



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

GEOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN DE
Au-Ag DEL PROYECTO PURÉN OESTE, FRANJA DE MARICUNGA,
REGIÓN DE ATACAMA, CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

MARÍA FERNANDA ÁLVAREZ TAPIA

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CARLOS PALACIOS MONASTERIO
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

SANTIAGO DE CHILE
2009

RESUMEN

El proyecto Purén Oeste es un prospecto aurífero localizado en la Alta Cordillera de la Región de Atacama, en la parte norte de la Franja Maricunga (26° - 28° S), dentro del denominado "distrito de La Coipa", a una altitud de 4400 m.s.n.m.

El objetivo principal del presente trabajo, fue definir relaciones de la distribución del Au y la Ag con otros elementos, con la litología y la mineralogía de alteración hidrotermal, con el propósito de definir un modelo de mineralización. Para ello se realizó un estudio de datos obtenidos de 34 sondajes realizados en la zona.

Se identificaron 4 unidades litológicas: gravas, tobas dacíticas gruesas, tobas riolíticas finas y rocas sedimentarias (lutitas), cuya disposición, desde la superficie hacia abajo, es en el orden en que se nombraron. Además se identificó un nivel de azufre cercano a la superficie, de 30 m de potencia y una serie de fallas de rumbo NW y NE, y manto subvertical.

Los análisis geoquímicos detectaron concentraciones anómalas de los elementos Au, As, Pb, Sb y Zn, respecto del contenido normal de las rocas en la corteza. La mayor concentración de Au se encuentra en el sector norte del proyecto, a partir de los 250 m de profundidad, aproximadamente. También se estableció que la distribución del Au es independiente, estadística y espacialmente, de los demás elementos estudiados, lo que no permite usarlos como guía de exploración para la búsqueda de cuerpos mineralizados de Au, mientras que las distribuciones de los metales base (As, Pb, Sb y Zn) se encuentran relacionadas entre sí.

A través del estudio de la mineralogía de alteración hidrotermal, con el espectrómetro Terraspec, fueron definidas tres asociaciones principales de minerales de alteración hidrotermal: alunita-caolinita-sílice, caolinita-montmorillonita-illita y sílice (con illita y/o caolinita). La distribución de esta zonación ocurre desde un centro de sílice, luego alunita-caolinita-sílice, y finalmente montmorillonita-illita-caolinita. Aunque la segunda asociación no se encuentra presente en todos los casos. También se identificaron los minerales de alteración supergena hematita, goethita y jarosita, cuya distribución se observa a lo largo de todo el proyecto.

Se definió que el área de estudio corresponde a la parte superficial de un depósito epitermal de alta sulfuración, donde la información recopilada sugiere un control estructural de la mineralización en el área, que se dio en eventos superpuestos con diferentes niveles de ebullición. La mineralización de Au se encuentra principalmente en las tobas riodacíticas finas, dentro de los centros de silicificación.

De lo anterior, se estableció que podrían haber concentraciones económicamente rentables bajo las áreas definidas con los interceptos de mayor concentración de Au, sin embargo, éstas estarían ubicadas a profundidades cercanas a los 400 m.

INDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Metodología	2
1.3 Ubicación y accesos	3
1.4 Clima	4
1.5 Historia del distrito La Coipa	4
2 MARCO GEOLÓGICO	7
2.1 Geología Regional	8
2.1.1 Basamento Paleozoico-Mesozoico-Paleoceno	8
2.1.2 Volcanismo Oligoceno-Mioceno	9
2.1.3 Marco Tectónico	10
2.2 Geología local	12
2.2.1 Alteración Hidrotermal	13
3 LITOLOGÍA	15
3.1 Gravas	15
3.2 Tobas gruesas	15
3.3 Tobas finas	15
3.4 Roca sedimentaria	15
4 GEOQUÍMICA	19
4.1 Muestreo y metodología	20
4.2 Protocolo de muestreo y procedimientos analíticos	21
4.3 Control de calidad	22
4.4 Resultados	23
4.4.1 Análisis univariable	23
4.4.1.1 Análisis de datos totales para el Au y la Ag	24
4.4.1.2 Análisis de los sondajes LC-14 a LC-32	27
4.4.2 Análisis de poblaciones	28
4.4.3 Análisis multivariantes	29
4.4.4 Distribuciones geoquímicas	31

5 ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA	38
5.1 Muestreo y metodología	39
5.2 Resultado	40
6 DIFRACCIÓN DE RAYOS X	41
6.1 Muestreo y metodología	43
6.2 Resultados	44
7 DISCUSIONES	47
7.1 Antecedentes del distrito La Coipa	49
7.2 Litología	50
7.3 Geoquímica	51
7.4 Alteración Hidrotermal	53
8 CONCLUSIONES	56
9 REFERENCIAS	59

LISTADO DE FIGURAS

1 Proyecto Purén Oeste y mina Purén. Vista hacia el Norte	1
2 Mapa de ubicación y accesos al área de estudio	3
3 Ubicación esquemática de Purén y otros depósitos del distrito La Coipa	4
4 Ubicación de yacimientos del distrito La Coipa y el Proyecto Purén Oeste	6
5 Mapa de localización relativa de la Franja Maricunga a otras zonas de importante mineralización de Cu-Au en Chile y Argentina	7
6 Marco Geológico Regional de la Franja de Maricunga	11
7 Geología local del área de estudio	14
8 Ubicación de secciones litológicas	16
9 Secciones litológicas en el área de estudio	17
10 Distribución de los sondajes en el área de estudio	19
11 Gráficos de distribución de Au v/s profundidad, de los sondajes de mayor mineralización de Au	32
12 Gráficos de distribución de As v/s profundidad en los sondajes LC-15 y LC-31	33
13 Gráficos de distribución de Pb v/s profundidad en los sondajes LC-15 y LC-31	35
14 Gráficos de distribución de Sb v/s profundidad en los sondajes LC-15 y LC-31	36
15 Gráficos de distribución de Zn v/s profundidad en los sondajes LC-15 y LC-31	37

16 Componentes de los espectros	38
17 Interceptos de mayor concentración de Au, alteración hidrotermal y litología de los sondajes LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31.	41
18 Interacción de los rayos x con los materiales	42
19 Depósitos de alta y baja sulfuración	47
20 Sección de las zonas de alteración hidrotermal características de los depósitos de alta sulfuración	48
21 Ubicación del área de estudio, de los sondajes y yacimientos cercanos	49
22 Planta con la distribución de los sondajes del proyecto. Resaltando los de mayor promedio de concentración de Au	52
23 Perfiles interpretativos	54

LISTADO DE TABLAS

1 Resultado del control de precisión del Au	22
2 Resultado del control de precisión de la Ag	22
3 Elementos con más del 50% de las muestras bajo el límite de detección	23
4 Estadística básica del Au, en su totalidad	24
5 Estadística básica de la Ag, en su totalidad	24
6 Media de concentración de Au por sondaje	25
7 Media de concentración de la Ag por sondaje	26
8 Estadística descriptiva de los elementos analizados	27
9 Análisis de poblaciones para el Au y la Ag	28
10 Principales correlaciones de los elementos, según la matriz de Pearson	29
11 Resultados del análisis de factores	30
12 Principales interceptos de concentración de Au	31
13 Promedio de concentración de As por sondaje	33
14 Promedio de concentración de Pb por sondaje	34
15 Promedio de concentración de Sb por sondaje	35
16 Promedio de concentración de Zn por sondaje	36
17 Resultados obtenidos con la difracción de rayos X. Y su comparación con los obtenidos mediante Terraspec	44
18 Principales características de los depósitos epitermales de alta y baja sulfuración	47
19 Interceptos de mayor concentración de Au	56

LISTADO DE ANEXOS

1 Información básica de los sondeos: largo, número de muestras, laboratorio que realizo los análisis de Au y Ag, y límites de detección	63
2 Límite de detección por elemento	65
3 Porcentaje de muestras bajo el límite de detección por elemento	67
4 Matriz de Pearson	69
5 Gráficos de distribución de Au v/s profundidad por sondeo	71
6 Gráficos de distribución de As v/s profundidad por sondeo	75
7 Gráficos de distribución de Pb v/s profundidad por sondeo	79
8 Gráficos de distribución de Sb v/s profundidad por sondeo	83
9 Gráficos de distribución de Zn v/s profundidad por sondeo	87
10 Espectros tipo	91
11 Intercepto de mayor concentración de Au, alteración hidrotermal y litología	95
12 Difractogramas tipo	100

1 INTRODUCCIÓN

El alto precio de los metales Au y Ag en el mercado, a pesar de la actual crisis económica mundial, hace sumamente atractiva la búsqueda de nuevos blancos para explotar. El área de estudio se ubica dentro de la franja metalogénica de Maricunga, de edad Mioceno inferior a medio, según el método K-Ar (Sillitoe et al., 1991), y que se extiende entre las latitudes 26° y 28°S en la Cordillera de Los Andes, III Región de Atacama, Norte de Chile. En esta franja se concentran numerosas zonas de alteración hidrotermal, al menos 15 de éstas albergan mineralización de Au, Ag y Cu en depósitos tipo pórfidos y epitermales, destacándose La Coipa y Refugio.

El proyecto Purén Oeste, propiedad de riesgo en conjunto de las empresas Kinross y Comminor, se encuentra ubicado en el distrito La Coipa, al oeste de la mina Purén (Fig. 1). Este distrito es catalogado como depósito de tipo epitermal. Dado que existe el potencial de un depósito de Au económicamente rentable, las empresas involucradas han realizado trabajos exploratorios para comprobar esta posibilidad. Para tales efectos se han realizado 34 sondajes de aire reverso, los que se han completado con descripciones de geología, análisis geoquímico y análisis de mineralogía de alteración hidrotermal mediante el empleo del Espectrómetro Terraspec.

En este trabajo se presentan los resultados de la interpretación de los datos geológicos y geoquímicos existentes, y la comparación de éstos con los resultados del análisis de espectrometría realizado en este estudio.

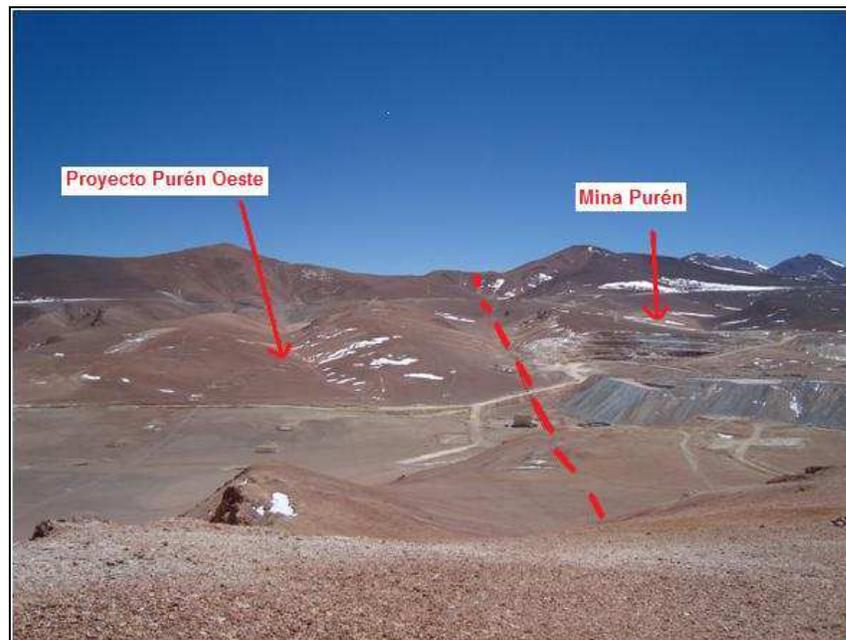


Figura 1: Proyecto Purén Oeste (desde la línea punteada roja hacia el oeste) y mina Purén. Vista hacia el Norte.

1.1 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es conocer la distribución geoquímica de los metales preciosos del Proyecto Purén Oeste, la relación de ésta con la geología, con la alteración hidrotermal y con la mineralización del proyecto, y determinar un modelo de depósito acorde a las características definidas.

Objetivos específicos:

- 1) Definir la litología y estructuras existentes en el área de estudio.
- 2) Establecer la distribución de las asociaciones de minerales de alteración hidrotermal.
- 3) Establecer la distribución de las concentraciones de Au y Ag.
- 4) Identificar relaciones entre áreas con mayor concentración de Au y/o Ag y minerales de alteración hidrotermal.
- 5) Integrar la información recopilada de geoquímica, alteración hidrotermal y litología, para establecer posibles relaciones entre ellas.
- 6) Desarrollar un modelo de depósito para el proyecto Purén Oeste.

1.2 Metodología

La metodología de trabajo realizada se describe a continuación:

- 1) Reconocimiento geológico en terreno y en cuttings de sondajes de las diversas unidades litológicas, asociaciones de alteración hidrotermal y mineralización del área de estudio.
- 2) Reconocimiento de los minerales de alteración hidrotermal mediante el Espectrómetro Terraspec.
- 3) Estudio de los minerales de alteración hidrotermal y sus asociaciones principales, con el fin de definir los tipos de alteraciones presentes en el área de estudio y su relación con la litología.
- 4) Análisis de difracción de Rayos X de 20 muestras representativas, para corroborar los datos obtenidos con el Espectrómetro Terraspec.
- 5) Estudios estadísticos univariados, multivariados y de población para Au y Ag, mediante los análisis geoquímicos de las muestras de los sondajes, con el fin de estudiar la distribución y relación de éstos con otros elementos.
- 6) En perfiles y gráficos de distribución de la concentración de los elementos, se incorporó la información de distribuciones geoquímicas de Au y Ag, geología, alteración hidrotermal y mineralización.
- 7) Determinación de un modelo de depósito.

1.3 Ubicación y accesos

La zona de estudio se encuentra en la Región de Atacama, en el norte de Chile, aproximadamente 1.000 km al norte de Santiago y 140 km de la ciudad de Copiapó, entre las coordenadas UTM 474000-479000E y 7034000-7040000N (Fig. 2).

Para acceder al área desde la ciudad de Copiapó se sigue el camino que conduce a Inca de Oro, por unos 15 km hasta el cruce con el camino internacional a Tinogasta (Argentina). Desde allí se continúa por el camino internacional por unos 115 km hasta llegar al cruce con la quebrada La Coipa. Desde ese lugar, continuando en gran parte por la quebrada La Coipa se llega a la planta MDO. Luego de unos 8 Km, por un camino interior, se accede al yacimiento Purén, encontrándose al oeste de él la zona de estudio (Fig.2).

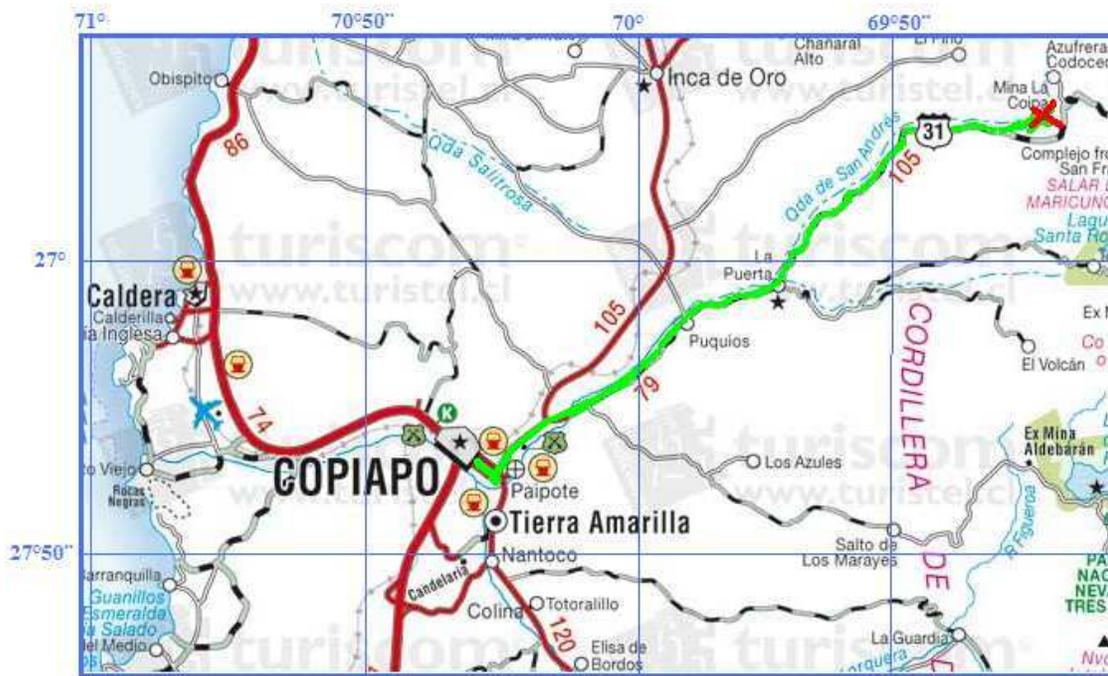


Figura 2: Mapa de ubicación y accesos al distrito La Coipa.

1.4 Clima

El clima se clasifica de tipo Mediterráneo pre-árido, sujeto a bajas temperaturas, fuertes vientos y nieve durante el invierno. A pesar de las condiciones climáticas las operaciones mineras se mantienen a lo largo del año sin interrupciones. El rango de temperaturas varía entre 25°C en verano (enero) y aproximadamente -10°C en invierno (agosto). El agua es escasa en el área, pero el Salar de Maricunga provee suficiente para las actividades industriales.

1.5 Historia del distrito La Coipa

La información escrita acerca de La Coipa como proyecto de metales preciosos data al menos de un siglo, cuando se recomendó su exploración (San Román, 1911). En esa época, una pequeña mina subterránea de Cu-Ag se encontraba operando 2 km al SE de las operaciones actuales. Los recursos regionales han sido explotados esporádicamente desde entonces. Sin embargo, únicamente a fines de los años 70 comenzó la exploración geológica en el área de La Coipa (Oviedo et al., 1991).

Luego del descubrimiento del depósito El Indio en 1975, un nuevo interés en exploración se focalizó en los Andes y el distrito Maricunga se volvió uno de los más activos en exploración del mundo. Algunos depósitos, no similares a El Indio, fueron encontrados en el distrito entre 1980 y 1985. Éstos incluyen La Coipa, Esperanza, Lobo-Marte, La Pepa y Pantanillo (Fig. 3). Más de 8 M oz de Au fueron descubiertos en el distrito durante ese período (Oviedo et al., 1991).

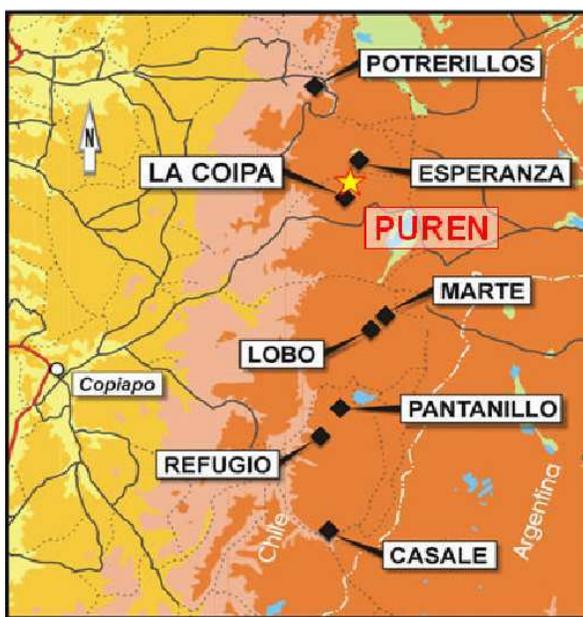


Figura 3: Ubicación esquemática de Purén y otros depósitos del distrito La Coipa.

A fines de los años 70 el área de La Coipa atrajo campañas de exploración debido a anomalías de color y al descubrimiento de estructuras con oro explotadas en forma independiente, como Don Eduardo, localizada entre los cuerpos mineralizados de Farellón y Coipa Norte (Fig. 4). En 1981 Exploraciones y Minerales Sierra Morena S.A. (SMSA), subsidiario primero de Phelps Dodge y luego de Goldenfields Mining Corporation comenzó una exploración sistemática de La Coipa, la que indicó zonas con importantes anomalías de contraste y valores máximos de 900 ppm de Ag y 12 ppm de Au (Oviedo et al., 1991).

Durante la exploración intensiva entre 1982 y 1985, hecha por SMSA, se descubrieron los cuerpos mineralizados Ladera Farellón y Coipa Norte. (Oviedo et al., 1991). Ladera Farellón se encuentra actualmente agotado (información verbal, minera Kinross, 2008).

El tipo de mineralización corresponde a epitermal de alta sulfuración de metales preciosos, con mineralización diseminada en tobos y lutitas negras, alimentados por estructuras de alta ley caracterizadas por ‘vuggy silica’ o sílice porosa residual (información verbal, minera Kinross, 2008).

Entre los pasados operadores se cuentan Goldfields, TVX y Placer Dome, siendo el actual operador Kinross (información verbal, minera Kinross, 2008)

Al inicio de la producción la vida útil de la mina fue estimada en 9 años, debido a exitosas campañas de exploración que encontraron yacimientos como Brecha Norte, Can Can, Chimberos y Purén Norte (Fig. 4), ésta fue alargada al menos hasta el 2011, (información verbal, minera Kinross, 2008).

Hasta el momento el mejor año, desde el punto de vista económico, fue el 2007 debido a la alta ley de Ag de la mina Purén y al elevado precio de los metales en el mercado (información verbal, minera Kinross, 2008).

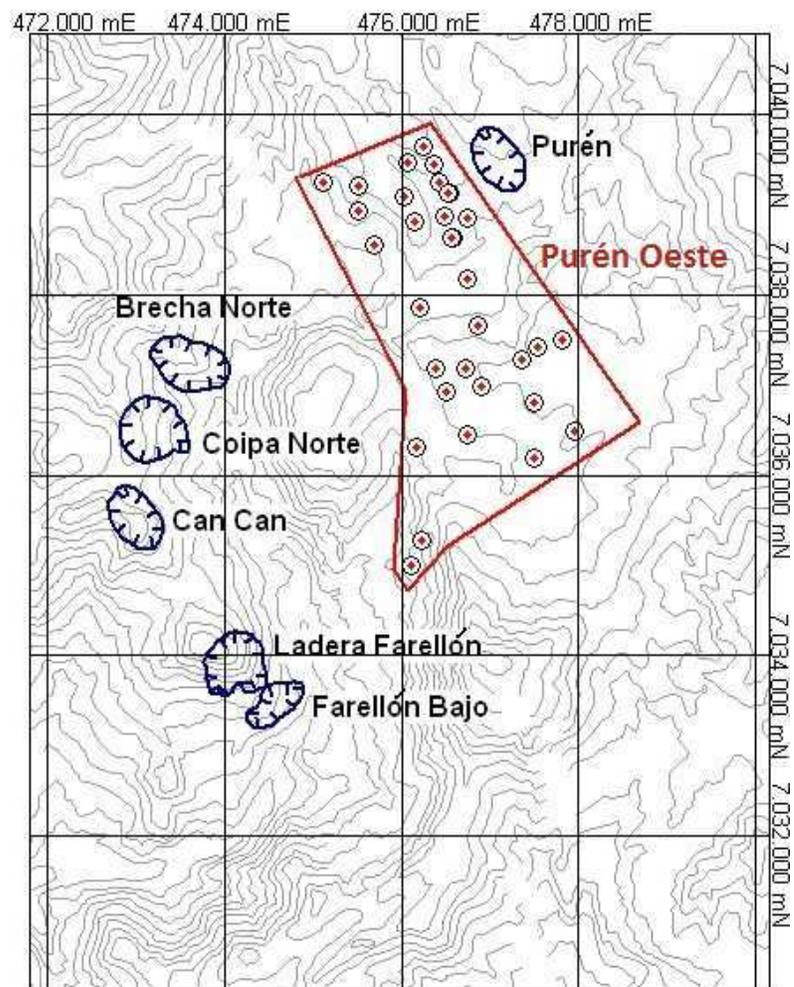


Figura 4: Ubicación de yacimientos del distrito La Coipa y el Proyecto Purén Oeste.

2 MARCO GEOLÓGICO

La Franja de Maricunga (Villa y Sillitoe, 1991) de 200 km de largo, se ubica en el borde occidental del Altiplano de Copiapó, entre las latitudes 26° y 28°S, en alturas que oscilan entre los 4000 y 5000 m.s.n.m. Existen depósitos tipo pórfido y epitermales de Au y Ag, formada por procesos magmáticos hidrotermales, datados entre los 24 a 20 Ma y 14 a 13 Ma (Sillitoe et al., 1991). (Fig. 5).

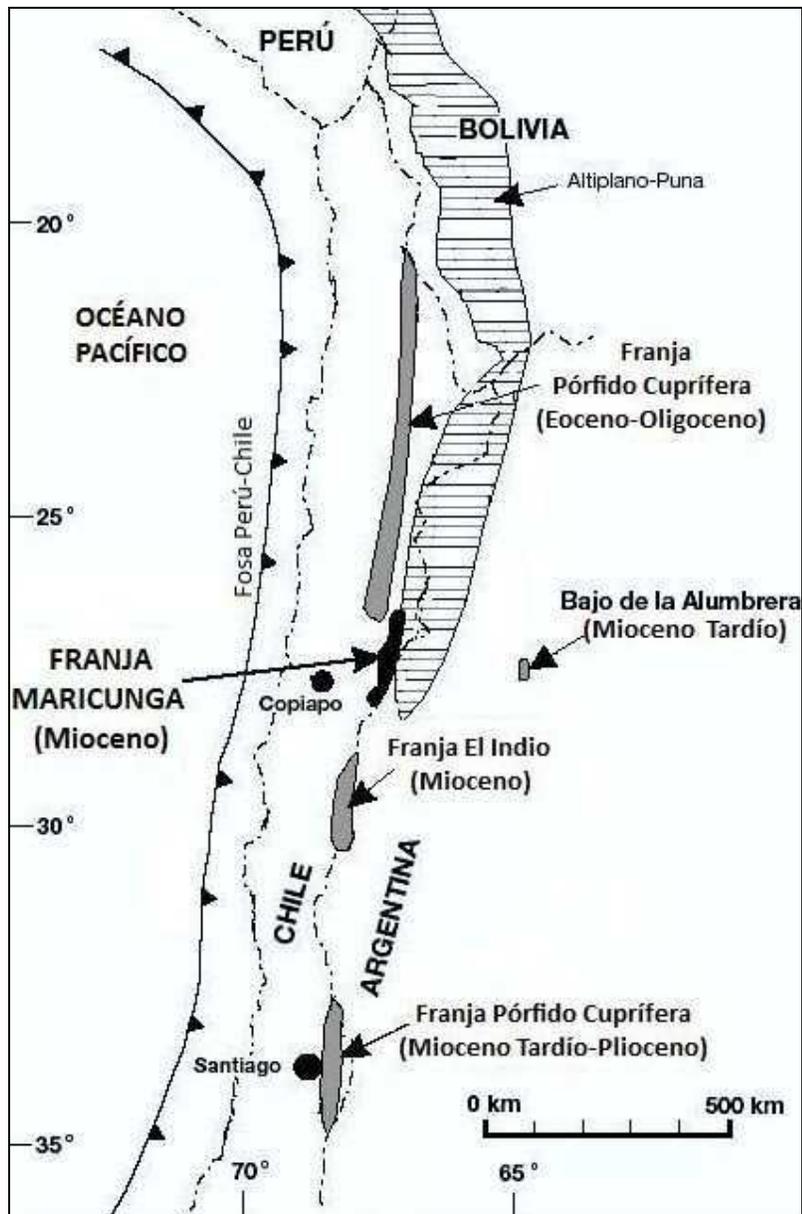


Figura 5: Mapa con la localización relativa de la Franja Maricunga respecto a otras zonas de mineralización de Cu–Au en Chile y Argentina. También se muestran el Altiplano–Puna (cf. Bonnati et al, 1977).

2.1. Geología Regional (Fig.6)

2.1.1. Basamento Paleozoico-Mesozoico-Paleoceno

Las rocas Paleozoico-Mesozoico corresponden a secuencias sedimentarias del Devónico-Carbonífero? (Bell, 1985; Mercado, 1982) que afloran al norte de Cerros Bravos y al este del Nevado de Jotabeche. Éstas se encuentran cubiertas, en discordancia, por una secuencia de rocas volcánicas félsicas intruidas por pórfidos riolíticos y granitoides pérmicos (Mercado, 1982; Cornejo et al., 1993). En la zona sur de la Franja de Maricunga aflora un conjunto de lavas basáltico-andesíticas del Triásico Superior alternadas con niveles de tobas félsicas e intruidas por sills y cuellos basálticos (Segerstrom, 1968) que forman parte del basamento de los complejos volcánicos miocenos. En la zona central de la franja, el Triásico está representado por unidades sedimentarias que incluyen facies lacustres asociadas a cuencas de rift (Suárez et al., 1994; Cornejo et al., 1993). En el Jurásico Inferior se produjo la sedimentación de secuencias de conglomerados y areniscas rojas continentales con intercalaciones de niveles evaporíticos (Bell y Suárez, 1989). En la zona sur de la franja esta unidad presenta intercalaciones de niveles volcánicos. Tanto las secuencias marinas como los depósitos continentales cretácicos representan facies acumuladas en cuencas de trasarco al este del arco magmático del Jurásico-Cretácico Inferior, cuyo eje se ubicaba en la actual Cordillera de la Costa (Mpodozis y Ramos, 1990; Mpodozis y Allmendinger, 1993). Las secuencias mesozoicas fueron deformadas en el Cretácico Superior por una fase de compresión generalizada (Arevalo y Mpodozis, 1991).

Durante el Cretácico Superior-Eoceno Inferior, ocurrieron varios episodios volcánicos en la pre-cordillera de Copiapó, en un ambiente extensional. Estos productos volcánicos, datados entre 80 y 52 Ma, forman gran parte del basamento en la zona central de la Franja Maricunga e incluyen complejos domos y campos de caldera de colapso (Cornejo et al., 1993, 1994; Arévalo et al., 1994; Rivera y Mpodozis, 1991, 1994). Unidades volcánicas y sedimentarias alteradas de este período se encuentran al sur y este del volcán Copiapó, en la zona del Nevado Jotabeche y en la región de La Coipa.

2.1.2 Volcanismo Oligoceno–Mioceno

La Franja Maricunga representa el frente volcánico Oligoceno–Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales (Mpodozis et al., 1995). En ella se superponen diversos eventos discretos de actividad volcánica ocurridos entre los 26 y 5 Ma, asociados a ciclos recurrentes de alteración hidrotermal y mineralización de Au y Ag. Esta actividad volcánica ocurre en cinco eventos (Mpodozis et al., 1995). El más antiguo (26–21 Ma) está representado en el complejo de estratovolcanes de Cerros Bravos-Barros Negros y en los grupos de domos múltiples asociados a la mineralización de Esperanza y La Coipa (26°30'–27°). En la zona sur de la franja la actividad fue más reducida y asociada a pequeños complejos de domos múltiples con mineralización de Au y Ag (Pantaniello, Refugio y La Pepa). Las secuencias volcánicas de este período alcanzan espesores de casi 500 m y consisten en lavas de composición andesítica a dacítica, tobas y brechas con intercalaciones de ignimbritas félsicas y sedimentos lacustres (Vila y Sillitoe, 1991); su inicio coincide con la ruptura de la placa Farellón y consecuente aumento en la velocidad de convergencia (Wortel y Cloetingh, 1981; Pardo-Casas y Molnar, 1987).

El segundo episodio (20–17 Ma) se asocia a un evento de deformación compresiva, engrosamiento cortical y disminución de la actividad volcánica. Luego, entre los 16 y 12 Ma, el volcanismo se reanuda con vigor, formándose los centros volcánicos Ojos de Maricunga, Santa Rosa, Jotabeche Norte y Pastillos y los “pórfidos auríferos” Lobo, Marte, Escondido y Aldebarán (Sillitoe et al., 1991; Davidson y Mpodozis, 1991; King, 1992; McKee et al., 1994) en un régimen tectónico extensional (Mpodozis et al., 1995).

Entre los 11–17 Ma, cuando se redujo la actividad del Complejo Volcánico Copiapó (27°15'S), se vuelve a un régimen compresivo y de corteza más gruesa.

El evento final (6–5 Ma) ocurrió en la zona del Nevado Jotabeche (27°40'S), que corresponde a una caldera riodacítica controlada estructuralmente por un sistema de fallas conjugadas de rumbo NNE y NNW, en el extremo meridional del Altiplano (Mpodozis et al., 1995).

2.1.3. Marco Tectónico

Durante el Eoceno (42–39 Ma), en la región oeste y noroeste de la Franja Maricunga se produjo una importante fase de deformación transpresiva que conllevó al desarrollo de una serie de fallas normales e inversas de alto ángulo, de orientación NNE y NW (Cornejo et al., 1993; Tomlinson, 1993,1994). En este período se formó, además, un sistema estructural de fallas sinistralas subverticales con rumbo NW, entre Potrerillos y La Coipa. Éstas luego fueron reactivadas intermitentemente, teniendo durante el Oligoceno y Mioceno un importante control en el emplazamiento de los sistemas volcánicos de la Franja Maricunga (Cornejo y Mpodozis, 1994).

Luego, en el Oligoceno Inferior (32-31 Ma), coincidiendo con un período de muy baja velocidad de convergencia entre las placas Farellón y Sudamericana (Pardo-Casas y Molnar, 1987), se emplazaron algunos pórfidos dacíticos en la zona central y sur de la franja Maricunga (Mpodozis et al., 1995).

Durante el Mioceno Medio (20-18 Ma) se produjo otra reactivación de las fallas, lo cual es interpretado como consecuencia de una compresión regional inducida por la reducción del ángulo de subducción en esta zona del margen continental andino. Esto es acompañado de una migración paulatina del arco magmático hacia el este, hasta llegar a su actual posición.

Al sur de la Franja Maricunga (28-33°S), el volcanismo se extingue a partir de los 6-5 Ma, lo que coincide con una subducción subhorizontal (Davidson y Mpodozis, 1991; Kay et al., 1987, 1988, 1991).

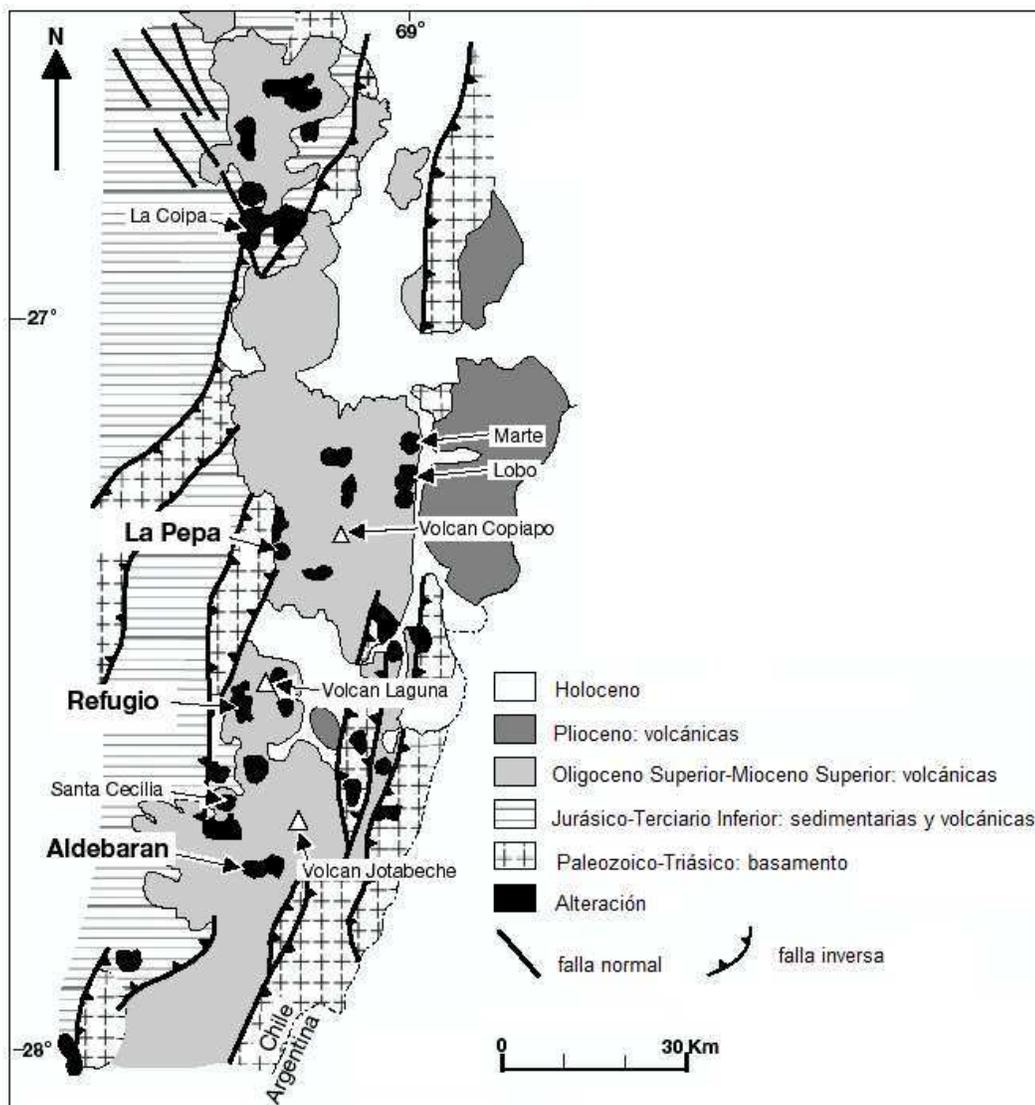


Figura 6: Marco Geológico Regional de la Franja de Maricunga (Modificado de Davidson y Mpodzisz, 1991).

2.2 Geología Local

Los datos y detalles de la geología local del proyecto han sido proporcionados por la empresa Minera Mantos de Oro, y se resumen a continuación (Fig. 7).

Entre el Triásico Superior y Jurásico Inferior, la zona de Esperanza, La Coipa y oeste del Cerro Ojo de Maricunga registró la formación de un complejo sistema de rifts extensionales, donde se reconocen asociaciones de brechas, areniscas y conglomerados cuarcíferos, además de niveles de lutitas negras de ambiente lacustre, ricas en materia orgánica, que se acumularon en una cuenca independiente y separada.

Las rocas estratificadas reconocidas en el sector abarcan un rango de edad desde el Triásico Superior al Cuaternario. Las más antiguas conforman un basamento sedimentario que coincide con el nivel inferior de los Estratos El Mono (Triásico Superior-Jurásico Inferior), que en las cercanías del Proyecto Purén corresponden a brechas volcanosedimentarias y conglomerados con bloques de riolitas fluidales y clastos epidotizados de andesitas y basaltos.

Les cubren, en discordancia de erosión, las rocas del Complejo de Domos Coalescentes de La Coipa (25-21 Ma). Éstos se han definido como un complejo de domos múltiples y productos piroclásticos asociados, afectados por alteración hidrotermal, y que hospedan la mineralización de Ag y Au del distrito La Coipa. Localmente se reconocen las unidades piroclásticas del nivel inferior, caracterizado por tobas finas riolíticas líticas, que consisten en tobas de flujo de lapilli y cristalinas moderadamente soldadas, y las unidades del nivel superior, definidas como brechas piroclásticas y tobas de lapilli gruesas, que corresponden a depósitos de flujos piroclásticos con bloques de hasta 50 cm de diámetro derivados de los domos, pómez expandidas y líticas accidentales. Al norte y este de Purén afloran rocas de los Sistemas Volcánicos Centrales (26-22 Ma), representados por ignimbritas, lavas dacíticas y andesíticas, domos dacíticos y flujos piroclásticos de bloques y cenizas. En la zona del proyecto se reconocen además afloramientos aislados de la Ignimbrita Los Terneros (21-9 Ma), la cual es un depósito de flujos piroclásticos pumíceos que cubren rocas alteradas del Complejo de Domos Coalescentes La Coipa, sellando el evento de alteración hidrotermal.

Las manifestaciones volcánicas más jóvenes observadas en el sector corresponden a rocas de los Aparatos Volcánicos Centrales, representados principalmente por el Volcán Ojo de Maricunga y por los cerros Vicuña y La Coipa (16-14 Ma), consistentes en centros volcánicos y sus depósitos piroclásticos asociados, que se disponen alineados sobre trazas de fallas regionales de orientación NNW. Litológicamente corresponden a flujos piroclásticos andesíticos-dacíticos asociados a domos dacíticos ricos en cristales y a lavas dacíticas-andesíticas con una distribución restringida al cerro La Coipa. Esta unidad se reconoce cortando las zonas de alteración hidrotermal de La Coipa y Purén.

Por último, hay una unidad superior de depósitos coluviales formados por bloques angulosos, comúnmente monomícticos, y arenas, que se hallan en las laderas de fuerte pendiente. Incluyen conos de deyección inactivos o con actividad en época de deshielos o lluvias torrenciales.

En la zona existen una serie de fallas subverticales con rumbo NW y NE, separadas entre ellas por un kilómetro aproximadamente.

En el sector de Purén el nivel de erosión es menor que en la parte central del distrito La Coipa. Esto explicaría porqué el cuerpo de Ladera Farellón se encontraba cubierto por pocos centímetros de suelo al ser descubierto, mientras que Purén era totalmente ciego.

Debido a la presencia de niveles de azufre cercanos a la superficie, zonas de “steam heated”, geysers y la azufrera Codocedo en la superficie del distrito La Coipa, se interpreta el sector Purén como muy cercano a la paleosuperficie.

2.2.1 Alteración Hidrotermal

Las principales corresponden a extensas zonas de alteración argílica avanzada y silicificación con ópalo como principal mineral silicatado, afectando únicamente a las brechas volcánicas y a las tobas de la unidad “Domos de La Coipa”. Debe destacarse que esta paragénesis mineral forma parte del sistema de alteración tipo “steam heated” que se produce en la zona vadosa sobre la mena aurífera de Purén y La Coipa. El grado de intensidad de la alteración es tal que destruye totalmente la textura original de la roca en la mayor parte de los afloramientos. Sin embargo, en algunos sectores puede reconocerse el protólito volcánico.

La argilización se manifiesta principalmente en la destrucción de los feldspatos, aunque en algunas zonas destruye, además, otros minerales formadores y accesorios de la roca.

El ópalo es el principal producto de la silicificación en este sistema, generalmente alterando y destruyendo minerales microlíticos de la masa fundamental y fenocristales. En estos sectores, la roca queda como un agregado masivo de ópalo con una textura que se disgrega al contacto. Existen áreas locales donde se observan “parches” de ópalo asociados a silicificación masiva o de calcedonia.

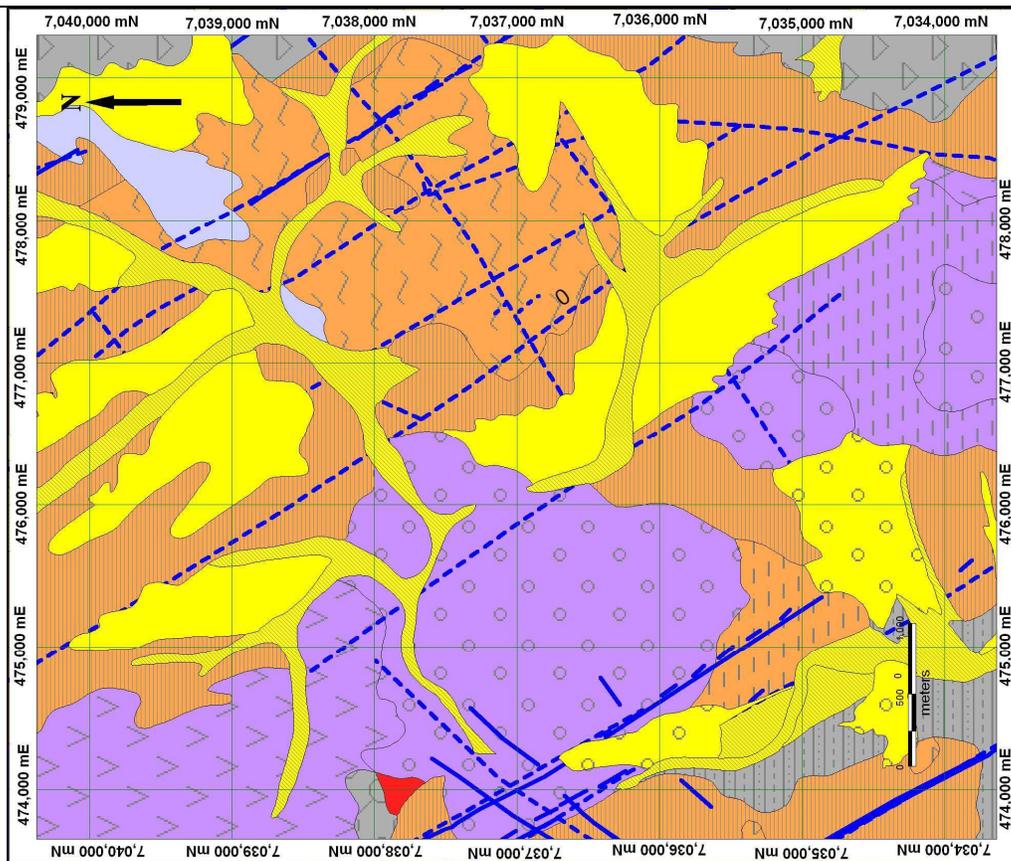
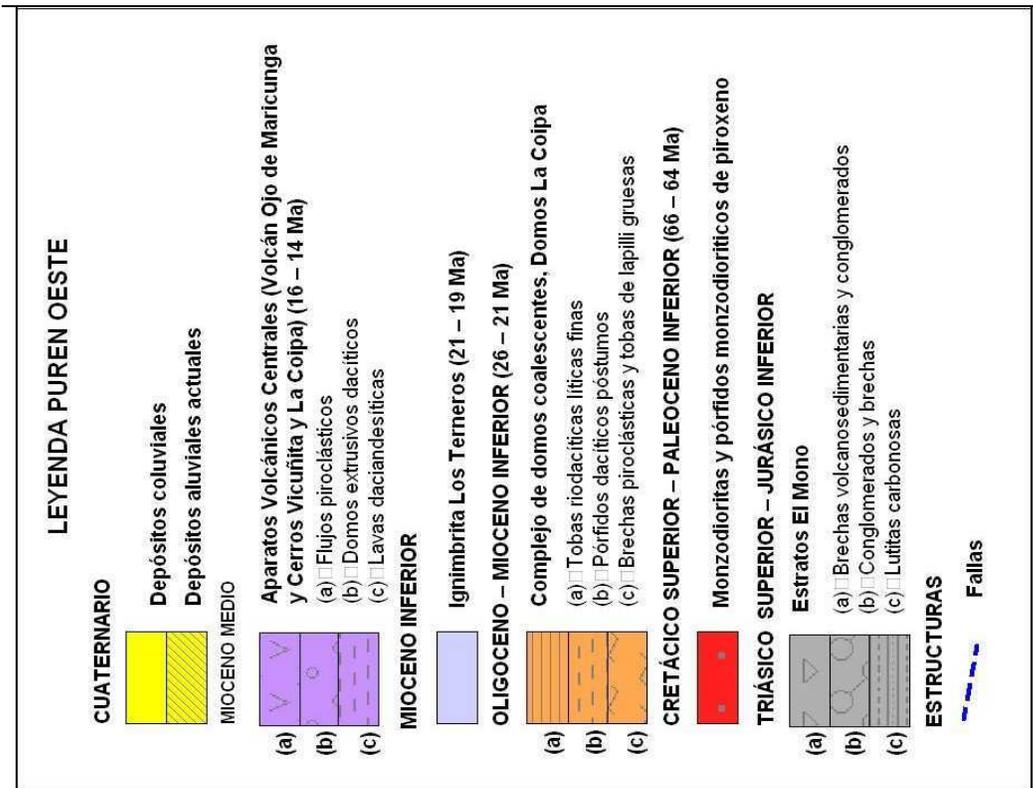


Figura 7: Geología Local del área de estudio.

3 LITOLOGÍA

En el análisis litológico de los cuttings de los sondajes se pudieron diferenciar 4 grupos principales. Para la visualización de éstos se hicieron 6 secciones, indicadas en la Figura 8.

3.1 Gravos: Polimícticas y heterolíticas, con tamaño de grano que varía entre 2 mm y 1 cm. No se observa alteración hidrotermal, aunque algunas presentan oxidación y arcillas. La potencia varía entre los 4 y 150 m. Cubren la mayor parte de la zona de estudio y se disponen casi siempre sobre las tobas gruesas y en determinados casos sobre las tobas finas (Fig. 9).

3.2 Tobas gruesas: de composición dacítica, con variantes desde cristalina a lítica y masa fundamental cinerítica (de anfíbolos, cuarzo y algunos piroxenos). El color varía de blanco a gris oscuro. Se presentan escasos líticos en general y en algunos casos están totalmente ausentes, sin embargo, existen algunas áreas donde los líticos son el elemento dominante. Las tobas gruesas poseen fenocristales de biotita, cuarzo y plagioclasa varían entre menos de 1 mm hasta alrededor de 6 mm. Se observan trazas de pirita diseminada.

Estas tobas se ubican bajo las gravas y sobre las tobas finas con una potencia promedio de 150 m, superando en algunas zonas los 270 m. Son de disposición subhorizontal (Fig. 9).

3.3 Tobas finas: de composición riodacítica, cristalina y matriz cinerítica de color entre gris blanquecino y gris oscuro, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita de tamaño entre 3 mm y menos de 1 mm. Presentan trazas de pirita diseminada, asociada especialmente a cristales de cuarzo.

Las tobas finas se ubican bajo las tobas gruesas y sobre las rocas sedimentarias. La potencia varía entre 60 m y más de 290 m de espesor. La disposición es subhorizontal (Fig. 9).

3.4 Roca Sedimentaria: Nivel volcano-sedimentario fino, lutitas, el color varía entre gris oscuro y negro, sin alteración hidrotermal. Presencia de algunos fenocristales de plagioclasas de tamaño menor a 0,5 mm. En algunas zonas se observa pirita diseminada. La potencia mínima estimada corresponde a 70 m (Fig. 9).

Estas rocas sedimentarias no afloran en la superficie del área de estudio y sólo pudieron ser identificadas mediante las muestras obtenidas en los sondajes.

Además de las 4 litologías definidas se distinguió un nivel de azufre de potencia 30 m (Fig. 9).

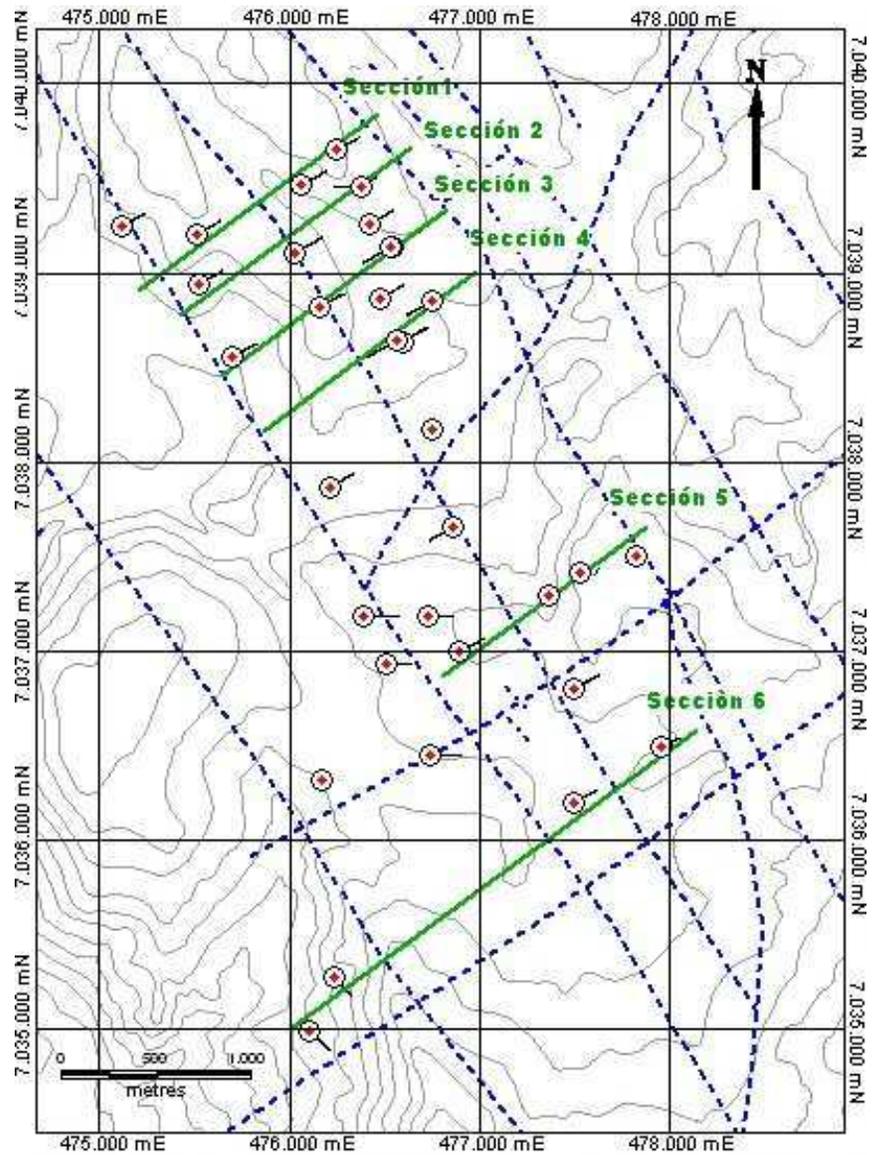


Figura 8: Ubicación de secciones litológicas.

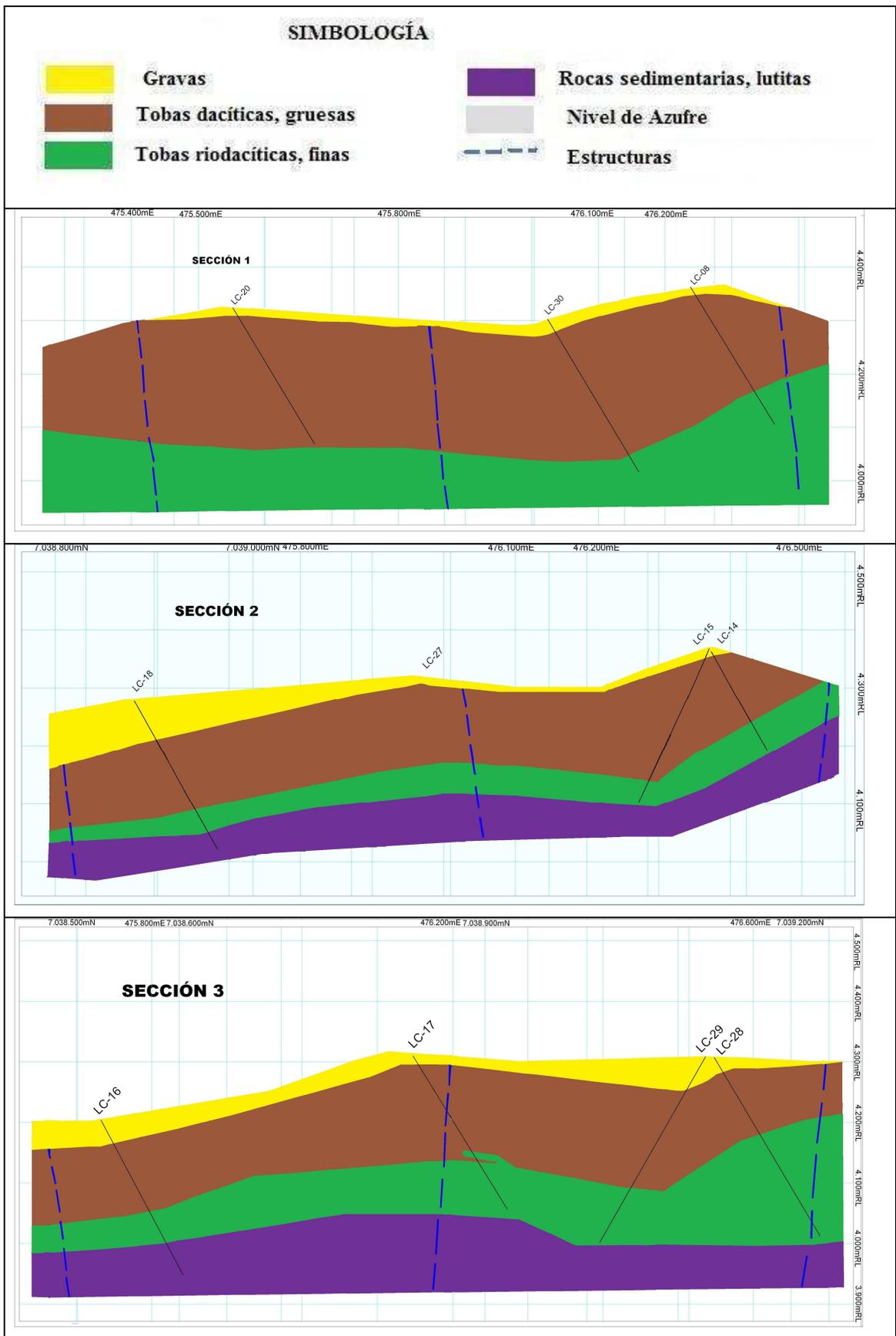


Figura 9: Secciones litológicas en el área de estudio

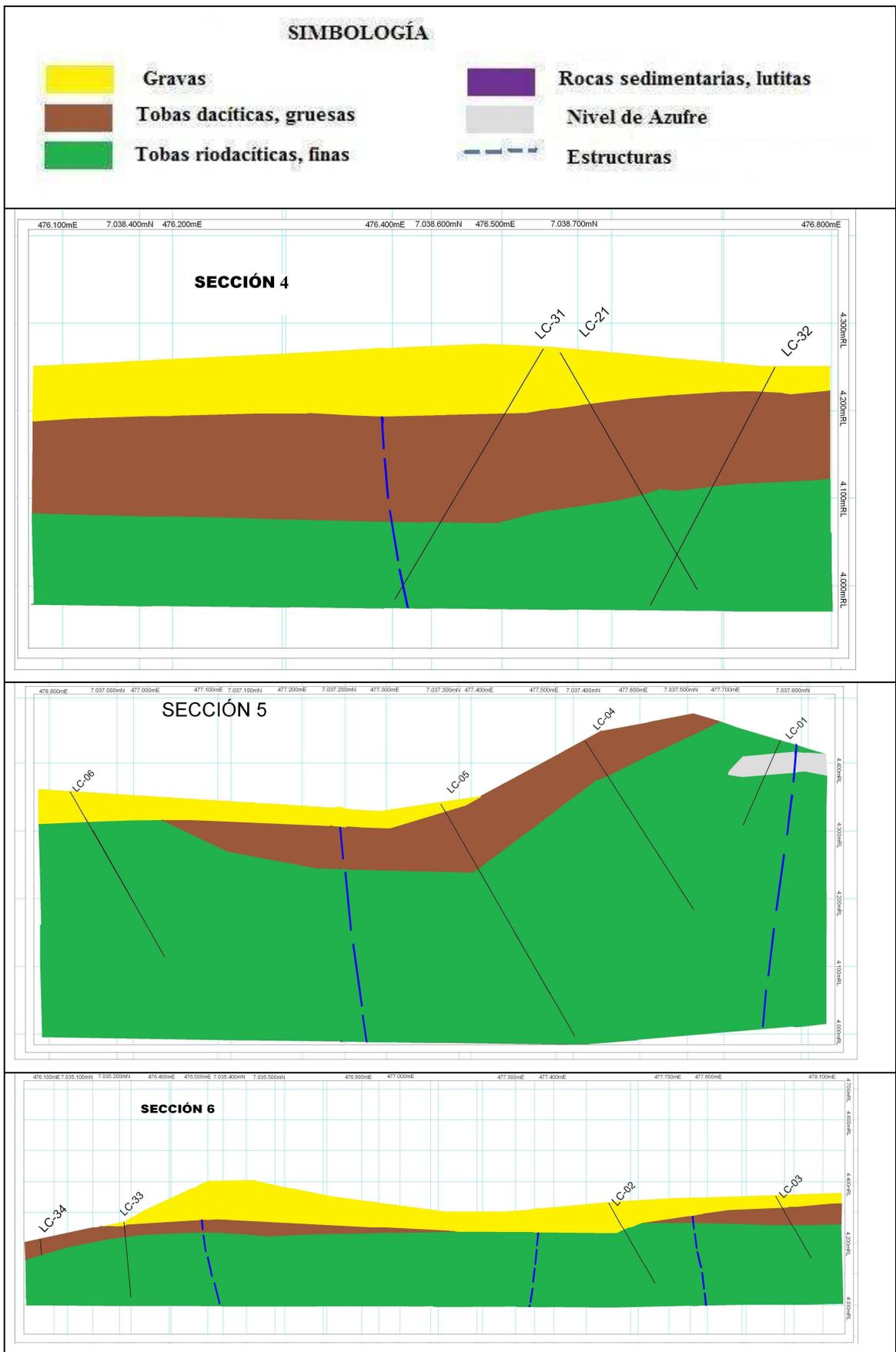


Figura 9: Secciones litológicas en el área de estudio

4 GEOQUÍMICA

El método que se utiliza para los análisis debe definirse en base al material (roca, sedimentos, pulpa, etc.) y a los elementos que se estudiarán. En este caso, el análisis para establecer las concentraciones de Au fue el Ensayo al Fuego en 30 g de muestra, con determinación mediante Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) en muestras de los 34 sondajes (Fig. 10). En el caso de la plata se usó EAA con digestión de agua regia, ya que éste posee un nivel de detección suficientemente bajo para el análisis de la Ag.

En forma adicional se empleó un análisis multi-elementos mediante una combinación de ICP-MS e ICP-AES con digestión de agua regia para 30 elementos (incluyendo el Au y la Ag, pero para éstos se usaron los valores definidos por las metodologías anteriormente nombradas). Éste se realizó para muestras de los sondajes LC-14 a LC-32 (excepto el sondaje LC-24), con la finalidad de establecer relaciones entre las concentraciones de otros elementos con el Au y la Ag.

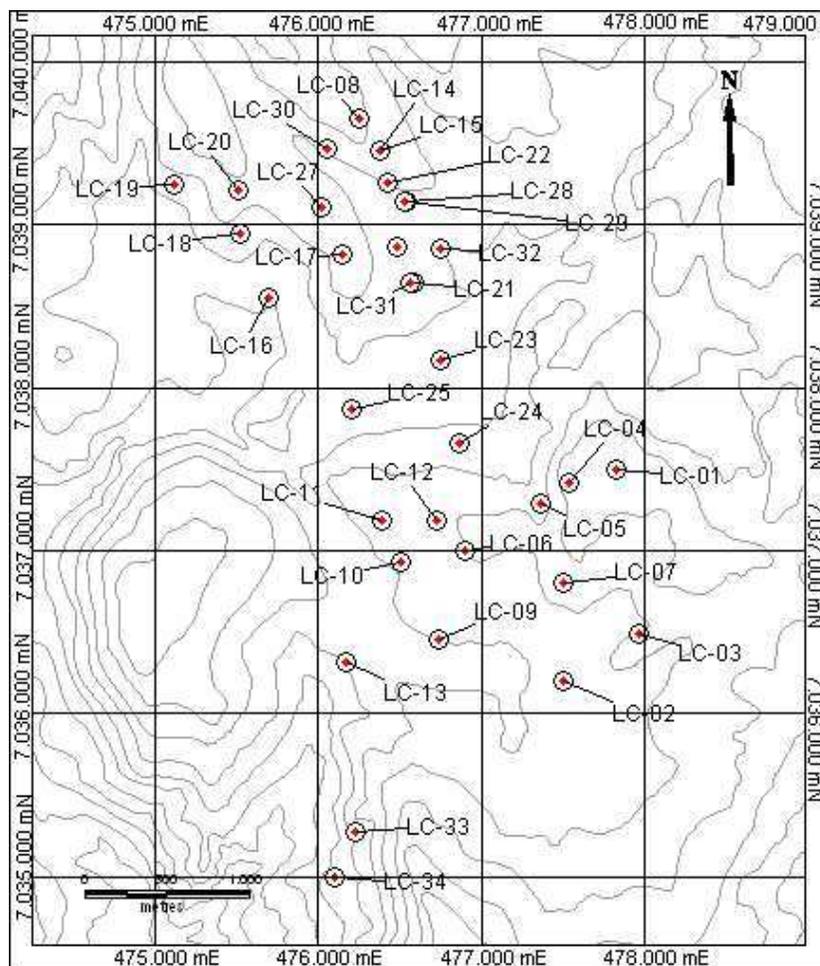


Figura 10: Distribución de los sondajes en el área de estudio.

4.1 Muestreo y metodología

Las muestras de los sondajes de aire reverso, de un largo de 2 m y granulometrías de 80% bajo 10# Ty y 20% sobre 10# Ty aproximadamente, fueron obtenidas con un tricono o martillo reverso. Debido a la presencia de agua en la perforación, los ejemplares fueron recibidos y divididos mediante un cuarteador hidráulico (tres cuarteos), hasta obtener dos muestras de 2 a 4 kg. En cada etapa de cuarteo, el rechazo se guardó para obtener una muestra de respaldo (de entre 20 y 30 kg). El número de muestras analizadas por sondaje fue en función del largo total de cada uno (Anexo 1).

Luego, las muestras recolectadas fueron enviadas a laboratorios externos para el análisis de Au y Ag, considerando duplicados cada 40 m, excepto en los sondajes LC-01 y LC-02 en los que se tomaron cada 20 m. Las muestras de los sondajes LC-01 a LC-08 se enviaron al laboratorio Acme y el resto al laboratorio Geoanalítica; debido a lo cual se tienen límites de detección distintos según el sondaje (Anexo 1). Además, para la plata en el laboratorio Geoanalítica, algunas muestras tienen límite de detección 0,5 ppm y otras 1 ppm, por lo que debieron realizarse una serie de análisis para ver si existía una buena correlación entre los datos de los diferentes laboratorios, y de este modo poder llegar a una interpretación general de la geoquímica independiente de los laboratorios usados para cada sondaje.

Las muestras para el análisis de multi-elementos fueron extraídas de los rechazos de las muestras de los sondajes LC-14 a LC-32 (excepto LC-24), debido a que éstas presentaron mayores concentraciones de Au. El laboratorio que realizó el análisis fue ALS Chemex.

4.2 Protocolo de muestreo y procedimientos analíticos

La primera parte corresponde a la preparación de la muestra para su posterior análisis. Los pasos son los siguientes:

- 1) Recepción de las muestras: se establece su peso y se les asigna un código interno del laboratorio.
- 2) Secado de las muestras: sólo en caso de que éstas se encuentren húmedas, como ocurre con las utilizadas en este estudio. Esto puede ser realizado al aire libre o en hornos, según la metodología establecida.
- 3) Disminución de tamaño de las partículas de las muestras: si el material es muy grueso se aplica la trituración para pulverizarlas directamente, mediante esto aproximadamente el 85% de la muestra adquiere un tamaño menor a la Malla #200 (75 micrones).
- 4) Homogenización de las muestras.
- 5) Cuarteo de las muestras: en caso de que se necesite la división de ellas en una o más fracciones, en partes representativas.

Una vez listas las muestras comienzan los procesos analíticos, que difieren según el elemento de interés.

En el caso del Au, para determinar su concentración, se hizo una descomposición previa de las muestras mediante una fusión por ensayo a fuego de 30 g. En éste, las muestras son mezcladas con agentes fundentes, generalmente litio-borato, que incluyen el óxido de plomo y se funden a alta temperatura. Con lo cual, el óxido de plomo se reduce a plomo y colecta el metal precioso. Cuando la mezcla fundida se enfría el plomo queda en el fondo, mientras que la escoria vítrea permanece arriba. Luego la “pepa” con Au y Ag se analiza por digestión ácida y lectura EAA. El límite de detección es distinto en cada laboratorio (Anexo 1).

Para la Ag las muestras fueron digeridas mediante agua regia (mezcla de 50% ácido nítrico y 50% ácido clorhídrico) con lectura por EAA. El límite de detección depende del laboratorio que llevó a cabo el análisis (Anexo 1).

Para el análisis multi-elementos las muestras fueron sometidas a digestión por agua regia con lectura de ICP-MS e ICP-AES, los límites de detección varían según el elemento (Anexo 2). Los metales más resistentes y los elementos formadores de roca se disuelven solo parcialmente.

4.3 Control de calidad

Para establecer la calidad de los resultados obtenidos se realizó un análisis de precisión en base a los duplicados de terreno, lo que permitió definir la repetitividad del muestreo.

Para cuantificar este valor se usó la “diferencia relativa”, que consiste en establecer el porcentaje de varianza de los valores de las muestras originales y sus duplicados con respecto a la media entre ellos. Para esto se siguieron los pasos descritos a continuación:

- 1) Se determinó la media entre cada muestra original y su duplicado.
- 2) Se estableció la varianza de las muestras con respecto a la media (para cada par de muestras).
- 3) Se dividió la varianza por la media y se multiplicó por 100. Definiéndose así el porcentaje de la varianza con respecto a la media para cada par de muestras.
- 4) Se definió el promedio de los porcentajes de varianza, según los límites de detección para el sondaje al que pertenecen las muestras (Tablas 1 y 2).

Únicamente se consideraron los valores en que el original y el duplicado de las muestras se encontraban por sobre el límite de detección.

Tabla 1: Resultado del control de precisión para el Au.

Elemento	Límite de detección (ppb)	N° de pares analizados	% de varianza
Au	1	25	24
Au	10	68	17

Tabla 2: Resultado del control de precisión para la Ag.

Elemento	Límite de detección (ppm)	N° de pares analizados	% de varianza
Ag	0,1	28	9
Ag	0,5	35	10
Ag	1	15	7

El máximo valor aceptable para el porcentaje de varianza es de un 20%, sin embargo en el caso del Au y la Ag es hasta un 30%.

En base a lo anterior se puede decir que hay un alto grado de precisión en las muestras analizadas, por lo tanto el muestreo es de buena calidad. Con esto se establece que todos los datos pueden ser usados para los próximos análisis, sin separarlos por laboratorio.

Este análisis sólo se realizó para el Au y la Ag, porque para el resto de los elementos no se enviaron duplicados.

Para definir la exactitud de los valores se usaron muestras estándar en los laboratorios. Sin embargo, no fue posible recopilar esa información.

4.4 Resultados

4.4.1 Análisis univariable

Es la descripción de una variable en términos de su distribución y en este caso consiste en una descripción de la estadística básica de ésta, definiendo la media (tendencia central) y la desviación estándar (distribución).

Antes del procesamiento estadístico se realizó una preparación y filtrado de las bases de datos.

En primer lugar se estableció el porcentaje de muestras bajo el límite de detección de cada elemento (Anexo 3). Descartándose del análisis los elementos con más del 50% de los valores bajo este límite (Tabla 3).

Luego, se cambiaron los valores bajo el límite de detección a la mitad de éste y se descartaron los “outliers” o valores fuera de rango.

Finalmente, dada la naturaleza de la distribución geoquímica en materiales naturales, los datos fueron procesados en base log-normal y una vez obtenidos los valores de estadística básica transformados mediante anti-ln (exponencial).

Tabla 3: Elementos con más del 50% bajo el límite de detección

Elemento	% de muestras bajo el límite de detección
Ag	60,79
B	85,25
Bi	90,98
Hg	54,10
Ti	71,11
Tl	59,84
U	87,70
W	62,91

La Ag se analizó, a pesar de que más del 50% de los valores se encuentran bajo el límite de detección, debido a que es uno de los elementos de mayor interés para el estudio.

El Th posee el 50% de sus datos bajo el límite de detección y por su escasa relación con el Au se decidió no incluirlo en los análisis.

Por último, el Hg tiene más del 50% de los valores bajo el límite de detección y fue analizado por el mismo método que el resto de los multielementos, por estos dos factores se descarto su análisis, ya que su adecuado estudio debe realizarse mediante vapor frío.

4.4.1.1 Análisis de datos totales para el Au y la Ag

Éste se realizó para el Au y la Ag, debido a que son los elementos de interés económico del proyecto. Se efectuó un análisis de todos los valores y otro por sondaje. Este último, con la finalidad de definir los sondajes con mayores concentraciones de Au y Ag, para establecer si éstos se encuentran en alguna zona específica.

En el caso del análisis de los valores totales, se analizó cambiando los valores bajo el límite de detección a la mitad del menor límite de los laboratorios (0,5 ppb en el caso del Au y 0,05 ppm el de la Ag), y descartando los valores bajo el límite de detección. Esto fue para obtener un promedio total de la zona de estudio y otro considerando las áreas mineralizadas (Tablas 4 y 5). El porcentaje de valores bajo el límite de detección del Au fue de un 48,38% y de la Ag un 60,79%.

Tabla 4: Estadística básica del Au, en su totalidad

Media (ppb)	Desviación Estándar (ppb)	Media* (ppb)	Desviación Estándar * (ppb)
2,86	1,03	15,40	1,03

***: sin considerar los valores bajo el límite de detección.**

Tabla 5: Estadística básica de la Ag, en su totalidad

Media (ppm)	Desviación Estándar (ppm)	Media* (ppm)	Desviación Estándar * (ppm)
0,18	1,03	1,43	1,03

***: sin considerar los valores bajo el límite de detección**

Para el análisis por sondaje fueron descartados los valores bajo el límite de detección, ya que se quería definir la estadística de las zonas mineralizadas. Determinándose la media y la desviación estándar aritmética y en base log-normal, debido a que con éste último los valores son desestimados. Los resultados se muestran en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6: Media de concentración de Au por sondaje

Sondaje	% muestras bajo límite de detección	Media Au (ppb)	Desviación. Estándar (ppb)	Media Au aritmética (ppb)	Desviación. Estándar aritmética (ppb)
LC-01	57,35	6,41	0,16	9,21	1,55
LC-02	35,33	5,63	0,10	8,46	0,67
LC-03	50	4,99	0,14	8,89	2,16
LC-04	52	4,09	0,13	8,33	1,69
LC-05	33,17	4,19	0,10	8,96	1,41
LC-06	21,99	7,32	0,12	38,41	20,56
LC-07	37,33	2,77	0,08	4,46	0,88
LC-08	34,25	2,60	0,05	2,94	0,16
LC-09	63,22	8,08	0,05	11,60	1,20
LC-10	78,57	21,29	0,10	25,56	3,39
LC-11	39,49	19,62	0,06	27,01	3,92
LC-12	72,86	24,45	0,14	36,23	5,87
LC-13	0	15,32	0,13	15,88	2,12
LC-14	47,47	42,78	0,11	58,01	6,78
LC-15	28,67	58,33	0,11	126,26	26,54
LC-16	34	19,88	0,06	26,25	3,50
LC-17	34	170,27	0,18	598,31	112,74
LC-18	34,67	17,82	0,04	19,46	0,93
LC-19	51,33	16,54	0,05	19,07	1,96
LC-20	18,12	22,38	0,05	27,59	2,04
LC-21	39,33	60,39	0,19	376,87	71,35
LC-22	20,67	21,92	0,06	31,56	4,54
LC-23	31,58	18,51	0,13	20,54	2,92
LC-24	79,33	13,27	0,05	14,03	1,10
LC-25	76	15,52	0,06	16,94	1,50
LC-26	76	14,24	0,05	15,11	1,07
LC-27	36	35,93	0,11	82,74	12,38
LC-28	62,64	22,56	0,07	27,35	3,07
LC-29	50,28	19,68	0,06	23,81	1,96
LC-30	75,76	16,40	0,10	21,03	3,20
LC-31	41,32	31,42	0,12	155,47	69,96
LC-32	72,44	15,13	0,05	16,12	1,01
LC-33	53,57	22,03	0,09	30,63	3,74
LC-34	53,38	16,29	0,06	18,89	1,64

Al observar los sondajes que presentan las concentraciones promedio más altas (LC-15, LC-17, LC-21 y LC-31), puede notarse que todos se encuentran ubicados en la zona norte del proyecto, por lo que se pueden establecer dos sub-áreas: la norte que presenta las mayores concentraciones de Au por sondaje y la sur con bajos valores de Au en éstos, donde la mayoría tienen más del 50% de los valores bajo el límite de detección.

Tabla 7: Media de concentración de Ag por sondaje

Sondaje	% muestras bajo límite de detección	Media Ag (ppm)	Desviación Estándar (ppm)	Media Ag Aritmética (ppm)	Desviación Estándar Aritmética (ppm)
LC-01	69,12	0,14	0,15	0,20	0,05
LC-02	51,33	0,68	0,16	1,48	0,20
LC-03	48,25	2,32	0,17	4,31	0,58
LC-04	55,33	0,83	0,19	5,29	2,00
LC-05	8,04	0,90	0,09	2,38	0,41
LC-06	26,95	0,79	0,18	4,27	0,88
LC-07	44	1,18	0,17	3,18	0,46
LC-08	91,1	0,98	0,31	1,54	0,36
LC-09	64,37	1,12	0,07	1,31	0,11
LC-10	53,57	0,78	0,05	0,85	0,05
LC-11	50,77	1,07	0,07	1,43	0,18
LC-12	58,57	1,01	0,11	1,68	0,36
LC-13	100	----	----	----	----
LC-14	73,74	0,89	0,08	0,97	0,09
LC-15	52	4,43	0,17	13,72	4,82
LC-16	46	1,25	0,08	1,71	0,22
LC-17	56	1,81	0,11	2,80	0,36
LC-18	75,33	1,71	0,18	3,13	0,63
LC-19	94,67	0,74	0,10	0,77	0,07
LC-20	56,38	3,65	0,16	8,52	1,51
LC-21	68	3,81	0,25	16,21	3,71
LC-22	68	1,24	0,07	1,40	0,12
LC-23	100	----	----	----	----
LC-24	46,67	1,95	0,10	3,61	0,77
LC-25	44	1,67	0,07	2,18	0,27
LC-26	76	1,32	0,09	1,67	0,36
LC-27	45,71	5,48	0,14	14,05	2,76
LC-28	51,15	1,56	0,11	3,00	0,55
LC-29	77,97	3,17	0,14	4,72	0,75
LC-30	94,55	1,47	0,17	1,67	0,33
LC-31	62,28	2,30	0,13	4,04	0,64
LC-32	93,59	2,28	0,25	3,20	1,06
LC-33	80	1,16	0,12	1,48	0,26
LC-34	75,68	0,80	0,09	0,90	0,15

Se puede ver que los valores de Ag son bajos en el proyecto y que en casi todos los sondajes más del 50% de las muestras presentan valores bajo el límite de detección, y cuando no es así esta cifra es cercana al 50% (Tabla 7).

Sin embargo, los sondajes LC-15, LC-21 y LC-27 presentan un promedio por sobre los 10 ppm de promedio, coincidiendo con algunos de los sondajes con mayor concentración de Au (Tabla 6), además estos promedios coinciden con los de los tramos con mayor concentración de Au, encontrándose el resto de los valores bajo el límite de detección de la Ag.

Tanto para el Au como para la Ag se encuentran varios sondajes que presentan más del 50% de los valores de concentración bajo el límite de detección. Sin embargo, no pueden

ser descartados en los análisis, debido a que son los elementos de mayor interés para el proyecto y deben ser examinados en su totalidad.

4.4.1.2 Análisis de los sondajes LC-14 a LC-32

Como se determinó previamente que el área de mayor concentración de Au se da entre los sondajes LC-14 y LC-32, el análisis multi-elementos se hizo sólo en estos sondajes (excepto LC-24). Para el Au y la Ag se calcularon los valores considerando la mitad del límite de detección menor y no considerándolos. Para ver el contraste del total con la zona mineralizada. En la estadística básica se consideraron la media y la desviación estándar (Tabla 8).

Tabla 8: Estadística descriptiva de los elementos analizados

Elemento	Unidad	% muestras bajo límite de detección	Media	Desviación Estándar	Abundancia promedio en rocas félsicas (**)
Au	ppb	48,85	3,67	1,04	4
Au*	ppb	0	28,96	1,03	4
Ag	ppm	65,78	0,17	1,04	0,05
Ag*	ppm	0	2,20	1,04	0,05
Al	%	0,00	1,15	1,03	7,7
As	ppm	0,00	760,30	1,08	1,5
Ba	ppm	0,20	191,11	1,05	830
Ca	%	1,02	0,62	1,08	1,6
Cd	ppm	42,83	2,31	1,08	0,2
Co	ppm	18,85	6,02	1,05	5
Cr	ppm	30,94	5,22	1,06	25
Cu	ppm	0,00	31,75	1,05	20
Fe	%	0,00	3,98	1,03	2,8
K	%	0,00	0,36	1,04	3,3
La	ppm	14,34	8,61	1,06	25
Mg	%	12,70	0,12	1,07	0,6
Mn	ppm	1,43	911,16	1,11	600
Mo	ppm	21,72	3,32	1,04	1
Na	%	15,78	0,04	1,04	2,7
Ni	ppm	1,43	22,89	1,05	0,5
P	%	0,00	0,06	1,05	0,07
Pb	ppm	2,25	132,16	1,09	20
Sb	ppm	36,68	12,60	1,07	0,3
Sr	ppm	0,00	114,80	1,05	300
V	ppm	0,20	28,22	1,04	40
Zn	ppm	1,84	487,96	1,10	60

*: Valores sin considerar los datos bajo el límite de detección

** : Govett, 1983

4.4.2 Análisis de poblaciones

Este análisis considera la distribución heterogénea de los elementos en la naturaleza debido a las diferentes fuentes para cada elemento (litológicas, de alteración, etc.).

En este análisis se usaron datos de Au y Ag de todos los sondeos del Proyecto Purén Oeste. Éstos fueron procesados en base log-normal con el programa ProbPlot en gráficos de probabilidad “Porcentaje v/s concentración del elemento en base log-normal”, donde los quiebres en la recta o cambios de pendientes en ésta representan un cambio de población. En este caso si fueron considerados los valores “outliers” o fuera de rango.

En total habían 4841 datos de concentraciones, pero el programa ProbPlot sólo puede procesar 3500, esto se solucionó quitando datos cada 2 metros, para mantener la continuidad, a partir de la segunda muestra de cada sondeo, finalmente se procesaron 2432 datos de Au y Ag (Tabla 9).

Tabla 9: Análisis de poblaciones para el Au y la Ag.

Elemento	Unidad	N° Poblaciones	% de Población	Media	Umbral mínimo	Umbral máximo
Au	ppb	3	65	0,88	0,11	7,06
			25	17,63	9,73	31,93
			10	115,35	10,77	1235,79
Ag	ppm	2	65	0,06	0,03	0,12
			35	1,78	0,19	16,40

4.4.3 Análisis multivariantes

Éste se realiza para definir el nivel de relación de la concentración y distribución entre varios elementos.

Se consideraron los valores de los sondajes LC-14 a LC-32 (exceptuando LC-24) que tuvieran análisis geoquímico de todos los elementos. Por lo tanto, los últimos tramos de LC-17 y LC-21, que corresponden a los con mayores concentraciones de Au, no fueron incluidos, debido a que la geoquímica de multi-elementos no los abarcó.

Además, como el elemento de mayor relevancia para el estudio es el Au, se descartaron las muestras que tenían valores bajo el límite de detección para el Au, para no tener datos constantes comparándose con otros variables, del resto de los elementos.

Para el análisis se usó el programa WINSTAT, específicamente sus herramientas de matriz de correlación de Pearson y análisis de factores. Los datos fueron procesados en base log-normal.

La matriz de Pearson es para establecer el grado de similitud en el comportamiento de la varianza entre los elementos considerados. Las principales relaciones de la matriz se muestran a continuación (Tabla 10), mientras que la matriz completa se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 10: Principales correlaciones de los elementos según la matriz de Pearson

	Ag		Zn
Cd	0,63	Ag	0,60
Cu	0,58	Ba	-0,62
Pb	0,63	Cd	0,85
Sb	0,63	Pb	0,76
V	-0,56	Sb	0,61
Zn	0,60	V	-0,51
	As		Sb
Cd	0,61	Ag	0,63
Pb	0,59	As	0,68
Sb	0,68	Cd	0,71
		Mg	-0,50
		Mo	0,50

El análisis de factores se utiliza para definir el mínimo de dimensiones que se requieren para representar un conjunto de datos, el número de factores determinados fue cuatro (Tabla 11).

Tabla 11: Resultado del análisis de factores. En amarillo se destacan los elementos pertenecientes a cada grupo.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad
Sb	0,82	-0,17	-0,26	0,10	0,78
As	0,78	-0,04	-0,05	-0,06	0,62
Pb	0,78	-0,04	-0,33	0,04	0,71
Cd	0,76	0,03	-0,42	0,05	0,76
Zn	0,69	0,28	-0,50	0,10	0,81
Ag	0,55	-0,02	-0,50	-0,02	0,56
Al	-0,48	0,18	0,16	-0,20	0,33
Fe	0,45	0,34	-0,37	0,08	0,46
Mn	0,13	0,82	-0,08	0,08	0,70
Mg	-0,41	0,79	0,10	-0,08	0,81
P	0,13	0,77	0,01	0,02	0,60
La	-0,05	0,74	0,18	0,01	0,59
Ca	-0,27	0,74	0,07	-0,20	0,67
K	-0,01	0,48	-0,18	0,02	0,27
Ba	-0,33	-0,05	0,77	0,07	0,71
V	-0,31	0,19	0,73	-0,07	0,66
Co	-0,13	0,43	-0,60	0,20	0,60
Na	-0,42	0,21	0,51	0,22	0,53
Sr	-0,34	0,10	0,48	-0,25	0,42
Cu	0,30	0,08	-0,41	0,11	0,28
Au	0,28	-0,01	-0,32	-0,04	0,18
Ni	0,11	0,08	-0,36	0,88	0,93
Cr	-0,02	0,02	0,13	0,69	0,49
Mo	0,50	-0,22	-0,06	0,50	0,55
Suma de Cuadrados	4,89	3,81	3,49	1,81	14,01
% de Varianza	20,38	15,89	14,56	7,55	58,38

Tanto en el análisis de la matriz de Pearson como en el de factores, es necesario que los valores sean mayores que 0,5 para que exista correlación estadística entre los elementos.

Por lo que, al menos estadísticamente, el Au no se encuentra relacionado con la distribución de los otros elementos analizados, es decir, su distribución es independiente. Mientras que la Ag se encuentra relacionada con el Cd, Pb, Sb y Zn, según ambos análisis.

4.4.4 Distribuciones geoquímicas

La distribución de los elementos, analizados previamente que denotan anomalías de contraste en la zona, se describe a continuación:

Au: la media de todo el proyecto es 2,9 ppb, mientras que la de las partes mineralizadas (sin considerar los valores bajo el límite de detección), es de 15,4 ppb. En cambio si se consideran únicamente los sondajes LC-14 a LC-32 (que tiene las concentraciones más altas de Au) la media es de 3,7 ppb y la de los tramos mineralizados 29 ppb. Valores que superan por muy poco el promedio de concentración de Au en la corteza terrestre, que es de 4 ppb. En base al análisis de poblaciones se puede establecer que el área de mayor anomalía de contraste (correspondiente al 10%, y definida entre los 11 y 1236 ppb) se ubica en la parte norte del proyecto. Las mayores concentraciones se encuentran en los sondajes LC-17, LC-21 y LC-31, y en menor medida en LC-15 y LC-27, en los últimos metros de estos sondajes (Tabla 12; Fig. 11). Las altas concentraciones de Au se encuentran hospedadas mayormente en las tobas finas y en menor medida en las tobas gruesas. El resto de los gráficos de distribución del Au en profundidad, de los sondajes LC-14 a LC-32, se encuentran en el Anexo 5.

Tabla 12: principales interceptos de concentración de Au

Sondaje	Promedio Total (ppb)	Interceptos mayores (m)	Largo del intercepto (m)	Intercepto mayor ley(ppb)
LC-15	92	254-300	46	230
LC-17	397	158 – 300	142	824
LC-21	231	256 – 300	44	1465
LC-27	55	272 – 322	50	271
LC-31	93	276 – 286	10	2367

Los interceptos muestran la existencia de una mineralización de Au de baja ley.

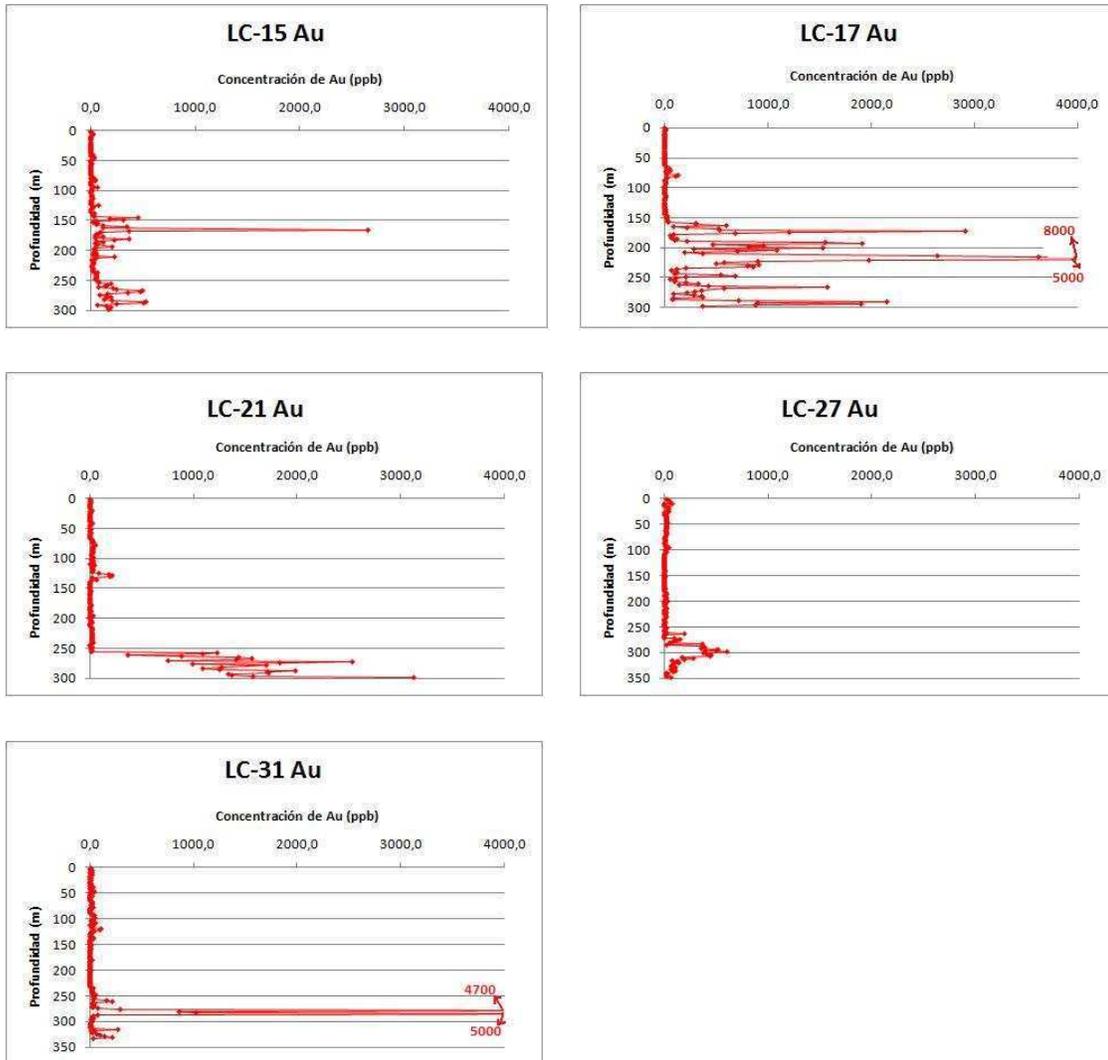


Figura 11: Gráficos de distribución de Au v/s profundidad de los sondajes con mayor mineralización de Au.

En la información de los gráficos, análisis de población y los interceptos de mayor ley de Au se pueden observar valores aislados de mayor concentración de Au, consistentes con mineralización en estructuras, pudiendo haber algún grado de diseminación ligada a estas, pero de baja ley de Au.

El Au no presenta correlaciones geoquímicas importantes (mayor a 0,5), con otros elementos. Es decir, estadísticamente, su distribución es independiente de los demás elementos analizados.

As: En casi todos los sondajes supera los 1000 ppm en promedio, e incluso más de 2000 ppm en algunos, excepto en los ubicados en la zona más oeste (LC-16, LC-18, LC-19, LC-20), LC-23 y LC-30 (Tabla 13). Se observa que las anomalías de contraste comienzan a los 70 m de profundidad, asociado a las tobas gruesas y finas, el contraste es muy abrupto y se pasa de valores que no superan los 100 ppm a concentraciones por sobre los 4000 ppm, lo cual es característico del control estructural (Anexo 6),. En la figura 12 se observa la distribución del As en los sondajes LC-15 y LC-31.

Tabla 13: Promedio de concentración de As por sondaje.

Sondaje	% bajo límite de detección	Media (ppm)	Desviación Estándar
LC-14	0	917,47	318,47
LC-15	0	1179,94	332,52
LC-16	0	90	13,38
LC-17	0	1163,80	339,06
LC-18	0	190,81	60,38
LC-19	0	75,97	15,56
LC-20	0	347,33	57,57
LC-21	0	2186,83	591,86
LC-22	0	1739,70	363,17
LC-23	0	60	21,78
LC-25	0	1117,16	229,14
LC-26	0	2871	703,77
LC-27	0	1386,31	324,95
LC-28	0	2666,69	508,99
LC-29	0	2222,83	391,08
LC-30	0	440,67	128,90
LC-31	0	2009,26	454,06
LC-32	0	1975,50	401,46

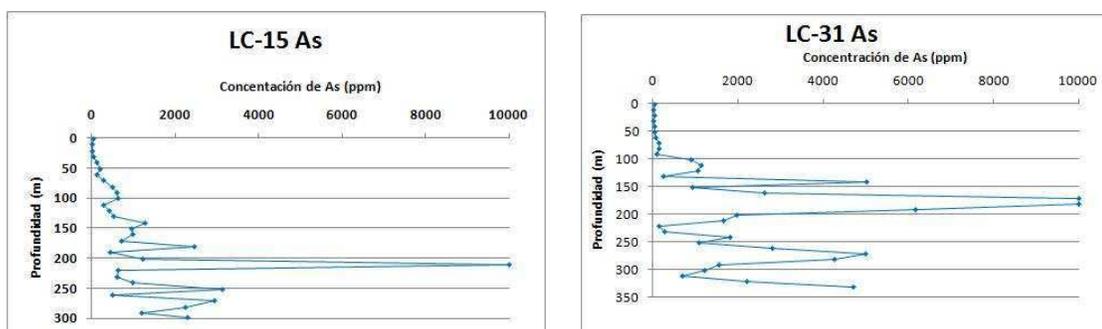


Figura 12: Gráficos de distribución de As v/profundidad en los sondajes LC15 y LC-31.

La correlación geoquímica de distribución, según la matriz de Pearson se da con los elementos Cd, Pb y Sb. Y en base al análisis de factores, con Sb, Pb, Cd, Zn y Ag.

Pb: Se observa que los valores promedio por sondaje son relativamente constantes, a pesar de que entre los sondajes LC-16 y LC-19 (ubicados en la zona oeste del área de estudio) y LC-30 no superan los 100 ppm. El resto varía alrededor de los 300 ppm, llegando incluso a alrededor de 1000 ppm en el caso de LC-15 y LC-27. No se define una zona de mayor concentración de Pb en el proyecto (Tabla 14). En profundidad, alrededor de los primeros 100 metros las concentraciones son muy bajas, luego, en las tobas gruesas y finas se dan altas concentraciones abruptamente, pasando de valores bajo el límite de detección a valores por sobre los 2000 ppm (Anexo 7), lo que es típico del control estructural de la mineralización. En la figura 13 se muestra la distribución del Pb en los sondajes LC-15 y LC-31.

Su correlación geoquímica, según la matriz de Pearson es con la Ag, Cd, Zn y As. Y según el análisis de factores es con As, Sb, Cd, Zn y Ag.

Tabla 14: Promedio de concentración de Pb por sondaje.

Sondaje	% bajo límite de detección	Media (ppm)	Desviación Estándar
LC-14	11	232,11	89,17
LC-15	3	995,73	327,66
LC-16	0	62,28	11,00
LC-17	0	65,80	34,08
LC-18	0	53,19	9,31
LC-19	0	12,17	1,52
LC-20	3	841,68	414,83
LC-21	0	154,17	58,93
LC-22	0	625,87	335,98
LC-23	0	31,25	14,87
LC-25	0	326,81	62,65
LC-26	0	550,00	164,56
LC-27	3	1336,18	316,51
LC-28	5	883,28	186,62
LC-29	13	472,33	156,26
LC-30	0	83,97	16,97
LC-31	0	260,79	75,10
LC-32	0	397,79	145,01

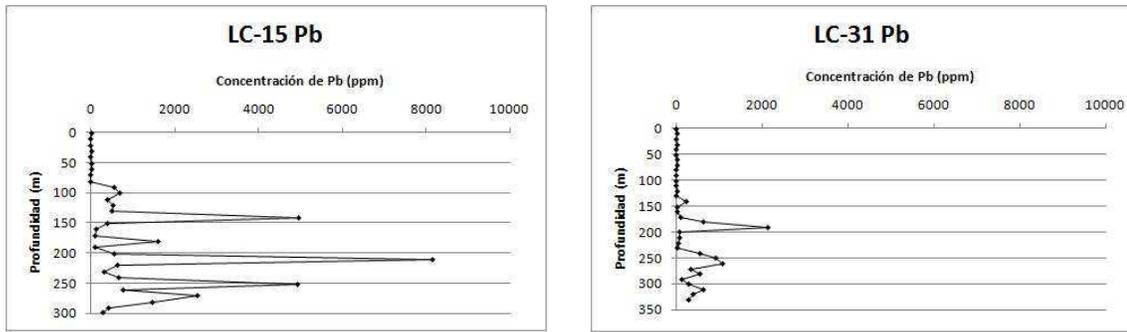


Figura 13: Gráficos de distribución de Pb v/s profundidad, de los sondajes LC-15 y LC-31.

Sb: la mayor concentración promedio se da en el sondaje LC-15 (177 ppm) y supera los 40 ppm en LC-20, LC-26, LC-27, LC-28 y LC-29 (Tabla 15). En los sondajes mencionados se observa un aumento abrupto a partir de los 150 m de profundidad, asociado a las tobas gruesas y finas, donde se pasa de valores bajo el límite de detección a valores cercanos a los 500 ppm, llegando casi a los 2000 ppm en el caso del sondaje LC-15. Estos tramos de altas concentraciones son de alrededor de 50 metros de largo y terminan flanqueados por valores bajo el límite de detección, estos cambios abruptos son típicos del control estructural (Anexo 8). En la figura 14 se observa la distribución del Sb en los sondajes LC-15 y LC-31.

La correlación geoquímica en base a la matriz de Pearson es con Ag, As, Cd, Mg y Mo, y según el análisis de factores con Pb, Cd, As, Zn y Ag.

Tabla 15: Promedio de concentración de Sb por sondaje.

Sondaje	% bajo límite de detección	Media	Desviación Estándar
LC-14	3	29,18	9,00
LC-15	4	177,42	82,04
LC-16	14	3,14	0,39
LC-17	9	33,17	11,55
LC-18	10	3,71	0,57
LC-19	27	1,72	0,12
LC-20	6	51,50	31,39
LC-21	11	13,06	4,62
LC-22	10	22,90	4,99
LC-23	3	1,88	0,38
LC-25	10	7,26	1,66
LC-26	10	112,00	42,82
LC-27	11	45,79	15,08
LC-28	9	43,79	15,45
LC-29	12	43,10	14,86
LC-30	9	4,11	0,48
LC-31	12	14,00	2,68
LC-32	9	29,20	11,77

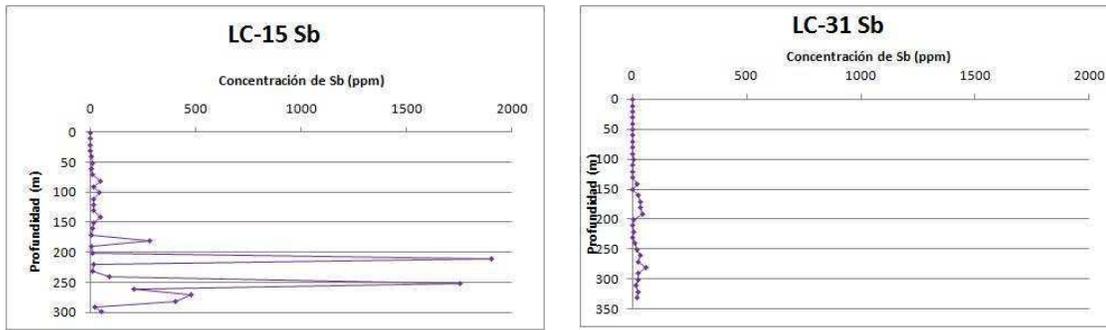


Figura 14: Gráficos de distribución de Sb v/s profundidad, de los sondajes LC-15 y LC-31.

Zn: la anomalía de Zn se da a lo largo de casi todos los sondajes, excepto en LC- 16, LC-17, LC-18 y LC-19, donde los valores no superan los 300 ppm. En el resto de los sondajes, en general, superan los 1000ppm en promedio (Tabla 16). En profundidad las mayores concentraciones se dan a partir del metro 140, asociados a las tobas gruesas y a las tobas finas, pero mayormente a estas últimas, donde se superan frecuentemente los 5000 ppm y en muchos casos incluso los 10000 ppm (Anexo 9). Estos tramos de altas concentraciones se dan en contraste con los valores que los preceden y se mantienen hasta el fin de los sondajes. En la figura 15 se muestra la distribución del Zn en los sondajes LC-15 y LC-31.

Según la matriz de Pearson se encuentra correlacionado geoquímicamente con Cd, Ag, Ba, Sb, V y Pb, y según el análisis de factores con el Sb, Pb, Cd, As y Ag.

Tabla 16: Promedio de concentración de Zn por sondaje.

Sondaje	% bajo el límite de detección	Media	Desviación Estándar
LC-14	0	1930,16	850,20
LC-15	2	2186,45	510,23
LC-16	0	251,31	30,96
LC-17	3	20,77	5,94
LC-18	0	324,10	102,65
LC-19	2	57,23	8,07
LC-20	0	1424,87	439,41
LC-21	0	1358,17	534,15
LC-22	0	1414,63	532,87
LC-23	0	97,25	19,50
LC-25	0	1567,32	310,07
LC-26	0	2251,41	639,09
LC-27	2	3394,17	713,93
LC-28	0	2716,97	593,51
LC-29	0	872,97	283,44
LC-30	0	540,15	130,74
LC-31	0	1794,74	550,18
LC-32	0	2521,21	643,53

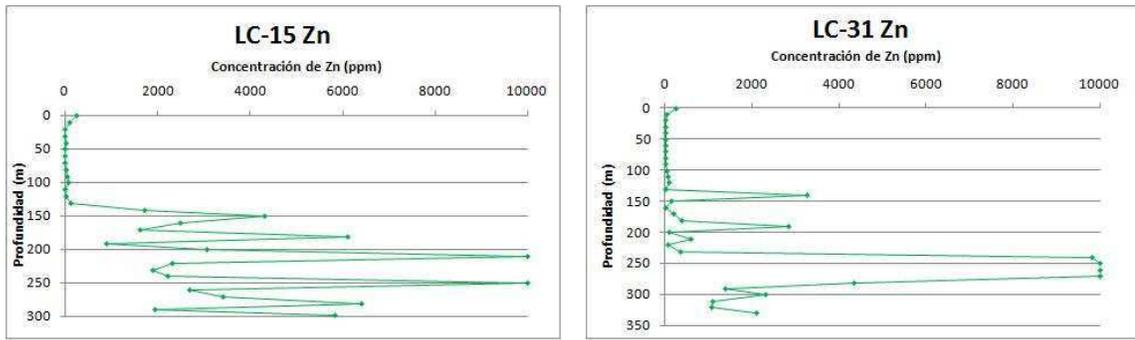


Figura 15: Gráficos de concentración de Zn v/s profundidad, de los sondajes LC-15 y LC-31.

No se puede establecer una correlación espacial entre la distribución del Au y el resto de los elementos, ya que las anomalías de concentración del Au se dan solamente en los sondajes LC-17, LC-21, LC-31 y en menor medida en LC-15 y LC-27, mientras que en el resto de los elementos se da en casi todos los sondajes, además para LC-17 y LC-21 no se tienen las concentraciones de As, Pb, Sb y Zn en los últimos metros para poder comparar de mejor manera. Sin embargo, la correlación espacial entre estos últimos elementos se observa claramente, además de que los bajos valores se dan en los mismos sondajes, las anomalías de contraste se dan prácticamente juntas, por lo que están relacionados estadística y espacialmente.

4 ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA

Para el análisis cualitativo de la mineralogía de alteración hidrotermal, se usó el Espectrómetro Terraspec. Éste determina la composición de una muestra a través del espectro de la radiación infrarroja de onda corta, la cercana al infrarrojo y a la luz visible.

El Espectrómetro mide la radiación reflejada desde la superficie de la muestra, la cual es transmitida por medio de espectros con absorciones características definidas para cada mineral (Fig. 16).

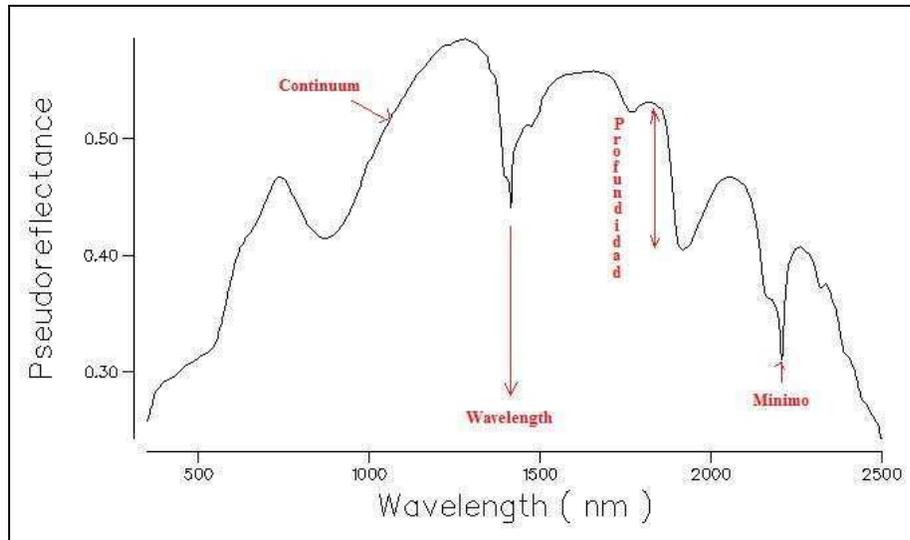


Figura 16: Componentes de los espectros: envolvente o continuum, mínimos de absorción, posiciones de las absorciones como valores de las longitudes de onda (wavelength) y las profundidades de los rasgos.

Con este instrumento la recolección de datos puede realizarse en oficinas, laboratorios o en terreno. No se requiere un tamaño de grano específico, aunque tamaños de granos mayores muestran bandas de absorción más pronunciadas y en muestras con granos muy gruesos tanto la reflectancia de fondo como las absorciones individuales pueden ser substancialmente reducidas (Crowley, 1986). Además, trabaja con muestras de roca, pulpas, pulverizados o líquidos.

Entre sus limitantes se encuentra que únicamente recolecta datos de la superficie del material, por lo que se debe suponer que por dentro será similar. Debido a esto, las muestras que se miden tienen que estar completamente secas, ya que si se encuentran húmedas se medirá el espectro del agua y no de la mineralogía que se busca. Las muestras pueden ser secadas al sol, con un horno o un horno microondas.

Por último, dada la similitud entre los espectros se debe contar con descripciones físicas de la muestra (textura, color, tamaño de grano, etc.) y del lugar donde fue tomada, para así poder discernir correctamente entre las posibilidades mineralógicas del área de estudio.

5.1 Muestreo y metodología

El muestreo se realizó en una oficina, en muestras de todos los sondajes (excepto LC-23, que no fue encontrado). Las muestras fueron tomadas cada 8 m, partiendo desde la segunda extraída de cada sondaje (es decir desde el metro 2), sin embargo, en algunos casos no se encontraron todas las muestras establecidas, por lo que se buscó la más cercana.

Una vez definidas y encontradas las muestras que se analizarían de un determinado sondaje, se procedió a secarlas, debido a que algunas presentaban altos grados de humedad. El secado se hizo al sol, para no alterar la mineralogía de las arcillas al exponerlas a altas temperaturas. Fueron colocadas en platos de aluminio individuales con el número de muestra escrito en ellos. Éste proceso fue de aproximadamente un día por muestra.

A continuación, las muestras fueron molidas con martillos de geología, ya que al secarse quedaba una masa dura y no se tenía la seguridad de que la superficie fuera representativa del total de la muestra, por lo que al molerla se obtenía una muestra más homogénea.

Los molidos de roca se colocaron en capsulas Petri (pocillos de vidrio), realizándose la medición a través de ellas. Entre cada medición estas capsulas eran limpiadas para evitar contaminación entre muestras. Para cada muestra fueron tomadas dos mediciones, con dos submuestras distintas.

Una vez recolectados los espectros (Anexo 10) se procedió al análisis e interpretación de éstos mediante los programas Specmin y View Spect Pro. Este proceso se realizó observando la mineralogía propuesta por Specmin (que cuenta con una biblioteca de base de datos de minerales), viendo los rasgos más característicos de los espectros (Anexo 10) en el programa ViewSpecPro y teniendo en cuenta las descripciones físicas realizadas a cada muestra y el conocimiento previo de la mineralogía del área.

5.2 Resultados

Los minerales de alteración hidrotermal identificados en las muestras analizadas fueron sílice, alunita, natroalunita, caolinita, illita, dickita y montmorillonita. Además se identificaron los minerales de Fe hematita (óxido de Fe), goethita (hidróxido de Fe) y jarosita (sulfato de Fe). Éstos se encuentran en las tobas gruesas y las tobas finas.

Debe destacarse que los espectros de los minerales de composición SiO₂ son muy similares, por lo que es difícil discernir claramente entre ellos, optándose por el sílice.

Además, algunas muestras se encontraban muy contaminadas con yeso y glauconita, debido a que estuvieron guardadas en bodegas con mucha humedad, lo cual no permitió la interpretación de la mineralogía de éstas, ya que su espectro estaba oculto por el de estos minerales.

Para simplificar la interpretación, se buscaron asociaciones entre los minerales de alteración hidrotermal, las cuales son descritas a continuación:

Alunita-Sílice-Caolinita: se presenta principalmente en la parte sur del proyecto (Anexo 11), en los sondajes con menores concentraciones de Au en promedio, con excepción de LC-15 y LC-17 donde esta asociación se encuentra sobre la zona de mayor concentración de Au (Fig. 17). En general no suele ser la asociación que domina a lo largo de los sondajes, y se encuentra tanto al principio como al final de la zona de alteración hidrotermal.

Caolinita+Illita+Montmorillonita: se observa en casi todos los sondajes, con excepción de LC-25 y LC-34 (Anexo 11). En algunas ocasiones se presenta con sílice (se incluye en esta asociación si hay montmorillonita, si no, se incluye en la asociación descrita a continuación). Se encuentra principalmente en las zonas superficiales de los sondajes, sobre las áreas de mayor concentración de Au (Fig. 17). En caso de encontrarse dickita, se incluye también en esta asociación debido a los rangos de temperatura y pH similares con estos minerales de alteración hidrotermal.

Sílice:(±illita y/o caolinita): se encuentra en todos los sondajes (Anexo 11) y junto con la asociación descrita previamente domina la mineralogía de alteración hidrotermal. En general se encuentra en las zonas más profundas de los sondajes, asociada a las mayores concentraciones de Au (Fig. 17).

La hematita, goethita y jarosita, se encuentran a lo largo de todos los sondajes, siendo más abundantes en los niveles más superficiales y no parecen asociarse a un grupo de minerales de alteración hidrotermal en particular.

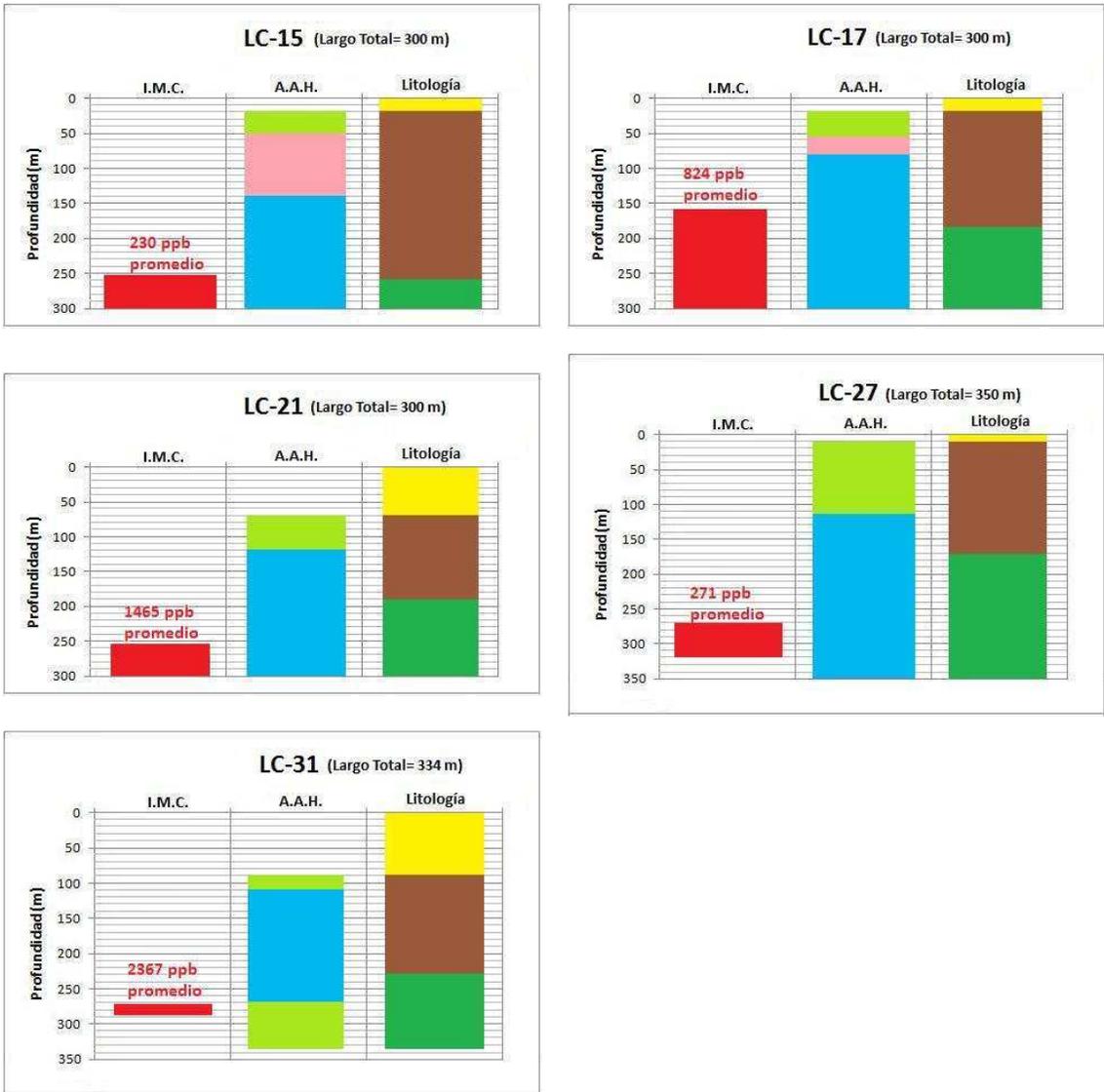


Figura 17: Interceptos de mayor concentración de Au, alteración hidrotermal y litología de los sondajes LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31.

6 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La difracción de Rayos X corresponde a un método de radiación electromagnética de alta frecuencia. Los Rayos X son invisibles y capaces de atravesar cuerpos opacos e impresionar películas fotográficas.

La difracción de Rayos X es uno de los fenómenos físicos que se producen cuando ocurre interacción entre un haz de Rayos X, de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina (Fig. 18). Ésta puede ser descrita mediante la Ley de Bragg, que predice la dirección en que se da interferencia constructiva entre haces de Rayos X dispersados coherentemente por un cristal.

$$N\lambda = 2d\text{sen}(\theta) \quad (\text{Ley de Bragg})$$

Donde:

N es un número entero

λ es la longitud de onda de los rayos X

d es la distancia entre los planos de la red cristalina

θ es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión

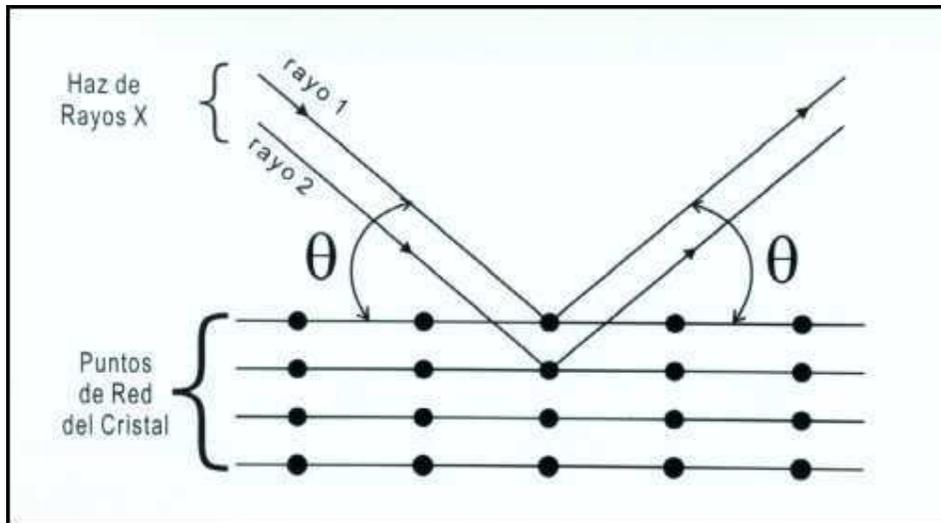


Figura 18: Interacción de los Rayos X con los materiales.

La intensidad del haz reflejado será proporcional al producto de las intensidades del haz incidente y de la concentración o densidad de electrones en el plano que está reflejando el haz.

Los Rayos X penetran la muestra, por lo que al analizar los datos se obtiene una interpretación de toda la muestra y no solo de la superficie de ésta.

6.1 Muestreo y metodología

El fin de esta metodología fue corroborar los resultados obtenidos con el Espectrómetro Terraspec, por lo que en primer lugar se seleccionaron 20 muestras representativas de los distintos tipos de espectros que se hallaron con Terraspec (Anexo 10).

Una vez definidas las muestras se examinaron en el Laboratorio de Difracción de Rayos X de la Universidad de Chile, con el equipo Siemens D5000, para obtener un análisis cualitativo de las muestras.

El procedimiento comenzó con el tamizado de las muestras con una malla N°200, hasta obtener la cantidad suficiente para el análisis. Cabe destacar que entre cada muestra debía limpiarse el tamiz para evitar la contaminación de éstas.

Luego, el material se colocó en un portamuestras de vidrio. En esta parte se debió tener especial consideración en que los fragmentos se encontraran distribuidos al azar, sin orientaciones relativas a algún plano cristalográfico privilegiado, para garantizar que en cualquier dirección arbitraria de incidencia del haz exista un número significativo de cristales en condición de difracción, es decir que cumplan con la Ley de Bragg.

Después la muestra fue colocada en el equipo de difracción de Rayos X, haciendo un barrido desde 2° hasta 80°, a 0,02°/seg. Esto significa que el difractograma de las muestras analizadas muestra un rango angular de entre 2° a 80° en 2θ (ángulo de difracción).

Una vez obtenido los difractogramas (Anexo 12), éstos fueron analizados mediante el programa software EVA. Lo primero fue reducir el ruido y luego se compararon los patrones obtenidos con los existentes en la base de datos del programa EVA, buscando coincidencias, para poder definir la presencia de los elementos buscados. En este caso se buscaron coincidencias con los minerales previamente definidas con Terraspec: illita, kaolinita, montmorillonita, alunita, dickita y silice.

6.2 Resultados

Los resultados obtenidos mediante el análisis de Rayos X se muestran en la tabla 17.

Tabla 17: Resultados obtenidos con difracción de Rayos X y su comparación con los obtenidos mediante Terraspec.

Muestra	Sondaje	Profundidad (m)	Mineralogía con DRX	Mineralogía con Terraspec
600080	LC-01	58-60	SiO ₂ ; cristobalita	Cuarzo
600232	LC-02	198-200	alunita; caolinita; SiO ₂	alunita, caolinita, sílice
600435	LC-04	50-52	alunita; natroalunita; caolinita; SiO ₂	alunita, natroalunita, sílice, caolinita
600571	LC-05	10-12	caolinita; montmorillonita; SiO ₂	caolinita, illita, montmorillonita
600651	LC-05	162-164	alunita; caolinita; SiO ₂	alunita, caolinita, sílice
600877	LC-06	194-196	illita; montmorillonita; SiO ₂	Illita, montmorillonita
601097	LC-08	30-32	illita; caolinita; montmorillonita	caolinita, illita, montmorillonita
602181	LC-15	262-264	dickita; SiO ₂	dickita, sílice
602349	LC-16	282-284	illita; SiO ₂	sílice, illita
602363	LC-17	10-12	caolinita; montmorillonita; SiO ₂	Caolinita, montmorillonita
602393	LC-17	66-68	alunita; caolinita; SiO ₂	alunita, caolinita, sílice
602572	LC-17	218-220	SiO ₂	Sílice
603097	LC-21	10-12	illita; caolinita; montmorillonita; SiO ₂	caolinita, illita, montmorillonita
603202	LC-21	210-212	caolinita; SiO ₂	caolinita, sílice
603246	LC-21	294-296	SiO ₂	Sílice
11915	LC-28	126-128	illita; montmorillonita; SiO ₂	illita, montmorillonita, sílice
70888	LC-31	218-220	caolinita; SiO ₂	caolinita, illita
70926	LC-31	290-292	illita; SiO ₂	Illita
71148	LC-33	66-68	alunita; SiO ₂	alunita, sílice, caolinita
71320	LC-34	114-116	caolinita; SiO ₂	caolinita, sílice

El SiO₂ puede estar exagerado debido a que es muy sensible a los rayos X. Por otro lado, no se pudo distinguir los distintos polimorfos de SiO₂, como cuarzo, ópalo y sílice, debido a que tienen estructuras cristalinas similares.

Además, es probable la presencia enmascarada de otro elemento, ya que las arcillas son un grupo difícil de analizar.

Por último, el estudio indica una buena coincidencia entre Rayos X y Terraspec, por lo que los resultados de espectrometría son aceptables para definir las asociaciones de minerales de alteración hidrotermal.

7 DISCUSIONES

El Proyecto Purén Oeste se encuentra ubicado en la parte norte de la Franja Maricunga, la cual posee una extensión de alrededor de 200 Km, a lo largo de los cuales existen una serie de depósitos de tipo pórfido y epitermales. Específicamente, el proyecto se encuentra dentro del distrito La Coipa, que se caracteriza por albergar una serie de depósitos epitermales de alta sulfuración (Oviedo et al., 1991; Townley, 1992,1993), por lo cual se estima que los potenciales yacimientos en Purén Oeste sean del mismo tipo.

El término “epitermal” deriva de la clasificación genética para depósitos hidrotermales propuesta por Lindgren (1933). Ésta fue hecha en base a relaciones estratigráficas en rocas volcánicas, analogías de la minerales y de los metales presentes y de las texturas de los minerales en sistemas geotermales modernos. De lo anterior se infirió que estos depósitos se formaban a temperaturas menores de 200°C y presiones menores a 100 bars, bajo presión hidroestática. Sin embargo, en la actualidad el régimen termal se ha extendido a temperaturas cercanas a los 300°C y profundidades de hasta 2 km. Generalmente se encuentran asociados a volcanismo subaéreo e intrusiones de magmas calcoalcalinos, que van desde basalto-andesíticos a riolíticos (Sillitoe et al., 1996).

Las estructuras regionales actúan como conductos para la intrusión de pórfidos que son la fuente de calor para los sistemas hidrotermales. Los fluidos que escapan de estos pórfidos se mezclan con aguas meteoricas y depositan los minerales llenando fracturas como venas o espacios abiertos como brechas. El movimiento de las estructuras mayores crea ambientes dilatacionales para hospedar menas en estructuras subsidiarias de alto angulo, particularmente en ambientes de convergencia oblicua. La reactivación de estructuras existentes suele ser común en muchos sistemas de mena (Corbett and Leach, 1994).

La mineralización se da típicamente en vetas y vetillas, o asociadas a zonas de brechización, aunque también puede presentarse en forma diseminada (Townley, 2006).

Los minerales de mena presentan, en general, una zonación vertical para cada veta. De base a techo se suceden uno a otro, sulfuros de metales base (principalmente Cu, Pb y Zn), Ag y finalmente Au. Los metales preciosos se depositan mayormente en y sobre el nivel de ebullición, mientras que los metales base lo hacen en y bajo este nivel. De esta forma, en la zona de ebullición se tiene una zona mixta de metales preciosos y base. Los metales base decrecen hacia arriba y los preciosos hacia abajo. La alteración asociada es variable y depende fuertemente del tipo de las soluciones hidrotermales que participan (Townley, 2006).

Dentro de los depósitos epitermales se distinguen dos grupos principales, los de baja y los de alta sulfuración (Hedenquist, 1987; White and Hedenquist, 1990, 1995; Hedenquist et al., 1996; Hedenquist and Arribas, 2000: Fig. 19). En el primero dominan las especies de

azufre reducidos (HS^- , H_2S) y en el segundo las especies de azufre oxidados (HSO_4^- , SO_4^{2-} , $\text{SO}_2(\text{g})$). Cada uno posee características que lo distinguen del otro (Tabla 18).

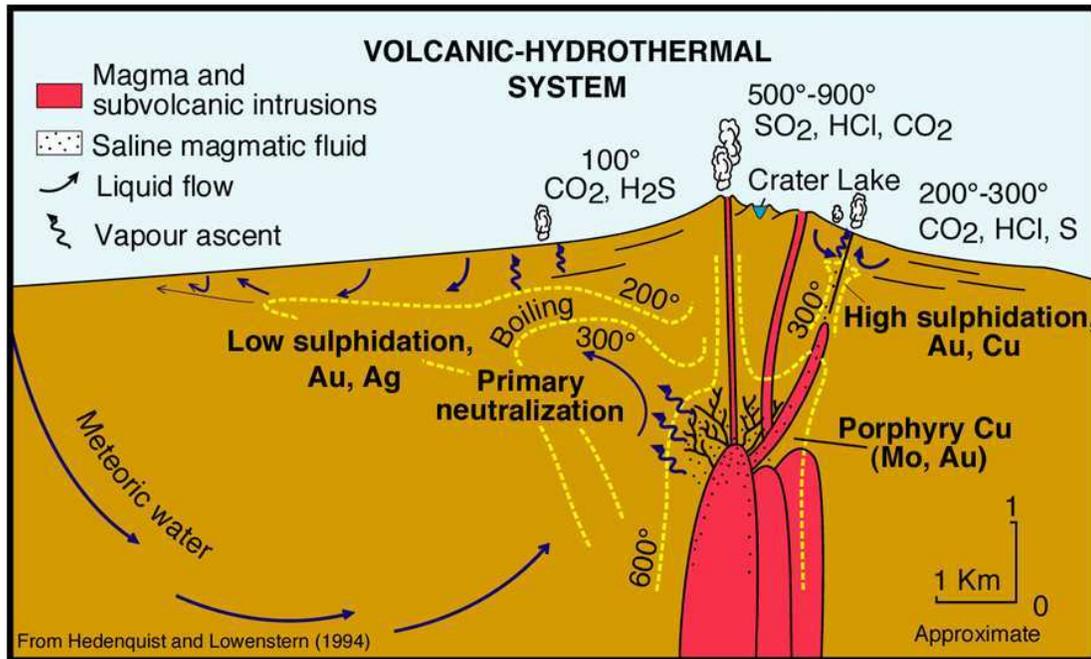


Figura 19: Depósitos de alta y baja sulfuración (Hedenquist and Lowenstern, 1994).

Tabla 18: Principales características de los depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Camprubí et al., 2003).

Características	Alta Sulfuración	Baja Sulfuración
Fluidos que influyen en la formación del depósito	Aguas meteóricas con aporte magmático directo	Aguas meteóricas, posible interacción con fluidos magmáticos
Mineralogía de alteración	Sílice, alunita, caolinita, illita, montmorillonita	cuarzo, adularia, sericita, illita
Metales dominantes	Cu, Au, As (Ag, Pb)	Au, Ag (Zn, Pb, Cu)
Metales presentes. Localmente	Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te (Hg)	Mo, Sb, As (Te, Se, Hg)

En los depósitos epitermales de alta sulfuración, debido a la interacción entre las soluciones ácidas y la roca caja, se obtiene una secuencia de las zonas de alteración hidrotermal, desde el conducto hidrotermal hacia afuera, que indica la neutralización del fluido y se define por la presencia de alunita, caolinita, illita, y montmorillonita±clorita (Steven and Ratté, 1960; Fig. 20).

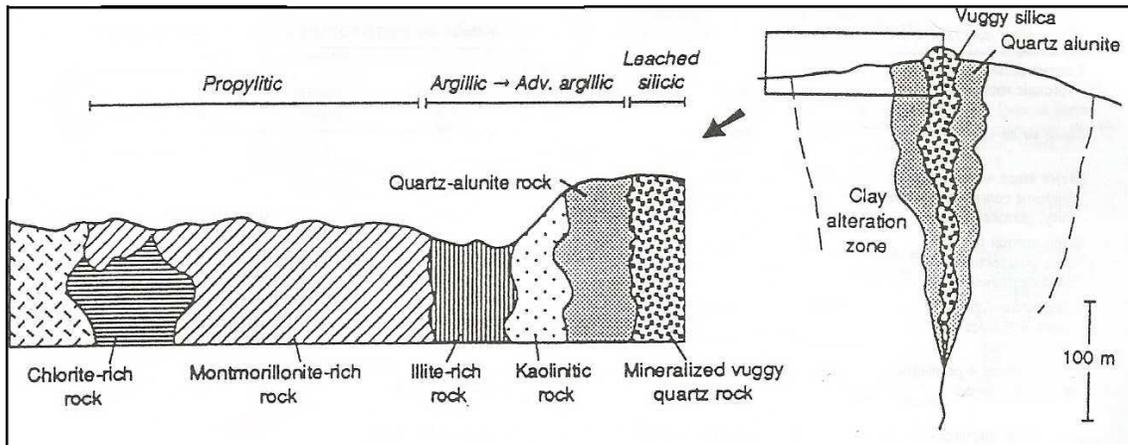


Figura 20: Sección de las zonas de alteración hidrotermal características de los depósitos de alta sulfuración, observada en el depósito de Au-Cu Summitville, Colorado. El diagrama a la izquierda (simplificado de Steven and Ratté, 1960) muestra la zonación esquemática de un cuerpo subvertical mineralizado, que se muestra a la derecha (Stoffregren, 1987).

7.1 Antecedentes del distrito La Coipa

En el distrito La Coipa se encuentra una serie de depósitos metalogénicos, dentro de los que destacan: Brecha Norte, Coipa Norte, Can Can, Ladera Farellón, Farellón Bajo (Fig. 21), interpretados como epitermales de alta sulfuración (Oviedo et al., 1991; Townley, 1992, 1993). La mina Purén, es también interpretada como un epitermal de alta sulfuración (fuente interna, minera Mantos de Oro).

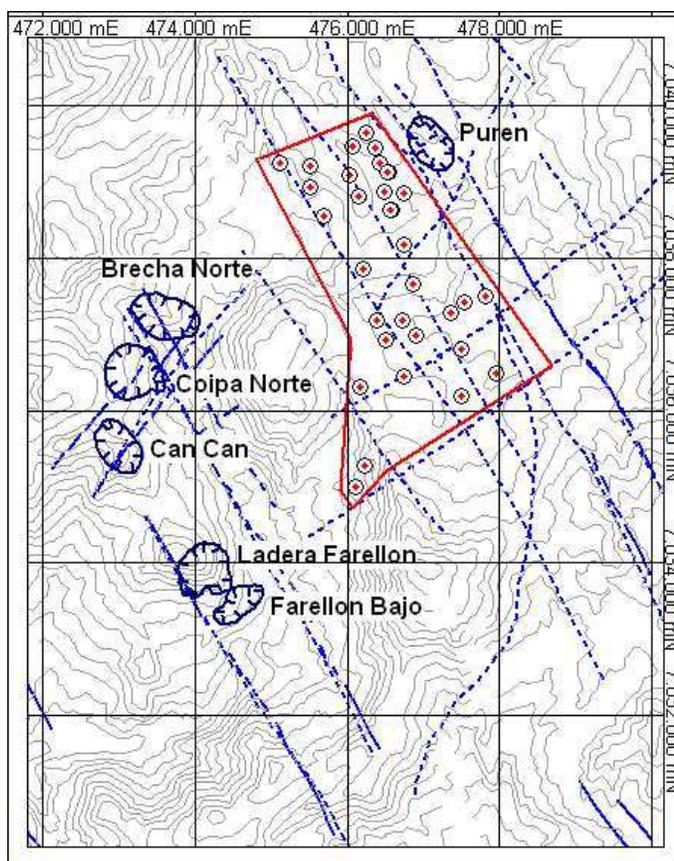


Figura 21: Ubicación del área de estudio (delimitada con línea roja), de los sondajes del proyecto Purén Oeste y los depósitos cercanos, y estructuras (líneas azules).

La geología descrita en Oviedo et al. (1991), concluye los siguientes puntos acerca del distrito La Coipa:

Las zonas de mena se encuentran delimitadas por estructuras mayores NS y NNE. Las fallas subsidiarias, ubicadas entre las mayores, presentan una orientación similar y son de verticales a subverticales. Se encuentra, además, un segundo dominio de orientación NE (Figura 21).

La alteración del distrito corresponde a: silicificación, argílica avanzada (alunita-caolinita±dickita-cuarzo), argílica intermedia (illita-esmectita±sericita), alteración “vuggy silica” y supérgena (jarosita-goetita±yeso±baritina).

Los depósitos de Au-Ag, se encuentran hospedados principalmente en las lutitas negras y areniscas del Triásico, y en las tobas y brechas tobacéas del Terciario, las que se ubican directamente sobre la unidad sedimentaria. El Au se encuentra, generalmente, en estado nativo, aunque se detecta electrum localmente.

En casi toda la zona se observa que las concentraciones de Au son mayores que las de Ag en profundidad y las de Ag son mayores que las de Au en niveles más superficiales, contrario a la zonación típica.

Las principales menas están asociadas con fallas y fracturas, además de litologías favorables.

Los altos grados de concentración de Au en Farellón y en la parte este de La Coipa Norte se encuentran asociados con alteración argílica avanzada. Mientras que los altos valores de Ag se encuentran acompañados con poco o nada de Au, asociados a la silicificación.

En cuanto a las anomalías de otros elementos se observa que el As se correlaciona bien con los metales preciosos y supera los 500 ppm en las zonas mineralizadas. El Hg es altamente anómalo, en Ladera supera los 100 ppm y valores de más de 10 ppm se correlacionan bien con la mineralización de Au y Ag. Los contenidos de Zn son relativamente bajos, entre 15 y 50 ppm y no se correlaciona con los metales preciosos. Por último, las concentraciones de Cu son relativamente bajas en las zonas oxidadas de las partes mineralizadas.

Los minerales sulfurados se hallan en la zona de transición entre la parte oxidada y la no oxidada de las áreas de mena. Los más comunes son: pirita, calcopirita, covelina, tenantita-tetrahedrita, enargita, galena y esfalerita.

Además se tienen evidencias de la conservación de la paleosuperficie en el distrito:

- Geyseritas y material de precipitado geoquímico típico de superficie en Coipa Norte (Oviedo et al., 1991)
- Geyseritas, fracturas abiertas rellenas con grava silicificada y evidencia en inclusiones fluidas en Can Can (Townley, 1992)
- Presencia de la azufrera Codocedo cerca del distrito.

7.2 Litología

Mediante la descripción del material recolectado con los 34 sondajes de aire reverso pudieron ser diferenciadas 4 litologías principales: gravas, tobas gruesas dacíticas, tobas finas riódacíticas y rocas sedimentarias (lutitas), dispuestas una sobre otra en el orden en que se nombraron, con una disposición subhorizontal.

Se pudo establecer que las mayores concentraciones de Au están asociadas a las tobas finas y en menor medida a las tobas gruesas. Esto coincide con los antecedentes que

existen de los depósitos del distrito La Coipa, que identifican las altas concentraciones en las lutitas y areniscas del Triásico, además de las tobas del Terciario., ubicadas sobre la unidad de rocas sedimentarias (Oviedo et al., 1991). Las tobas mencionadas corresponderían a las tobas finas y las tobas gruesas descritas en los sondajes. Las lutitas y areniscas del Triásico podrían corresponder a la unidad de rocas sedimentarias halladas bajo las tobas finas. Sin embargo, ninguno de los sondajes de mayor concentración de Au ley (LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31) alcanza a esta unidad, por lo que no se pudo determinar si presenta concentraciones importantes de Au. Por los antecedentes de la zona, debiesen ser analizadas en mayor detalle, ya que podrían tener una importante concentración de metales preciosos.

Por último, es importante destacar el nivel de azufre de potencia 30 m, identificado en los cutting del sondaje LC-01 (Fig. 9, sección 5), entre los 20 y 55 m de profundidad, lo que es evidencia de paleosuperficie.

7.3 Geoquímica

El análisis geoquímico, incluyó un análisis univariable, de población y multivariable, a partir de esto se estableció que en la zona existen anomalías geoquímicas de Au, As, Sb, Pb y Zn. Estas anomalías concuerdan con las de los depósitos epitermales de alta sulfuración (Camprubí et al., 2003), específicamente con las de las zonas mineralizadas del distrito La Coipa (Oviedo et al., 1991).

A pesar de que las concentraciones promedio de Au encontradas en el área de estudio son bajas desde el punto de vista económico (menores a 1ppm), si se pueden reconocer zonas con importantes anomalías de contraste de Au. Las anomalías de contraste se encuentran ubicadas en la parte norte del proyecto (entre los sondajes LC-14 y LC-32), y las mayores concentraciones de Au, se dan en los sondajes LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31 (Fig. 22). Asociada, principalmente a la litología de tobas finas, a partir de los 250 metros de profundidad, en general (Pág. 31). Estos interceptos surgen abruptamente respecto a los valores que los rodean, lo que es típico de control estructural de la mineralización.

Se determino también, que la distribución de la concentración del Au es independiente de la distribución de los otros elementos analizados, tanto estadística como espacialmente. Lo que es típico de la parte más superficial de la distribución de los metales en los depósitos epitermales, por sobre el nivel de ebullición de los fluidos magmáticos (Townley, 2006).

Los demás elementos que presentaron anomalías geoquímicas en el proyecto, se correlacionan entre sí, desde el punto de vista de su distribución. Éstos corresponden a los metales base As, Sb, Pb y Zn (los que además están correlacionados con la distribución de

la Ag), las anomalías de ellos se dan abruptamente lo que es típico del control estructural, además los altos valores de estos metales suelen estar asociados al nivel de ebullición.

Como en el área estudiada se encuentran anomalías geoquímicas de contraste de Au y de metales base, se podría suponer que corresponde al nivel de ebullición, que es donde se dan ambas anomalías (Townley, 2003). Sin embargo, al no existir correlación de la distribución entre el Au y los metales base, es más probable que hayan sido depositados en dos eventos diferentes.

Del análisis multivariable se puede definir una mineralogía de sulfuros y sulfosales de Cu, As, Sb y Ag.

Por último, se debe notar que las concentraciones de Ag son muy bajas, apenas por sobre la abundancia promedio de las rocas félsicas.

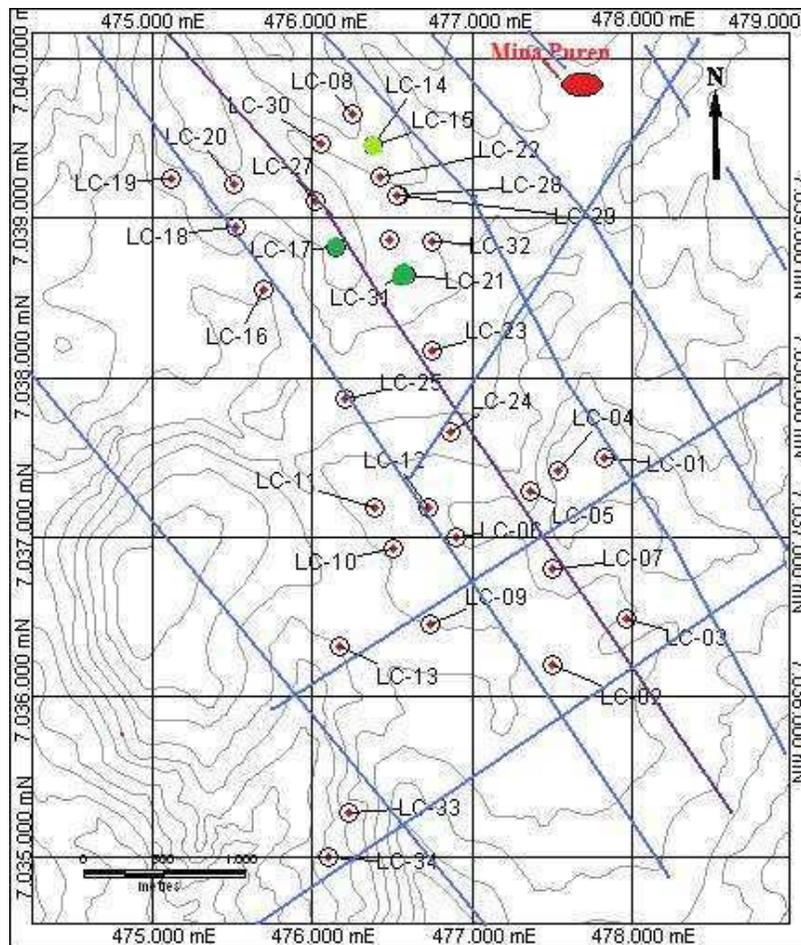


Figura 22: Visualización en planta de la distribución de los sondajes del proyecto. En verde se encuentran resaltados los sondajes con mayor promedio de concentración de Au.

7.4 Alteración Hidrotermal

La mineralogía de alteración hidrotermal se definió mediante el Espectrometro Terraspec y fue corroborada con el método de difracción de Rayos X.

Los minerales de alteración hidrotermal identificados en las muestras analizadas fueron: sílice, alunita, natroalunita, caolinita, illita, dickita y montmorillonita, los que se presentan solamente en las tobas. También se encontraron hematita (óxido de Fe), goethita (hidróxido de Fe) y jarosita (sulfato de Fe).

A pesar de que según las descripciones de los sondajes, las rocas sedimentarias no se encuentran alteradas hidrotermalmente, estas podrían albergar una importante mineralización de Au. Por ejemplo en Can Can las lutitas solo se encuentran blanqueadas y/o con una alteración argílica muy limitada extensionalmente, pero poseen alta ley de Au-Ag-Cu. Mientras que las tobas dacíticas, ubicadas sobre las lutitas, se encuentran muy brechizadas. Esta diferencia se puede explicar por el control litológico y la permeabilidad de las rocas (Townley, 1992)

Para simplificar la interpretación se buscaron asociaciones entre los minerales de alteración hidrotermal, según su distribución en los sondajes. Estas asociaciones son:

- 1) Alunita-Sílice-Caolinita
- 2) Caolinita±Illita±Montmorillonita
- 3) Sílice: (±illita y/o caolinita)

La mineralogía de alteración es similar, en parte, a la descrita para los depósitos del distrito La Coipa: silicificación, argílica avanzada (alunita-caolinita±dickita-cuarzo), argílica intermedia (illita–esmeclita±sericita) y supergena (jarosita-goethita±yeso±baritina) (Oviedo et al., 1991). Aunque los minerales se encuentran asociados de distinta forma, son los mismos. Esta mineralogía coincide además con los de las descripciones de los depósitos epitermales de alta sulfuración.

Las mayores concentraciones de Au se encuentran en las partes con sílice, más caolinita en algunas ocasiones. Estas zonas se encuentran rodeadas, generalmente, por la asociación montmorillonita-illita-caolinita, aunque a veces entre esta última asociación y la de sílice se haya la de alunita-caolinita-sílice. Esta zonación de la mineralogía de alteración hidrotermal coincide con la típica de los depósitos epitermales de alta sulfuración (Steven and Ratté, 1960; Fig. 20).

La hematita, goethita y jarosita, se encuentran a lo largo de todo el proyecto y no parecen asociarse a un grupo de minerales de alteración hidrotermal en particular, sin embargo son más abundantes en los niveles superficiales. Por lo que su formación esta posiblemente ligada con alteración supergena, lo que es típico del distrito (Oviedo et al., 1991).

Para integrar la información de litología, tramos de mayor concentración de Au y de la alteración hidrototermal se realizó una serie de perfiles interpretativos (Fig.23).

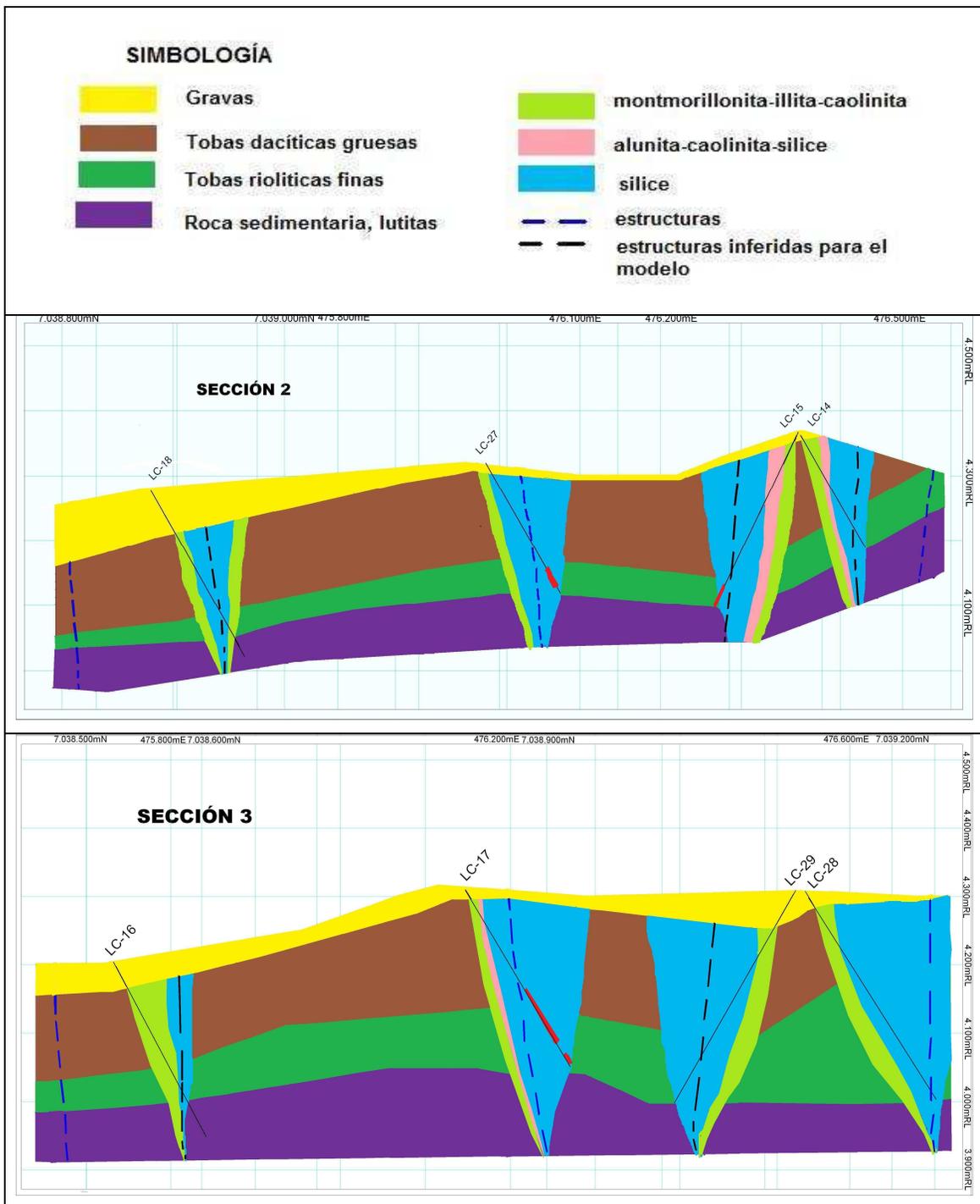


Figura 23: Perfiles del área de estudio, con la interpretación de la alteración hidrotermal.

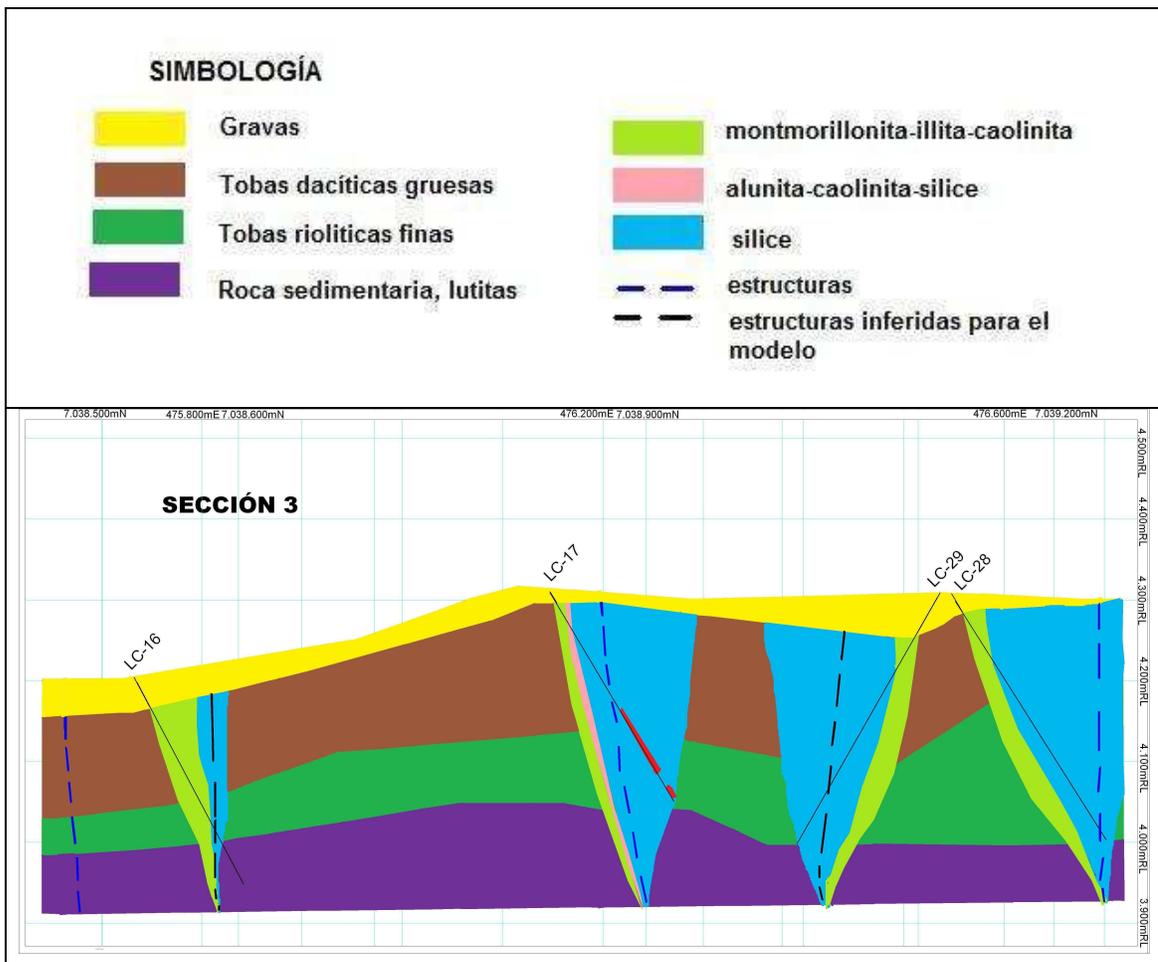


Figura 23: Perfiles del área de estudio, con la interpretación de la alteración hidrotermal.

8 CONCLUSIONES

La geología local se encuentra caracterizada por rocas volcánicas de composición dacítica a riodacítica, superpuestas a una unidad de roca sedimentaria y bajo una cobertura de gravas. Además, la evidencia descrita indica que la paleosuperficie ha sido conservada a través del tiempo.

Mediante la descripción del material recolectado en los sondajes de aire reverso, LC-01 a LC-34, se diferenciaron 4 litologías principales: gravas, tobas gruesas dacíticas, tobas finas riodacíticas y rocas sedimentarias (lutitas), dispuestas una sobre otra en el orden en que se nombraron, con una disposición subhorizontal.

Las mayores concentraciones de Au ocurren en el nivel de tobas finas y en menor medida en las tobas gruesas. Esto coincide con los antecedentes que existen de los depósitos del distrito La Coipa, que identifican las altas concentraciones de metales preciosos en las lutitas y areniscas del Triásico, además de las tobas del Terciario, que se ubican sobre la unidad de rocas sedimentaria (Oviedo et al., 1991). Las tobas mencionadas corresponderían a las tobas finas en la base y las tobas gruesas hacia el techo, mientras que las lutitas y areniscas del Triásico podrían correlacionarse con la unidad de rocas sedimentarias hallada bajo las tobas finas. Sin embargo, ninguno de los sondajes con mayor concentración de Au (LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31) alcanzó esta unidad, por lo que no se puede saber si presenta concentraciones importantes de Au. Además, debido al carácter de esta última unidad, los cuerpos ubicados en ella deben ser más pequeños, y por ende más difíciles de encontrar. Pero, por los antecedentes de la zona, deberían ser analizados, ya que podrían tener una importante concentración de metales preciosos.

Del análisis geoquímico, que incluyó un análisis univariable, de población y multivariable, se determinaron anomalías de Au, As, Sb, Pb y Zn en la zona de estudio. Del estudio de distribución se determinó que la anomalía de Au está concentrada circundantemente a los sondajes LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 y LC-31, ubicados en la zona norte del proyecto, muy cerca de la mina Purén. Los tramos de mayor concentración del Au, se encuentra a partir del metro 250 de profundidad (Tabla 19), en donde se ubican las tobas finas y las tobas gruesas.

Tabla 19: Interceptos de mayor concentración de Au

Sondaje	Interceptos mayores (m)	Largo del intercepto (m)	Intercepto mayor ley(ppb)
LC-15	254 – 300	46	230
LC-17	158 – 300	142	824
LC-21	256 – 300	44	1465
LC-27	272 – 322	50	271
LC-31	276 – 286	10	2367

Además, se determinó que la distribución estadística del Au es independiente a la del resto de los elementos analizados, mientras que las distribuciones de As, Pb, Sb y Zn están correlacionadas entre sí y con la distribución de la Ag.

Debe destacarse que los interceptos de mayor concentración de los elementos anómalos contrastan notablemente con el resto de los valores, lo que sugiere control estructural de la mineralización. Las estructuras en el área de estudio tienen el mismo rumbo que las regionales definidas en la zona, las más importantes son de rumbo NW, al igual que en gran parte de la franja, con la existencia de un segundo dominio de dirección NE. Ambas poseen manteos subverticales. Es probable que la mineralización haya ocurrido asociada a estructuras tensionales subsidiarias de ellas, como suele ocurrir cuando el control de la mineralización es estructural.

Estos tramos se dan espacialmente juntos para los metales base, lo que podría representar un nivel de ebullición en esos tramos, pero no con el Au. Lo que apunta a variaciones en el nivel de ebullición a lo largo de la mineralización de la zona de estudio.

Como el Au es independiente, estadística y espacialmente, de la distribución de los otros elementos analizados, éstos no pueden usarse como guías, ni para vectorizar hacia los cuerpos mineralizados.

Debe destacarse también que los valores de concentración de Ag se encuentran, prácticamente, dentro del promedio en rocas félsicas, por lo que no parece haber una importante mineralización de este elemento en Purén Oeste.

La mineralogía de alteración hidrotermal fue definida mediante el Espectrómetro Terraspec y corroborada con el método de difracción de Rayos X. Los minerales de alteración hidrotermal hallados en las muestras analizadas fueron: sílice, alunita, natroalunita, caolinita, illita, dickita y montmorillonita, los que fueron identificados únicamente en las tobas. Además se identificaron los minerales de alteración supergena hematita, goethita y jarosita.

La mineralogía de alteración hidrotermal se agrupó en tres asociaciones: Alunita-Sílice-Caolinita, Caolinita±Illita±Montmorillonita y Sílice (±illita y/o caolinita).

La zonación de estas asociaciones de minerales de alteración hidrotermal, para cada cuerpo, se da desde un centro con alteración de sílice, luego se encuentra la asociación de alunita-caolinita-sílice y finalmente la asociación de montmorillonita-illita-caolinita. En la zona norte la segunda asociación, generalmente, no se encuentra presente o su presencia es escasa.

De la distribución de los minerales de alteración hidrotermal, se deriva que la caolinita es un mineral omnipresente, por lo cual no puede ser usada como mineral indicador para la búsqueda de blancos en el área de estudio, ya que se encuentra presente en las tres asociaciones de alteración hidrotermal definidas.

Las mayores concentraciones de Au se hallan en las rocas silicificadas.

En base a la zonación de la mineralogía de alteración, a las anomalías de Au y los otros metales base y la conservación de la paleosuperficie, se puede inferir que el área de estudio se ubica en la parte superficial de los depósitos epitermales de alta sulfuración. Siendo una evidencia más de mineralización en la Franja de Maricunga.

Por lo anterior, es sumamente importante identificar el nivel de ebullición asociado al evento de depositación del Au, ya que marca el límite inferior de la concentración de los metales preciosos. Además, bajo el Au podría encontrarse Ag.

Para el sondaje LC-17 debería definirse hasta donde se extiende lateralmente la alteración de sílice, que es la que concentra las mayores anomalías de Au, para poder delimitar este cuerpo.

En las zonas de los sondajes LC-17 y LC-21, sería apropiado investigar si las concentraciones de Au aumentan a mayor profundidad, o si aparecen mayores concentraciones de Ag, que es lo que debería ocurrir según la zonación típica de los metales en profundidad.

El área que rodea a LC-31, también puede tener algún potencial económico, ya que el tramo de mayor concentración de Au se encuentra con la asociación montmorillonita-illita-caolinita, que está rodeando la zona silicificada, la cual podría presentar anomalías importantes de Au. Por lo que se podrían hacer sondajes que corten esta última área.

En el caso de LC-15 y LC-27 también podrían aumentar las concentraciones de Au a mayor profundidad, sin embargo, como los interceptos de mayor concentración de estos últimos es menor que para LC-17, LC-21 y LC-31, la mineralización económica rentable podría estar a mayor profundidad que en éstos.

Por último, dado que los valores más altos de concentración de Au se dan a partir de los 250 m en promedio de profundidad, las concentraciones relevantes económicamente, deberían encontrarse a unos 400 m de la superficie.

9 REFERENCIAS

- Arévalo, C.; Mpodozis, C. 1991.** Tectónica del Grupo Chañarcillo: una franja de cabalgamientos con vergencia al oeste en el valle del río Copiapó, Región de Atacama, Chile. In Congreso Geológico Chileno, N° 6, Actas, pp. 81-83. Viña del Mar.
- Arévalo, C.; Rivera, O.; Iriarte, S.; Mpodozis, C. 1994.** Cuencas extensionales y campos de caldera del Cretácico Superior-Terciario Inferior en la Precordillera de Copiapó (27°-28°sur), Chile. Congreso Geológico Chileno N° 7, Actas. Vol II, pp.1288-1292, Concepción.
- Bell, C.M. 1985.** The Chinchas Formation: an early Carboniferous lacustrine succession in the Andes of Northern Chile. Revista Geológica de Chile, N° 24, pp. 29-48.
- Bell, C.M.; Suárez, M. 1989.** Vertebrate fossils and trace fossils in Upper Jurassic Lower Cretaceous red beds in the Atacama Region, Chile. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 2, N° 4, pp. 351-357.
- Buchanan, L.I. 1981.** Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. In relations of tectonic to ore deposits in the southwestern Cordillera, Arizona. Geologic Society, Vol 14, pp. 237-262.
- Camprubí, A.; González-Partida, E.; Levresse, G.; Tritlla, J.; Carrillo-Chávez, A.; 2003.** Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa, Tomo LVI, NÚM. 1, pp. 10-18.
- Corbett, G.J.; Leach, T.M. 1998.** Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologists, Special Publication N° 6.
- Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Ramírez, C.; Tomlinson, A. 1993.** Estudio Geológico de la Región de El Salvador y Potrerillos. Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO. Informe Registrado, N° 1, 250 p.
- Cornejo, P.; Mpodozis, C. 1994.** Estratovolcanes y domos coalescentes del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior en la Franja de Maricunga: los sistemas Cerros Bravos-Esperanza y La Coipa. Congreso Geológico Chileno N° 7, Actas. Vol. I, pp.13-17, Concepción.
- Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Tomlinson, A. 1998.** Mapa geológico de la Hoja Salar de Maricunga. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documento de Trabajo N° 7. Santiago, Chile.
- Crowley, J.K. 1986.** Visible and near infrared spectra of carbonate rocks: reflectance variations related to petrographic texture and impurities: Journal of Geophysical Research, 91: 5001-5-12.
- Davidson, J.; Mpodozis, C. 1991.** Regional Geologic Setting of Epithermal Gold Deposits, Chile. Economic Geology; vol 86, pp.1174-1186.
- Govett, G., editor. 1983.** Handbook of Exploration Geochemistry, Volume 3: Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 461 p.
- Harrington, H. 1961.** Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of Northern Chile. American Association of Petroleum Geologist, Bulletin, Vol. 45, N° 2, pp. 169-197.

Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. Circum Pacific Conference on Energy and Mineral Resources, American Association of Petroleum Geologists, 4th, Singapore, August 1986, Transactions. pp. 513-524.

Hedenquist, J.W.; Izawa, E.; Arribas, A.; White, N.C. 1996. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. Resource Geology Special Publication 1, 16 p.

Hedenquist, J.W.; Arribas, R.A.; Gonzalez-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology, vol 13, pp. 245-277.

Kay, S.M.; Maksaev, V.; Mpodozis, C.; Moscoso, R.; Nasi, C. 1987. Probing the Andean Lithosphere : Mid-Late Tertiary magmatism in Chile (29°-30.5°S) over the zone of subhorizontal subduction. Journal of Geophysical Research, vol. 92, pp. 6173-6189.

Kay, S.M.; Maksaev, V.; Mpodozis, C.; Moscoso, R.; Nasi, C. 1988. Tertiary Andean Magmatism in Argentina and Chile between 28°-33°S: Correlation of magmatic chemistry with a changing Benioff zone. Journal of South American Earth Science, vol. 1, pp. 21-38.

Kay, S.M.; Mpodozis, C.; Ramos, V.A.; Munizaga, F. 1991. Magma source variations for Mid-Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the Central Andes (28°-33°S). In Andean Magmatism and its Tectonic setting (Harmon, R.S.; Rapela, C.W.; editors). Geological Society of America, Special Paper, vol. 265, pp.113-137.

King, A.R. 1992. Magmatism, Structure and Mineralization in the Maricunga Belt, N Chile. Ph. D. Thesis (Unpublished), University of London 395 p.

Lindgren, W. 1933. Mineral deposits, 4th edition. New York, McGraw-Hill Book Company, 930 p.

McKee, E.H.; Robinson, A.C.; Rytuba, J.J.; Cuitiño, L.; Moscoso, R. 1994. Age and isotopic composition of volcanic rocks in the Maricunga Belt, Northern Chile; Implications for magma sources. Journal of South American Earth Sciences, vol. 7, N° 2, pp. 167-177.

Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco, región de Atacama, 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geol. Chile, n°56, 73 pp.

Mpodozis, C., Ramos, V. A., 1990. The Andes of Chile and Argentina. In Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources (Ericksen, G. Editor). Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources. Earth Science Series, vol 11. pp. 59-90.

Mpodozis, C.; Allmendinger, R., 1993. Extensional tectonics Cretaceous Andes, northern Chile (27°S) Geological Society of America, Bulletin vol 105, pp. 1462-1477.

Mpodozis, C.; Cornejo, P.; Kay, S.; Tittler, A. 1995. La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. Revista Geológica de Chile, vol. 22, N°2, pp.273-313.

Muntean, J.L.; Einaudi, M.T. 2001. Porphyry-Epithermal Transition: Maricunga Belt, Northern Chile. Economic Geology, vol. 96, pp. 743–772.

Oviedo, L.; Fuster, N.; Tschischow, N.; Ribba, L.; Zuccone, A.; Grez, E.; Aguilar, A.; 1991. General Geology of La Coipa Precious Metal Deposit, Atacama, Chile. Economic Geology. vol. 36, pp.1287-1300.

Pardo-Casas, F.; Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since Late Cretaceous time. Tectonics, vol. 6, pp.233-248.

- Rivera, O., Mpodozis, C. 1991.** Volcanismo explosivo del Terciario inferior en la Precordillera de Copiapó, Región de Atacama, Chile. Las calderas Lomas Bayas y El Durazno. In Congreso Geológico Chileno, N° 6, Actas, pp. 213-216. Viña del Mar.
- Rivera, O., Mpodozis, C. 1994.** La megacaldera Carrizalillo y sus calderas anidadas: volcanismo sinextensional del Cretácico superior-Terciario inferior en la Precordillera de Copiapó. In Congreso Geológico Chileno, N°7, Actas vol 1, pp. 149-153. Concepción.
- Robert, F.; Brommecker, R.; Bourne, B.T.; Dobak, P.J.; McEwan, C.J.; Rowe, R.R.; Zhou, X. 2007.** Models and exploration methods for major gold deposit types. Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Toronto, 2007, Proceedings, pp. 691-711.
- San Román, F. 1911.** Estudios geológicos I numeralógicos del desierto i cordillera de Atacama: Santiago, Chile, Soc. Nac. Minería, pp. 323-327.
- Segerstrom, K. 1968.** Geología de las Hojas de Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, N° 24, 58 p.
- Sillitoe, R.; McKee, E.; Vila, T. 1991.** Reconnaissance K-Ar Geochronology of the Maricunga Gold-Silver Belt, Northern Chile. Economic Geology; Octubre 1991; v. 86; pp. 1261-1270.
- Simmons, S.F.; White, N.C., John, D.A. 2005.** Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits: Economic Geology 100th anniversary volume, pp.485-522.
- Steven, T.A., Ratté, J.C. 1960.** Geology and ore deposits of the Summitville district, San Juan Mountains, Colorado. U.S. Geological Survey. Professional, Paper 343, 70 p.
- Stoffregen, R.E. 1987.** Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado. Economic Geology, vol. 82, pp. 1575-1591.
- Suárez, M; Bell, C.M.; Hutter, T. 1994.** Lower Triassic Lacustrine Sediments in La Coipa area, Atacama, Chile. Journal of South American Earth Sciences, vol 8, N° 1, pp 9-15.
- Tomlinson, A.J., Mpodozis, C., Cornejo, P., Ramirez, C. F. 1993.** Structural Geology of Sierra Castillo-Agua Amarga Fault Zone System, Precordillera of Chile, El Salvador-Potrerrillos. International Symposium on Andean Geodynamics, N° 2, pp. 259-262.
- Tomlinson, A.J., Mpodozis, C., Cornejo, P., Ramirez, C. F., Dumitru, T. 1994.** El sistema de fallas Sierra Castillo-Agua Amarga: transpresión sinistral Eocena en la Precordillera de Potrerillos-El Salvador. In Congreso Geológico Chileno, N° 7, Actas, vol 2, pp. 1459-1463. Concepción.
- Townley, B.K. 1992.** Evolution and Zoning of Au/Ag Mineralization in the Can Can Epithermal System, Maricunga Belt: Fluid Inclusion Evidence. Comunicaciones N° 43: pp. 57-71.
- Townley, B.K. 2006.** Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. Apuntes y Referencias. Documento de Trabajo. Geología Económica. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Vila, T.; Sillitoe, R. 1991.** Gold-Rich Porphyry Systems in the Maricunga Belt, Northern Chile. Economic Geology; Octubre 1991; v. 86; no. 6; pp. 1238-1260.

White, N.C.; Hedenquist, J.W. 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, vol 36, p. 445-474.

White, N.C.; Hedenquist, J.W. 1995. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. *Society of Economic Geologists Newsletter*, N° 23, pp. 1-13.

Wortel, R.; Cloetingh, S. 1981. On the origin of the Cocos - Nazca spreading center. *Geology*, vol. 9, pp. 425-430.

ANEXO 1

DATOS BÁSICOS DE LOS SONDAJES Y DEL MUESTREO GEOQUIMICO

Sondaje	Largo total (m)	Número de muestras por sondaje	Laboratorio	Límite de detección del Au (ppb)	Límite de detección de la Ag (ppm)
LC-01	138	68	Acme	1	0,1
LC-02	300	150	Acme	1	0,1
LC-03	228	114	Acme	1	0,1
LC-04	300	150	Acme	1	0,1
LC-05	400	199	Acme	1	0,1
LC-06	284	141	Acme	1	0,1
LC-07	300	150	Acme	1	0,1
LC-08	292	146	Acme	1	0,1
LC-09	354	174	Geoanalítica	10	0,5
LC-10	280	140	Geoanalítica	10	0,5
LC-11	390	195	Geoanalítica	10	0,5
LC-12	280	140	Geoanalítica	10	0,5
LC-13	12	5	Geoanalítica	10	0,5
LC-14	198	99	Geoanalítica	10	0,5
LC-15	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-16	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-17	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-18	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-19	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-20	298	149	Geoanalítica	10	0,5
LC-21	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-22	300	150	Geoanalítica	10	0,5
LC-23	38	19	Geoanalítica	10	1
LC-24	300	150	Geoanalítica	10	1
LC-25	300	150	Geoanalítica	10	1
LC-26	300	150	Geoanalítica	10	1
LC-27	350	175	Geoanalítica	10	0,5
LC-28	350	174	Geoanalítica	10	0,5
LC-29	354	177	Geoanalítica	10	1
LC-30	330	165	Geoanalítica	10	1
LC-31	334	167	Geoanalítica	10	0,5
LC-32	312	156	Geoanalítica	10	1
LC-33	280	140	Geoanalítica	10	0,5
LC-34	300	148	Geoanalítica	10	0,5

ANEXO 2

LIMITES DE DETECCIÓN POR ELEMENTO

Elemento	Unidad	Laboratorio	Límite inferior	Límite superior
Al	%	ALS	0,01	10
As	ppm	ALS	2	10000
B	ppm	ALS	20	2000
Ba	ppm	ALS	1	10000
Bi	ppm	ALS	3	2000
Ca	%	ALS	0,01	40
Cd	ppm	ALS	0,5	2000
Co	ppm	ALS	1	2000
Cr	ppm	ALS	1	10000
Cu	ppm	ALS	1	10000
Fe	%	ALS	0,01	40
Hg	ppm	ALS	1	100
K	%	ALS	0,01	10
La	ppm	ALS	1	10000
Mg	%	ALS	0,01	30
Mn	ppm	ALS	2	50000
Mo	ppm	ALS	1	2000
Na	%	ALS	0,01	10
Ni	ppm	ALS	1	10000
P	%	ALS	0,001	5
Pb	ppm	ALS	3	10000
Sb	ppm	ALS	3	2000
Sr	ppm	ALS	1	10000
Th	ppm	ALS	2	2000
Ti	%	ALS	0,01	10
Tl	ppm	ALS	5	1000
U	ppm	ALS	8	2000
V	ppm	ALS	1	10000
W	ppm	ALS	2	100
Zn	ppm	ALS	1	10000

ANEXO 3

LÍMITES DE DETECCIÓN Y PORCENTAJE DE MUESTRAS BAJO EL LÍMITE DE DETECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS CON ICP

Elemento	Unidad	Límite inferior	Límite superior	% de muestras bajo el límite de detección
Al	%	0,01	10	0
As	ppm	2	10000	0
B	ppm	20	2000	85,2
Ba	ppm	1	10000	0,2
Bi	ppm	3	2000	91
Ca	%	0,01	40	1
Cd	ppm	0,5	2000	42,8
Co	ppm	1	2000	18,9
Cr	ppm	1	10000	30,9
Cu	ppm	1	10000	0
Fe	%	0,01	40	0
Hg	ppm	1	100	54,1
K	%	0,01	10	0
La	ppm	1	10000	14,3
Mg	%	0,01	30	12,7
Mn	ppm	2	50000	1,4
Mo	ppm	1	2000	21,7
Na	%	0,01	10	15,8
Ni	ppm	1	10000	1,4
P	%	0,001	5	0
Pb	ppm	3	10000	2,3
Sb	ppm	3	2000	36,7
Sr	ppm	1	10000	0
Th	ppm	2	2000	50
Ti	%	0,01	10	71,1
Tl	ppm	5	1000	59,8
U	ppm	8	2000	87,7
V	ppm	1	10000	0,2
W	ppm	2	100	62,9
Zn	ppm	1	10000	1,8

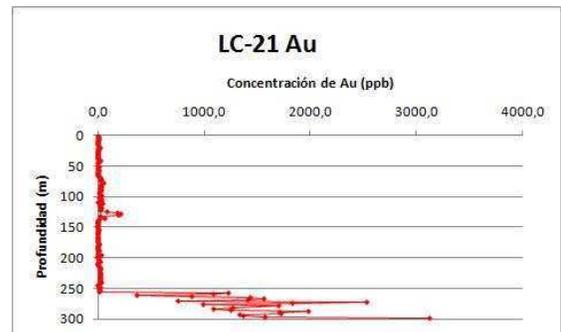
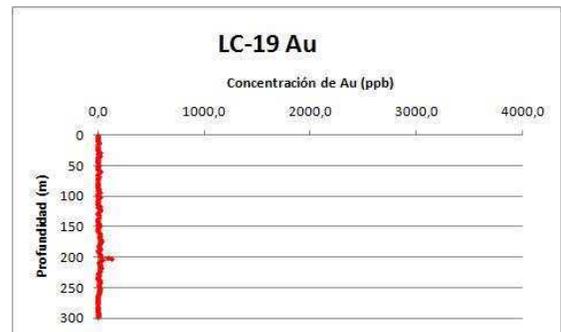
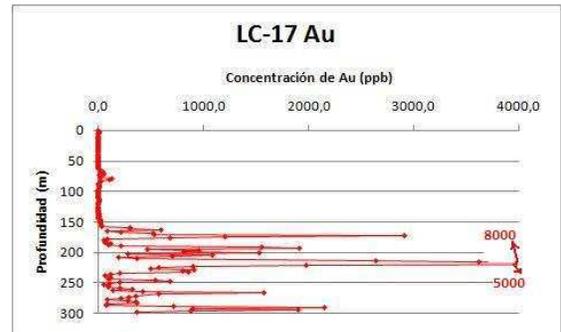
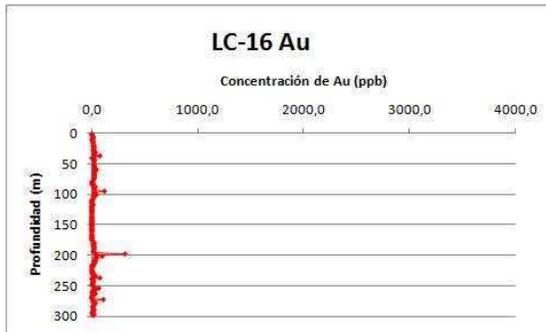
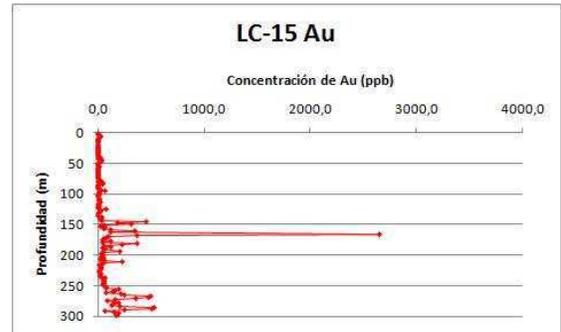
ANEXO 4

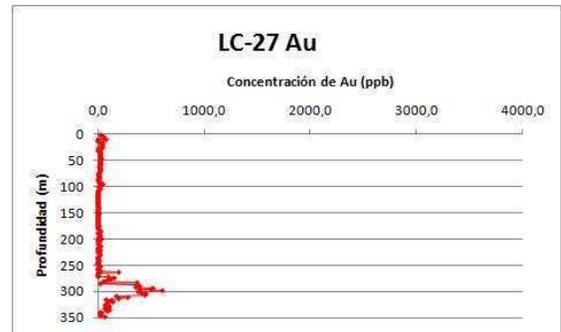
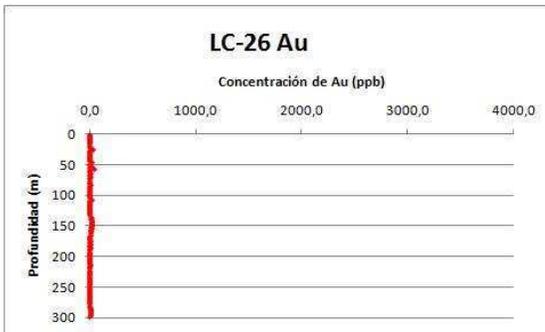
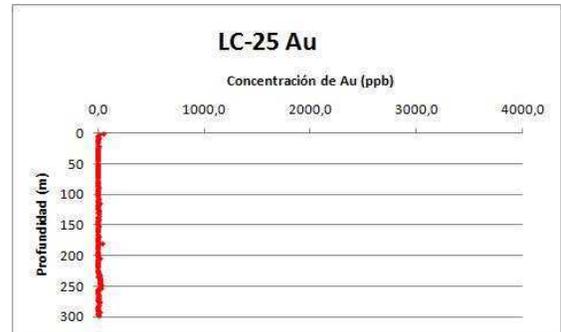
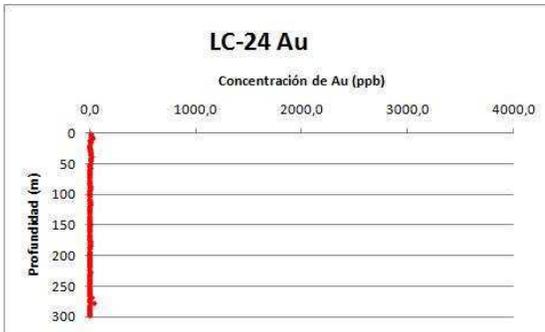
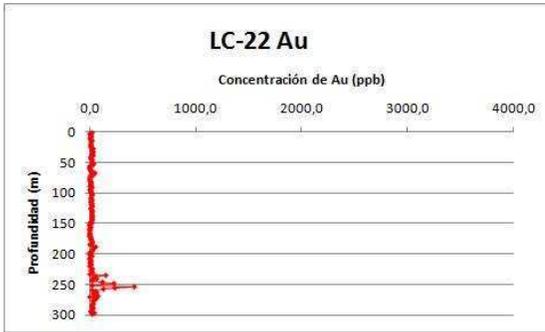
MATRIZ DE PEARSON

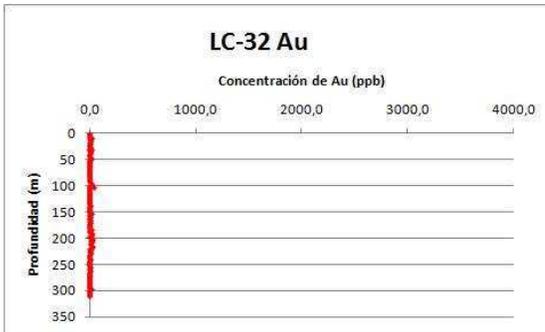
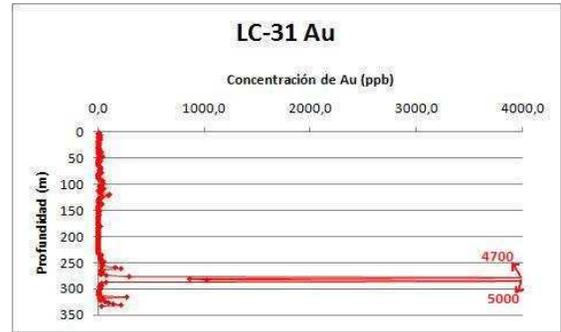
	Au	Ag	Al	As	Ba	Ce	Cd	Co	Cr	Cu	Fs	K	La	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Sr	V	Zn
Au	1.00																							
Ag	0.44	1.00																						
Al	-0.07	-0.30	1.00																					
As	0.26	0.42	-0.38	1.00																				
Ba	-0.32	-0.57	0.32	-0.29	1.00																			
Ce	-0.10	-0.14	0.19	-0.23	0.04	1.00																		
Cd	0.35	0.63	-0.43	0.61	-0.51	-0.23	1.00																	
Co	0.16	0.16	0.11	-0.13	-0.38	0.22	0.26	1.00																
Cr	-0.07	-0.02	-0.15	-0.04	0.11	-0.04	-0.04	0.01	1.00															
Cu	0.35	0.58	-0.01	0.18	-0.36	-0.11	0.39	0.30	-0.02	1.00														
Fs	0.16	0.40	-0.16	0.38	-0.46	0.01	0.48	0.34	-0.13	0.44	1.00													
K	0.03	0.02	0.15	0.10	-0.07	0.29	0.01	0.32	0.00	0.16	0.36	1.00												
La	-0.06	-0.20	0.15	-0.09	0.10	0.53	-0.11	0.19	0.05	-0.09	0.12	0.35	1.00											
Mg	-0.15	-0.23	0.40	-0.43	0.16	0.79	-0.29	0.30	0.00	-0.07	0.03	0.34	0.60	1.00										
Mn	-0.02	0.10	-0.10	0.08	-0.15	0.68	0.15	0.41	0.05	0.06	0.36	0.37	0.59	0.59	1.00									
Mo	0.19	0.31	-0.41	0.35	-0.14	-0.42	0.44	-0.01	0.29	0.32	0.27	-0.16	-0.19	-0.37	-0.06	1.00								
Na	-0.26	-0.45	0.36	-0.42	0.67	0.26	-0.51	-0.06	0.25	-0.19	-0.28	0.03	0.17	0.38	0.11	-0.18	1.00							
Ni	0.11	0.21	-0.27	0.07	-0.28	-0.19	0.27	0.43	0.61	0.29	0.31	0.13	0.00	-0.09	0.18	0.51	-0.03	1.00						
P	0.07	0.02	0.12	0.09	-0.10	0.47	0.06	0.31	0.07	0.11	0.34	0.44	0.69	0.49	0.57	-0.12	0.09	0.08	1.00					
Pb	0.28	0.53	-0.44	0.59	-0.47	-0.27	0.78	0.09	-0.04	0.40	0.42	0.00	-0.15	-0.35	0.09	0.42	-0.40	0.21	0.06	1.00				
Sb	0.32	0.63	-0.46	0.68	-0.46	-0.41	0.71	-0.01	0.03	0.42	0.47	-0.01	-0.23	-0.50	-0.03	0.50	-0.47	0.26	0.00	0.73	1.00			
Sr	-0.16	-0.29	0.46	-0.24	0.47	0.37	-0.44	-0.29	-0.03	-0.22	-0.38	-0.13	0.06	0.35	-0.04	-0.36	0.43	-0.40	0.02	-0.43	-0.41	1.00		
V	-0.31	-0.56	0.43	-0.33	0.66	0.20	-0.52	-0.31	-0.01	-0.31	-0.21	-0.16	0.33	0.39	0.01	-0.19	0.54	-0.34	0.14	-0.52	-0.46	0.52	1.00	
Zn	0.35	0.60	-0.40	0.53	-0.62	-0.04	0.85	0.41	0.00	0.38	0.54	0.12	0.08	-0.08	0.39	0.35	-0.45	0.36	0.29	0.76	0.61	-0.48	-0.51	1.00

ANEXO 5

GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL Au v/ PROFUNDIDAD POR SONDAJE

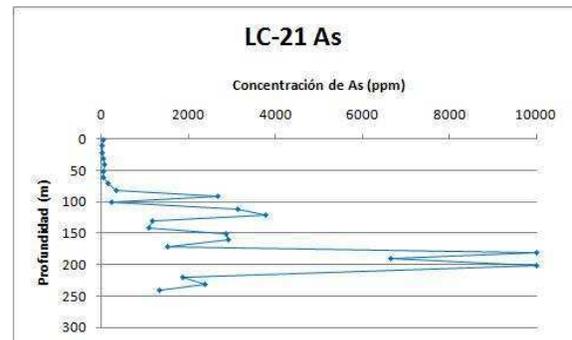
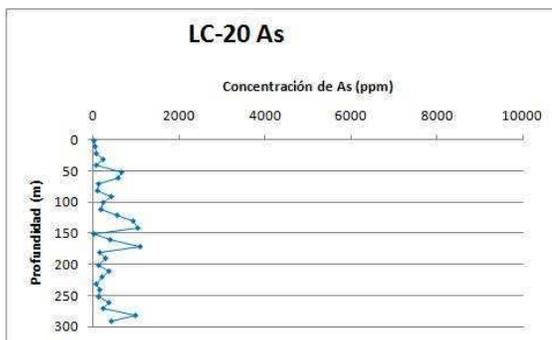
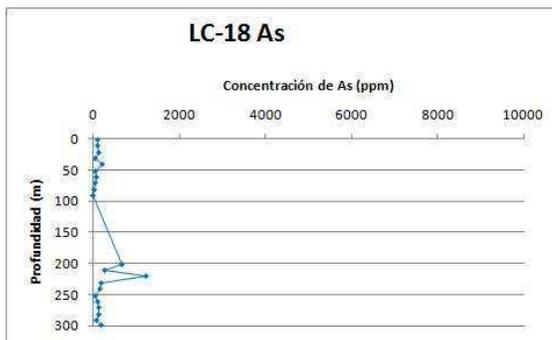
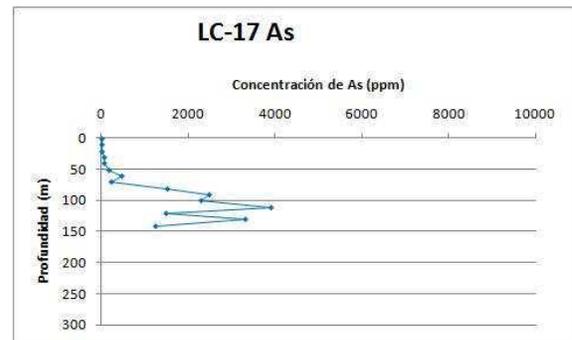
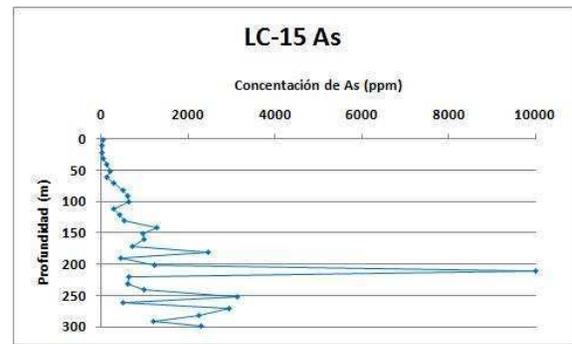
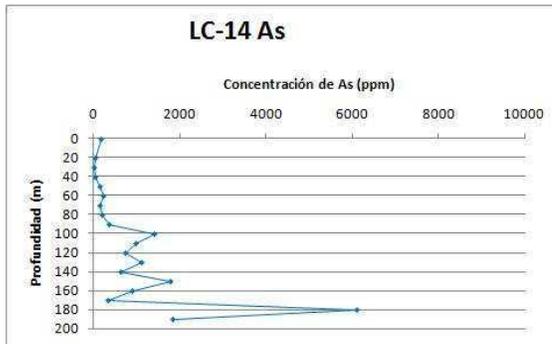


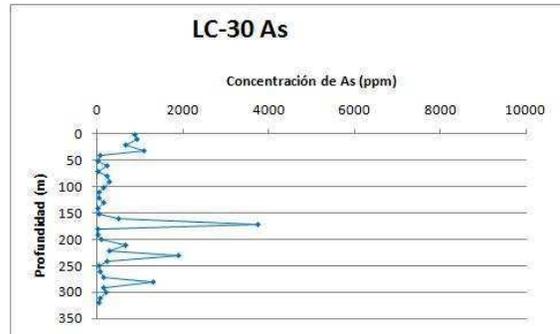
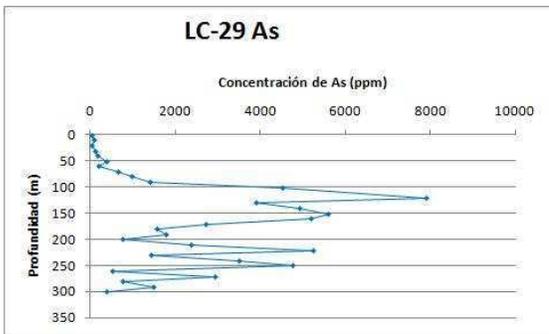
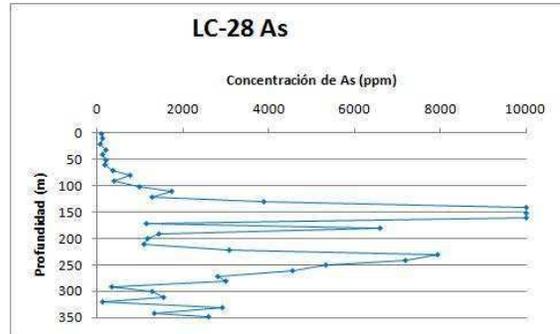
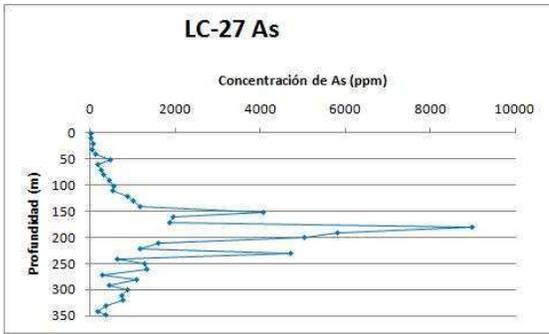
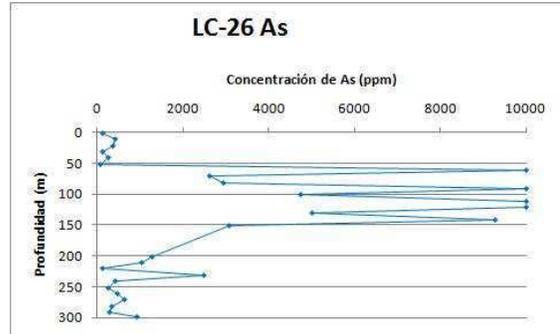
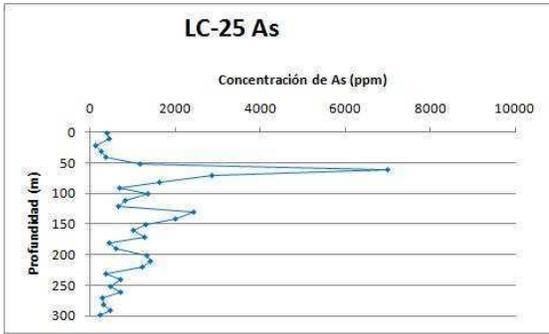
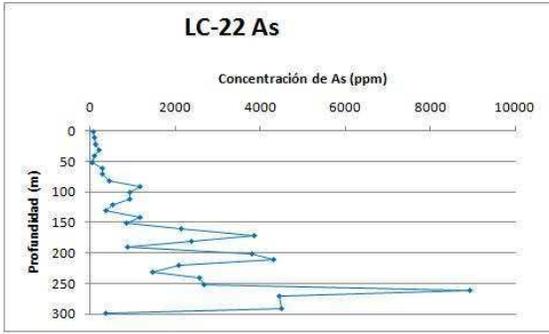


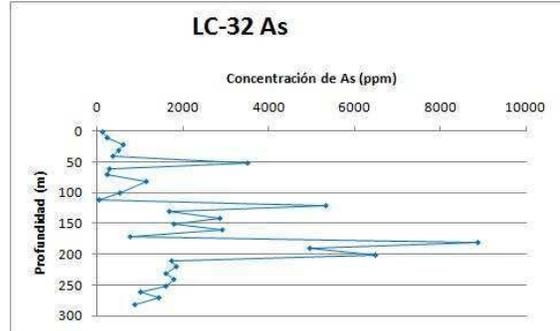
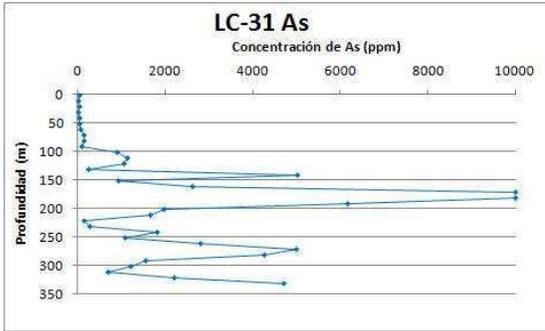


ANEXO 6

GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL As v/s PROFUNDIDAD POR SONDAJE

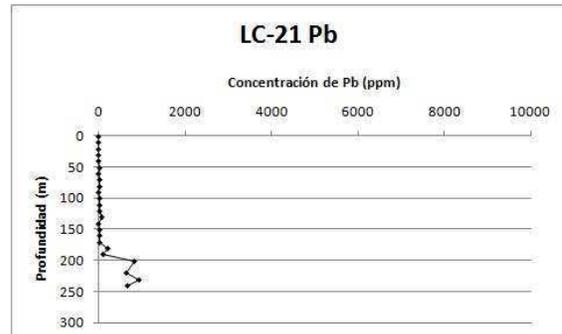
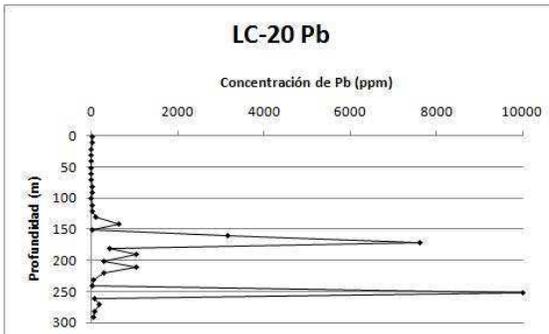
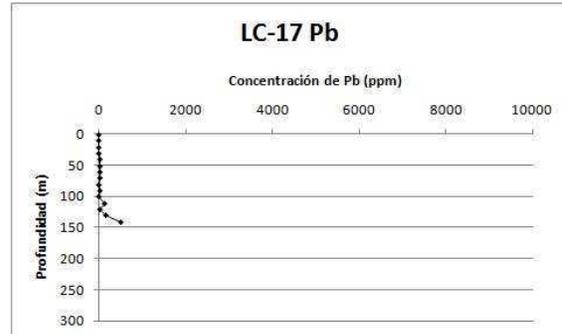
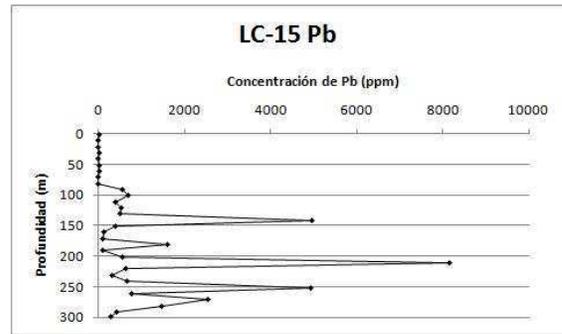
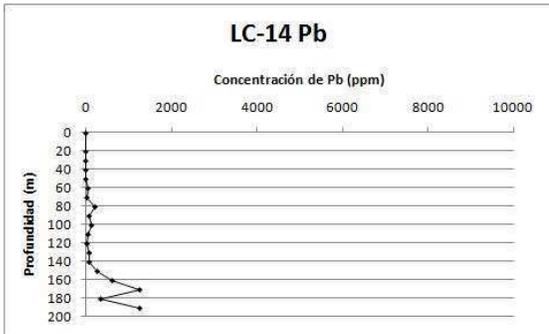


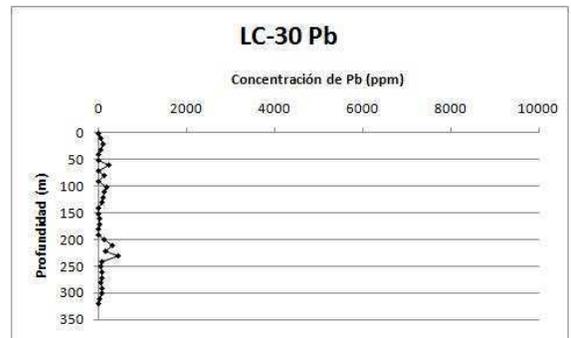
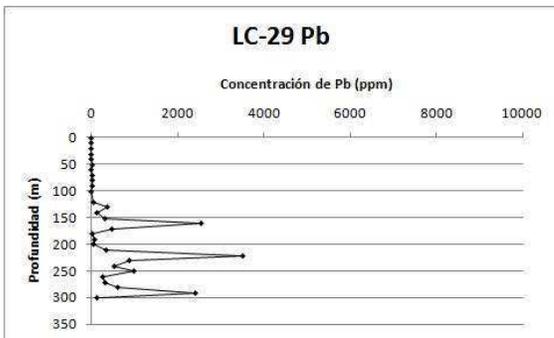
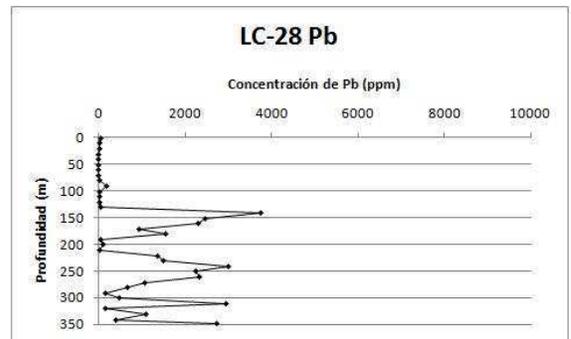
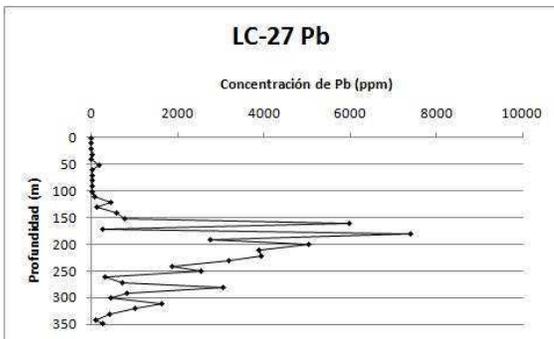
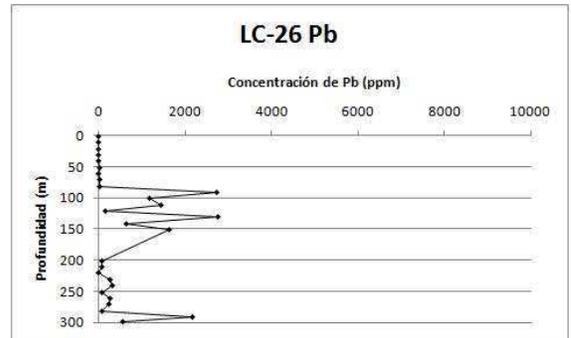
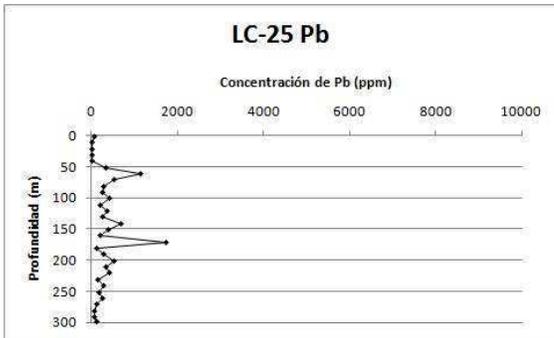
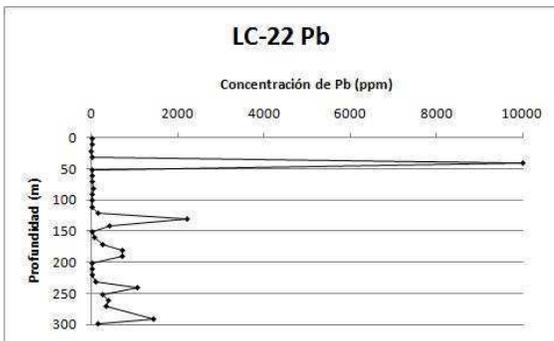


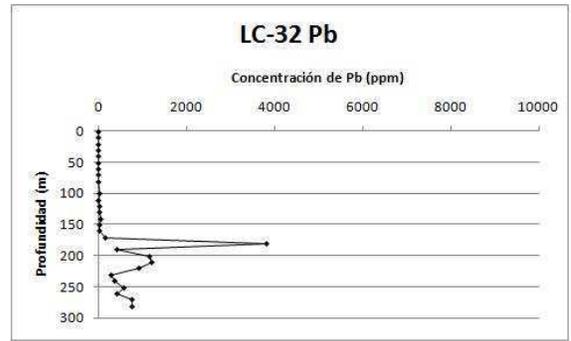
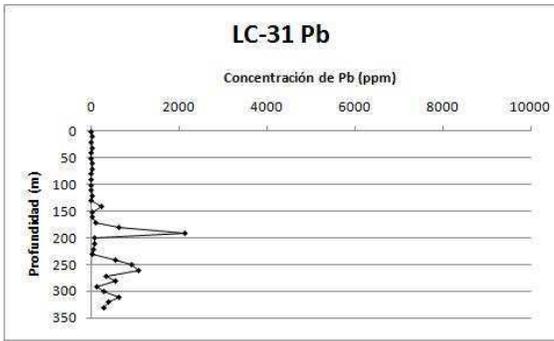


ANEXO 7

GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL Pb v/s PROFUNDIDAD POR SONDAJE

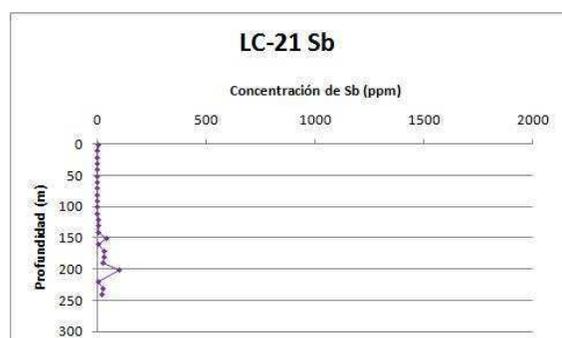
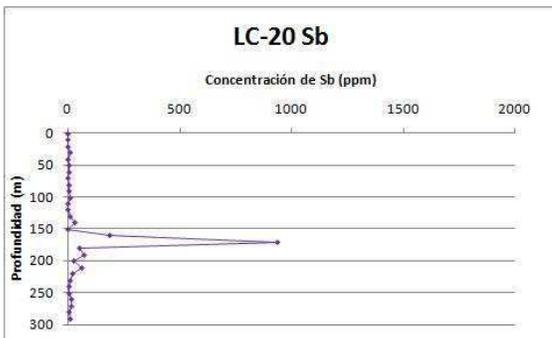
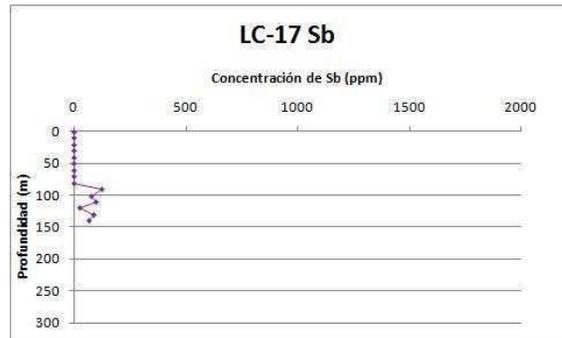
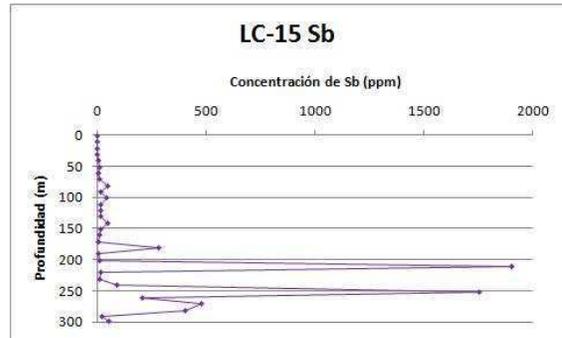


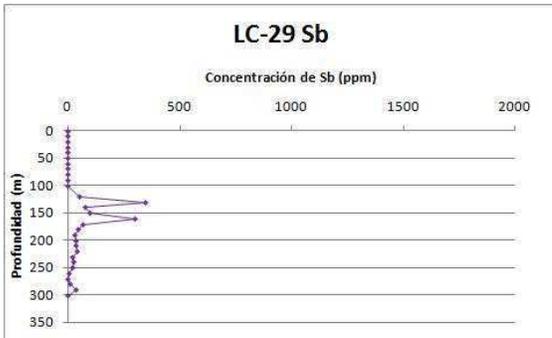
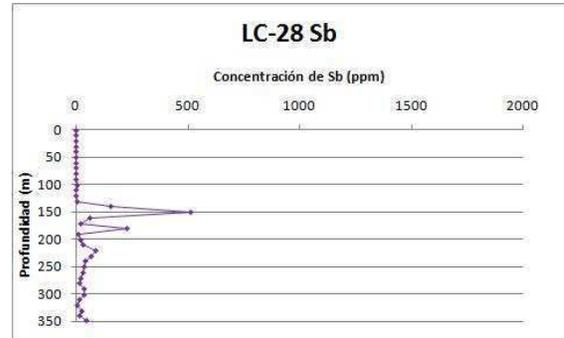
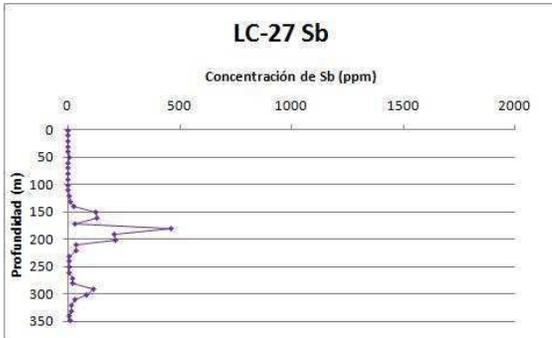
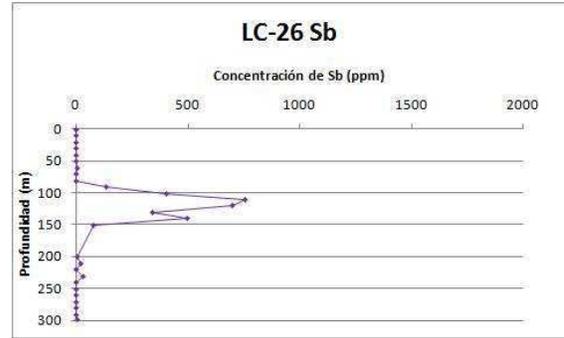
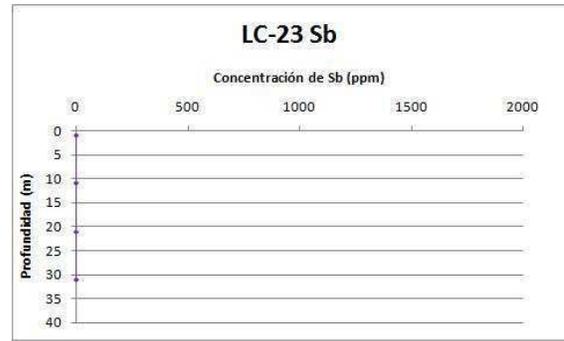
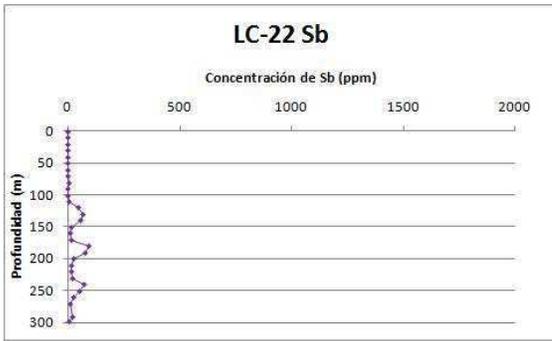


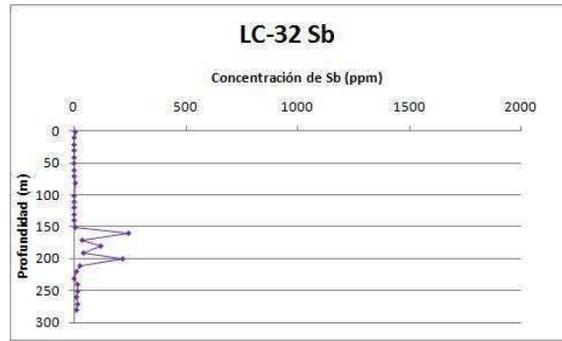


ANEXO 8

GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL Sb v/s PROFUNDIDAD POR SONDAJE

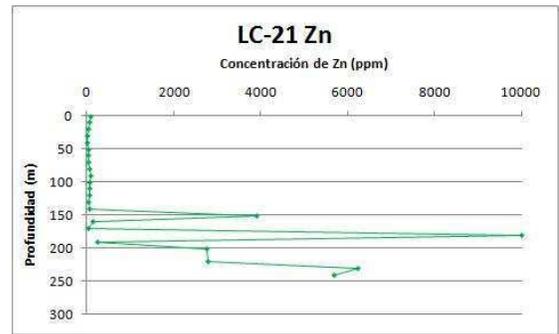
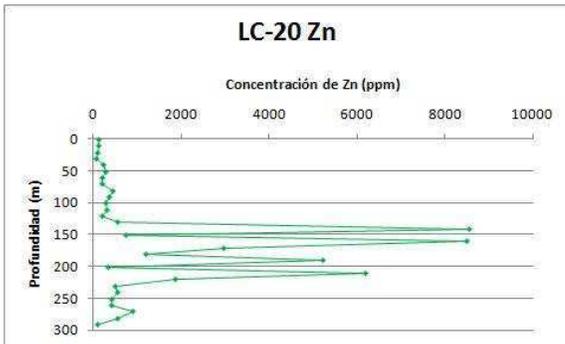
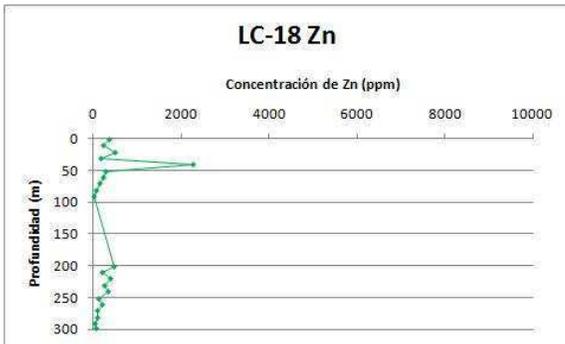
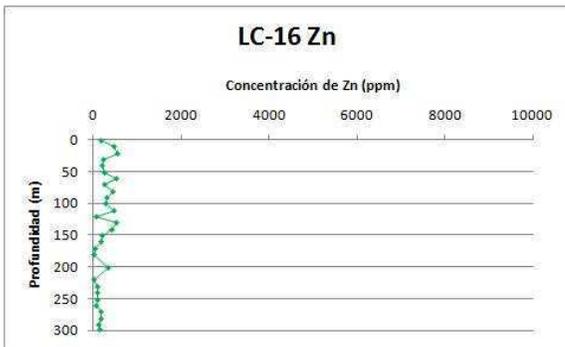
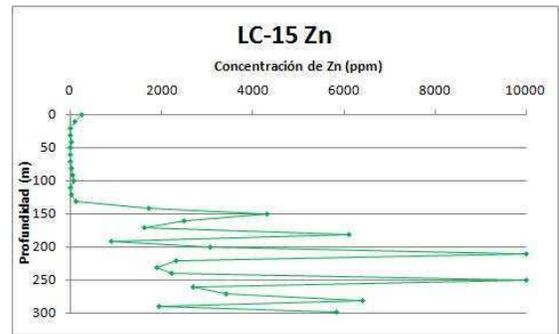
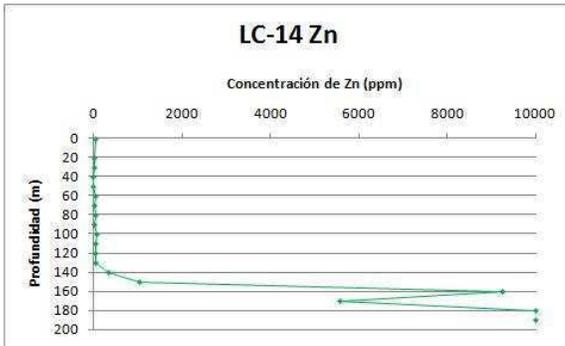


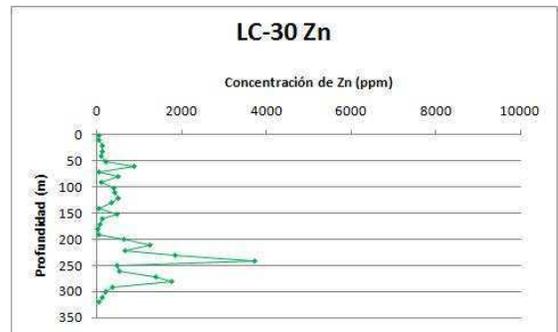
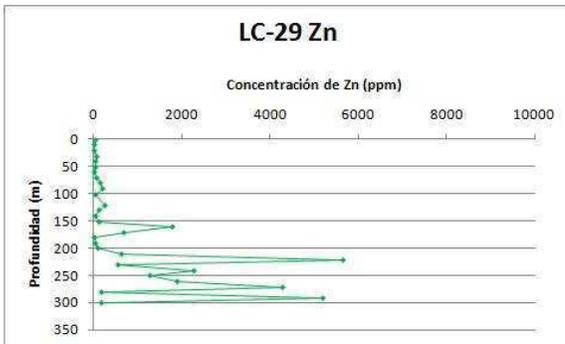
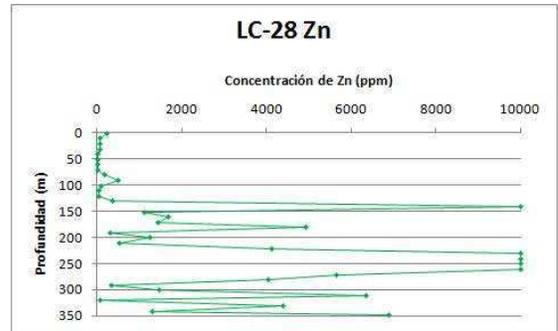
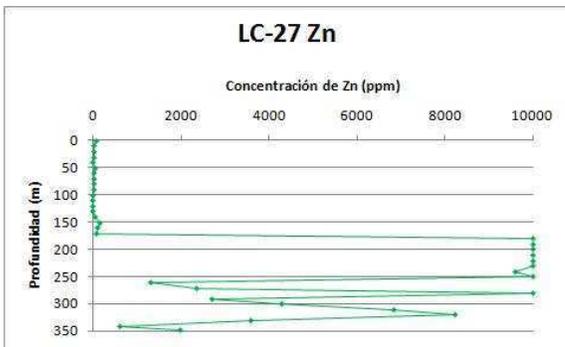
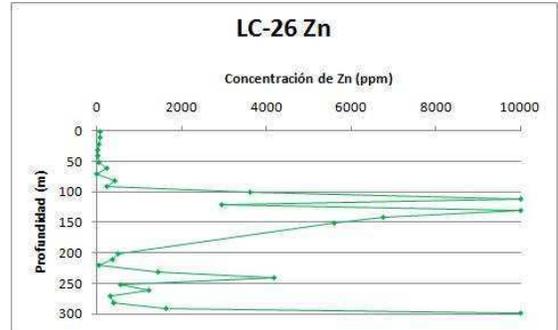
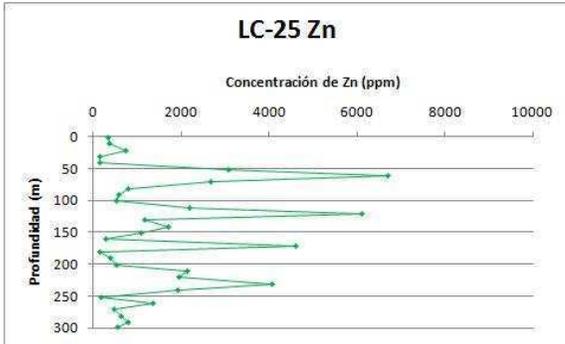
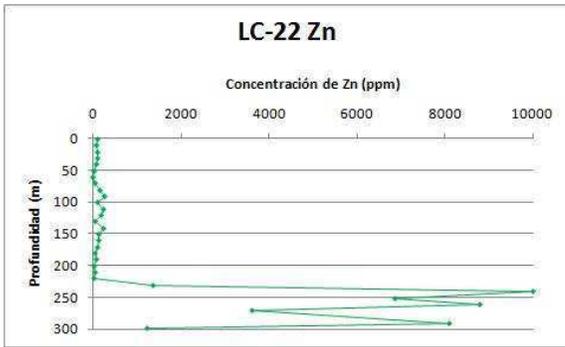


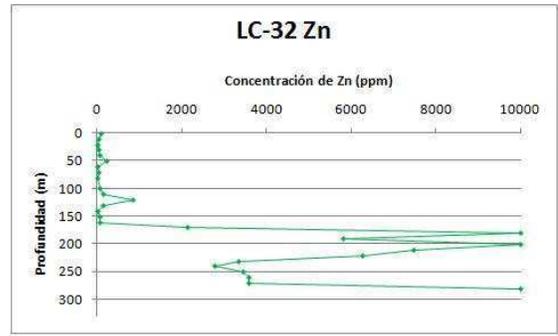
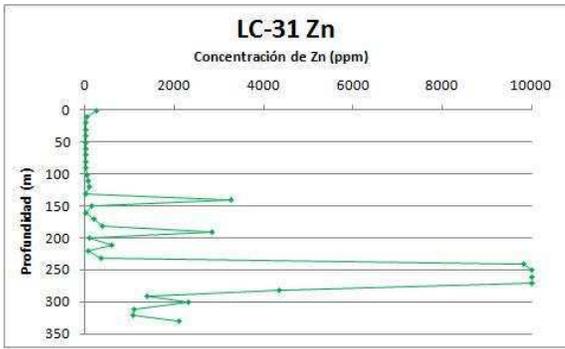


ANEXO 9

GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL Zn v/s PROFUNDIDAD POR SONDAJE



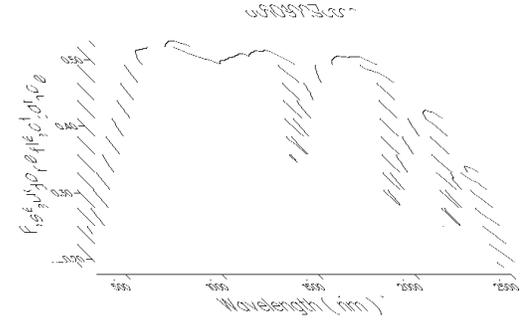
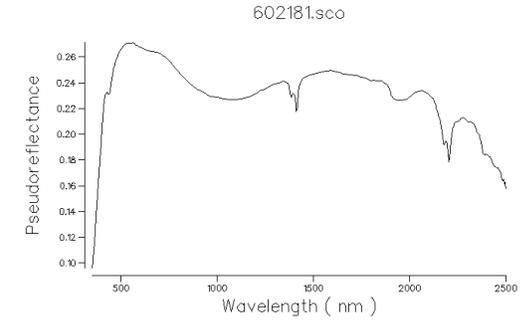
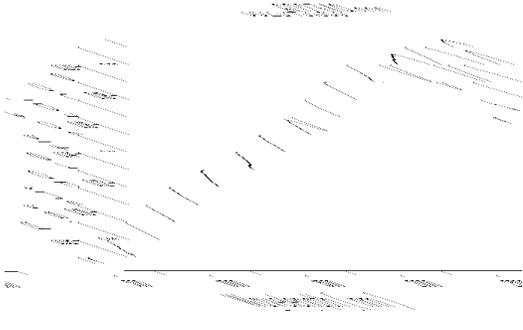
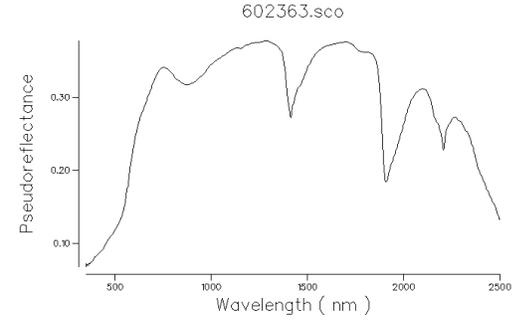
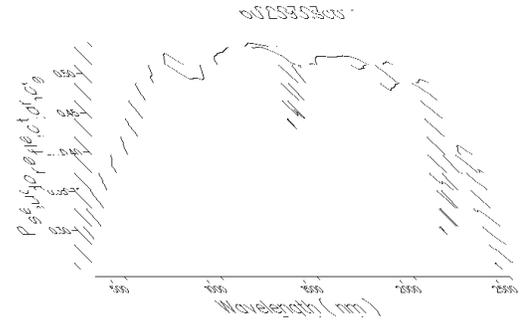
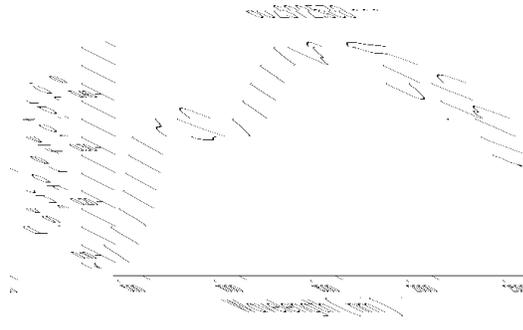
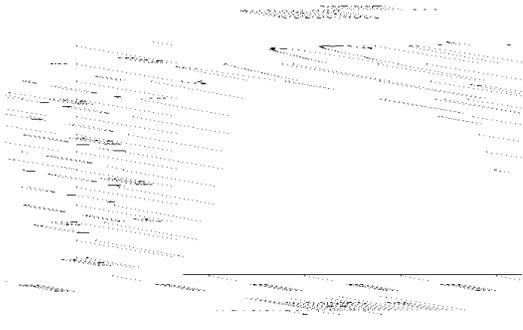
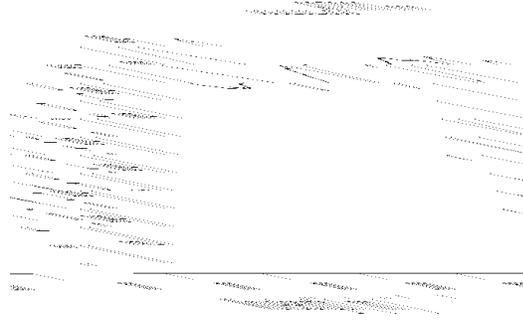


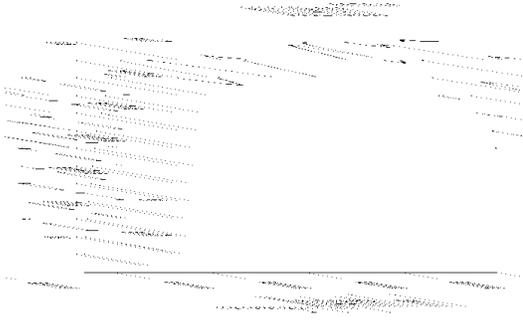
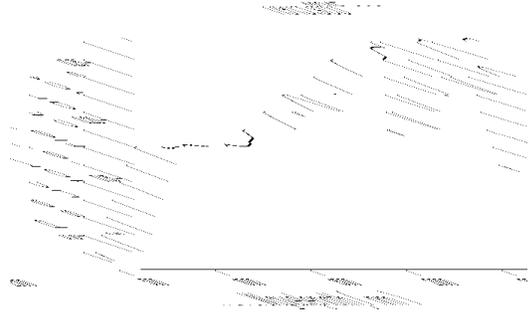
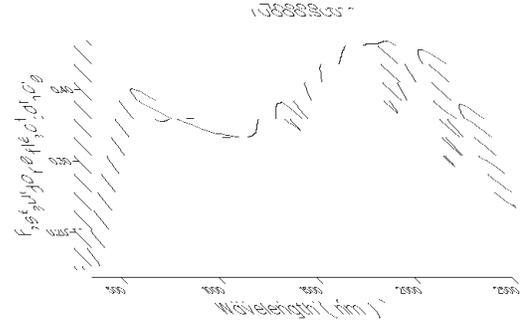
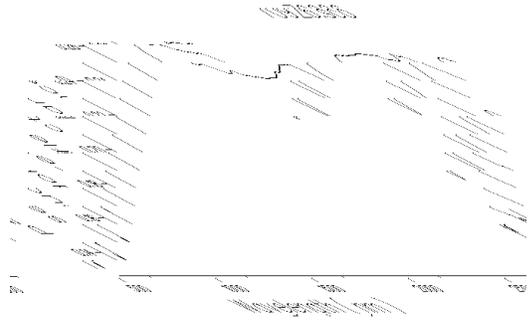
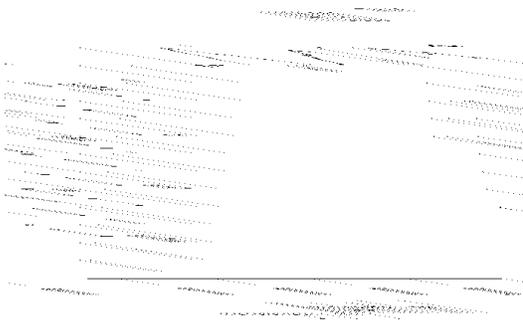
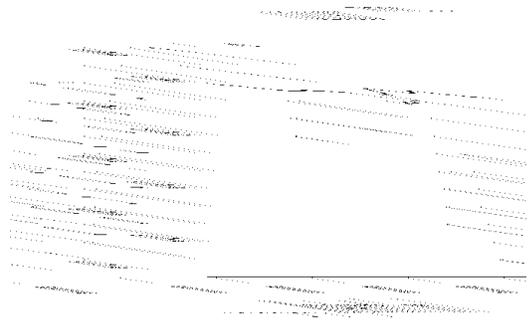


ANEXO 10

ESPECTROS TIPO

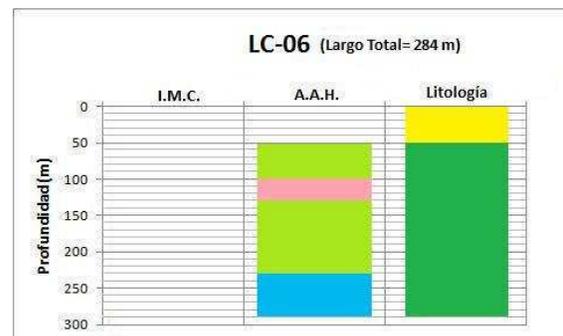
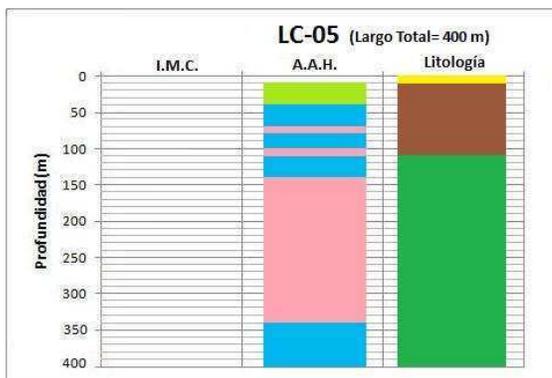
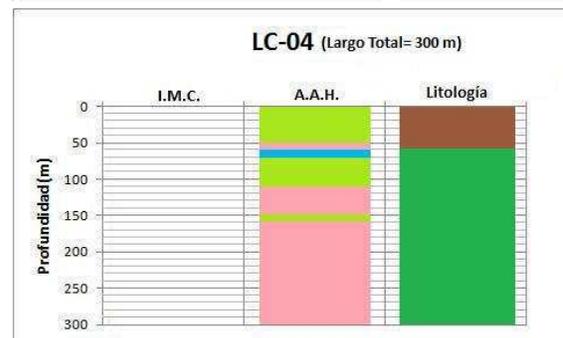
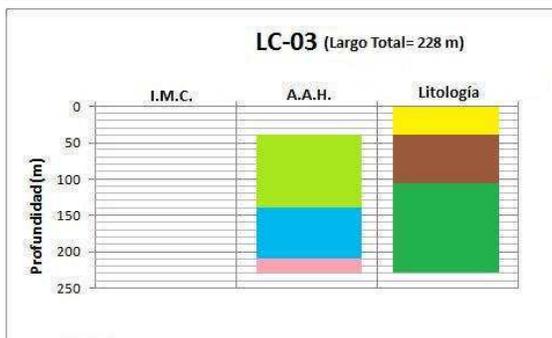
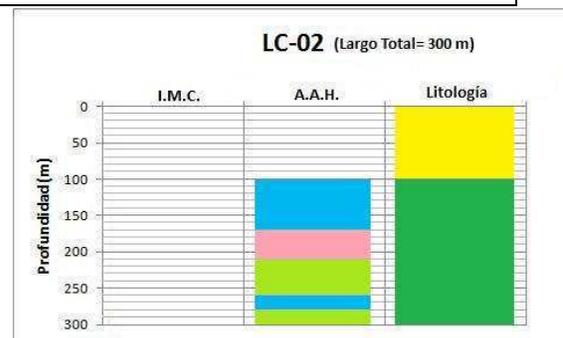
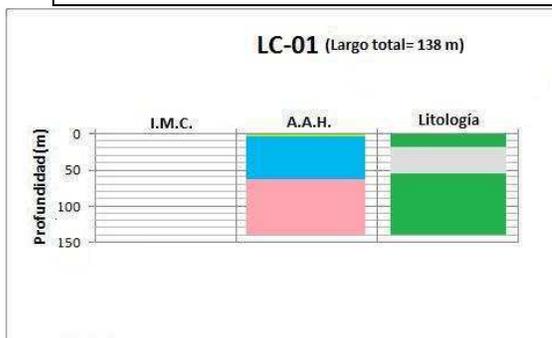
<p>LC-01: 58-60 m Cuarzo</p>	<p>LC-02: 198-200 m alunita – caolinita – sílice</p>
<p>LC-04: 50-52 m alunita – natroalunita – caolinita – sílice</p>	<p>LC-05: 10-12 m caolinita – illita – montmorillonita</p>
<p>LC-05: 162-164 m alunita- caolinita – sílice</p>	<p>LC-06: 194-196 m Illita – montmorillonita</p>

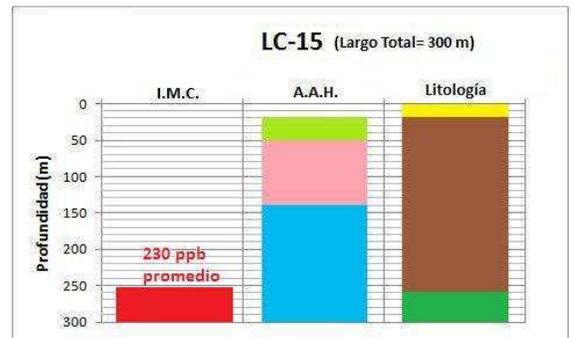
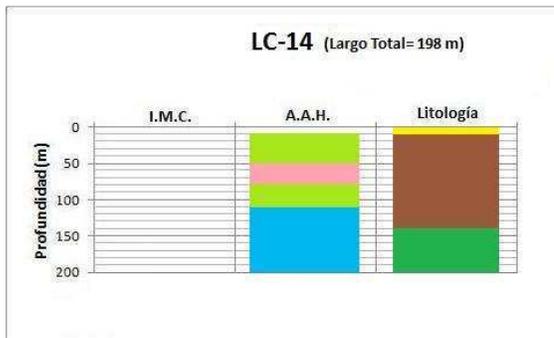
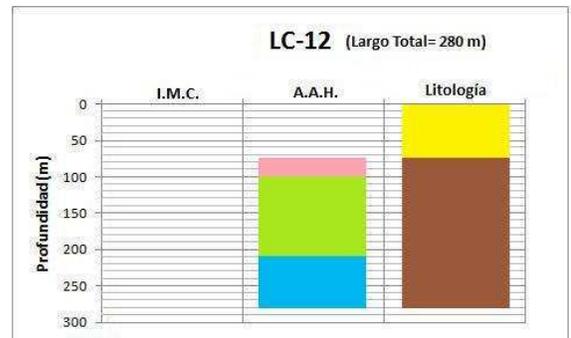
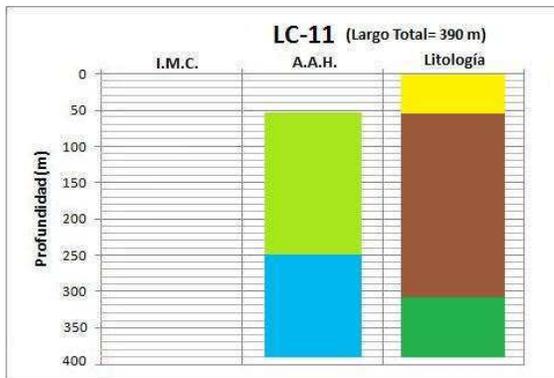
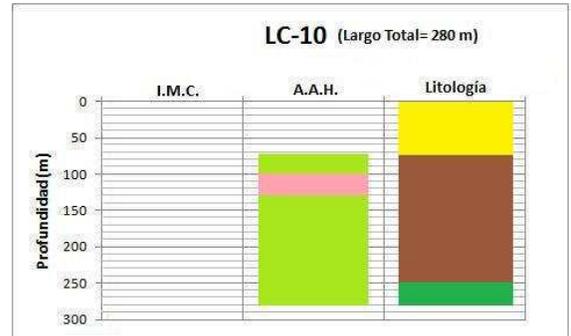
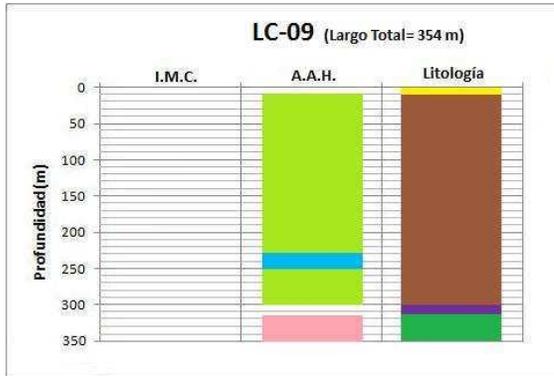
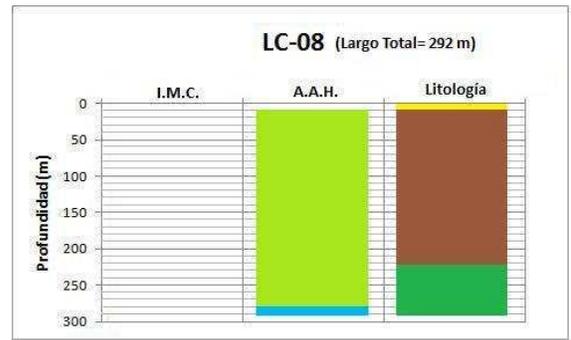
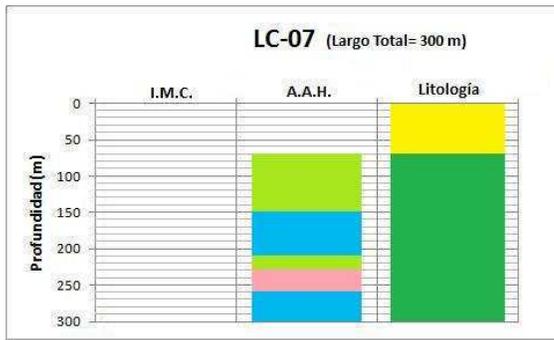
	
<p>LC-08: 30-32 m caolinita – illita – montmorillonita</p>	<p>LC-15: 262-264 m dickita – silice</p>
	
<p>LC-16: 282-284 m illita – silice</p>	<p>LC-17: 10-12 caolinita – montmorillonita</p>
	
<p>LC-17: 66-68 m alunita – caolinita – silice</p>	<p>LC-17: 218-220 m Silice</p>
	
<p>LC-21: 10-12 m caolinita – illita – montmorillonita</p>	<p>LC-21: 210-212 m caolinita – silice</p>

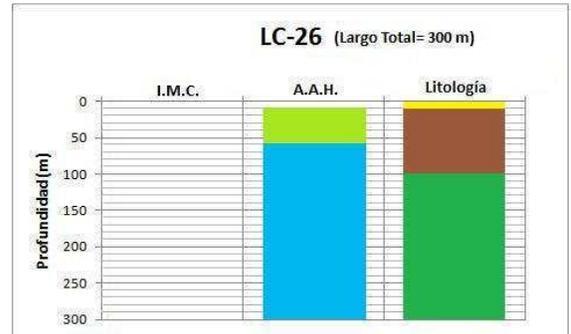
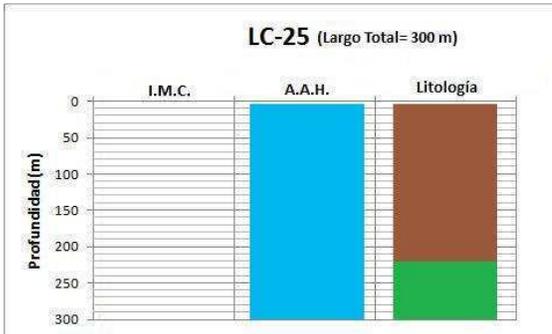
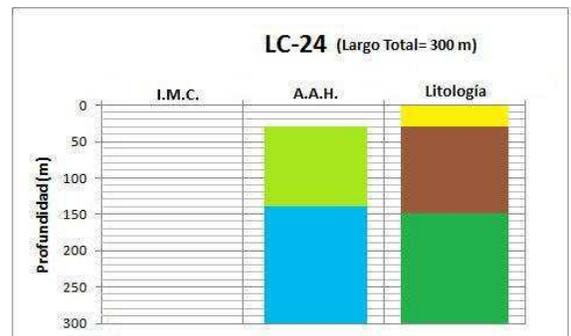
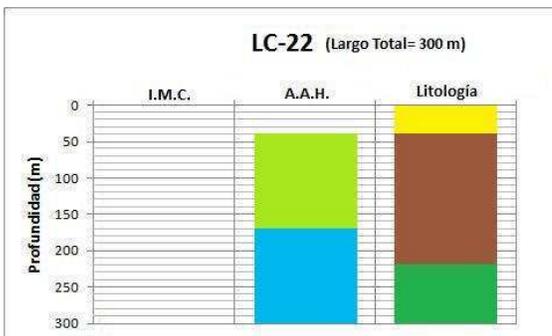
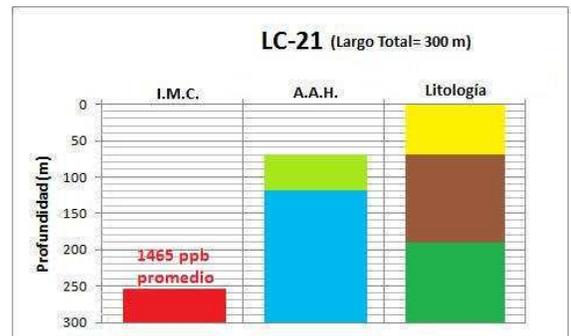
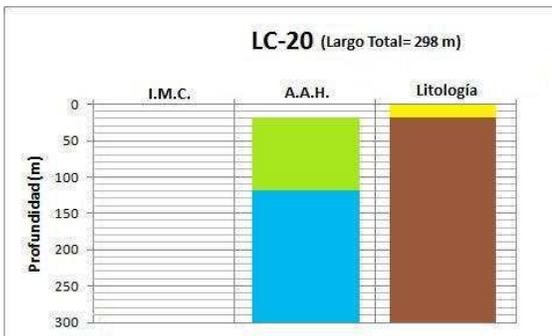
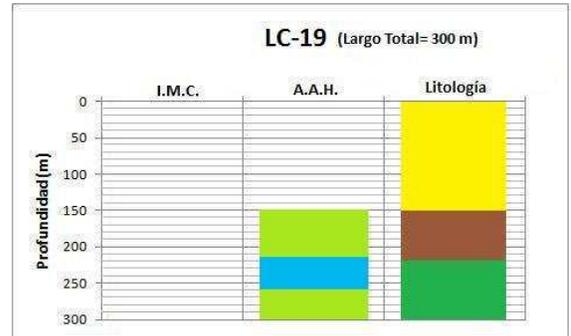
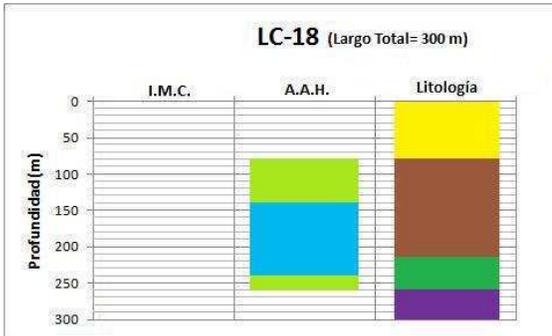
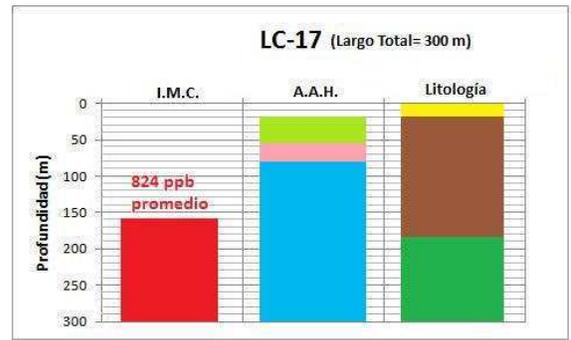
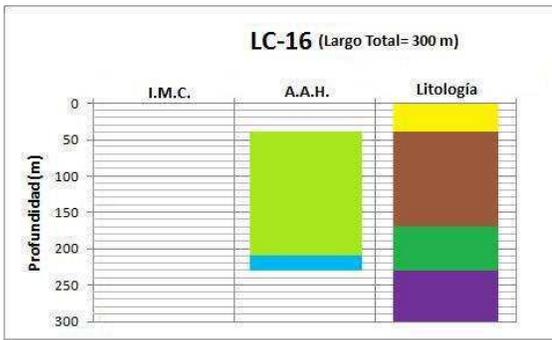
	
<p>LC-21: 294-296 m Silice</p>	<p>LC-28: 126-128 m illita – montmorillonita –silice</p>
 <p>Handwritten labels on the left: F_{110}, F_{040}, F_{020}, F_{110}, F_{040}, F_{020}. X-axis label: Wavelength (nm)</p>	
<p>LC-31: 218-220 m caolinita – illita</p>	<p>LC-31: 290-292 m Illita</p>
	
<p>LC-33: 66-68 m alunita –caolinita – silice</p>	<p>LC-34: 114-116 m caolinita – silice</p>

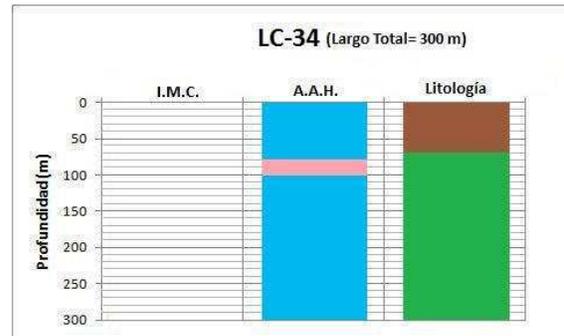
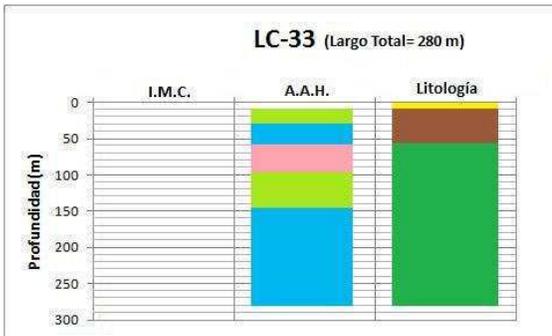
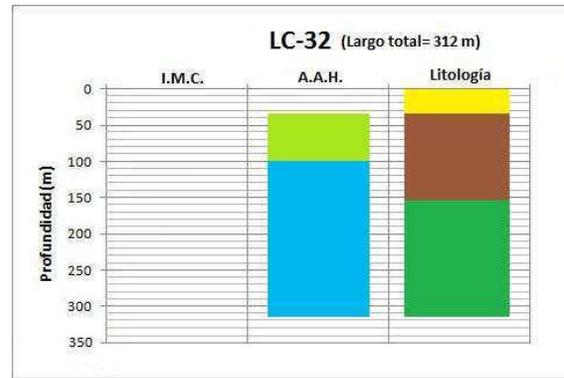
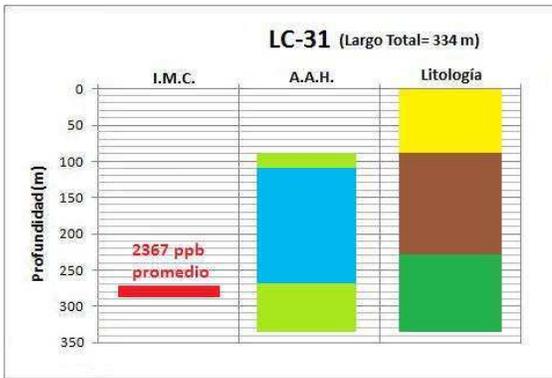
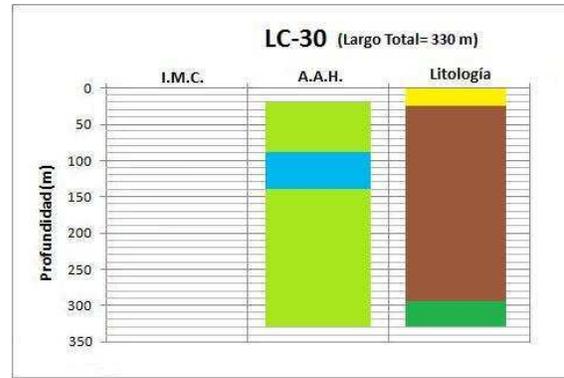
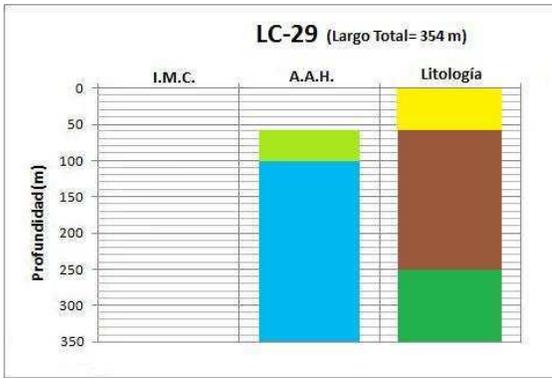
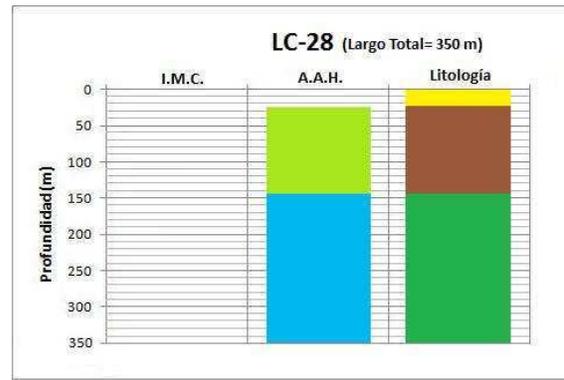
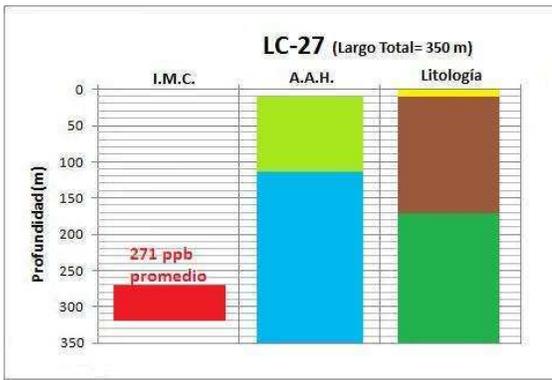
ANEXO 11

INTERCEPTO DE MAYOR CONCENTRACIÓN DE AU (I.M.C.), SÓLO PARA LC-15, LC-17, LC-21, LC-27 Y LC-31 , ALTERACIÓN HIDROTHERMAL (A.H.) Y LITOLOGÍA









ANEXO 12

DIFRACTOGRAMAS

