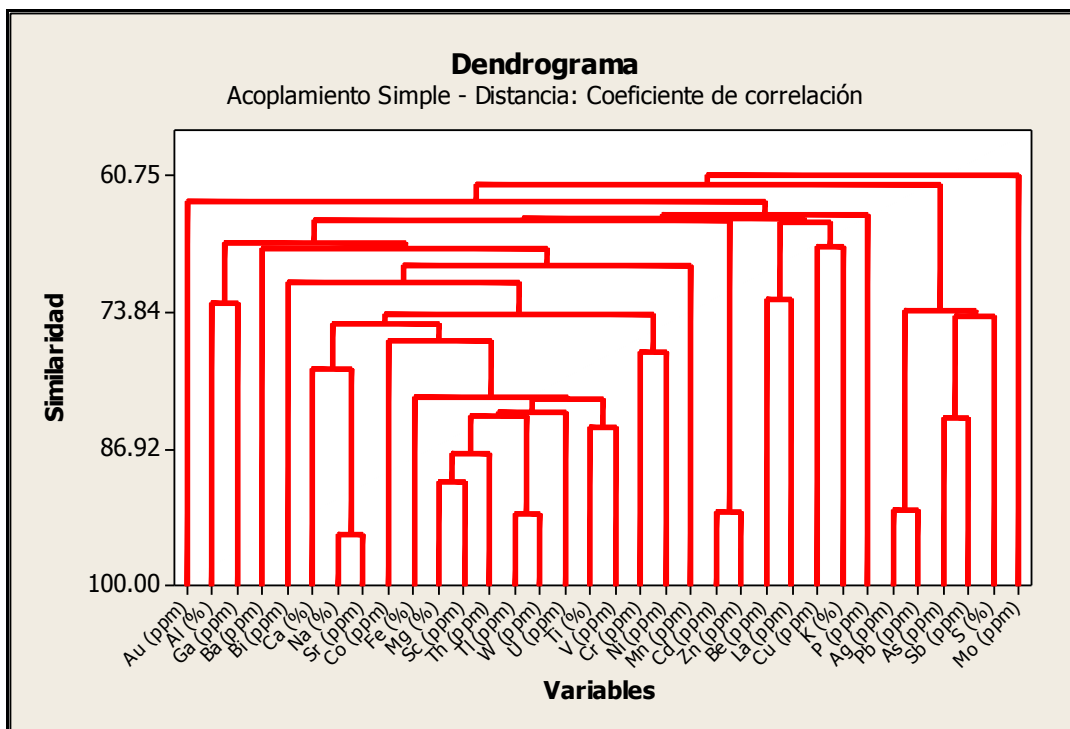


Figura 4.5, Dendrograma de los 34 elementos químicos analizados en las muestras de roca, se observa solo correlación entre Na/Sr, Ti/W, Cd/Zn y Ag/Pb.

Caso del Au

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, para el caso de los valores que se encontraban por debajo del límite de detección (0.005ppm) se los reemplazo por la mitad del límite de detección (0.0025ppm) y se los considero en el tratamiento estadístico. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.6, luego se analizaron estos valores altos y se determino que tienen un sustento geológico, presencia de vetillas de Cuarzo, Calcita y/o sulfuros, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores altos, en

conclusión estos valores son altos **no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico. Tan solo se considero como alto errático a un solo valor, que es una ley de 13.4ppm, ya que el valor es muy alto y podría enmascarar otras anomalías, se lo reemplazo por el *método del tercio menos un tercio*: (AE) por: $0.33+0.33*(AE-0.33)$, donde AE es el alto errático.

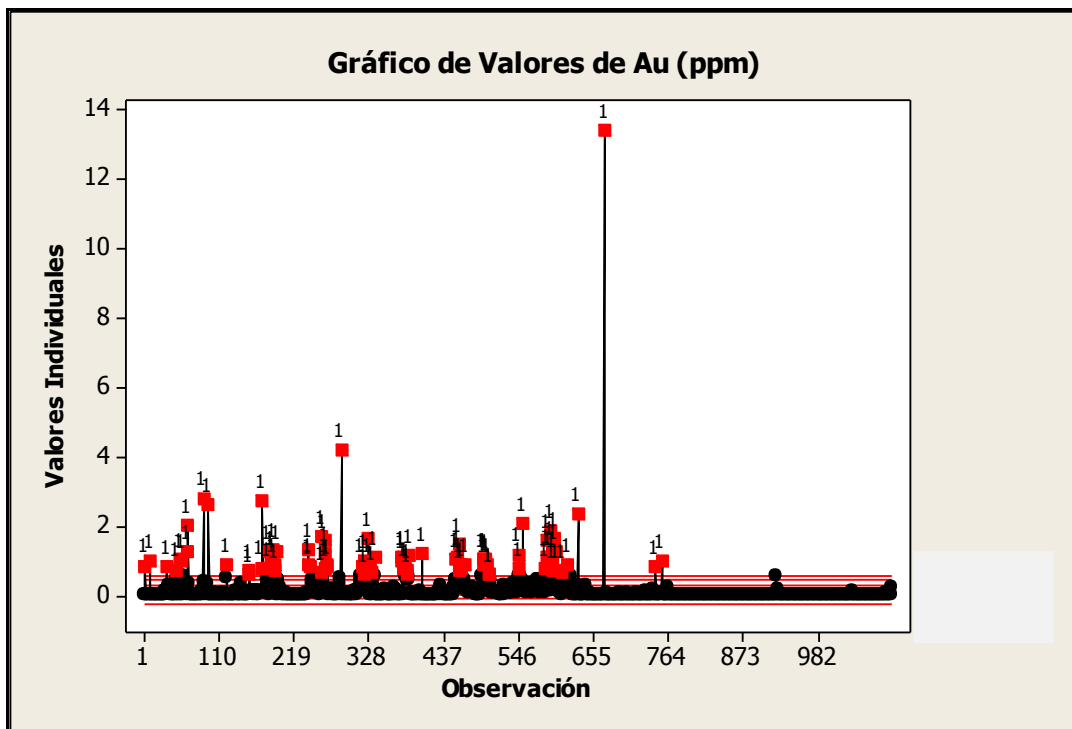


Figura 4.6, Gráfico de valores del Au(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Au se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.7.

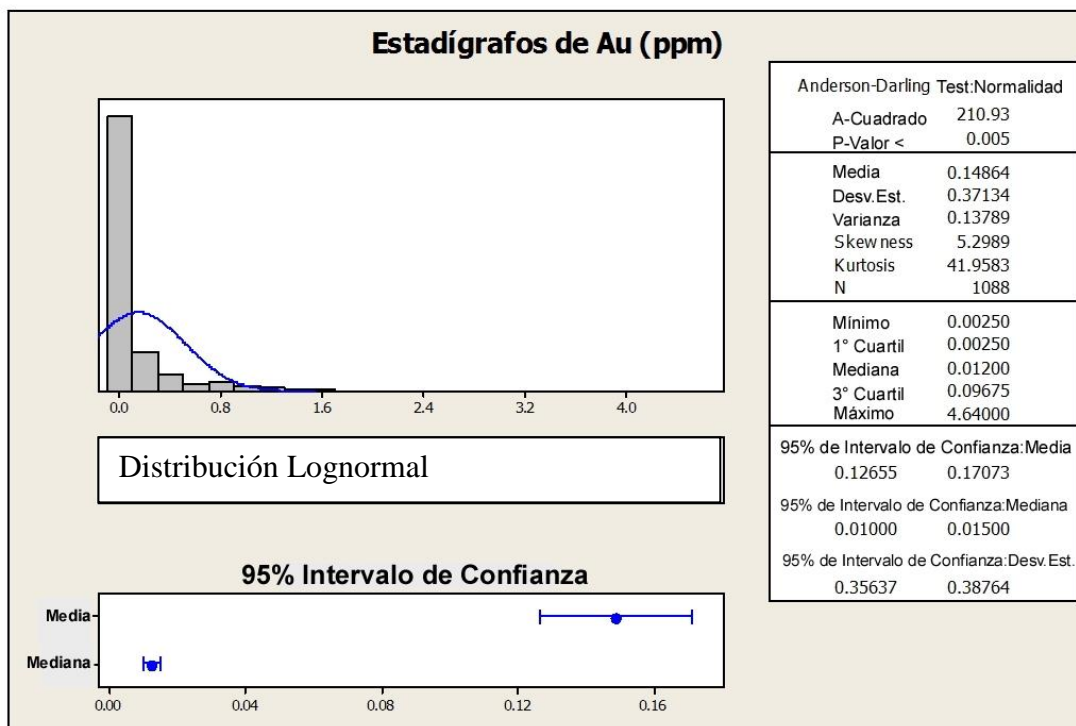


Figura 4.7, Estadígrafos del Au(ppm).

Como se observa el Au no tiene una distribución normal, por lo cual se procedió a normalizar los datos de las leyes de Au, para esto se multiplico las leyes por 1000 y se les saco el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que: $TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$

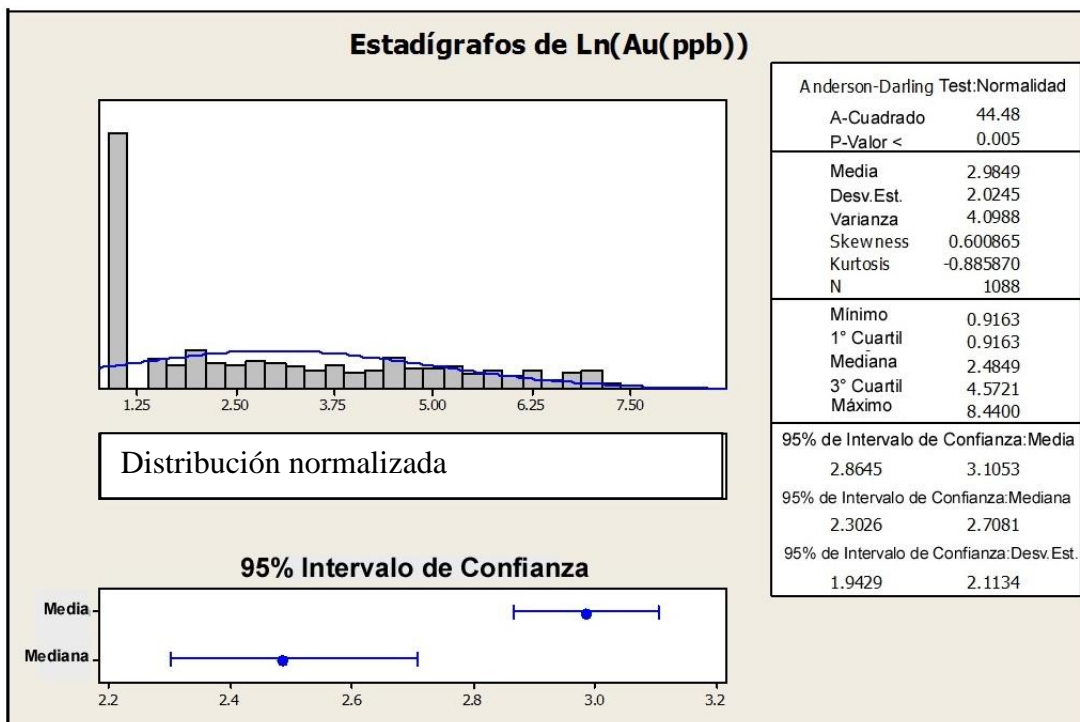


Figura 4.8, Estadígrafos del Ln(Au(ppb)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Au(ppb))	Desv. Est. Ln(Au(ppb))	TH (Ln(Au(ppb)))	BG Au(ppm)	TH Au(ppm)
Au	2.98	2.02	7.02	0.02	1.12

Para la población de rocas volcánicas se tiene un "valor de fondo" (BG) de 0.02 ppm de Au y un "umbral" (TH) de 1.12ppm de Au.

Caso del Cu

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, en este caso no se encontró ningún valor por debajo del límite de detección. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.9, donde se determinaron los valores más altos, luego se analizaron estos valores altos y se determino que tienen un sustento geológico, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores muy altos, en conclusión estos valores son **altos no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico, tan solo se considero como alto errático a dos valores, que tenían leyes de 10650ppm y 8940ppm, ya que estos valores son muy altos y podrían enmascarar otras anomalías, se lo reemplazo por el *método del tercio menos un tercio*: (AE) por: $0.33+0.33*(AE-0.33)$, donde AE es el alto errático.

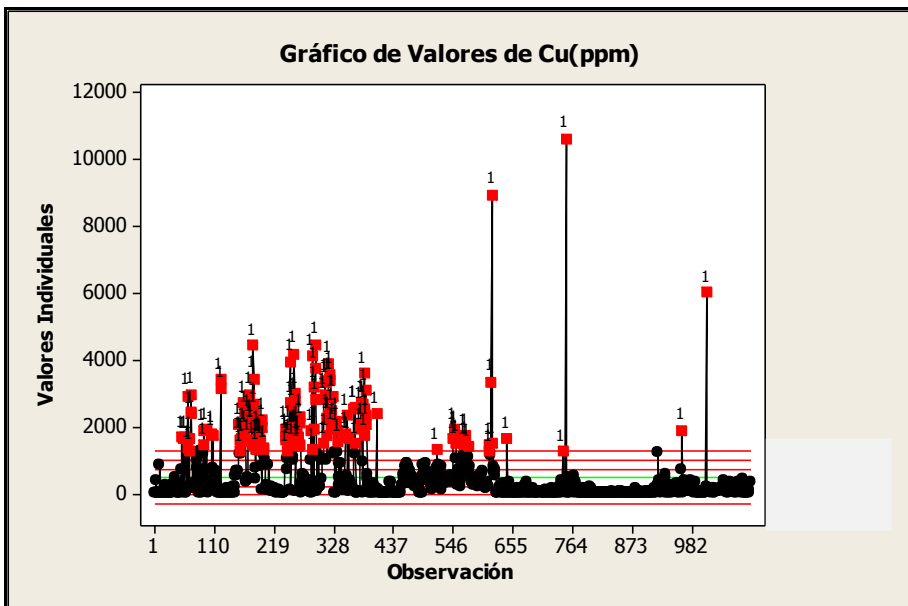


Figura 4.9, Gráfico de valores del Cu(ppm), se observa los valores muy altos.

Para las leyes de Cu se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.10.

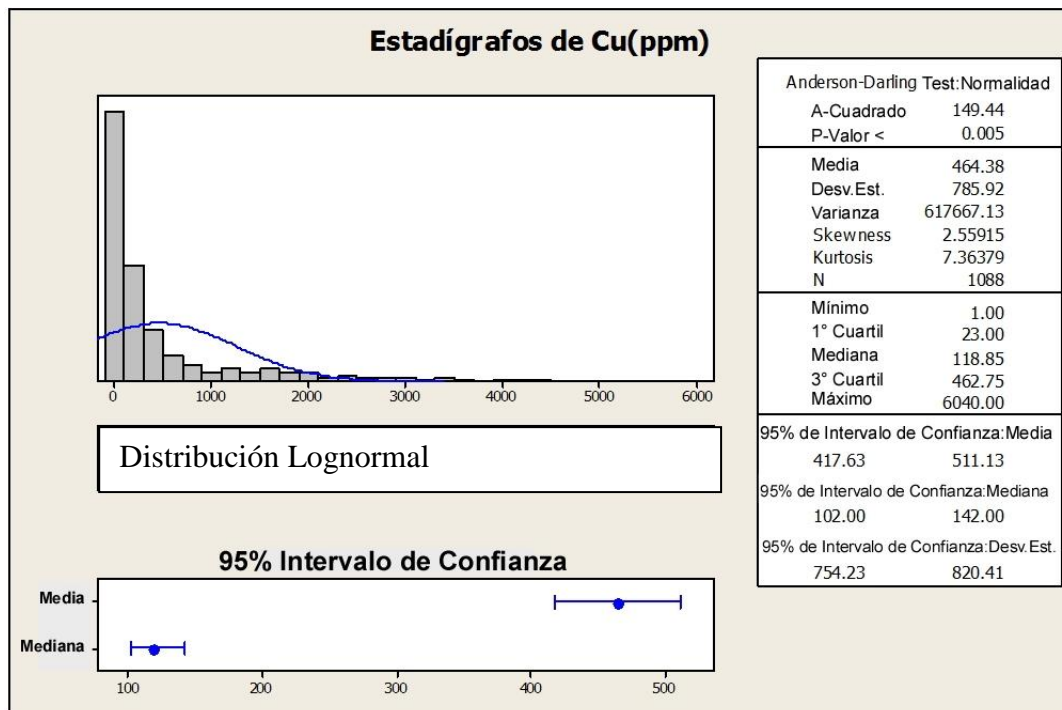


Figura 4.10, Estadígrafos del Cu(ppm).

Como se observa el Cu no tiene una distribución normal y se procederá a normalizar los datos de las leyes de Cu, para esto se les sacó el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que: $TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$

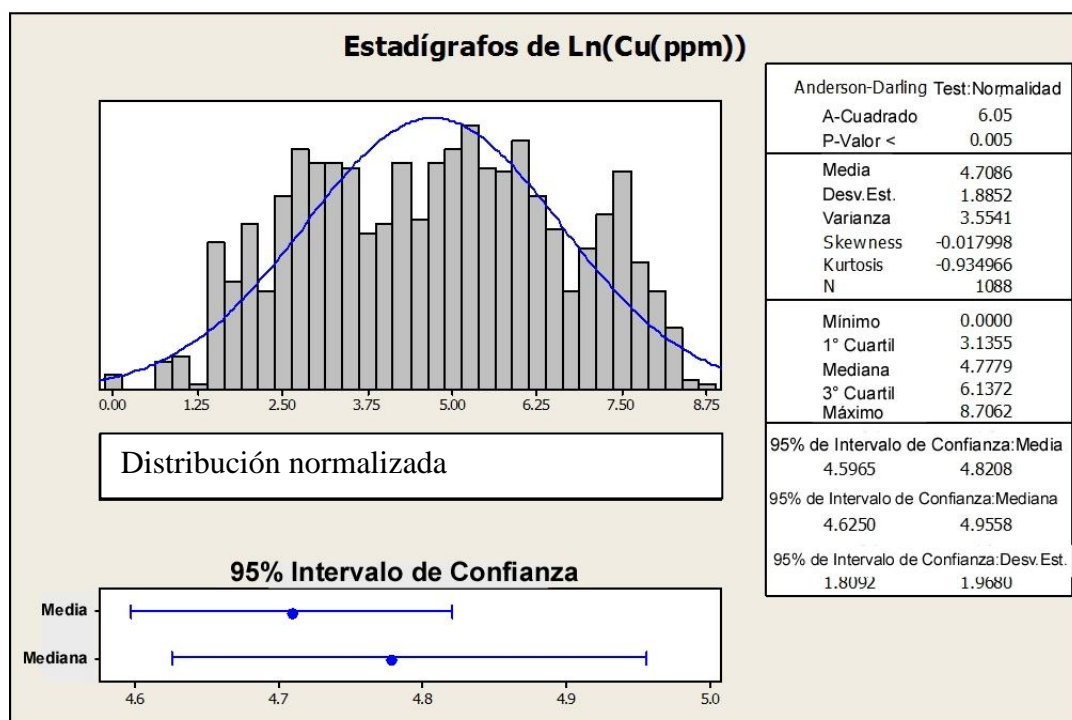


Figura 4.11, Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Cu(ppm))	Desv. Est. Ln(Cu(ppm))	TH (Ln(Cu(ppm)))	BG Cu(ppm)	TH Cu(ppm)
Cu	4.709	1.885	8.479	110.94	4812.63

Para la población de rocas volcánicas se tiene un "valor de fondo" (BG) de 110.94 ppm de Cu y un "umbral" (TH) de 4812.63 ppm de Cu.

b) Población de Rocas Porfíricas

Esta población se encuentra conformada por rocas intrusivas porfíricas, tales como el Pórfido Cantera (Pórfido C1), el Pórfido Limón (Pórfido L1), el Pórfido La Garrucha (Pórfido G1) y otros cuerpos porfíricos.

En esta población se tiene en total 204 muestras que representan el 14.79% del total de muestras de roca, las muestras se analizaron por 34 elementos teniendo en total 6936 valores geoquímicos de los cuales, al igual que la población anterior solo se trataron los correspondientes a los elementos Au y Cu, por ser los de interés económico.

Entre los elementos químicos de esta población se observa correlación, tal como se muestra en el dendograma de la figura 4.12, se tiene correlación entre Au/Cu, además otros elementos que se correlacionan son: Pb/Sb/Ag y Na/Sr.

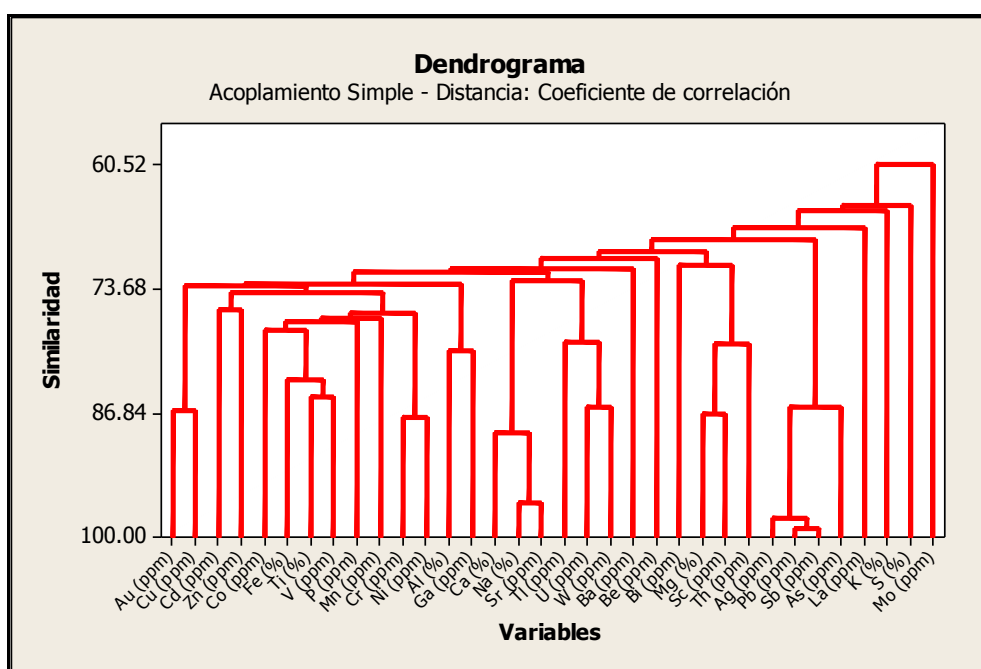


Figura 4.12, Dendrograma de los 34 elementos analizados. Se observa correlación entre: Au/Cu, Pb/Sb/Ag y Na/Sr.

Caso del Au

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, para el caso de los valores que se encontraban por debajo del límite de detección (0.005ppm) se los reemplazo por la mitad del límite de detección (0.0025ppm) y se los considero en el tratamiento estadístico. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.13, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, presencia de vetillas de Cuarzo, Calcita y/o sulfuros, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores altos, en conclusión estos valores son altos **no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico.

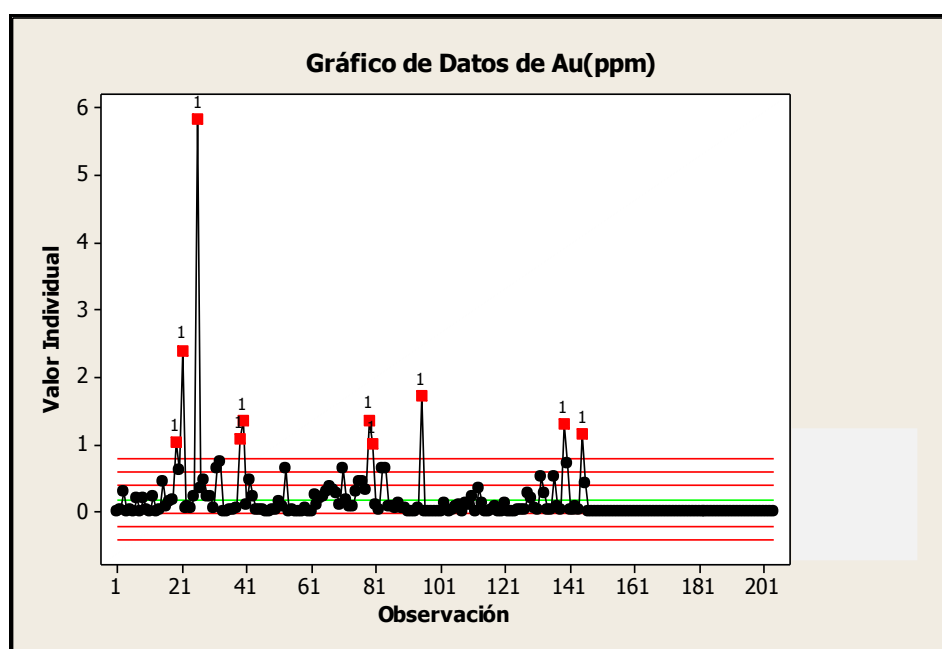


Figura 4.13, Gráfico de valores del Au(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Au se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.14.

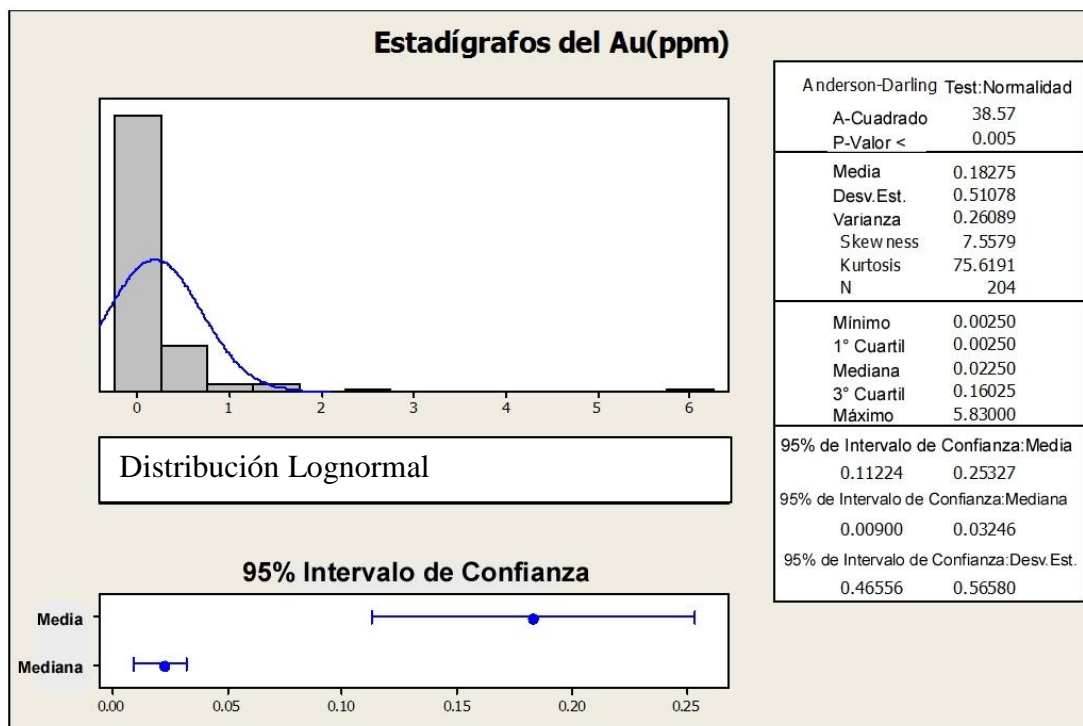


Figura 4.14, Estadígrafos del Au(ppm).

Como se observa el Au no tiene una distribución normal, por lo cual se procedió a normalizar los datos de las leyes de Au, para esto se multiplico las leyes por 1000 y se les saco el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que: $TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$

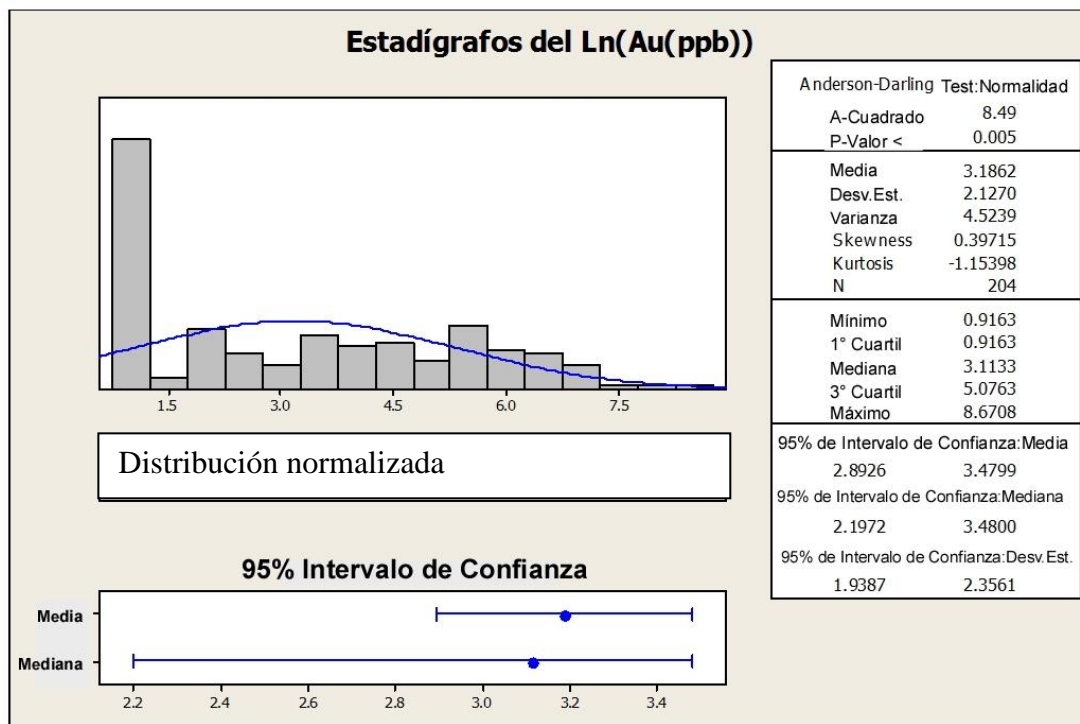


Figura 4.15, Estadígrafos del Ln(Au(ppb)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Au(ppb))	Desv. Est. Ln(Au(ppb))	TH (Ln(Au(ppb)))	BG Au(ppm)	TH Au(ppm)
Au	3.186	2.127	7.02	0.02	1.70

Para la población de rocas porfíricas se tiene un "valor de fondo" (BG) de 0.02 ppm de Au y un "umbral" (TH) de 1.70ppm de Au.

Caso del Cu

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, en este caso no se encontró ningún valor por debajo del límite de detección. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.16, donde se determinaron dichos valores muy altos, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores altos, en conclusión estos valores son altos **no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico.

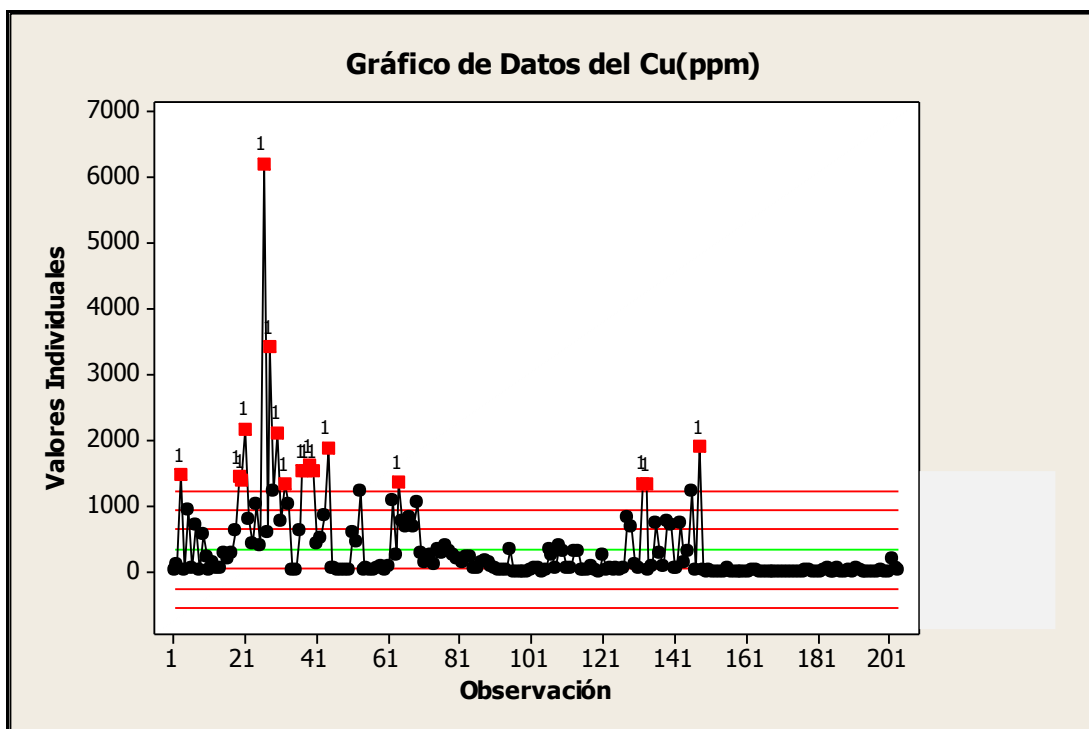


Figura 4.16, Gráfico de valores del Cu(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Cu se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.17.

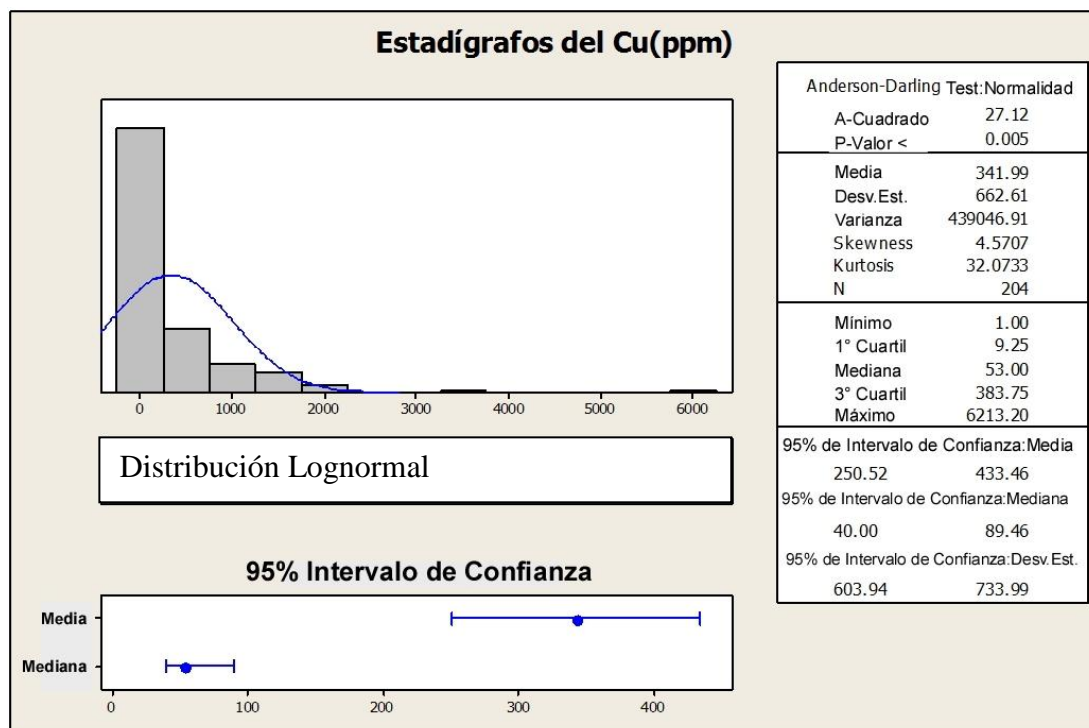


Figura 4.17, Estadígrafos del Cu(ppm).

Como se observa el Cu no tiene una distribución normal, por lo cual se procederá a normalizar los datos de las leyes de Cu, para esto se les sacó el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), como se sabe:

$$TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$$

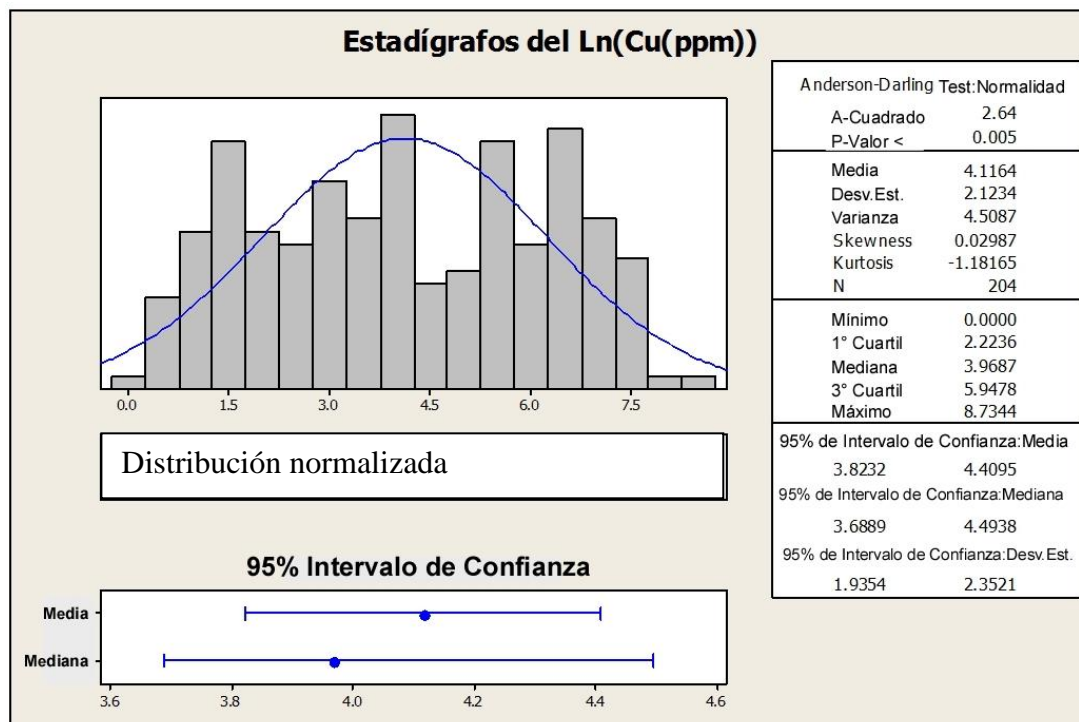


Figura 4.18, Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Cu(ppm))	Desv. Est. Ln(Cu(ppm))	TH (Ln(Cu(ppm)))	BG Cu(ppm)	TH Cu(ppm)
Cu	4.116	2.123	8.479	61.31	4281.25

Para la población de rocas porfíricas se tiene un "valor de fondo" (BG) de 61.31 ppm de Cu y un "umbral" (TH) de 4281.25ppm de Cu.

c) Población de Brechas

Esta población se encuentra conformada por todos los distintos tipos de brechas que afloran en la concesión.

En esta población se tiene en total 87 muestras que representan el 6.31% del total de muestras de roca, pero se retiraron 19 muestras de canales que se realizaron en una trinchera en la zona conocida como "Filo de Oro", estas muestras no se consideraron en el análisis estadístico ya que son sumamente selectivas en la mineralización y corresponden a un área pequeña, y llevaría a exagerar la anomalía en esa zona, además se cuenta con muestras de rockchip de la zona, las que definieron en primera instancia dicha anomalía, por lo cual solo se consideraran 68 muestras de brechas y se analizaron por 34 elementos teniendo en total 2312 valores geoquímicos de los cuales, al igual que la población anterior solo se trataron los correspondientes a los elementos Au y Cu, por ser los de interés económico.

Entre los elementos químicos en esta población se observa correlación, tal como se muestra en el dendograma de la figura 4.19, se observa una cierta correlación entre Au/Cu y el W/Mn.

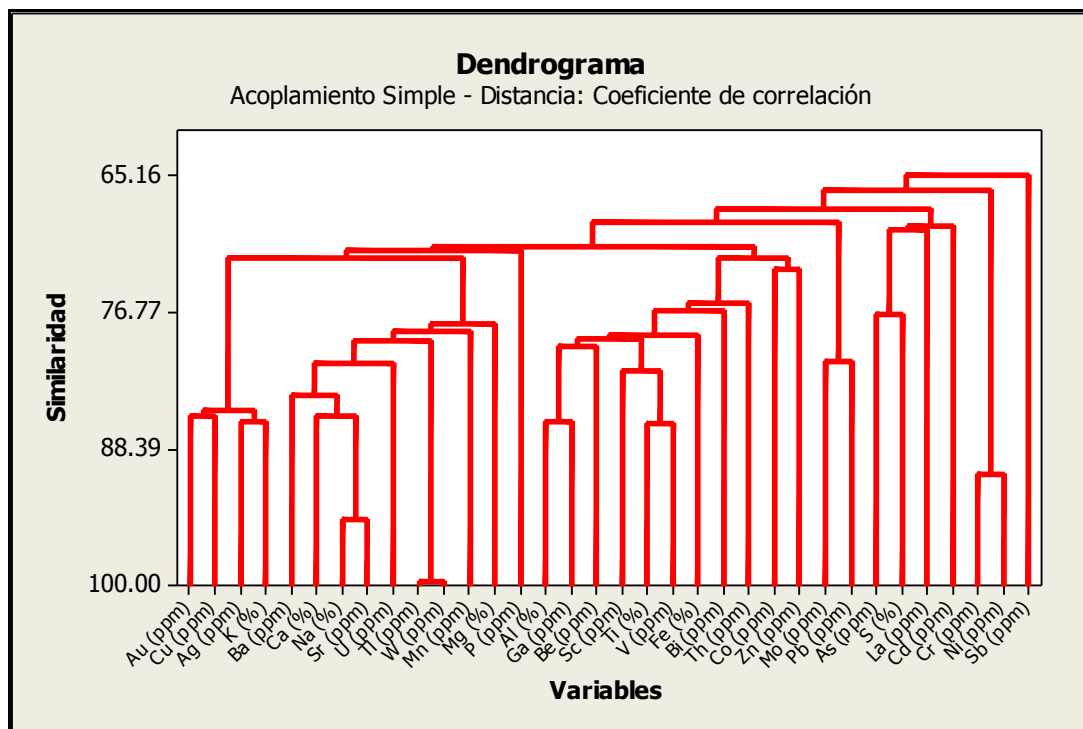


Figura 4.19, Dendrograma de los 34 elementos analizados. Se observa correlación entre: Au/Cu y W/Mn.

Caso del Au

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, para el caso de los valores que se encontraban por debajo del límite de detección (0.005ppm) se los reemplazo por la mitad del límite de detección (0.0025ppm) y se los considero en el tratamiento estadístico. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.20, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, presencia de vetillas de Cuarzo bandeado, Calcita y/o sulfuros, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores altos, en

conclusión estos valores son altos **no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico.

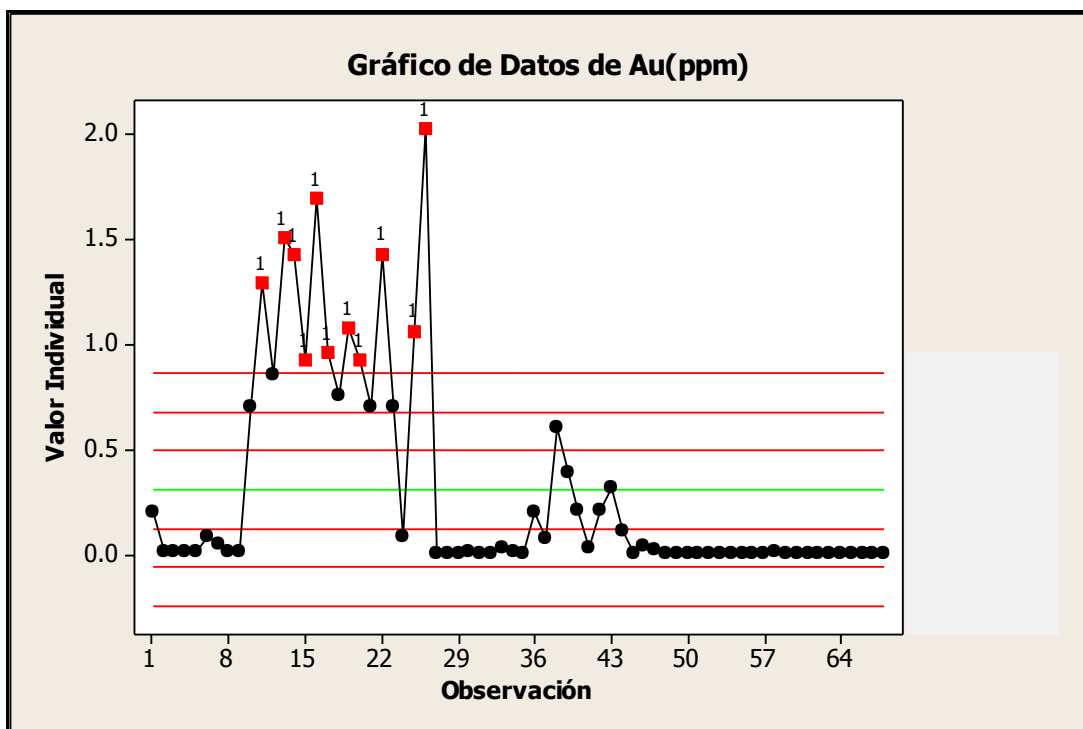


Figura 4.20, Gráfico de valores del Au(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Au se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.21.

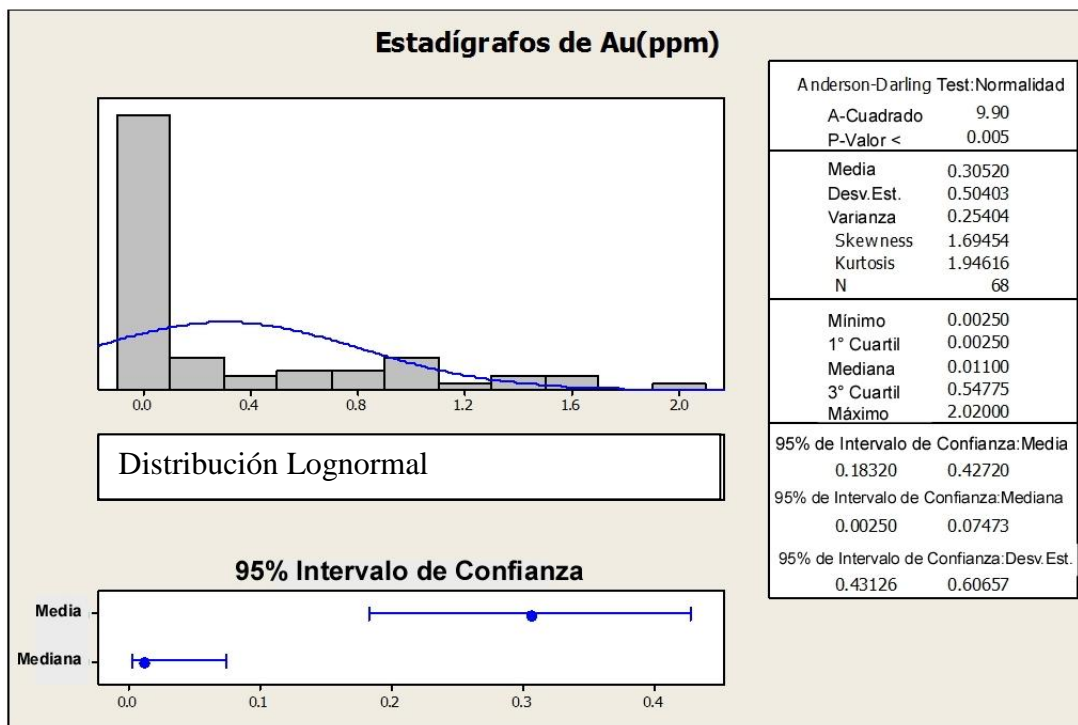


Figura 4.21, Estadígrafos del Au(ppm).

Como se observa el Au no tiene una distribución normal, por lo cual se procedió a normalizar los datos de las leyes de Au, para esto se multiplico las leyes por 1000 y se les saco el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que: $TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$

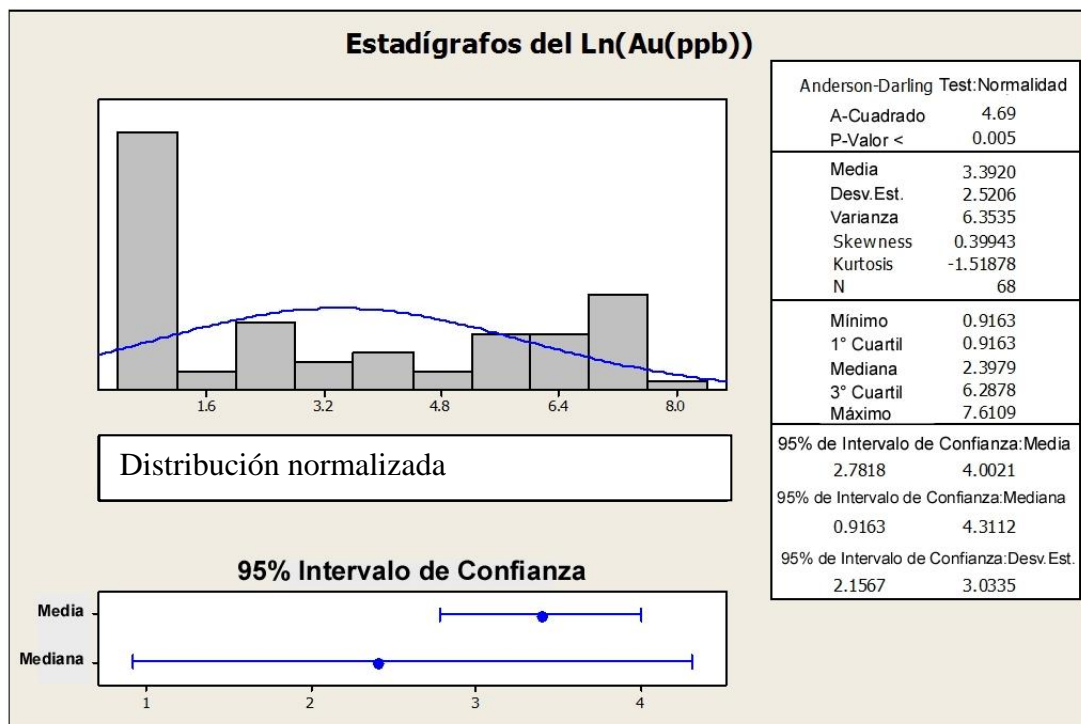


Figura 4.22, Estadígrafos del Ln(Au(ppb)).

Como se observa en el gráfico 4.22, no se ha podido normalizar la población de leyes de oro, sigue siendo errática, esto se debe a la naturaleza de la población, ya que por tratarse de brechas se tiene una alta erraticidad y en esta población están agrupadas todos los tipos de brechas, ya que si se separaban por cada tipo de brecha no se hubiese tenido la cantidad mínima de muestras (40 muestras) en cada sub-población de brechas. Si se quisiera calcular el "umbral" TH de la manera usual se tendría serios problemas, como se muestra a continuación.

Se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Au(ppb))	Desv. Est. Ln(Au(ppb))	TH (Ln(Au(ppb)))	BG Au(ppm)	TH Au(ppm)
Au	3.392	2.521	8.434	0.03	4.60

Nótese que el "umbral" (TH), 4.60ppm, es mayor que el valor máximo de la población, 2.02ppm, por lo cual no se tendría anomalía alguna, por esta razón se procedió a calcular el "umbral" (TH) por medio de la frecuencia acumulada, se considero como "umbral" (TH) a los valores mayores al 97.5%.

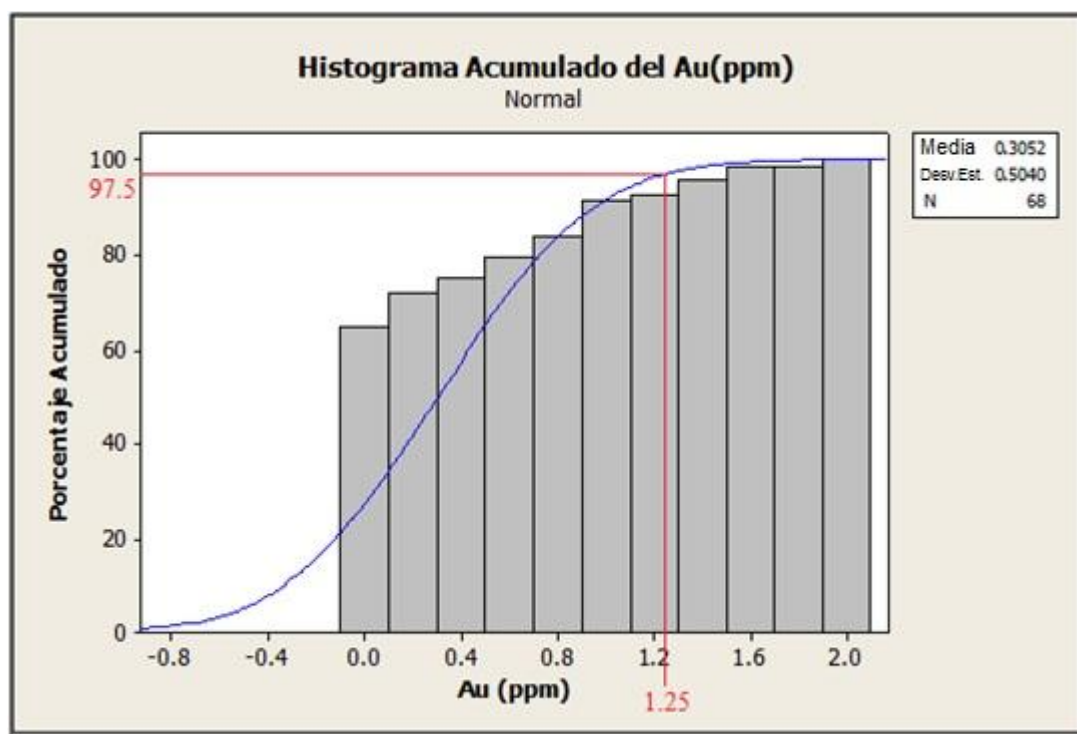


Figura 4.23, Histograma Acumulado del Au(ppm).

Finalmente se tiene para la población de brechas un "umbral" (TH) de 1.25ppm de Au.

Caso del Cu

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, en este caso no se encontró ningún valor por debajo del límite de detección. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.24, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, incluso las muestras correspondientes a los valores más altos fueron re-analizadas por el laboratorio y además se mandaron muestras de duplicados de campo para corroborar estos valores altos, en conclusión estos valores son altos **no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico.

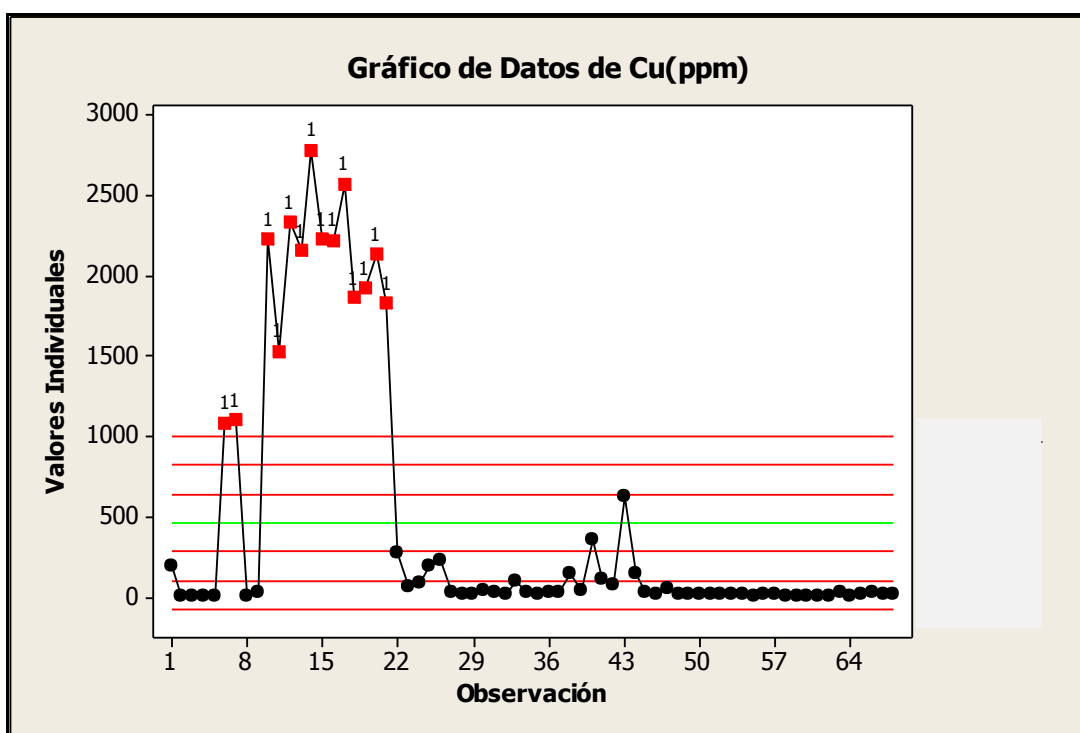


Figura 4.24, Gráfico de valores del Cu(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Cu se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.25.

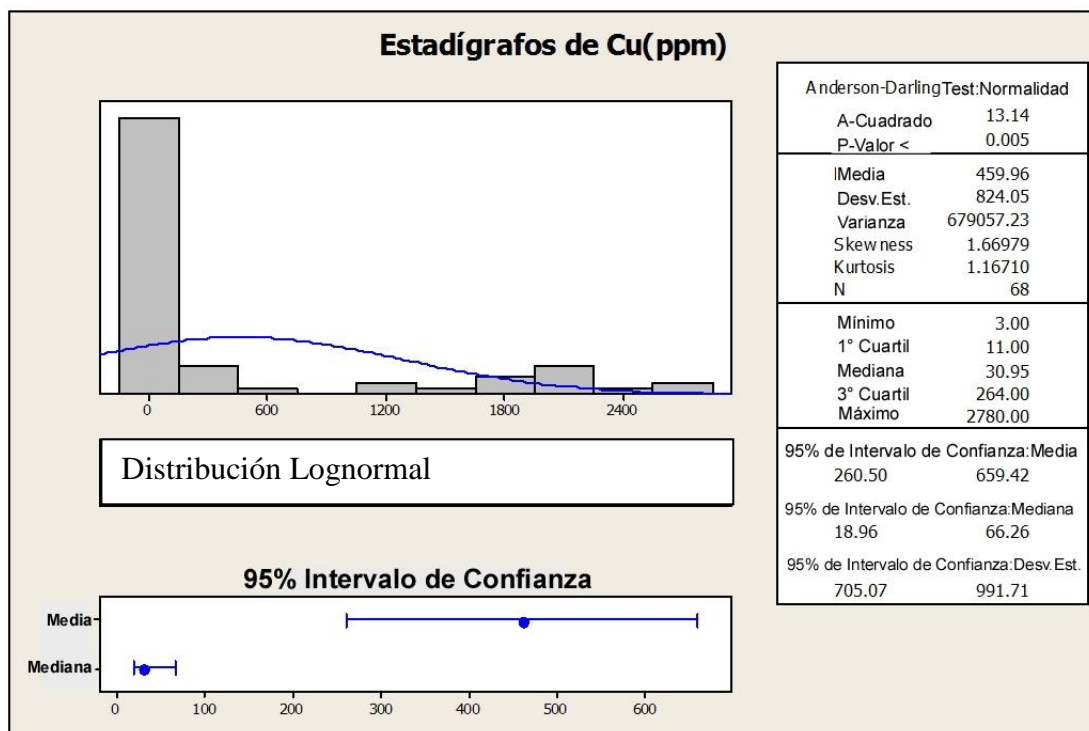


Figura 4.25, Estadígrafos del Cu(ppm).

Como se observa el Cu no tiene una distribución normal, por lo cual se procederá a normalizar los datos de las leyes de Cu, para esto se les sacó el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que:

$$TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$$

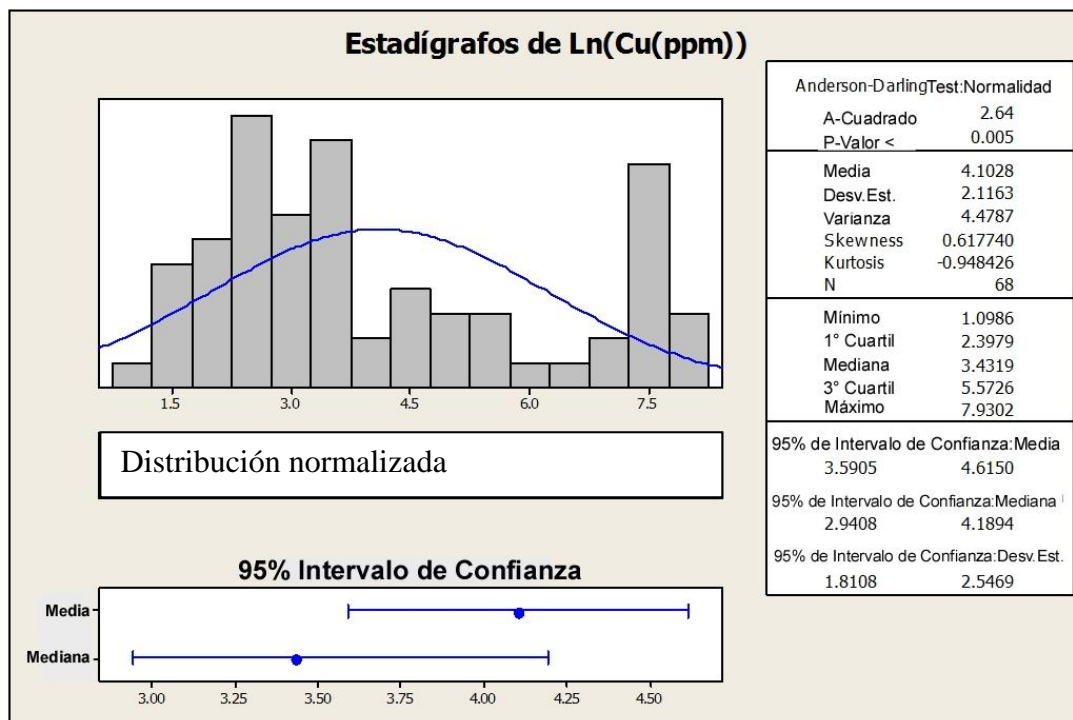


Figura 4.26, Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)).

Como se observa en la figura 4.26, no se ha podido normalizar la población de leyes de Cu, sigue siendo errática, inclusive se pueden distinguir por lo menos dos sub-poblaciones, esto debido a la naturaleza errática de la población (en esta población están agrupadas todos los tipos de brechas), ya que si se separaban por cada tipo de brecha no se hubiese tenido la cantidad mínima de muestras (40 muestras) en cada sub-población de brechas. Si se quisiera calcular el "umbral" (TH) de la manera usual se tendría el mismo problema que el caso anterior del Au, como se muestra a continuación.

Se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Cu(ppm))	Desv. Est. Ln(Cu(ppm))	TH (Ln(Cu(ppm)))	BG Cu(ppm)	TH Cu(ppm)
Cu	4.103	2.116	8.479	60.52	4167.20

Nótese que el "umbral" (TH), 4167.20ppm, es mayor que el valor máximo de la población, 2780ppm, por lo cual no se tendría anomalía alguna, por esta razón se procedió a calcular el "umbral" (TH) por medio de la frecuencia acumulada, se considero como "umbral" (TH) a los valores mayores al 97.5%.

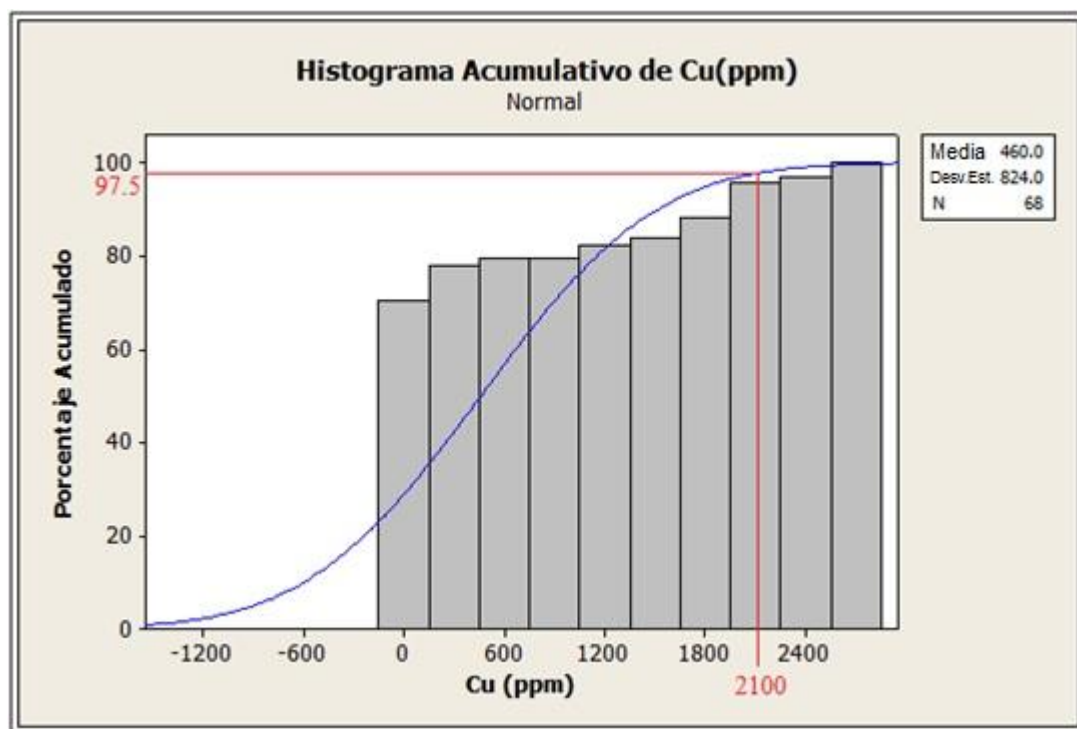


Figura 4.27, Histograma Acumulativo de Cu(ppm).

Finalmente se tiene, para la población de brechas un "umbral" (TH) de 2100ppm de Cu.

4.2.2 Tratamiento Estadístico de Muestras de Suelo:

Durante la presente campaña se recolectaron 20 muestras de suelos pero al juntarlas con las muestras de la campaña de AngloGold Ashanti, 368 muestras, se tiene un total de 388 muestras de suelo que se analizaron por 34 elementos.

Se realizó el tratamiento estadístico de los elementos químicos Au y Cu, por ser los de interés económico.

Para el procesamiento estadístico se necesitó la ayuda de los programas de Microsoft Excel y Minitab 16.0, para la determinación de los diferentes parámetros estadísticos y también para la elaboración de los diferentes gráficos estadísticos que se presentan a continuación. Entre los elementos químicos en esta población no hay mucha correlación, tal como se observa en el dendograma de la figura 4.28, se observa solo correlación entre: Au/Ag/Bi, el Cu no tiene buena correlación con ningún elemento.

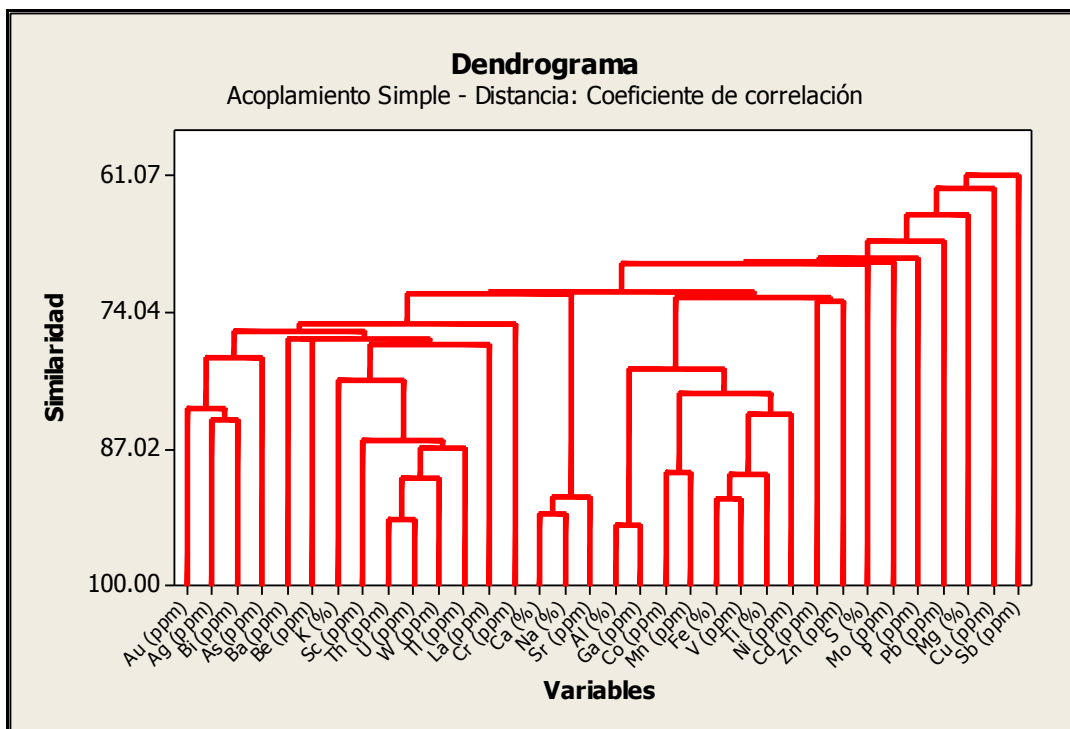


Figura 4.28, Dendrograma de los 34 elementos químicos analizados en las muestras de suelo, se observa solo correlación entre: Au/Ag/Bi, el Cu no tiene buena correlación con ningún elemento.

Caso del Au

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, para el caso de los valores que se encontraban por debajo del límite de detección (0.005ppm) se los reemplazo por la mitad del límite de detección (0.0025ppm) y se los considero en el tratamiento estadístico. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.29, donde se determinaron los valores muy altos, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, siendo estos valores **altos no erráticos** y se los considero en el tratamiento estadístico, tan solo se considero como alto errático

a un solo valor, que es una ley de 3.49ppm, ya que el valor es muy alto y podría enmascarar otras anomalías, se lo reemplazo por el *método del tercio menos un tercio*: (AE) por: $0.33+0.33*(AE-0.33)$, donde AE es el alto errático.

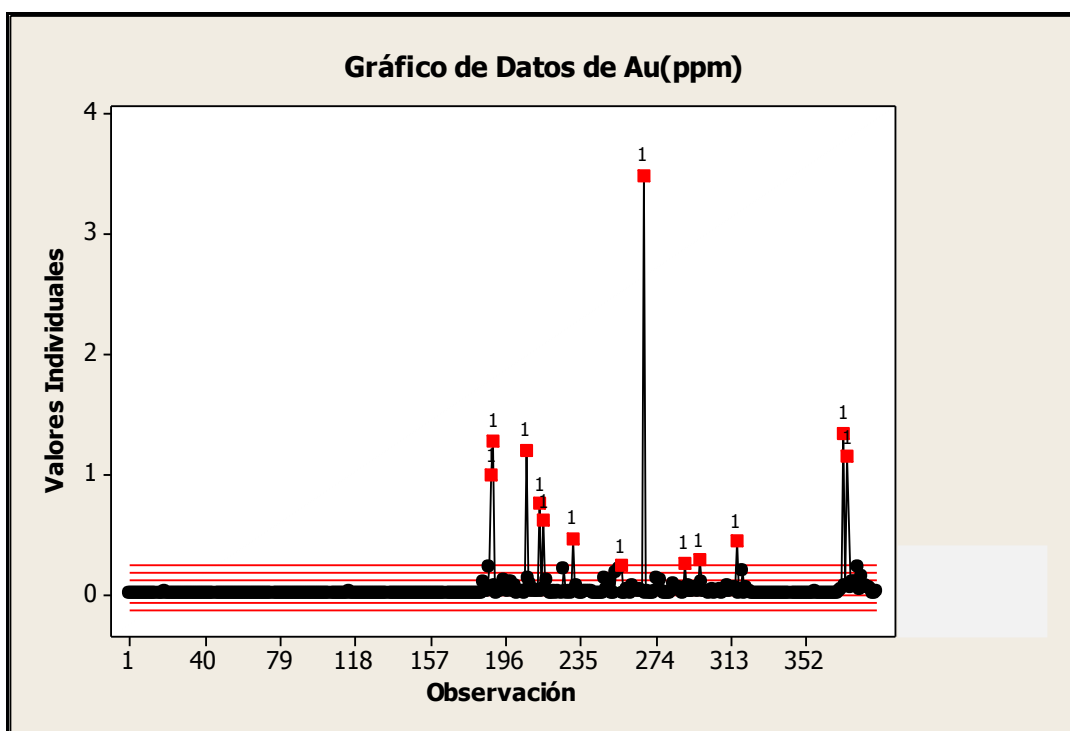


Figura 4.29, Gráfico de valores del Au(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Au se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.30.

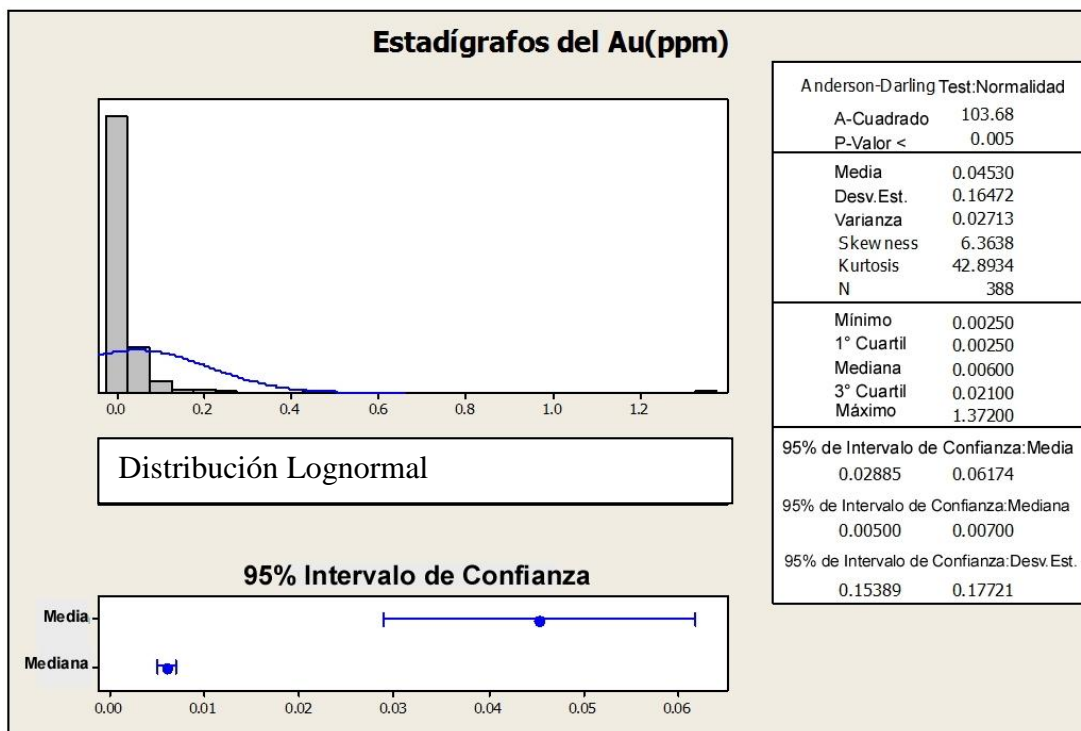


Figura 4.30, Estadígrafos del Au(ppm).

Como se observa el Au no tiene una distribución normal, por lo cual se procedió a normalizar los datos de las leyes de Au, para esto se multiplico las leyes por 1000 y se les saco el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que: $TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$

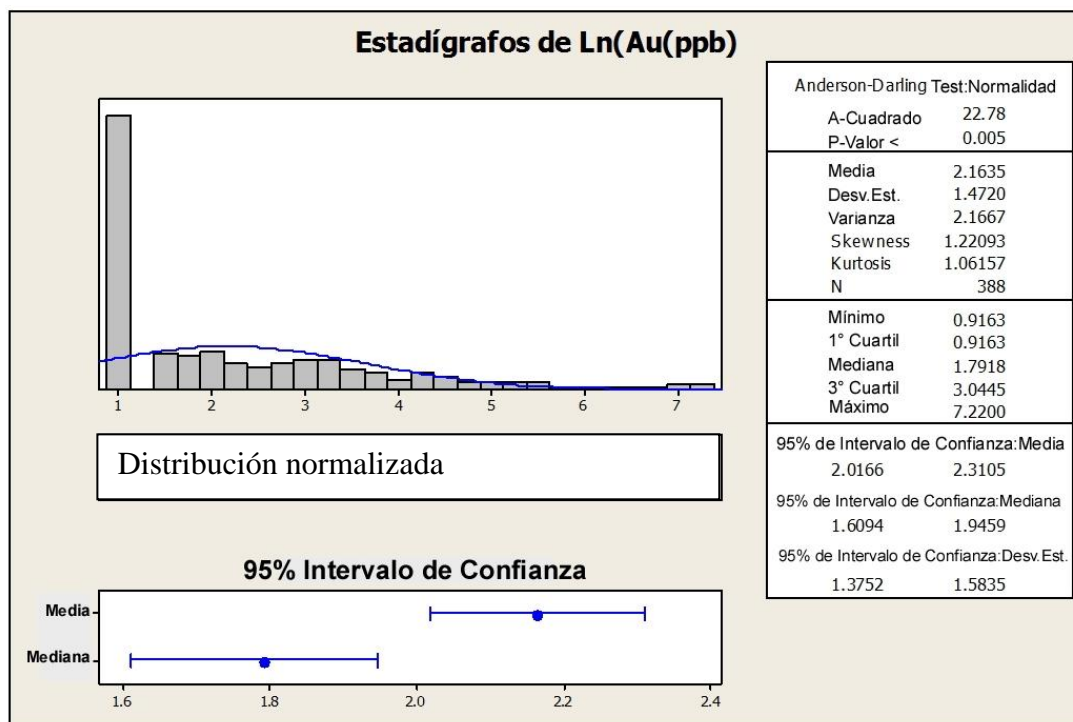


Figura 4.31, Estadígrafos del Ln(Au(ppb)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Au(ppb))	Desv. Est. Ln(Au(ppb))	TH (Ln(Au(ppb)))	BG Au(ppm)	TH Au(ppm)
Au	2.164	1.472	5.108	0.01	0.17

Para la población de suelos se tiene un "valor de fondo" (BG) de 0.01 ppm de Au y un "umbral" (TH) de 0.17ppm de Au.

Caso del Cu

Primero se analizaron los altos y bajos erráticos, en este caso no se encontró ningún valor por debajo del límite de detección. Para encontrar los valores altos se analizaron en un gráfico de valores, ver figura 4.32, donde se determinaron dichos valores muy altos, se analizaron estos valores muy altos y se determino que tienen un sustento geológico, por lo cual no se puede considerar como altos erráticos a la gran mayoría de ellos, tan solo se considero como alto errático a un valor, que tiene una ley de 3050ppm, ya que este valor es muy altos y podrían enmascarar otras anomalías, se lo reemplazo por el *método del tercio menos un tercio*: (AE) por: $0.33+0.33*(AE-0.33)$, donde AE es el alto errático.

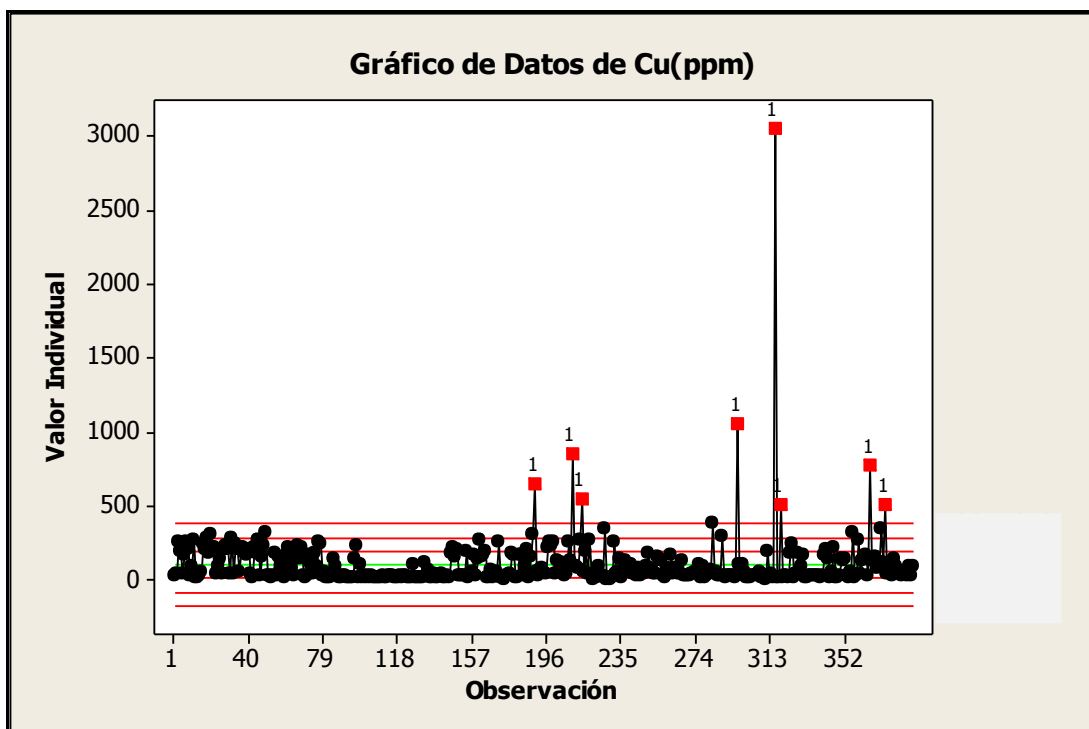


Figura 4.32, Gráfico de valores del Cu(ppm), se observa los valores altos.

Para las leyes de Cu se tiene los siguientes estadígrafos que se observan en la figura 4.33.

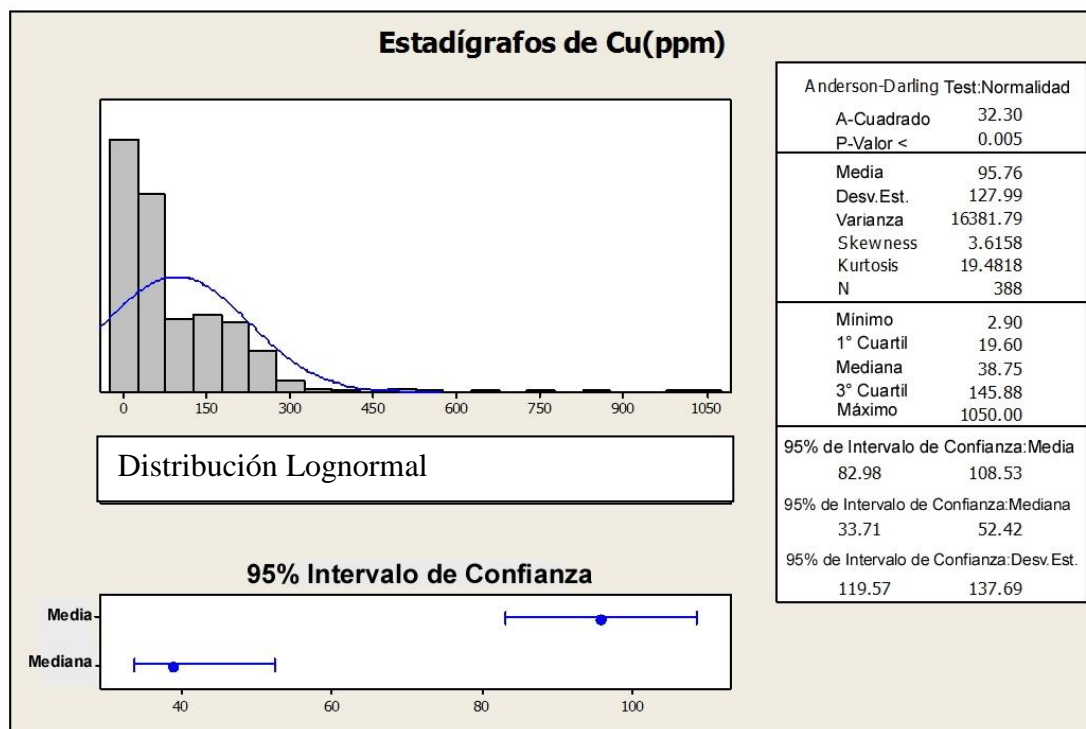


Figura 4.33, Estadígrafos del Cu(ppm).

Como se observa el Cu no tiene una distribución normal, por lo cual se procederá a normalizar los datos de las leyes de Cu, para esto se les sacó el logaritmo neperiano, luego a partir de los datos normalizados se calculó el "valor de fondo" (BG) y el "umbral" (TH), se sabe que:

$$TH = BG + 2x \text{ Desv. Est.}$$

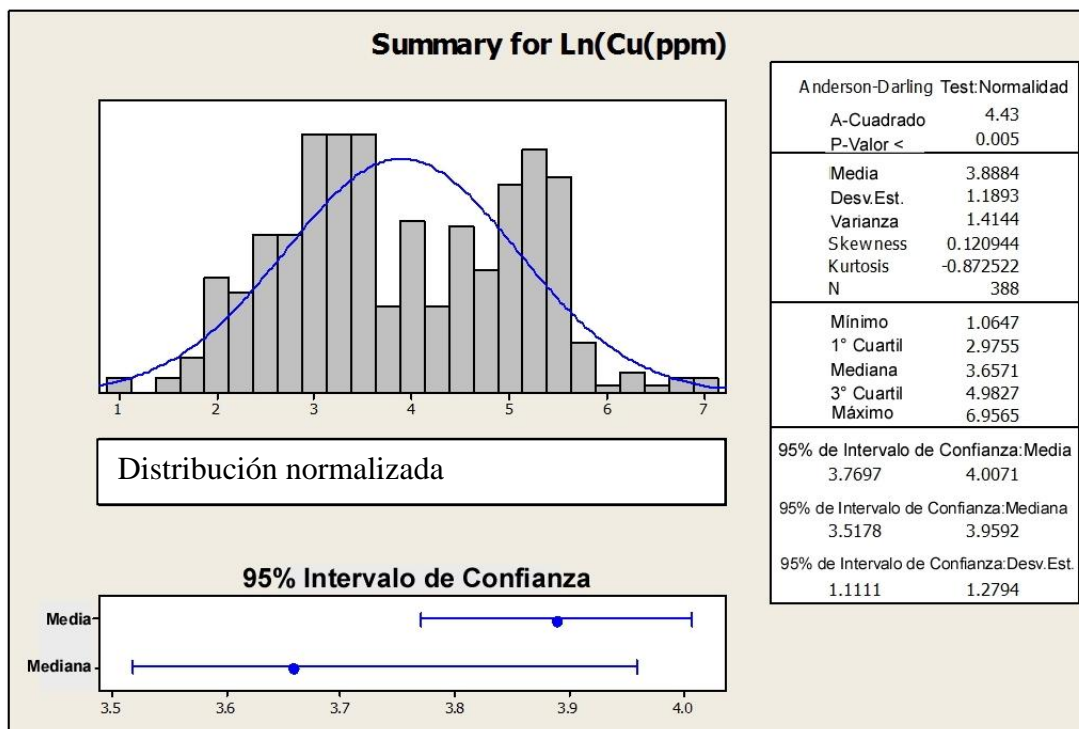


Figura 4.34, Estadígrafos del Ln(Cu(ppm)).

Luego, se calculó el BG y el TH:

	Media Ln(Cu(ppm))	Desv. Est. Ln(Cu(ppm))	TH (Ln(Cu(ppm)))	BG Cu(ppm)	TH Cu(ppm)
Cu	3.888	1.189	6.266	48.81	526.37

Para la población de suelos se tiene un "valor de fondo" (BG) de 48.81 ppm de Cu y un "umbral" (TH) de 526.37ppm de Cu.

4.3 Interpretación de los Datos Geoquímicos y Determinación de Anomalías

Las anomalías que se presentan en el área de estudio son el resultado de un muestreo sistemático de suelos y rocas, siendo estas anomalías, determinadas sobre la base de un procesamiento estadístico que fue realizado con un sustento geológico.

Las anomalías geoquímicas se interpretaron a partir del análisis de los "valores de fondo" (BG) y "umbrales" (TH) en cada ambiente. En la tabla 4.1, se puede observar los "valores de fondo" (BG) y "umbrales" (TH) para el Au y Cu, tanto para muestras de rocas, en cada una de sus poblaciones, y muestras de suelo.

Tabla 4.1, Valores del BG y TH en muestras de roca y suelo.

		Au (ppm)		Cu (ppm)	
		BG	TH	BG	TH
Rocas	Volcánicos	0.02	1.12	110.94	4812.63
	Pórfidos	0.02	1.7	61.31	4281.25
	Brechas	0.03	1.25	60.52	2100
Suelos		0.01	0.17	48.81	536.37

A raíz de estos valores se determinaron los valores de los rangos para la elaboración de los mapas geoquímicos, ver tabla 4.2, y de esta manera determinar las anomalías geoquímicas.

Para las muestras de suelos se elaboro un mapa geoquímico de isovalores, debido a que estas muestras contaban con una malla regular en los sectores muestreados, caso contrario para las muestras de roca que no contaban con una malla regular y se tuvo que elaborar un mapa geoquímico de "puntos" (dot map).

Tabla 4.2, Valores de los rangos de Au y Cu, para la elaboración de los mapas geoquímicos.

	Rangos (Auppm)		Rangos (Cuppm)		Color
Rocas	0	0.005	0	60	Azul
	0.005	0.02	60	110	Verde
	0.02	0.5	110	1000	Amarillo
	0.5	1.7	1000	4800	Rojo
	1.7	>1.7	4800	>4800	Lila
Suelos	0	0.005	0	50	Azul
	0.005	0.01	50	100	Verde
	0.01	0.17	100	536	Amarillo
	0.17	0.5	536	1000	Rojo
	0.5	>0.5	1000	>1000	Lila

A partir de los valores mostrados en la tabla 4.2, se elaboraron los mapas geoquímicos, tal como se muestran a continuación:

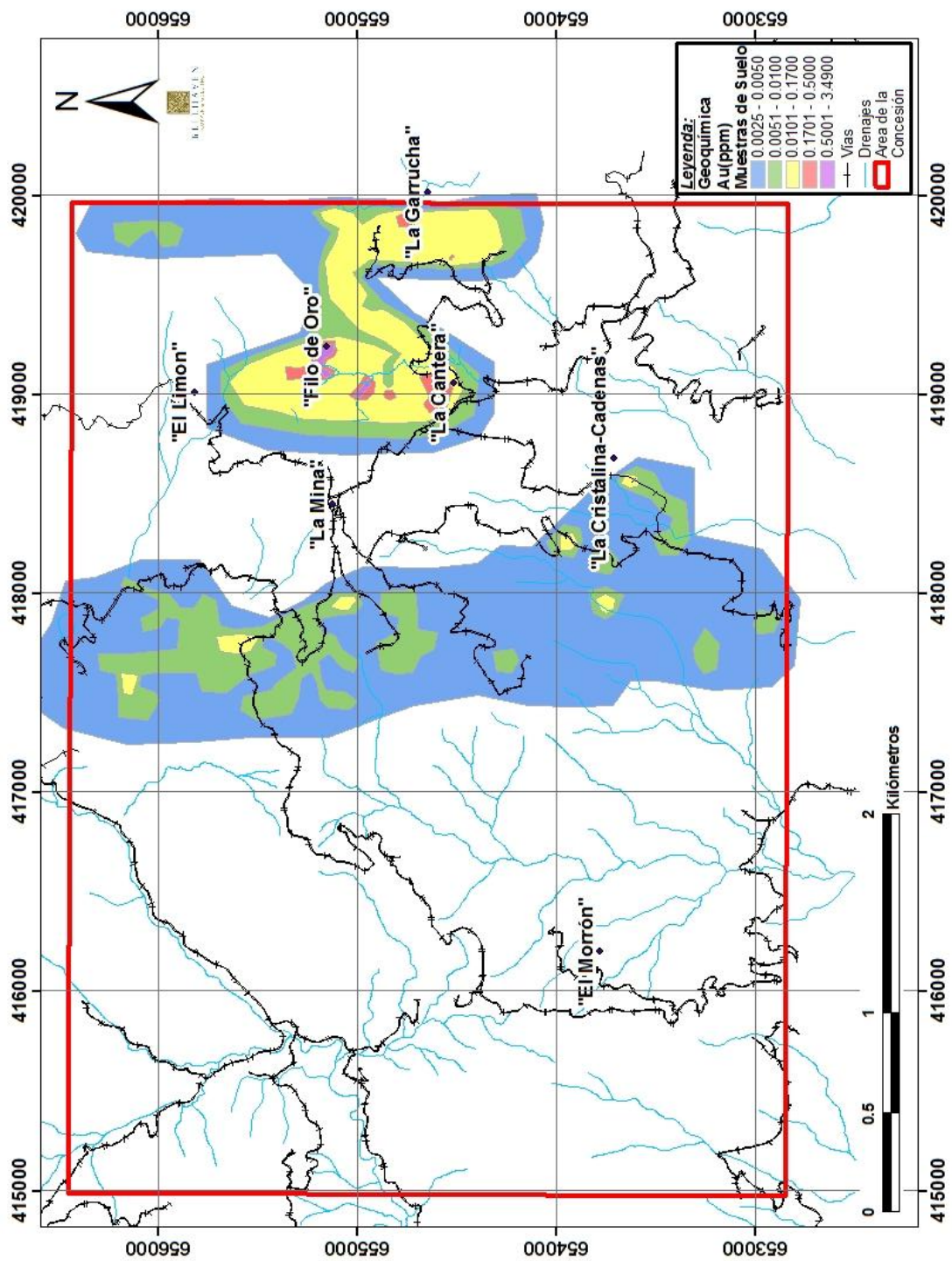


Figura 4.35, Mapa Geoquímico de Au de las muestras de suelo.

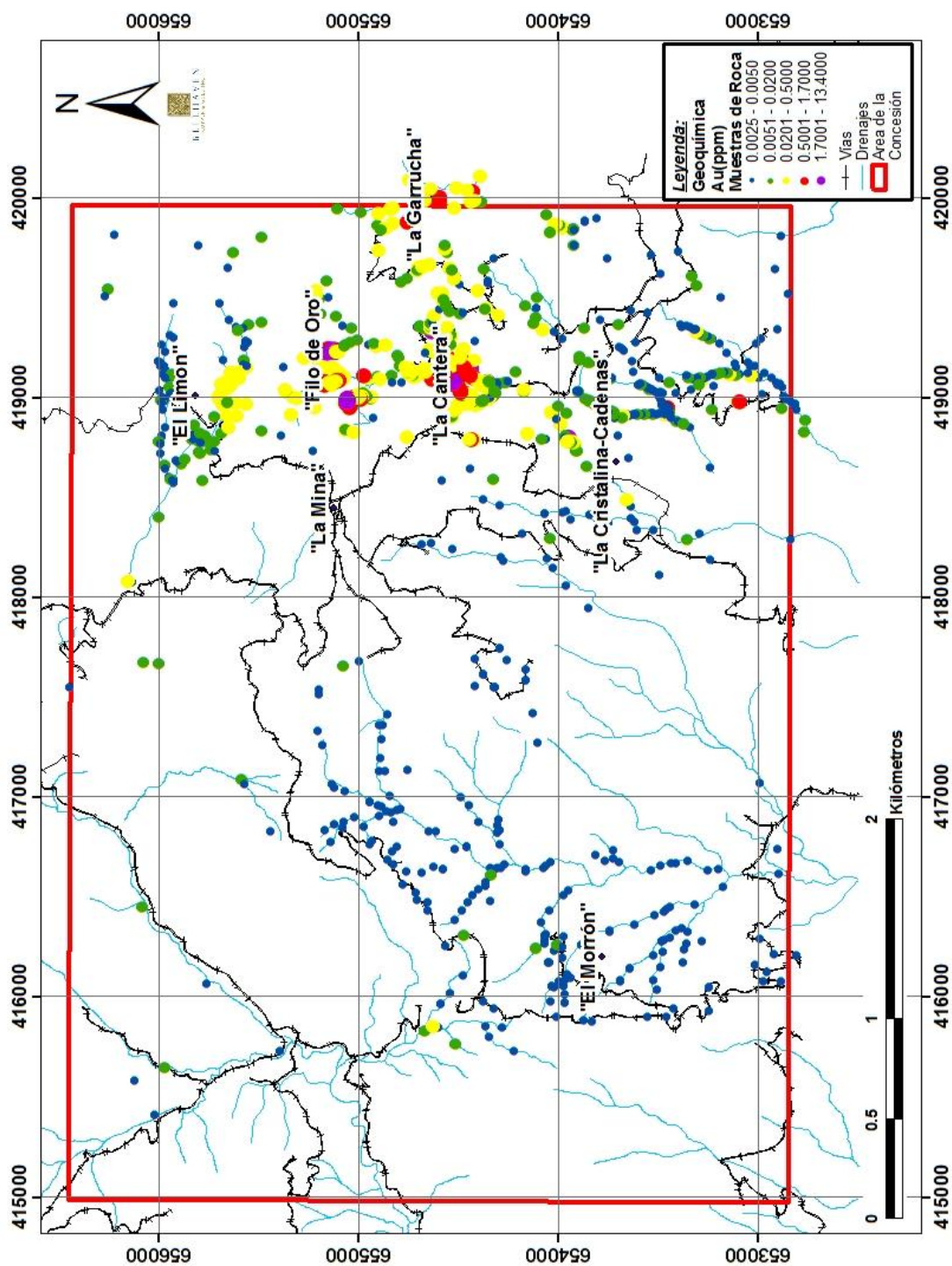


Figura 4.36, Mapa Geoquímico de Au de las muestras de roca.

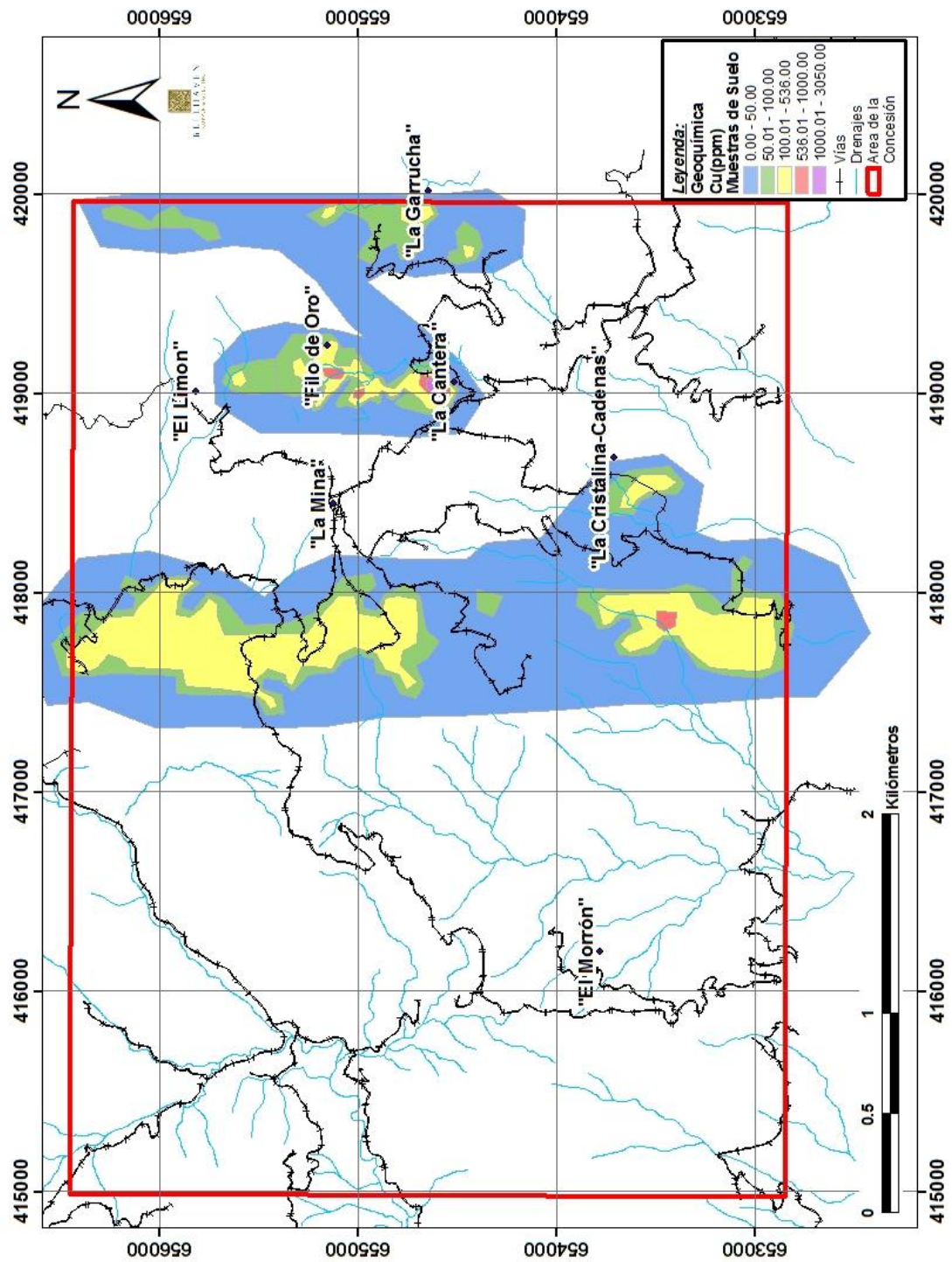


Figura 4.37, Mapa Geoquímico de Cu de las muestras de suelos.

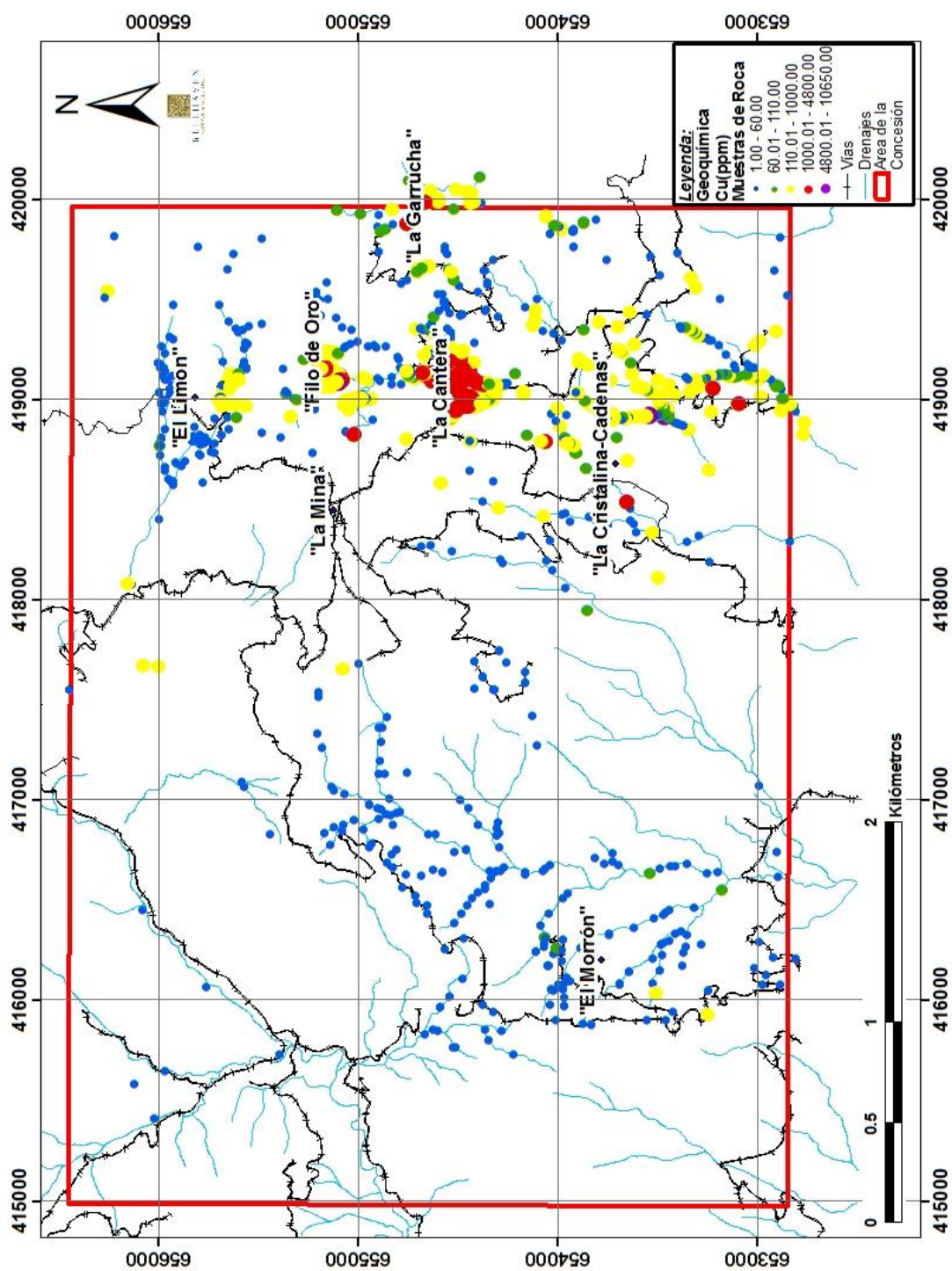


Figura 4.38, Mapa Geoquímico de Cu de las muestras de rocas.

Del análisis de los mapas geoquímicos mostrados anteriormente, se determinó 3 anomalías:

- Anomalía "La Garrucha".
- Anomalía "Filo de Oro".
- Anomalía "La Cristalina/Cadenas"

A continuación se describe cada una de las anomalías mencionadas:

Anomalía "La Garrucha"

Anomalía de Au/Cu, se encuentra en la parte central/oriental de la concesión, se trata de un afloramiento de roca porfirítica, Pórfido G1 y Pórfido G2, con alteración potásica (Magnetita-Feldespatos Potásicos), vetillas de Cuarzo-Sulfuros (Pirita-Calcopirita).

En esta anomalía se encontraron leyes de hasta 1.3 gr/Tn de Au y 0.24% de Cu.

Anomalía "Filo de Oro"

Anomalía de Au/Cu, se encuentra al norte del stock "La Cantera", se trata de un afloramiento de brecha intrusiva, Brecha L1, y de roca porfirítica, Pórfido L1, con alteración argílica y cortado por vetillas bandeadas de Cuarzo-Pirita (grano fino), con una orientación preferencial de E-W y buzamientos casi verticales.

En esta anomalía se encontraron leyes de hasta 5 gr/Tn de Au y 0.8% de Cu, además se realizó una trinchera de orientación casi N-S, donde se obtuvo valores alentadores de Au, alrededor de 50m de valores económicos de Au.

Anomalía "La Cristalina/Cadenas"

Anomalías de Au/Cu, son un grupo de 3 anomalías que se encuentra en la parte suroriental de la concesión, se trata de afloramientos de rocas volcánicas, toba de cristales y flujos lávicos, con alteración argílica y algunas vetillas de Calcita-Baritina-Cuarzo, de orientación preferencial E-W.

En esta anomalía se encontraron leyes hasta 13.4 gr/Tn de Au y 1% de Cu, pero estos valores son puntuales.

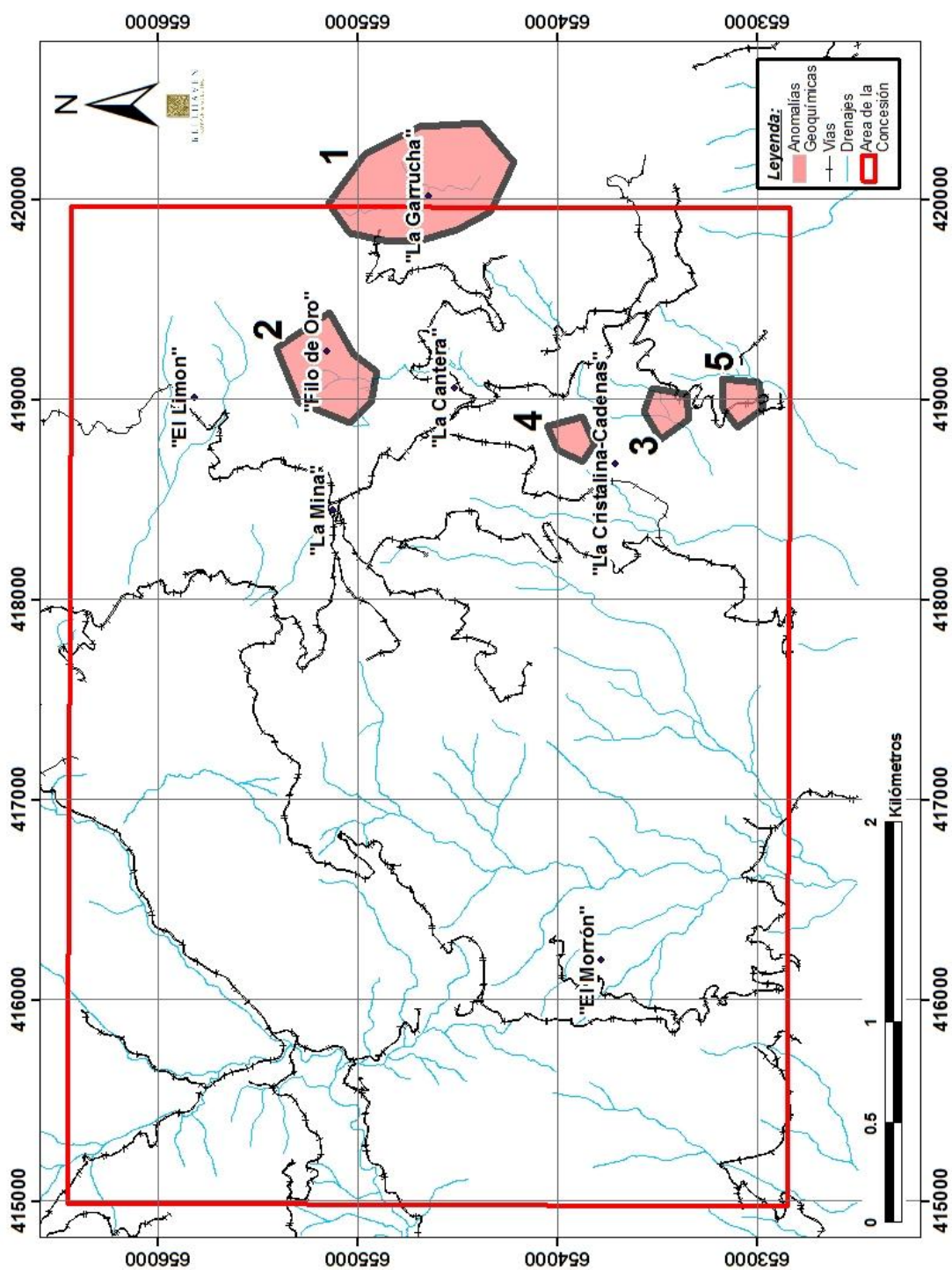


Figura 4.39, Mapa de Anomalías Geoquímicas, con su respectiva importancia. **Importancia 1:** Anomalía "La Garrucha", **Importancia 2:** Anomalía "Filo de Oro", **Importancia 3, 4 y 5:** Anomalía "La Cristalina/Cadenas".

4.4 Relación de las Anomalías Geoquímicas con la Geología y Geofísica

A continuación se analiza las relaciones entre las anomalías geoquímicas y la geología (litología y geología estructural) y la geofísica.

4.4.1 Relación: Geoquímica con Geofísica

Se realizó un levantamiento magnetométrico aéreo, ver figura 4.40, tratando de establecer núcleos porfiríticos con alteración potásica (Magnetita), se obtuvieron varias anomalías magnetométricas, pero no todas estaban relacionadas con intrusivos porfiríticos, la mayoría de las anomalías están relacionadas con flujos lávicos basálticos (fuertemente magnéticos) y algunas brechas con cemento de magnetita.

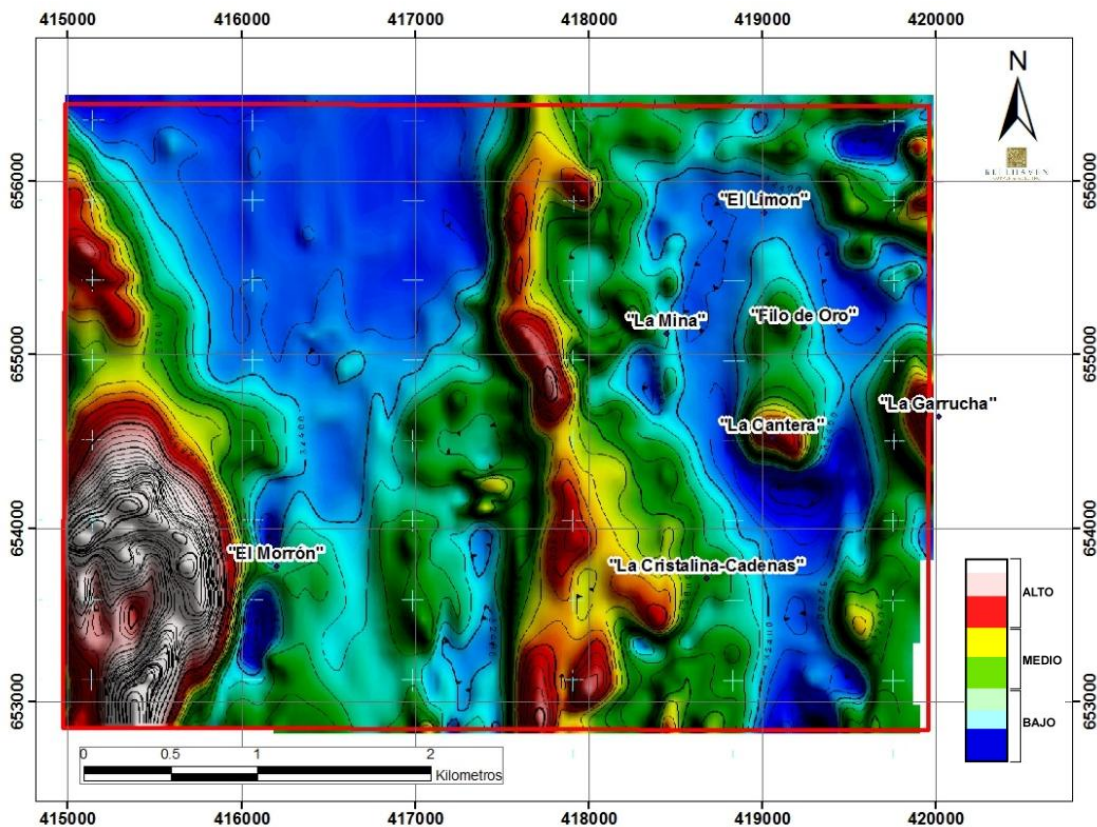


Figura 4.40, Mapa Magnetométrico de la concesión.

Pero como se observa en la figura 4.41, la anomalía "La Garrucha" es la más parecida geofísicamente al Pórfido de La Cantera, ambos caen en un alto magnetométrico, además la Anomalía "Filo de Oro", también se encuentra cerca de un ligero alto magnetométrico, caso contrario las anomalías de "La Cristalina/Cadenas" se encuentran en bajos magnetométricos, pero con un alto magnetométrico mediamente cercano, al oeste de las anomalías.

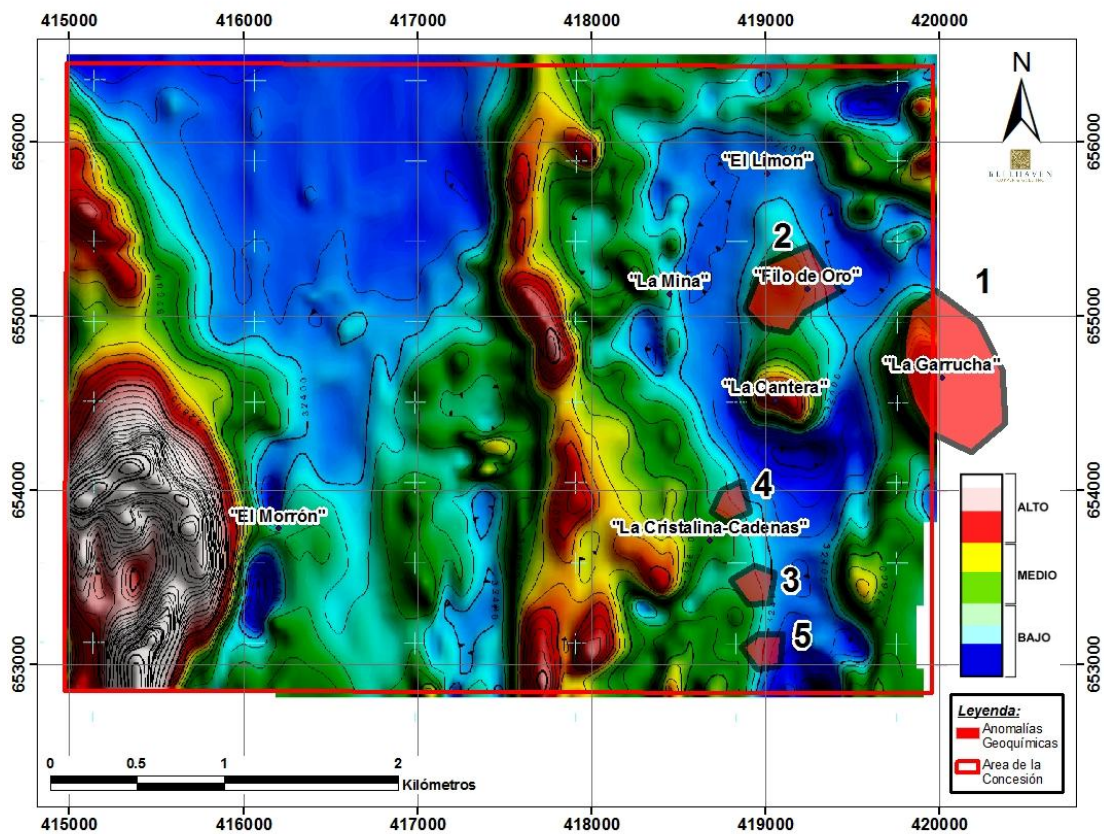


Figura 4.41, Mapa Magnetométrico con las Anomalías Geoquímicas.

4.4.2 Relación: Geoquímica con Litología/Mineralización

Las anomalías geoquímicas se encuentran en dos tipos de roca, intrusivos porfiríticos, como L1 y G1, y rocas volcánicas, tal como se observa en la figura 4.42. La Anomalía de "La Garrucha" se encuentra relacionada al intrusivo porfirítico G1, con alteración potásica rica en feldespato potásico-magnetita, vetillas de Cuarzo-Sulfuros (Pirita-Calcopirita), que tiene un estilo de mineralización tipo Pórfido de Au/Cu.

La Anomalía "Filo de Oro" se encuentra en el contacto entre el intrusivo porfirítico Pórfido L1, la brecha intrusiva Brecha L1 y tobas de cristales. El estilo de mineralización difiere con el del tipo Pórfido de Au/Cu, se tiene la roca argilizada con presencia de vetillas milimétricas-centimétricas bandeadas de Cuarzo-Pirita fina, de orientación preferencia E-W, por lo cual el estilo de mineralización se podría asemejar al de tipo epitermal.

Las anomalías de "La Cristalina/Cadenas" se encuentran relacionadas con rocas volcánicas, tobas y flujos lávicos, rocas argilizadas y con vetillas milimétricas de Cuarzo-Calcita-Baritina, con orientación preferencial E-W, por lo cual el estilo de mineralización se asemeja más al tipo epitermal.

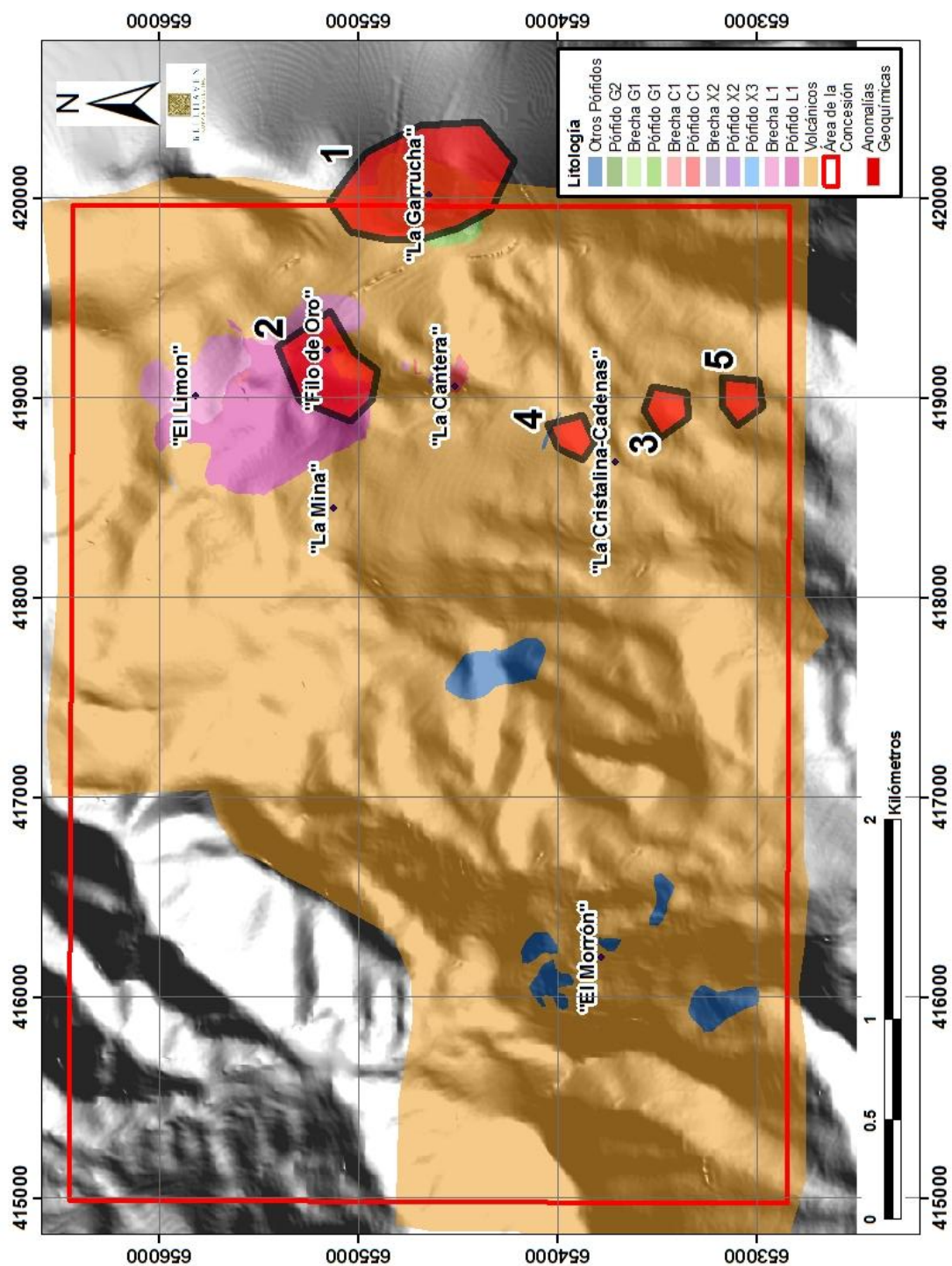


Figura 4.42, Mapa Litológico con las Anomalías Geoquímicas.

4.4.3 Relación Geoquímica con Geología Estructural

Tal como se observa en la figura 4.43, las anomalías geoquímicas se encuentran solo en la parte oriental de la falla central, además en la figura 4.44, se puede observar que los valores de las leyes altas de Au se encuentran alineados de manera N-S, a lo largo de la Falla Cantera. Las anomalías de "La Cristalina/Cadenas" se encuentran relacionadas a la estructura circular presente en esa área.

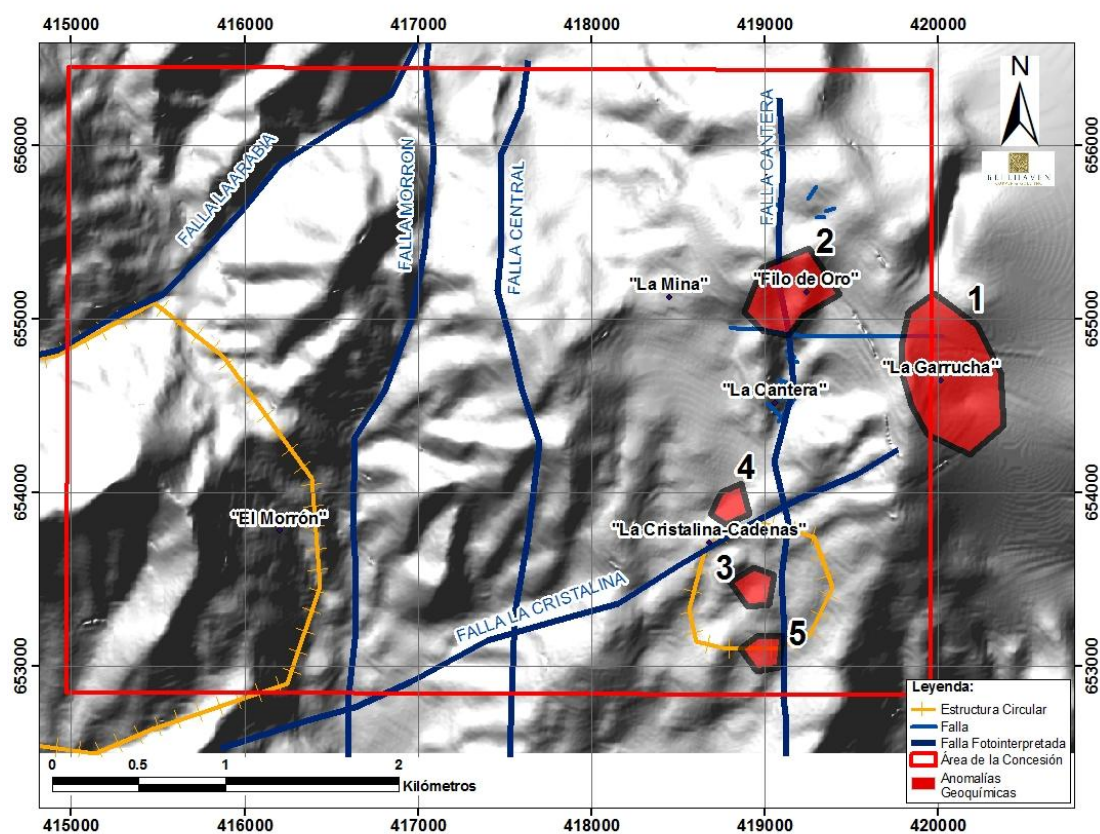


Figura 4.43, Mapa Estructural con las Anomalías Geoquímicas.

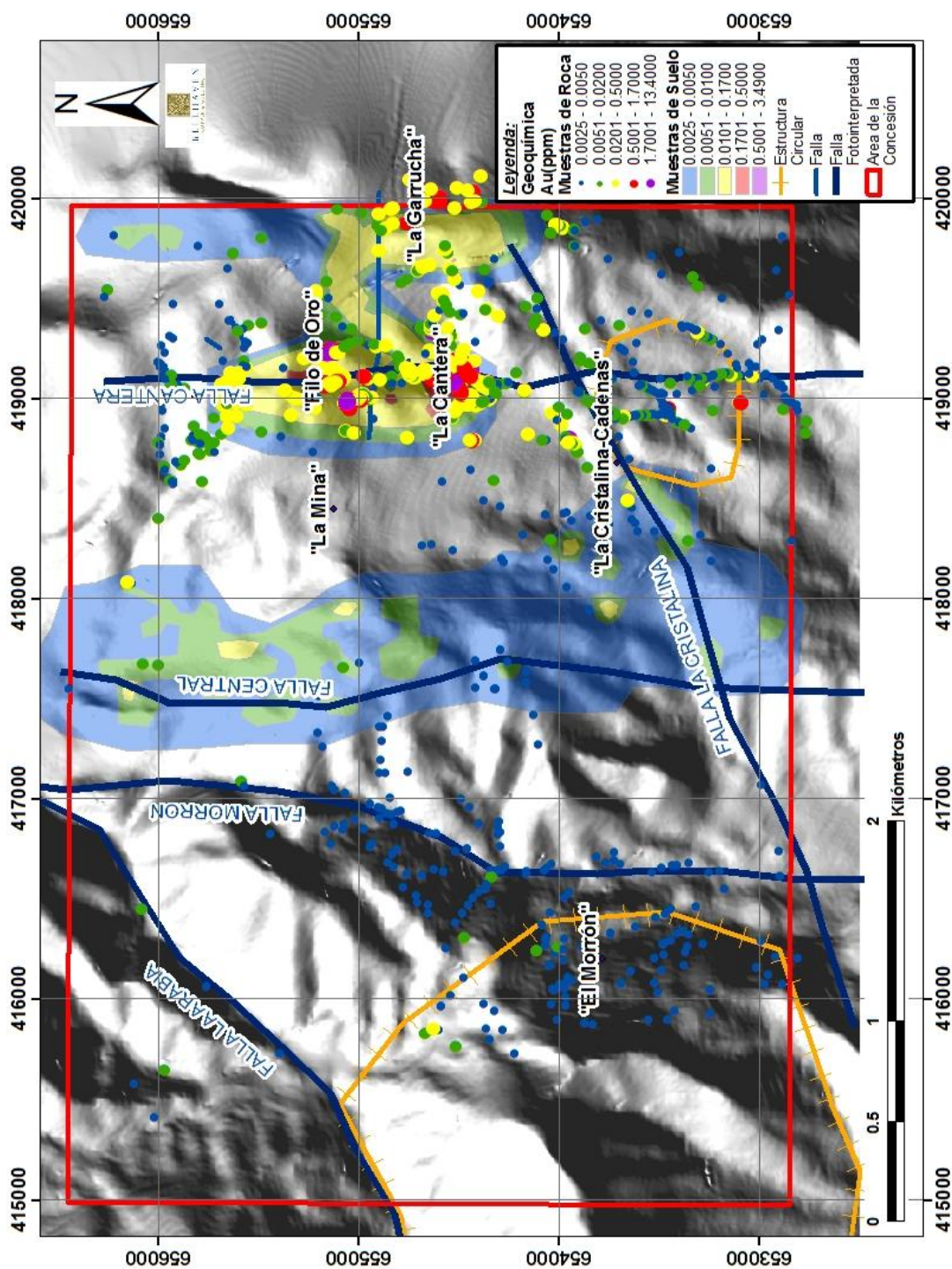


Figura 4.44, Mapa Estructural con los datos geoquímicos de Au(ppm).

CAPÍTULO V

CONTROLES DE MINERALIZACIÓN

La mineralización en la concesión está relacionada básicamente a los controles estructurales y litológicos que no han sido entendidos en su totalidad. A continuación se presentan las principales ideas interpretadas de las observaciones recogidas de campo y gabinete.

5.1 CONTROLES ESTRUCTURALES

Es el principal control de la mineralización, se observa una fuerte influencia de las estructuras N-S, de tal manera que la Falla Central divide la concesión en dos zonas: Zona Oeste, caracterizada por valores muy bajos en Au y Cu y la Zona Este, donde se tienen los valores más altos en Au y Cu, y además en la magnetometría se observa altos magnéticos alargados orientados a lo largo de esta falla, tal como se observa en la figura 5.1.

Las anomalías geoquímicas y las leyes más altas en Au y Cu se encuentran alineados a lo largo de la falla N-S, Falla Cantera. Vetillas mineralizadas como, vetillas bandeadas de Cuarzo-Pirita fina, en la Anomalía "Filo de Oro", y vetillas

de Calcita-Baritina-Cuarzo, en las Anomalías "La Cristalina/Cadenas", tienen una orientación preferencial E-W en ambos casos.

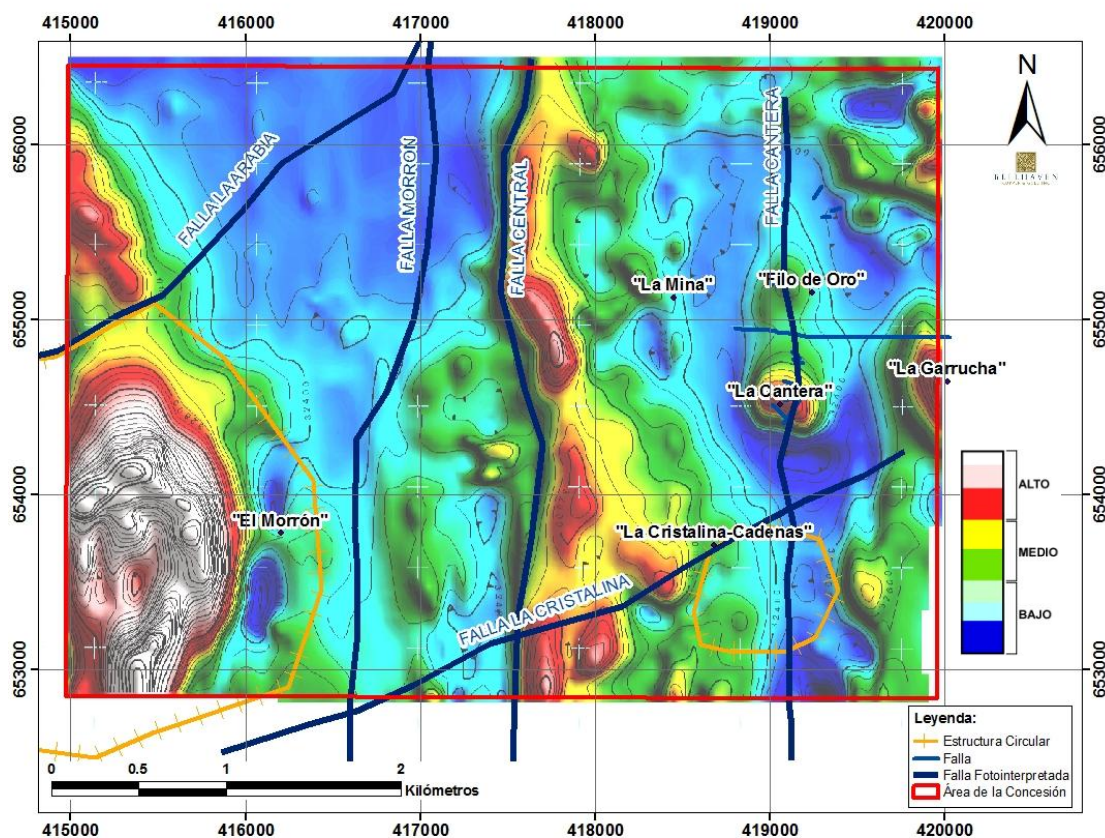


Figura 5.1, Mapa Magnetométrico, se observa las principales estructuras.

Finalmente se tiene a las estructuras circulares, como en el caso de las anomalías de "La Cristalina/Cadenas" que se encuentran relacionadas a una estructura circular.

5.2 Controles Litológicos

Antes del presente estudio, se pensaba que la mineralización en la concesión se encontraba solo en intrusivos porfiríticos, asociado a depósitos del tipo Pórfido de Au/Cu, como por ejemplo en el Pórfido "La Cantera" y también en la zona de "La Garrucha", pero con el presente estudio se evidencio la presencia de mineralización en rocas volcánicas, tobas y flujos lávicos, es claro que se trata de otro estilo de mineralización, por lo cual se puede considerar a las rocas volcánicas como otro posible metalotecto en el área de estudio.

5.3 Generación de Nuevas Zonas de Interés

Luego de analizar las anomalías geoquímicas en conjunto con la geofísica, litología y geología estructural se determinaron nuevas zonas de interés, ver figura 5.2, las cuales coincidieron con las anomalías geoquímicas que se determinaron en el Capítulo IV, pero ahora con una mayor base geológica y geofísica, se han establecido como "Zonas de Interés".

Las zonas de interés son las siguientes y están enumeradas según su prioridad:

a) Zona de "La Garrucha"

Se encuentra ubicada en la Anomalía Geoquímica del mismo nombre, en la parte central oriental de la concesión, corresponde tanto a una anomalía geoquímica, altos valores de Au y Cu, como a un alto magnetométrico, relacionado con el intrusivo porfirítico G1 y G2 que presenta alteración potásica, además de tener vetillas de Cuarzo-Sulfuros (Pirita-Calcopirita), por lo cual se lo relaciona con un depósito del tipo Pórfido de Au/Cu.

Esta zona es de prioridad uno, se recomienda un estudio geofísico a detalle de magnetometría, cargabilidad y resistividad eléctrica, para poder delimitar el cuerpo y poder orientar de mejor manera la perforación.

b) Zona de "Filo de Oro"

Se encuentra ubicada en la Anomalía Geoquímica del mismo nombre, al norte del stock de "La Cantera", corresponde a una anomalía geoquímica, altos valores de Au y Cu, se la puede relacionar con un ligero alto magnético, la zona de interés se encuentra justo en el contacto de un intrusivo porfirítico, Pórfido L1, brecha intrusiva, Brecha L1 y rocas volcánicas, las rocas presentan una alteración argílica, y la mineralización esta en vetillas de Cuarzo bandeado con Pirita fina, de orientación preferencial E-W. Esta zona es de prioridad dos, se realizo un trinchera que permitió un mejor entendimiento de las estructuras presentes en la zona, se recomienda una campaña exploratoria de perforación diamantina.

c) **Zona de "La Cristalina/Cadenas"**

Se encuentra ubicada en la Anomalía Geoquímica del mismo nombre, la parte suroriental de la concesión, corresponde a tres anomalías geoquímicas, altos contenidos de Au y Cu, estas anomalías geoquímicas se encuentran al este de un alto magnético cercano. Estas anomalías se encuentran emplazadas en rocas volcánicas, tobas y flujos lávicos, argilizados con vetillas de Calcita-Cuarzo-Baritina, de orientación preferencial E-W. Esta zona es de prioridad tres, se recomienda un muestreo de suelos en malla regular, 50m por 50m, para poder delimitar de mejor manera la anomalía, así también se recomienda un estudio geofísico a detalle de magnetometría, cargabilidad y resistividad eléctrica, se recomendaría líneas geofísicas principales de orientación N-S.

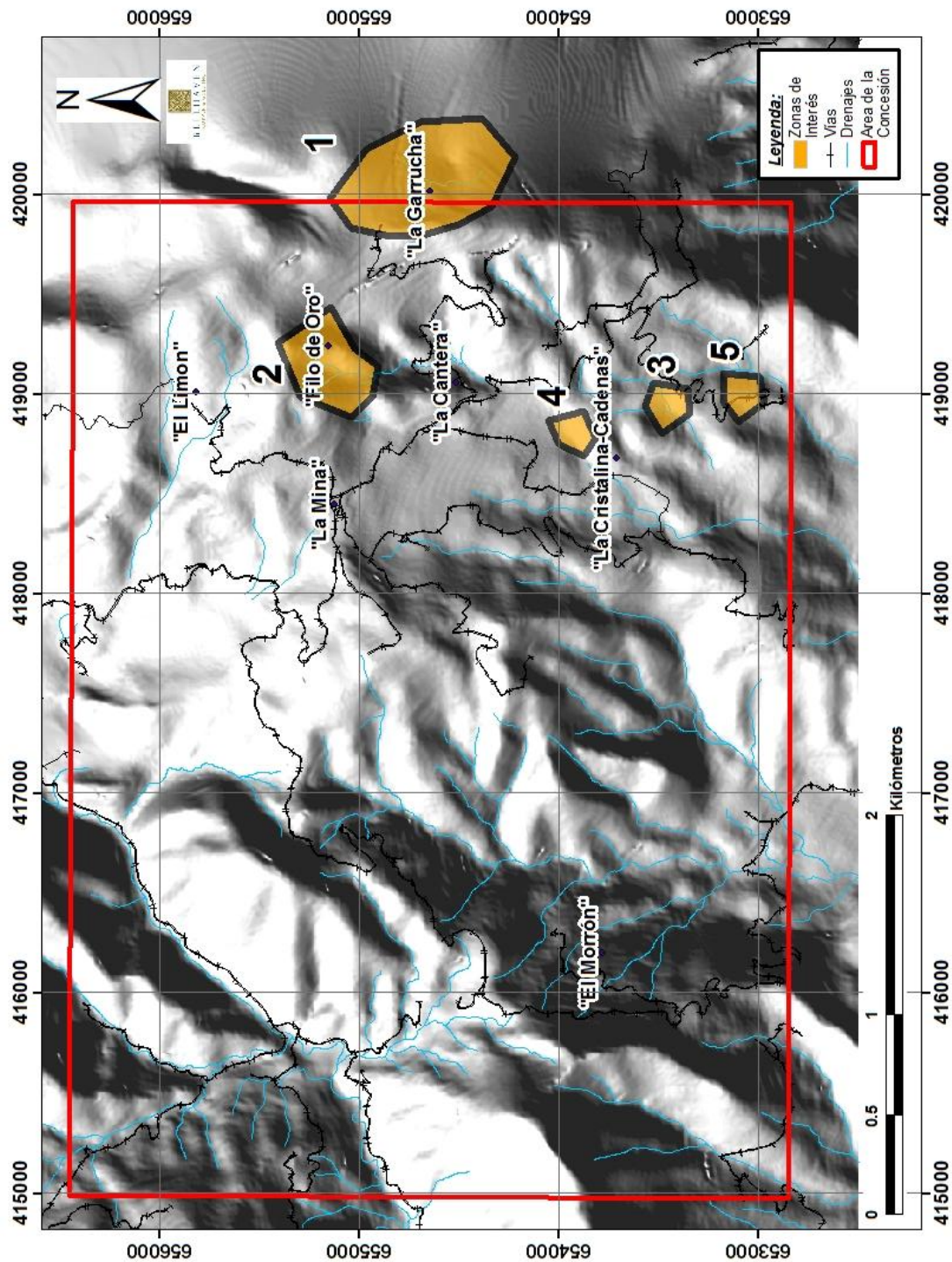


Figura 5.2, Mapa de las Zonas de Interés, con su respectiva prioridad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El principal control de mineralización es el Control Estructural, ya que se observa un papel importante en las fallas N-S, tanto desde el punto de vista metalogenético, la dirección N-S es el lineamiento predominante en los depósitos de la Franja Media del Cauca, como desde el punto de vista local. La Falla Central divide a la concesión en dos zonas muy marcadas, al oeste de la falla se tiene valores muy bajos de Au y Cu y hacia el este de la falla se tiene los valores más altos de Au y Cu. Además los valores anómalos en Au y Cu siguen una alineación N-S, a lo largo de la Falla Cantera.
2. La estructura circular en el área de "La Cristalina/Cadenas", podría tratarse de un antiguo aparato volcánico, esta interpretación se basa en observaciones de campo de rumbos y buzamiento de los estratos volcánicos, estos son radiales y buzan hacia afuera de la estructura circular.
3. Las anomalías geoquímicas en el área de "La Cristalina/Cadenas" estarían relacionadas a dicha estructura circular, ya que los valores altos caen muy cerca a la estructura circular.

4. En el área del Limón, cerca a la zona de "Filo de Oro", se observa que los mayores valores de Au y Cu en superficie, se dan en el contacto entre el Pórfido L1 y la brecha intrusiva, Brecha L1. Funcionando estos contactos como zonas permeables las cuales fueron aprovechados por los fluidos mineralizantes posteriores al Pórfido L1.

5. Dentro de la concesión, se tiene más de un estilo de mineralización, al ya conocido estilo tipo Pórfido de Au/Cu, Pórfido "la Cantera" y ahora el Pórfido "La Garrucha", se le agrega otro estilo de mineralización el cual consta en vetillas de Cuarzo bandeado con Pirita fina, zona de "Filo de Oro", y vetillas de Calcita-Cuarzo-Baritina, en la zona de "La Cristalina/Cadenas", estas vetillas emplazadas en rocas volcánicas.

6. Tal como se menciona en el Capítulo V, se recomienda estudios geofísicos al detalle de magnetometría, cargabilidad y resistividad eléctrica, en las zonas de "La Garrucha" y "La Cristalina/Cadenas", para poder delimitar de mejor manera el cuerpo mineralizado, las líneas geofísicas principales deberían ser N-S (perpendiculares a las vetillas E-W). Además en la zona de "La Cristalina/Cadenas" se recomienda un programa de muestreo geoquímico de suelos en una malla regular de 50m x 50m.

7. Por la experiencia recogida en campo, se recomienda tener sumo cuidado en el muestreo geoquímico, ya que la mineralización de Au no es muy notoria en superficie, pequeñas vetillas y/o alteración tienen leyes altas de Au, por lo cual no se debe dejar pasar por alto ningún detalle geológico por más insignificante que parezca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CEDIEL et al., 2003, Tectonic assembly of the Northern Andean Block, en C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoria 79, p. 815– 848.
2. GROSSE, E., 1926. Estudio Geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la Cordillera Central de Colombia: Berlín, Verlag Von Dietrich Reimer (Ernst Vohsen), 361 P.
3. LÓPEZ et al., 2006. Vulcanismo Neógeno en el Suroccidente Antioqueño y sus implicancias tectónicas. Boletín de Ciencias de la Tierra. N° 19, pp. 27-42.
4. RAMÍREZ et al., 2006. Edad y Proveniencia de las rocas volcánico sedimentarias de la Formación Combia en el suroccidente antioqueño, Colombia. Boletín Ciencias de la tierra, N° 19, pp. 9-26.

5. RESTREPO et al., 1981. Edades Mio-Pliocenas del magmatismo asociado a la Formación Combia. Departamentos de Antioquia y Caldas, Colombia: Geología Norandina, Vol. 3, pp. 21-26.
6. ROSSETTI, P., Y COLOMBO, F., 1999, Adularia-Sericite gold deposits at Marmato (Caldas, Colombia): field and petrographical data: Geological Society [London] Special Publication 155, p. 167–182.
7. SILLITOE R., 2008. Major Gold Deposits and Belts of the North and south American Cordillera: Distribution , Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. *Economic Geology*, v. 103, pp. 663-687.
8. STEWART D., 2011. The Marmato Gold Deposit, Caldas, Colombia a Major, Porphyry-Hosted, Intermediate Sulfidation Epithermal Deposit. PROEXPLO 2011.
9. VAN DER HAMMEN, 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos. *Bol. Geol.*(1958).