



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

**EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DEL PROSPECTO
DE COBRE TEXAS,
CORDILLERA DE DOMEYKO, II REGIÓN, CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

DANIEL HUMBERTO CÁCERES VEGAS

PROFESOR GUÍA:

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

VICTOR MAKSAEV JURCHUC

CARLOS PALACIOS MONASTERIO

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE, 2008**

RESUMEN

El prospecto de cobre Texas está en un grupo de propiedades de Minera Teck Cominco Chile Limitada que se encuentran en la Cordillera de Domeyko, II Región, Chile. La geología del prospecto corresponde a rocas paleozoicas, volcánicas e intrusivas que se ubican en la parte este del prospecto y que están en contacto con rocas jurásicas marinas y cretácicas volcánicas mediante la Falla Sierra de Varas, que es una falla transcurrente e inversa perteneciente al Sistema de Fallas de Domeyko. Las rocas jurásicas marinas corresponden a calizas y las cretácicas volcánicas a lavas principalmente andesíticas, las cuales están intruidas por pequeños cuerpos graníticos. Sobre todas estas unidades existe una cubierta de depósitos aluviales y coluviales que se han depositado desde en Mioceno hasta ahora.

Las rocas del prospecto Texas presentan diferentes tipos de alteración hidrotermal, encontrándose rocas paleozoicas con alteración potásica y propilítica, además de rocas cretácicas con alteración propilítica, argílica intermedia y argílica avanzada.

Se realizó un muestreo geoquímico de superficie para determinar los valores umbrales exploratorios en la zona e identificar si existen valores anómalos en cuanto a contenido de elementos. El análisis se hizo para aquellos elementos que pueden considerarse como guía en la exploración por pórfido cuprífero: Cu, Mo, Pb, Zn y As.

Las rocas paleozoicas no presentan mayor interés exploratorio, debido a que los contenidos geoquímicos de Cu, Mo, Pb, Zn y As son bajos y no constituyen valores anómalos, además no existe evidencia de alteración posterior a la propilítica. Por lo tanto estas rocas son descartadas como blanco de exploración en este trabajo.

Según los resultados del muestreo geoquímico se descarta también la propiedad que se encuentra más al sur del prospecto, sin embargo es posible identificar una zona en el centro del prospecto, entre el Cerro Pico de Oro y el Cerro Azabache, donde si bien los contenidos de elementos no son muy altos, existe una pequeña anomalía positiva con respecto al valor umbral de cobre, además de presentarse en su borde, razones de elementos (Pb+Zn)/Cu similares a las encontradas en sistemas del tipo pórfido cuprífero. Esta zona se recomienda mantener y realizar una segunda campaña de exploración con más detalle y muestreo geoquímico en malla regular.

...A Carolina y Constanza

AGRADECIMIENTOS

En estas escasas líneas, quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a la empresa Minera Teck Cominco Chile Ltda. por la oportunidad de realizar este trabajo, y por el apoyo brindado durante el tiempo que pasé ahí. Especialmente quisiera agradecer al señor Mario Porzio por su apoyo y amistad que fueron fundamentales para la realización de esta memoria. Además quiero expresar mi agradecimiento a los señores Mario Arrieta, Ricardo González y Luis Pérez por su compañerismo y amistad durante el tiempo que pasé en Teck Cominco.

También quiero agradecer a mi actual equipo de trabajo, por su apoyo, y amistad, tan necesarios para lograr este objetivo. Entre ellos especialmente quiero agradecer a Patricio Sepúlveda por su desinteresado apoyo en la revisión de este documento y a Miguel Hervé y Patricio Fernández por su paciencia y apoyo.

Estas líneas no estarían completas sin agradecer a Maria Rosa, secretaria del Departamento de Geología, por su apoyo, amistad, calidez y guía durante todos los años de escuela... y los posteriores.

Por último quiero agradecer a mi familia, quienes hicieron posible, con apoyo y amor que yo sea quien soy. A mis padres, Gloria y Humberto. A mi hermana y a mi Lela, muchas gracias por todo.

A mis amores Carolina, mi esposa, y Constanza, mi hermosa hija. Muchas gracias por apoyarme y amarme como yo las amo. Sin ustedes esta tarea habría sido imposible.

INDICE

CAPITULO 1.	11
1.1.-INTRODUCCIÓN	11
1.1.2.- UBICACIÓN Y ACCESOS	11
1.2.- OBJETIVOS	13
1.2.1.- OBJETIVO GENERAL	13
1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO	14
1.4.- METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA REGIONAL	16
2.1.- PALEOZOICO	16
2.2.- MESOZOICO	19
2.3.- CENOZOICO	20
2.4.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	21
CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL PROSPECTO TEXAS	23
3.1.- ROCAS ESTRATIFICADAS	24
Complejo Ígneo Granítico (CIG)	24
Unidad Informal Volcánica Sur (UVS)	24
Unidad Informal Calizas Sur (UCS)	28
Unidad Informal Calizas Principales (UCP)	28
Unidad Informal Volcánica Sedimentaria Principal (UVSP)	31
Miembro Volcanoclástico	31
Miembro Volcánico Central	32
Miembro Volcánico Superior	32
Unidad Informal Volcánica Mayor (UVM)	33
Cubierta Neógena	34
Depósitos de Gravas semiconsolidadas	34
Depósitos Aluviales y Coluviales	35
3.2.- ROCAS INTRUSIVAS	36
Complejo Igneo Granítico	36
Granitos Cuaríferos	36
Diorita a Monzodiorita	37
3.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	37
Fallas NS	38

Fallas NW-SE	38
CAPÍTULO 4. MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	40
4.1.- Mineralización	40
4.2.- Alteración Hidrotermal	44
4.2.1.- Alteración Protásica	44
4.2.2.- Alteración Propilítica	44
Asociación Clorita-Epidota-Albita-Actinolita-Smectita	47
Asociación Clorita-Epidota	47
Asociación Clorita-Sericita	47
4.2.3.- Alteración Cuarzo-Sericita	47
4.2.4.- Alteración Argílica Intermedia	48
4.2.3.- Alteración Argílica Avanzada	48
CAPÍTULO 5. GEOQUÍMICA DE EXPLORACIÓN	50
5.1.- Fundamentos y Objetivos del Muestreo	51
5.2.- Métodos de Análisis	52
5.3.- Control de Calidad de los Análisis	52
5.3.1.- Standard (STD)	52
5.3.3.- Duplicados (DUP)	53
5.3.4.- Precisión y Exactitud Analítica	54
5.4.- Análisis de Resultados	50
5.4.1.- Estadística Univariante	60
5.4.2.- Análisis estadístico de Poblaciones	62
5.4.3.- Estadística Multivariante	65
5.4.4.- Distribución Geoquímica	67
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	71
6.1.- Síntesis Geológica	71
6.2.- Desarrollo de Alteración	72
6.2.1.- Etapa Temprana o Tardimagmática	73
6.2.2.- Etapa Hidrotermal Principal	74
6.2.3.- Etapa Hidrotermal Tardía	74

6.3.- Resultados Geoquímicos	75
CAPÍTULO 7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	81
ANEXOS	85
ANEXO 1: DESCRIPCIONES PRETROGRÁFICAS	86
ANEXO 2: PROTOCOLO LABORATORIO	93
ANEXO 3: RESULTADOS GEOQUÍMICOS	96

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Mapa de Ubicación del Prospecto Texas	12
Fig. 2: Geología Regional, modificado de Hoja de Aguas Blancas, Sernageomin, escala 1:250.000 (Marinovic et al., 1995), Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2002), Boletín n°40 (Boric et al., 1990), Carta Oficina Domeyko (Marinovic, 2007)	17
Fig. 3: Mapa Geológico del Prospecto Texas, el cual muestra la distribución litológica de las unidades descritas por el autor en el presente trabajo	66
Fig. 4: Secuencia de lutitas amarillentas de la UCP.	29
Fig. 5: Fauna fósil de la UCP	30
Fig. 6: Conglomerados del miembro volcanoclástico.	32
Fig. 7: Fallas y lineamientos en la zona de estudio.	39
Fig. 8: Distribución y ubicación de las diferentes muestras tomadas por El autor para la elaboración del presente informe, y ocurrencias minerales.	41
Fig. 9: Mineralización de cobre alojado en tobas de Mina Libra	43
Fig. 10: Veta de cuarzo con minerales oxidados de cobre	43
Fig. 11: Distribución tipos de alteración	45
Fig. 12: Esquema Precisión-Exactitud	55
Fig. 13: Zonas con alto contenido de cobre	68

Fig. 14: Zonas con altas razones de Pb/Mo	69
Fig. 15: Muestra las zonas con altas razones de Pb+Zn/Cu	70
Fig 16. Zonas de alteración hidrotermal en un Pórfido Cuprífero modificado de Lowell y Gilbert (1970)	72
Fig. 16: Zona con interés exploratorio	78

TABLAS

Tabla 1 : Tabla resumen de las formaciones que afloran en la zona de estudio	22
Tabla 2: Análisis K-Ar de este trabajo	36
Tabla 3: Tabla resumen de las ocurrencias minerales en el Prospecto Texas	49
Tabla 4: Resumen de resultados analíticos de las muestras estándar.	53
Tabla 5: Coeficientes R^2 para los pares original-duplicado	54
Tabla 6: Muestra los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar la precisión.	57
Tabla 7: Muestra los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar la exactitud	59
Tabla 8: Estadística Básica para cada una de las litologías	61
Tabla 9: Estadística de poblaciones geoquímicas y umbrales de Exploración Recomendados	63
Tabla 10: Matriz de Correlación	65
Tabla 11: Valores del umbral exploratorio	77

1. INTRODUCCIÓN

La presente memoria entrega los resultados del programa de exploración superficial por cobre, que fue realizado entre los meses de Julio y Diciembre del año 2004 por Minera Teck Cominco Chile Limitada. El trabajo fue realizado en un grupo de 4 propiedades mineras (Texas, Bristol, Lotar y Antolar) de la compañía, en las que se encuentra el Prospecto Texas. Este trabajo se enmarca dentro del programa de exploración de Pórfidos Cupríferos en zonas cubiertas que la empresa mantiene en el norte de Chile.

Los motivos para llevar a cabo este trabajo obedecen a la necesidad de establecer el potencial exploratorio de la zona, la cual se encuentra ubicada posiblemente en la franja metalogénica del Eoceno Superior-Oligoceno (Maksaev, 2001), en la segunda región de Chile.

1.1.- UBICACIÓN Y ACCESOS

El prospecto se encuentra ubicado en la II Región de Chile, al oeste de la Cordillera de Domeyko, entre las coordenadas UTME (PSAD 56): 460.000-490.000 y UTMN (PSAD 56): 7.340.000-7.375.000, a unos 130 km al este de la ciudad de Antofagasta, y a unos 47 km al noroeste de la mina Escondida. El prospecto Texas se encuentra ubicado espacialmente dentro de la franja de los yacimientos del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior (Maksaev, 2001), enmarcado en los dominios del Sistema de Falla de Domeyko (Boric et al., 1990). Es posible acceder a la zona desde Antofagasta, a través de la Avenida La Minería (ruta B-28), que corresponde a la salida sur de esta ciudad. Al llegar a la intersección con la Ruta 5, se sigue el camino que se interna hacia el este, que corresponde a la ruta B-475 (La Negra–Escondida), por el cual se recorren aproximadamente 100 km de camino asfaltado, luego, en la intersección que lleva a la Estación Augusta Victoria, se sigue por caminos secundarios, hacia el noreste, habilitados durante todo el año (**Fig.1**).

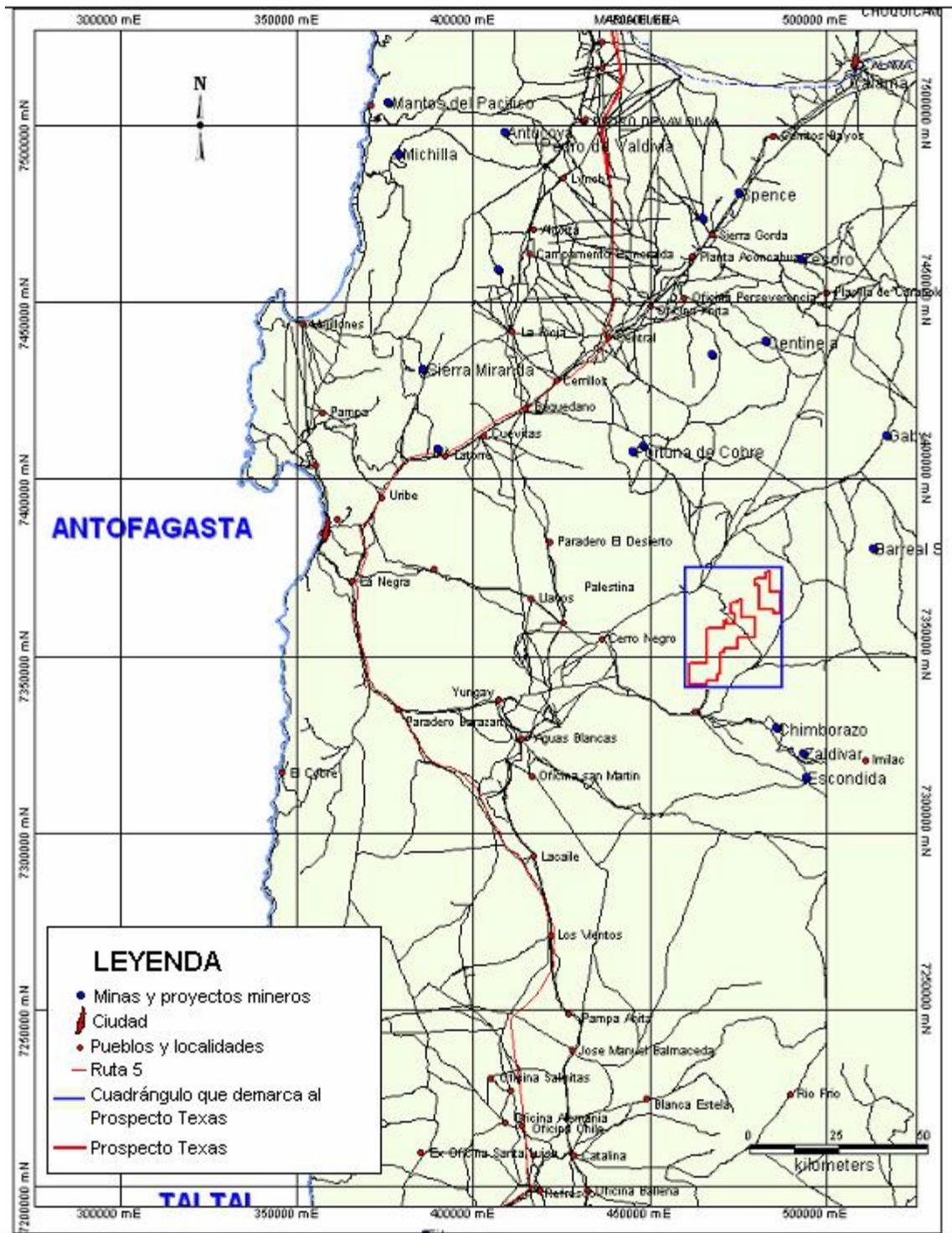


Fig. 2: Mapa de Ubicación del Prospecto Texas.

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.-Objetivo General

Determinar el potencial exploratorio del Prospecto, en base a un estudio geológico y geoquímico que permita establecer tipos de litologías y la existencia de alteraciones hidrotermales, conjuntamente con los niveles base y distribución de los contenidos de elementos guía en la exploración por cobre para establecer si existen contenidos anómalos en dichos elementos. Determinar si los tipos de alteración hidrotermal presentes en la zona corresponden a algún modelo de yacimiento descrito con anterioridad por algún autor.

1.2.2.-Objetivos Específicos

- i. Definir y caracterizar las unidades geológicas de la zona de estudio.
- ii. Establecer zonas con diferente asociación mineralógica de alteración. Tratar de clasificar estas asociaciones mineralógicas según los tipos de alteración hidrotermal descritas por otros autores.
- iii. Determinar los contenidos geoquímicos de Cu, Mo, Pb, Zn, As y otros elementos menores en las unidades de alteración que afloran en la zona de estudio.
- iv. Establecer un nivel base de contenidos de elementos, sobre el cual poder iniciar una exploración en la zona de estudio.
- v. Establecer la relación entre las zonas de alteración hidrotermal y la eventual mineralización, teniendo en cuenta los modelos de yacimiento descritos por otros autores.

1.3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

Este trabajo se lleva a cabo bajo la hipótesis de que la zona podría tener un interés económico de exploración para la empresa Teck Cominco Chile Limitada, por cuanto presenta indicios de alteración hidrotermal, además mineralización de cobre en una zona cercana a grandes depósitos de cobre del tipo Pórfido Cuprífero.

Esta hipótesis se sostiene en base a las evidencias de mineralización encontradas en terreno, las que corresponden principalmente a vetas de rumbo NS, las cuales presentan minerales oxidados de cobre. Estas vetas se encuentran hospedadas principalmente en rocas volcánicas con alteración propilítica o clorita-epidota. Además de lo anterior, existen evidencias de un sistema similar a un *Lithocap* descrito por Sillitoe (1995), los cuales podrían ser ocupados, según Sillitoe (1995), como una guía para la exploración. Este *Lithocap* se encontraría en una zona superior generando la idea de que pudiera ser un remanente de un sistema de alta sulfidización.

1.4.- METODOLOGÍA

A continuación se describe la serie de actividades que fueron realizadas para llevar a cabo cada uno de los objetivos expuestos en el punto 1.2.2:

- i. Revisión Bibliográfica.
- ii. Revisión y trabajos de preparación de terreno sobre mapas geológicos regionales existentes, imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapa topográfico.
- iii. Realización de tres campañas de terreno, con los siguientes trabajos :
 - Mapeo litológico, de alteración y mineralización a escala 1:25.000, el cual es presentado en un mapa adjunto, a escala 1:50.000 (mapa fuera de texto).
 - Muestreo litológico. Obtención de muestras de mano representativas para descripción macro y microscópica.
 - Muestreo Geoquímico de rocas.
 - Verificación en terreno de resultados geoquímicos.
- iv. Trabajos de gabinete y laboratorio, entre los cuales se incluyen :
 - Preparación de cortes transparentes y estudios petrográficos.
 - Análisis geoquímicos de roca, mediante digestión por agua regia y lectura multielemento ICP-AES (34).
 - Procesamiento de datos y elaboración de informe final.

CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas que integran el marco geológico del Prospecto Texas, corresponden a un basamento paleozoico formado por rocas intrusivas y efusivas, expuesto por un levantamiento provocado por la Falla Sierra de Varas (Marinovic et al., 1995), dejando a las rocas del basamento en contacto con rocas mesozoicas volcánicas y sedimentarias. Estas unidades se encuentran en gran parte cubiertas por rocas cenozoicas. En la Figura 2 se observa la distribución de las diferentes unidades litológicas que afloran en el área adyacente al Prospecto.

Las unidades geológicas se describen a continuación ordenadas de más antiguas a más jóvenes. Además en la Tabla 1 se encuentra un resumen de ellas.

2.1.- PALEOZOICO

Las unidades paleozoicas presentes en el área corresponden a rocas volcánicas e intrusivas, ubicadas directamente al este de la Falla Sierra de Varas (Marinovic et al., 1995) dispuestas en contacto con unidades sedimentarias jurásicas y unidades volcánicas cretácicas, mediante esta falla de rumbo NNE (*Fig.2*).

Las rocas volcánicas paleozoicas constituyen una secuencia compuesta principalmente por lavas riolíticas y tobas vítreas soldadas con fenocristales de cuarzo, y subordinadamente por andesitas porfíricas y tobas andesíticas de color pardo, asignadas al Carbonífero Superior – Pérmico (Marinovic et al., 1995). Esta secuencia es correlacionable con la Formación La Tabla (García, 1967).

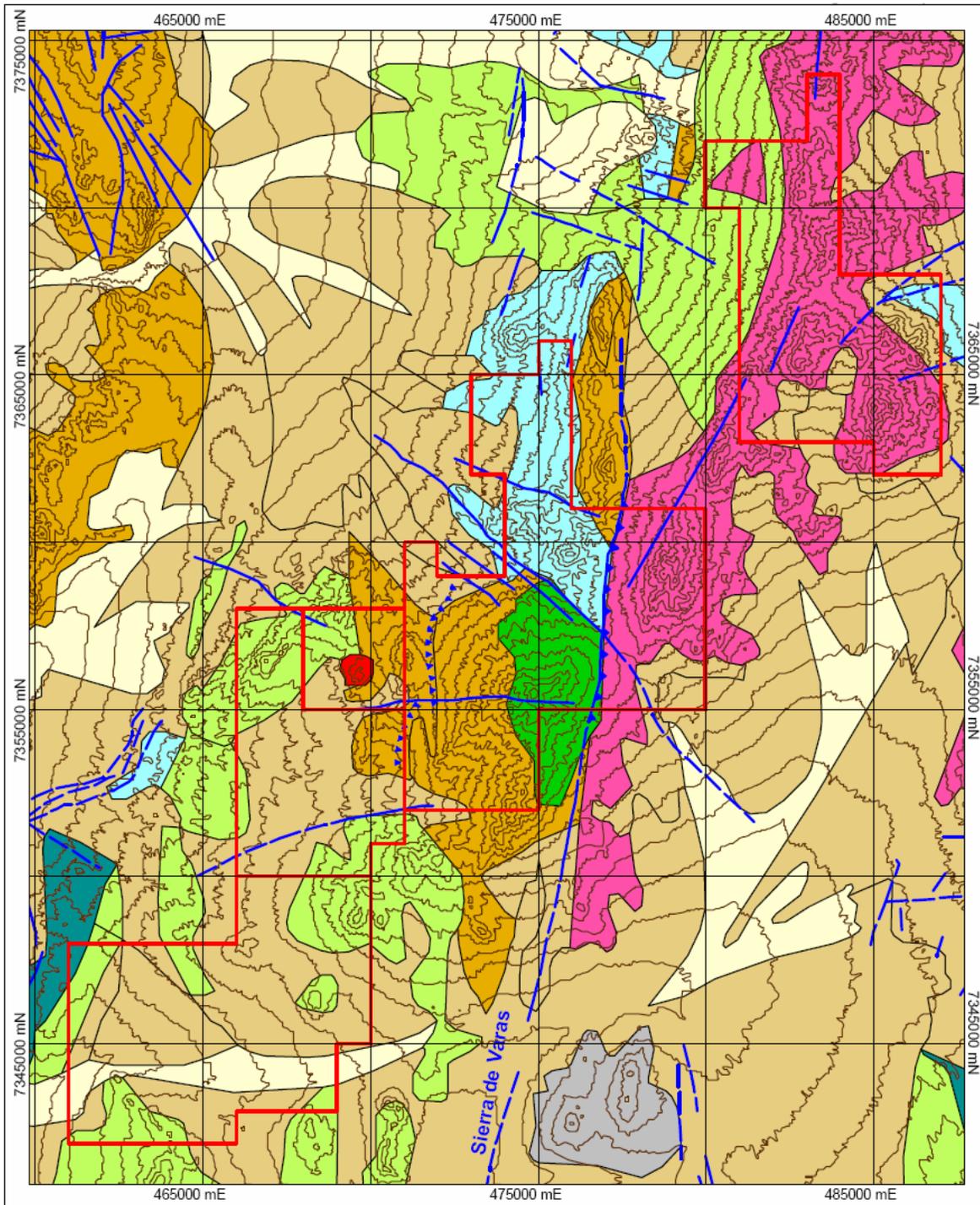


Fig. 2. Geología Regional, modificado de Hoja de Aguas Blancas, escala 1:250.000 (Marinovic et al., 1995), Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2002), Boletín n°40 (Boric et al, 1990), Carta Oficina Domeyko (Marinovic, 2007).

LEYENDA MARCO REGIONAL

-  **Sedimentos Cenozoicos**
SECUENCIAS SEDIMENTARIAS HOLOCENAS. Gravas y arenas
-  **Sedimentos Cenozoicos**
SECUENCIAS SEDIMENTARIAS MIOCENAS
-  **Intrusivos Cenozoicos (Eoceno Inferior)**
PÓRFIDOS RIOLÍTICOS
-  **Unidades Volcánicas Cenozoicas**
SECUENCIAS VOLCÁNICAS ÁCIDAS
-  **Unidades Volcánicas Mesozoicas**
Complejo Intrusivo y volcánico Cerro Azabache (Cretácico Superior)
SECUENCIAS VOLCÁNICAS Y PÓRFIDOS ANDESÍTICOS Y DIORÍTICOS
-  **Unidades Volcánicas Mesozoicas**
Formación Augusta Victoria (Cretácico Superior-Eoceno Medio)
SECUENCIAS VOLCANOSEDIMENTARIAS
-  **Formación El Profeta (Jurásico)**
SECUENCIAS SEDIMENTARIAS
-  **Formación Sierra El Cobre (Bajociano - Oxfordiano)**
SECUENCIAS SEDIMENTARIAS MARINAS
-  **Complejo Igneo Paleozoico (Pérmico)**
GRANITOS Y LAVAS PORFIDICAS
-  **Formación La Tabla (Carbonífero - Pérmico)**
SECUENCIAS VOLCANICA
-  **Fallas**
-  **Límites concesiones de exploración, Prospecto Texas**

Al este de la Falla Sierra de Varas, aflora una franja de rocas de orientación NS, las cuales constituyen un complejo ígneo, efusivo-intrusivo subvolcánico, formados por lavas, tobas, brechas y pórfidos, de composición granítica-riolítica a dacítica, y en menor proporción, por lavas y brechas andesíticas (Boric et al., 1990).

A este complejo ígneo pertenecen también rocas intrusivas que corresponden a granitos de anfíbola y biotita inicialmente asignados al Cretácico Superior – Paleoceno (Ferraris et al., 1978). En el trabajo de Boric et al (1990), estas rocas intrusivas han sido incluidas en las unidades de rocas volcánicas y subvolcánicas del Carbonífero Superior-Triásico Medio, nombradas en el párrafo anterior. Sin embargo, mediante un análisis de K/Ar realizado en los laboratorios del Sernageomin, el autor asigna a esta unidad al Pérmico (ver Capítulo 3).

2.2.- MESOZOICO

Las unidades mesozoicas en el área afloran al oeste de la Falla Sierra de Varas, y corresponden a rocas sedimentarias marinas, rocas volcánicas, tanto andesíticas como dacíticas y rocas volcanoclásticas (Boric et al., 1990) (*Fig.2*).

Las rocas sedimentarias más antiguas, corresponden a una secuencia de areniscas, lutitas y calizas marinas fosilíferas, polideformada, correlacionable con la Formación Sierra El Cobre asignadas al Sinemuriano – Oxfordiano (Tobar, 1966). Además aflora una secuencia de calizas, areniscas, lutitas y conglomerados, correlacionables con la Formación El Profeta, del Jurásico (Chong, 1973) (*Fig.2*).

Las rocas volcánicas mesozoicas en el área se presentan discordantes sobre las formaciones Sierra El Cobre y El Profeta, y corresponden principalmente a lavas andesíticas y dacíticas, y están acompañadas por areniscas volcanoclásticas, tobas y brechas dacíticas a riolíticas asignadas a la Formación Augusta Victoria (García, 1967), de edad Cretácico Superior-Eoceno Medio (*Fig.2*).

En el cerro Azabache se exponen rocas volcánicas andesíticas porfíricas, de anfíbola y piroxeno, además de algunos pórfidos andesíticos de hornblenda y pórfidos dioríticos. Estas rocas han sido designadas como Complejo Intrusivo y Volcánico Cerro Azabache (Marinovic, 2007).

2.3.- CENOZOICO

Las rocas volcánicas cenozoicas corresponden principalmente a secuencias félsicas de tobas riodacíticas vítreas, de cristales y líticos subordinados, con intercalaciones de andesitas porfíricas. Estas rocas paleocenas han sido denominadas como Tobas y Andesitas del Cerro Pico de Oro (Marinovic, 2007).

Intruyendo a las rocas volcánicas anteriores se encuentra un pórfido riolítico, de color gris, constituido por fenocristales de cuarzo, feldespato, biotita y anfíbola, con textura porfírica gruesa. Este intrusivo ha sido datado en 53.6 ± 1.5 Ma, mediante el método K-Ar en biotita (Marinovic, 2007).

Cubriendo en parte a las unidades anteriores se disponen gravas, paraconglomerados y areniscas, débilmente consolidadas, con mala estratificación, de edad Oligoceno - Mioceno, correlacionables con la Formación Pampa de Mulas (Chong, 1973). Se reconocen además en el área depósitos aluviales y coluviales asignados al Mioceno Superior – Plioceno (Véliz, 2004), formados por gravas, arenas y limos. Estos se disponen en terrazas y piedemontes.

También se reconocen acumulaciones de sedimentos detríticos, no consolidados o semiconsolidados de origen aluvial y subordinadamente coluvial compuestos principalmente por gravas con clastos angulosos, arenas y limos. Estos sedimentos corresponden al Holoceno y se presentan cortando las terrazas formadas por sedimentos Pliocenos y Miocenos (Boric et al., 1990).

2.4.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El principal rasgo estructural en la zona es el Sistema de Falla de Domeyko (SFD) (Boric et al.,1990), el cual está constituido por una serie de fallas que limitan bloques alzados a lo largo de la Cordillera de Domeyko. En la zona de estudio, se manifiesta con una traza de rumbo NS a N5°E y pone en contacto rocas paleozoicas (bloque alzado oriental) con rocas jurásicas, cretácicas y miocenas (**Fig. 2**). Este sistema de falla se extiende, en sentido NS, por más de 1.000 km, y según algunos autores (Mpodozis et al., 1993), se habría demostrado que en la zona cercana a La Escondida, el SFD incluiría una compleja asociación de fallas de rumbo con una faja plegada y corrida, cuya geometría y relaciones con diversos intrusivos indicaría que se generó como un sistema transcurrente sinistral en el Eoceno (40 M.a.).

El SFD presenta en la zona una falla regional llamada Falla Sierra de Varas, de más de 150 km de extensión, la que se ubica a lo largo del borde oriental de la Cordillera de Domeyko y que corresponde a una falla transcurrente, sinistral, con un componente de movimiento inverso (Marinovic, 2007). Esta falla presenta varias trazas subparalelas, rectilíneas y subverticales que afectan a los depósitos aluviales y coluviales miocenos y holocenos, debido, probablemente a una reactivación de la falla en el Neógeno (Marinovic, 2007).

Además del SFD existen, en la zona de estudio, diversas fallas transversales, con rumbo N45°W y N30°W, (**Fig.2**), las cuales podrían corresponder al denominado Corredor Estructural Archibarca (Richards, 2000), el cual está definido como un sistema estructural de dirección noroeste – sureste que es transversal a la Cordillera de los Andes, reconociéndose desde el margen continental chileno hasta el noroeste argentino (Véliz, 2000).

Tabla 1

Tabla resumen de las formaciones que afloran en la zona de estudio

Formación	Edad	Descripción
<i>Rocas estratificadas</i>		
La Tabla	Carbonífero-Pérmico	Lavas riolíticas y andesitas porfíricas
El Profeta	Triásico Superior-Jurásico	Calizas, lutitas y areniscas calcáreas
Sierra El Cobre	Bajociano-Oxfordiano	Areniscas, lutitas, y calizas marinas fosilíferas
Augusta Victoria	Cretácico Superior-Eoceno	Lavas, tobas, brechas y aglomerados volcánicos de composición andesítica a riolítica
Cerro Azabache	Cretácico Superior	Lavas y pórfidos andesíticos y dacíticos
<i>Cerro Pico de Oro</i>	Paleoceno	Tobas riódacíticas y andesitas.
<i>Rocas Intrusivas</i>		
Granitos	Pérmico	Granitos holocristalinos de anfíbola y piroxeno
Pórfido riolítico	Eoceno	Pórfido riolítico de biotita y anfíbola

(Ref: Bogdanic y Chong, 1985. Bogdanic et al. 1985. Chong, 1973. Chong y Von Hillebrandt, 1985. Ferraris y Di Biase, 1978. Fuenzalida, 1986. García, 1967. Marinovic et al. 1995. Padilla, 1988. Tobar, 1966. Marinovic, 2007).

CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL PROSPECTO TEXAS

En el área de estudio aflora un cordón montañoso de dirección NNE de rocas paleozoicas tanto volcánicas como intrusivas, las que se disponen al este de la Falla Sierra de Varas y en contacto mediante la misma con unidades sedimentarias marinas, rocas volcánicas y volcanosedimentarias mesozoicas. Estas rocas mesozoicas se presentan intruídas por pequeños cuerpos de composición granítica y diorítica, que no han sido datados, pero se asumen post-eocenos. Discordantemente sobre las unidades mesozoicas y paleozoicas se presentan depósitos de gravas y arenas semiconsolidadas de carácter aluvial y coluvial asignados al mioceno, y también depósitos no consolidados holocenos.

En la zona existen dos familias de fallas diferenciadas por su rumbo. La primera corresponde a fallas de rumbo NNE, las cuales forman parte del Sistema de Fallas de Domeyko (SFD) (Boric et al., 1990), específicamente de una de sus fallas maestras, la Falla Sierra de Varas (Marinovic, 2007), la cual corresponde al rasgo estructural principal del área de estudio, puesto que pone en contacto unidades litológicas paleozoicas con otras mesozoicas y cenozoicas, generando así un bloque alzado al este de la misma. La Falla Sierra de Varas es una falla transcurrente sinistral con un componente inverso, cuyo movimiento principal se estima ocurrió a los 53 Ma (Marinovic, 2007). Otra familia de fallas corresponde a fallas de rumbo NW-SE, con extensión superficial de no más de 10 km., las que son principalmente transcurrentes sinestrales.

Las siguientes secciones están referidas al mapa confeccionado por el autor, el cual se presenta como un documento fuera de texto. Además se presenta la figura 3 como mapa dentro del texto, que puede ser utilizado como referencia.

3.1.- ROCAS ESTRATIFICADAS

Complejo Igneo Granítico (CIG)

Corresponde a un conjunto de riolitas porfíricas de color pardo rojizo a gris que afloran al este de la Falla Sierra de Varas (*Fig.3*), y que son intruídas por rocas graníticas paleozoicas, incluidas en este trabajo dentro del mismo complejo igneo.

Las riolitas del CIG, junto con los intrusivos, forman un cordón montañoso elongado en dirección NS, sin evidencias de estratificación. Estas rocas volcánicas corresponden principalmente a riolitas y en menor cantidad a pórfidos riolíticos e ignimbritas soldadas, de color pardo rojizo a gris, con fenocristales de cuarzo fracturados, y plagioclasa y escasos máficos correspondientes a biotita y hornblenda en una masa fundamental microcristalina.

Las riolitas del CIG se presentan intruídas por granitos del CIG, los que han sido datados en este trabajo en 290 ± 9 Ma. (K-Ar en biotita), por lo cual la depositación de esta es anterior a esa edad. Por las relaciones de contacto y por la ubicación espacial, esta unidad puede ser correlacionada con la Unidad Informal Riolitas Sierra del Jardín (Marinovic, 2007) asignadas al Carbonífero-Pérmico.

Unidad Informal Volcánica Sur (UVS)

Corresponde a una secuencia bimodal de lavas riolíticas y andesíticas porfíricas, que aflora en la parte sur de la zona de estudio, al este de la Falla Sierra de Varas. Su base no está expuesta y su techo corresponde a un contacto por falla con la Unidad Informal Calizas Sur. La potencia estimada para esta unidad en terreno es de no más de 100 m.

La secuencia está constituida mayoritariamente por lavas riolíticas, las cuales presentan una textura porfírica gruesa, con fenocristales de cuarzo fracturados y

fenocristales de plagioclasa tabulares inmersos en una masa fundamental afanítica, de color pardo rojizo. Los escasos máficos que contiene (1%) corresponden a anfíbolos levemente cloritizados y piroxenos. La roca presenta óxidos de hierro como hematita.

Subordinadamente a las riolitas, se presentan andesitas porfíricas verdosas con fenocristales de plagioclasa en una masa fundamental verdosa. Los máficos corresponden principalmente a anfíbolos levemente cloritizados y menor piroxenos. Además se puede observar una leve alteración clorita-epidota, que afecta tanto a fenocristales como a la masa fundamental.

Por características litológicas y distribución espacial, es posible correlacionar esta unidad con la Formación La Tabla (Carbonífero-Pérmico; García 1967). Dataciones radiométricas de K-Ar en roca total, efectuadas en las cercanías de la zona de estudio por Marinovic y por Minera Escondida, indicarían una edad Carbonífero Superior-Pérmico Inferior. La potencia total estimada para la Formación La Tabla es de 800 a 1000 m (Marinovic et al., 1995).

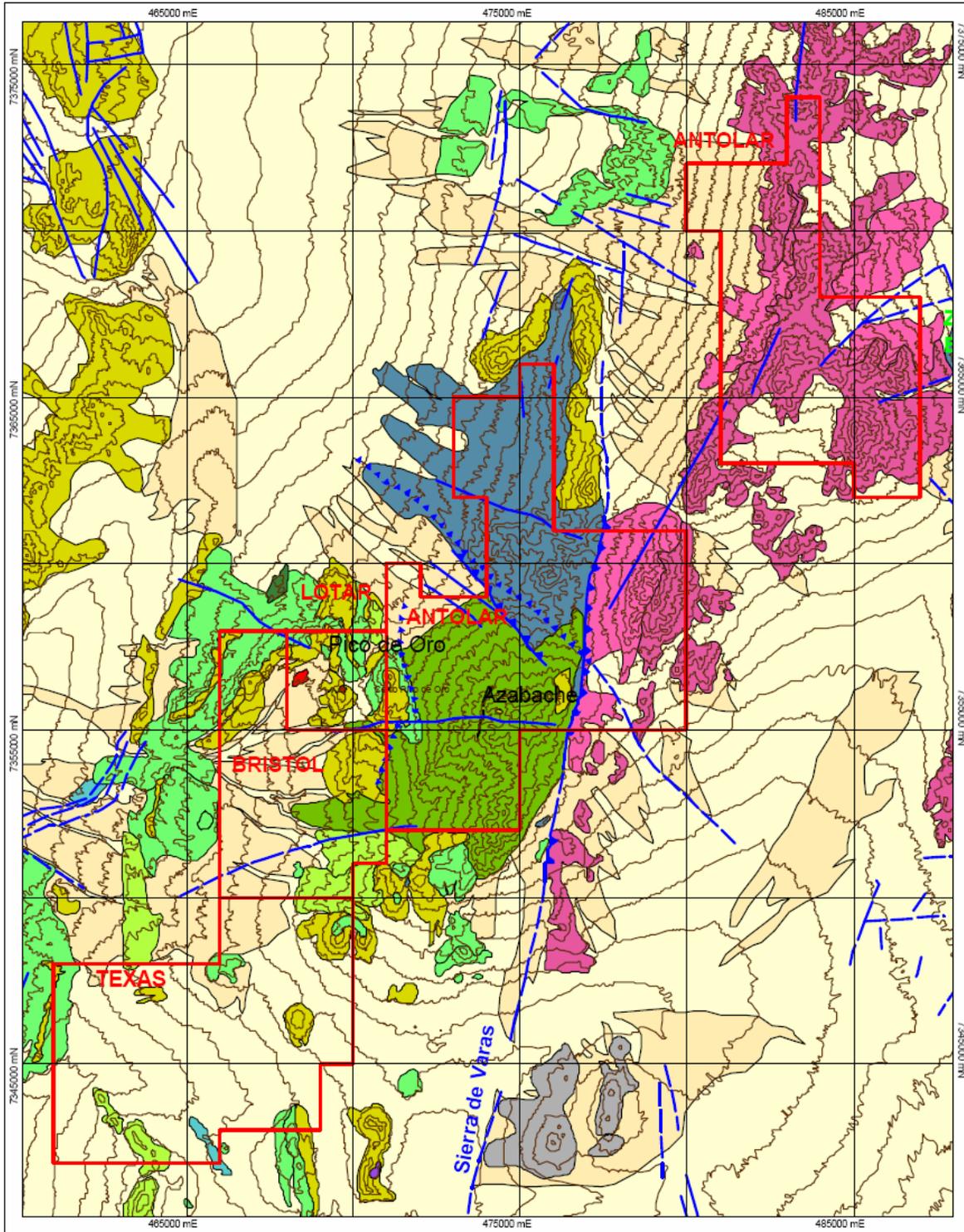


Fig. 3: Mapa Geológico del Prospecto Texas, el cual muestra la distribución litológica de las unidades descritas por el autor en el presente trabajo.

LEYENDA

Rocas estratificadas



Mioceno Superior - Holoceno
DEPOSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES.



Pleistoceno - Holoceno
DEPOSITOS DE GRAVAS SEMICONSOLIDADAS.



Cretácico Superior
UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA MAYOR (UVM)
Lava andesíticas, porfíricas, fenocristales de plag, anfibia y piroxeno.

Cretácico Superior - Eoceno

UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA SEDIMENTARIA PRINCIPAL (UVSP)



MIEMBRO VOLCÁNICO SUPERIOR
Lavas y tobas ácidas, tanto dacíticas como riolíticas



MIEMBRO VOLCÁNICO CENTRAL
Lava andesíticas porfíricas, rojizas y verdosas. Presencia de Magnetita



MIEMBRO VOLCANOCLÁSTICO
Lutitas



MIEMBRO VOLCANOCLÁSTICO
Areniscas rojizas y verdosas volcánicas. Brechas volcanoclasticas.



Bajociano-Oxfordiano
UNIDAD INFORMAL CALIZAS PRINCIPALES (UCP)
Calizas, lutitas y areniscas calcáreas y no calcáreas fosilíferas marinas.



Triásico Superior-Jurásico
UNIDAD INFORMAL CALIZAS SUR (UCS)
Calizas y lutitas calcáreas



Carbonífero-Permico
UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA SUR (UVS)
Lavas riolíticas con fenocristales de qz y plag en masa fundamental rojiza. andesitas subordinadas



Carbonífero-Permico
COMPLEJO INTRUSIVO GRANÍTICO
Lava riolítica, porfírica, de anfibia, localmente con magnetita. Masa fundamental gris rosada

Rocas Intrusivas



No Datado
GRANITOS CUARCIFEROS
Granito holocristalino cuarcífero, de anfibia y piroxeno



No Datado
DIORITA A MONZODIORITA
Diorita a monzodiorita con alteración argílica avanzada



290+-9 M.a. Permico
COMPLEJO INTRUSIVO GRANÍTICO
Granito holocristalino, de anfibia y piroxeno

Unidad Informal Calizas Sur (UCS)

Secuencia de calizas negras y grises, y lutitas calcáreas amarillentas, sin evidencias fosilíferas, que afloran en la parte suroeste de la zona de estudio (**Fig.3**), dentro de la propiedad Texas y al este de la propiedad Bristol. Su base no aflora, debido a fallas que la limitan por el oeste con el Miembro Volcanoclástico y por el este con el Miembro Volcánico Central de la Unidad Informal Volcánica Sedimentaria Principal. Su techo corresponde a un contacto discordante con el Miembro Volcánico Central. La potencia aflorante de esta unidad en la zona de estudio presenta un espesor máximo de 150 m.

Litológicamente esta unidad está constituida por una secuencia de calizas negras, calizas grises oolíticas y lutitas calcáreas amarillentas intercaladas, todas. No se observan evidencias fosilíferas (al menos en esta zona). Estas rocas están dispuestas en forma de franjas de rumbo NNE en la parte sur del área de estudio. Además, presentan deformación por fallas y pliegues.

Por su litología, y por su distribución espacial, esta unidad es correlacionada con la porción intermedia de la Formación El Profeta (Triásico Superior-Jurásico; Chong, 1973).

Unidad Informal Calizas Principales (UCP)

Secuencia calcárea marina, polideformada, ubicada en la parte centro-norte de la zona de estudio, al norte del cerro Azabache y al oriente de la Falla Sierra de Varas (**Fig.3**). Su base no se encuentra expuesta y su techo corresponde a un contacto por falla al sur, con la Unidad Informal Volcánica Mayor. La UCP está en contacto al este con el Complejo Intrusivo Granítico por la Falla Sierra de Varas, en la zona de falla. Existe una pequeña zona de metamorfismo de contacto, con presencia de granates. En la zona de estudio, esta unidad se presenta como una secuencia muy deformada con espesor cercano a los 500 m.

La litología de la UCP corresponde a una secuencia calcárea marina, consistente en niveles de calizas grises y calizas micro oolíticas, fosilíferas, de diferentes espesores, las cuales se encuentran afectadas por metamorfismo de contacto, con formación de granate almandino, sin embargo, no se ha encontrado ningún cuerpo intrusivo cortando esta unidad. Además afloran lutitas calcáreas amarillentas, también fosilíferas, las que están intercaladas con las calizas. También se encuentran en esta secuencia algunos niveles intercalados de areniscas verdosas y grises, calcáreas y no calcáreas.



Fig. 4: Secuencia de lutitas amarillentas de la UCP

La fauna fósil encontrada en esta unidad y clasificada por el autor corresponde principalmente a ammonoideos de la especie *Perisphinctes sp.*, (**Fig. 5**) que corresponden al Oxfordiano, los que están contenidos principalmente en calizas.

Esta unidad presenta fallamiento y en algunas zonas presenta vetas de rumbo EW mineralizadas principalmente con galena y secundariamente con algunos minerales oxidados de Cu (ver Capítulo 4, Tabla 2).

Por su litología, relaciones de contacto, fauna y distribución espacial, esta unidad es correlacionada con la Formación Sierra El Cobre (Sinemuriano-Oxfordiano; Tobar, 1966).



Fig 5: Fauna fósil de la UCP

Unidad Informal Volcánica Sedimentaria Principal (UVSP)

Se define en este trabajo la UVSP como una secuencia volcánica-sedimentaria dividida en tres miembros menores, correspondientes, de base a techo, a rocas sedimentarias volcanoclásticas, lavas andesíticas porfíricas y tobas y lavas ácidas. Aflora al oeste de la Falla Sierra de Varas, a lo largo de toda el área de trabajo (**Fig. 3**). Es la unidad de mayor distribución en la zona, y se presenta con sus diferentes litologías cortadas por vetas de calcita con minerales oxidados de cobre. También existe presencia de minerales oxidados de cobre en brechas tobáceas de la mina Libra (ver Capítulo 4, Tabla 3). Gran parte de las lavas andesíticas pertenecientes a esta unidad presentan alteración clorita-epidota. Su base se encuentra cubierta o se dispone por contacto por falla sobre la UCS y su techo corresponde a un contacto discordante con la Unidad Informal Volcánica Mayor. Esta secuencia alcanza un espesor de unos 700 a 800 m.

Los miembros de esta unidad están definidos de base a techo por su ubicación estratigráfica y por características litológicas pese a que es muy difícil establecer la actitud de los estratos que conforman la unidad. Estos miembros son los siguientes:

Miembro Volcanoclástico: Compuesto principalmente por rocas volcano-sedimentarias, estratificadas, de rumbo general N20E y manteo entre 45°E y 60°E. Su litología corresponde a conglomerados (**Fig. 6**) y brechas volcanoclásticas con clastos andesíticos y matriz arenosa. También se presentan areniscas volcánicas rojizas y verdosas con alto contenido de arcillas rojas dispuestas concordantemente sobre conglomerados y brechas. Existen además intercalaciones de lutita de formas lenticulares. Este miembro se distribuye generalmente en las zonas topográficas más bajas, al suroeste de la zona de estudio.



Fig. 6: Conglomerados del Miembro Volcanoclástico

Miembro Volcánico Central: Se presenta concordante sobre el Miembro Volcanoclástico, con rumbo general N30E y manteo 45°E. Está compuesto principalmente por andesitas porfíricas, de color rojizo y verdoso, con fenocristales de plagioclasa, anfibola y piroxeno en masa fundamental afanítica con magnetita. Estas andesitas presentan alteración propilítica con asociaciones minerales clorita, clorita-epidota, epidota en plagioclasas, y clorita-epidota-calcita y menor albita (Anexo 1, MM 244). Además se encuentran diferentes vetas de calcita con rumbos dominantes NS.

También afloran andesitas afaníticas con magnetita, microcristales de plagioclasa y hematita intercrecida, las cuales presentan alteración clorita y menor epidota, además de calcita y smectita (Anexo 1, MM 35).

Este miembro se ve afectado por la presencia de vetas con minerales oxidados de cobre, de rumbo NS (ver Capítulo 4).

Miembro Volcánico Superior: Está compuesto principalmente por lavas y tobas de carácter félsico, las cuales en terreno presentan un color amarillento, evidentemente más claro que el resto de los miembros. La litología corresponde a

lavas dacíticas amarillentas y blancas, con leve alteración sericítica en plagioclasas, lavas riolíticas con abundantes fenocristales de cuarzo (Anexo 1, MM 127) y tobas riolíticas con ojos de cuarzo.

Hospedada en estas rocas, también se encuentra una veta mineralizada con significativos contenidos de cobre y principalmente plomo. Se observa cerusita, anglesita, posiblemente smithsonita, además de galena y minerales oxidados de cobre (ver Capítulo 4, Tabla 3).

Por las características litológicas y por la disposición espacial, la UVSP es correlacionada con la Formación Augusta Victoria (Cretácico Superior-Eoceno; García, 1967), la cual afloraría en la zona de estudio según el mapa digital del Sernageomin escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2002). La edad de la Formación Augusta Victoria está determinada por métodos K/Ar y verificada por Ar/Ar, y comprende desde el Cretácico Superior al Eoceno (Marinovic et al., 1995).

Unidad Informal Volcánica Mayor (UVM)

La UVM aflora al oeste de la Falla Sierra de Varas, en el cerro Azabache (Fig. 3), se presenta en contacto por falla con las unidades paleozoicas del este. Su base corresponde a un contacto por falla hacia el norte con la UCP y un contacto por falla hacia el este con el Complejo Igneo Granítico, mientras que su techo corresponde a la actual superficie de erosión. La potencia estimada para esta unidad en la zona es de 600 m.

La litología de la UVM consiste en andesitas porfíricas, de color gris oscuro y gris verdosas con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y menos clinopiroxeno en masa fundamental afanítica, verdosa, con minerales opacos que corresponden tanto a pirita como a magnetita (Anexo 1, MM93). Esta unidad se ve afectada por alteración Propilítica, con asociación clorita-epidota-albita-calcita-menor actinolita y acompañada de pirita.

Por la litología y por la disposición espacial esta unidad es correlacionada con la unidad informal Formación Azabache, definida originalmente en la Hoja Antofagasta (Ferraris et al., 1978) y modificada después en la Carta Oficina Domeyko (Marinovic, 2007). Esta formación se asigna al Cretácico Superior, basado en un análisis radiométrico de K-Ar (anfíbola) que arrojó una edad de 84 ± 4 Ma (Marinovic, 2007).

Cubierta Neogena

En la zona de estudio se distinguen al menos dos tipos de depósitos de rocas semi-consolidadas o no consolidadas, que corresponden a depósitos aluviales, coluviales y aluvionales formados a partir del Mioceno y hasta el presente.

Depósitos de Gravas semiconsolidadas: Se ubican discordantes sobre las unidades paleozoicas al este de la Falla Sierra de Varas y sobre las unidades mesozoicas al oeste de ella. Forman planicies aterrazadas, las cuales están cortadas por las actuales quebradas, donde a su vez se depositan unidades no consolidadas más jóvenes. Esta unidad está compuesta por gravas polimícticas, matriz soportadas y en menor cantidad clasto soportadas, con mala selección e intercalaciones menores de arenas y cenizas.

Los depósitos pertenecientes a esta unidad representan antiguos abanicos aluviales de poca pendiente seccionados por los depósitos aluviales modernos. Esta unidad fue depositada, principalmente, en un ambiente continental subaéreo, producto de la depositación de flujos de barro, aluviones y flujos de limo, todos provenientes de relieves positivos circundantes.

La posición estratigráfica y geográfica, un par de dataciones K-Ar (biotita) en unas tobas intercaladas, realizadas por Marinovic (2007), además de la composición que muestran estos depósitos, permite correlacionar con la Formación Pampa de Mulas (Chong, 1973) de edad Mioceno Inferior – Medio.

Depósitos Aluviales y Coluviales: Se presentan discordantes sobre unidades más antiguas y cortando los depósitos aluvionales del Mioceno. Están compuestos por sedimentos aluviales y coluviales, no consolidados de color pardo amarillento a blanco compuestos por gravas, arenas y limos. Sobreyacen en discordancia a los depósitos miocenos. Se encuentran en el fondo de los cauces de las quebradas actuales y en planicies con poco desnivel. Corresponden a corrientes de barro asociados al drenaje más joven. Se le asigna una edad Pleistoceno-Holoceno basado en las relaciones de contacto y a que los procesos que los originaron aun están activos.

3.2.- ROCAS INTRUSIVAS

Complejo Igneo Granítico (Pérmico)

En la parte oriental de la zona de estudio (**Fig.3**), directamente al este de la Falla Sierra de Varas, afloran rocas intrusivas, de composición granítica, elongadas con rumbo N-NE, posiblemente todas correspondientes a una misma intrusión de carácter batolítico. Los intrusivos corresponden a granitos de color rosado a gris, de grano grueso, holocristalinos, de anfíbola, localmente con biotita y magnetita. Estos intrusivos Graníticos se ven afectados por alteración propilítica, con asociación clorita-epidota, la cual afecta principalmente, pero no exclusivamente a los minerales máficos (Anexo 1, MM129).

Al momento de realizar este trabajo, la edad de los granitos estaba determinada por el Sernageomin en base a relaciones de contacto con rocas estratificadas y algunas dataciones Pb- α , las cuales indican una edad de 69 M.a., es decir, Cretácico Superior (Ferraris et al., 1978). Sin embargo, como existía la duda en cuanto a la edad, se tomó una muestra para datación, la cual fue analizada en los laboratorios del Sernageomin, en Santiago, con el método K/Ar sobre biotita, arrojando una edad de 290 ± 9 Ma. correspondiente al Pérmico (**Tabla 2**).

Tabla 2. Análisis K-Ar de este trabajo.

Muestra	Unidad	Este UTM	Norte UTM	Material	% K	Ar. rad. (nl/g)	% Ar	Edad (Ma \pm 2 σ)
169845	Granito	477.893	7.360.835	Biotita	4.332	53.070	5	290 \pm 9

Granitos Cuaríferos

Son pequeñas unidades de granitos que afloran intruyendo a la UVSP, inmediatamente al este del cerro Pico de Oro. Corresponden a granitos de textura gruesa, holocristalinos con cristales cuarzo, feldespato-K, biotita y anfíbola. La alteración

corresponde a pequeños cristales anhedrales de clorita y smectita dispuestos en hábito radial y calcita anhedral intercrecida (Anexo 1, MM265).

Se desconoce la edad exacta de estos intrusivos, pero por relaciones de contacto con la UVSP se ha establecido que es post Eoceno.

Diorita a Monzodiorita

Esta unidad intrusiva aflora en la parte sur de la zona de estudio, fuera de las propiedades de Teck Cominco, al este de la Falla Sierra de Varas e intruyendo a la UVSP (*Fig.3*). Su textura original está casi totalmente borrada por una alteración argílica avanzada penetrativa con asociación mineralógica de alteración, cuarzo-alunita y menor pirofilita. Se desconoce su edad, pero por relaciones de contacto se ha establecido que es post Eoceno.

3.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las fallas presentes en el prospecto Texas pueden agruparse en dos familias de fallas, los cuales se diferencian entre si por el rumbo. La primera familia de fallas corresponde a fallas de rumbo NS a NNE, que pertenecen al Sistema de Fallas de Domeyko (SFD) (Boris et al., 1990), incluyendo a una falla maestra llamada Falla Sierra de Varas (Marinovic, 2007). La segunda familia de fallas corresponde a fallas de rumbo N45°W y N30°W (*Fig.7*).

Fallas NS

Corresponde a una familia de fallas que en el área de estudio presentan rumbo NS, que están relacionadas con el SFD, son verticales a subverticales con trazas de hasta 30 km de largo en superficie, en general presentan evidencias de movimiento transcurrente sinistral, y el bloque oriental presenta alzamiento, por lo cual estas fallas tienen un componente inverso.

La principal falla de esta familia es la Falla Sierra de Varas, una falla de rumbo N10°E, la cual incluye varias trazas subparalelas, rectilíneas y subverticales, que ponen en contacto rocas paleozoicas al este de ella, con rocas mesozoicas al oeste. Según esta evidencia y a algunos indicadores cinemáticos encontrados en terreno, esta falla corresponde a una falla inversa con vergencia este.

Fallas NW-SE

Corresponde a una familia de fallas que en el área de estudio presentan rumbo N45°W y N30°W, que se encuentran alineadas, cortando unidades mesozoicas. Son verticales a subverticales con trazas de hasta 10 km de largo en superficie y en general presentan evidencias de movimiento inverso, donde el bloque norte está alzado.

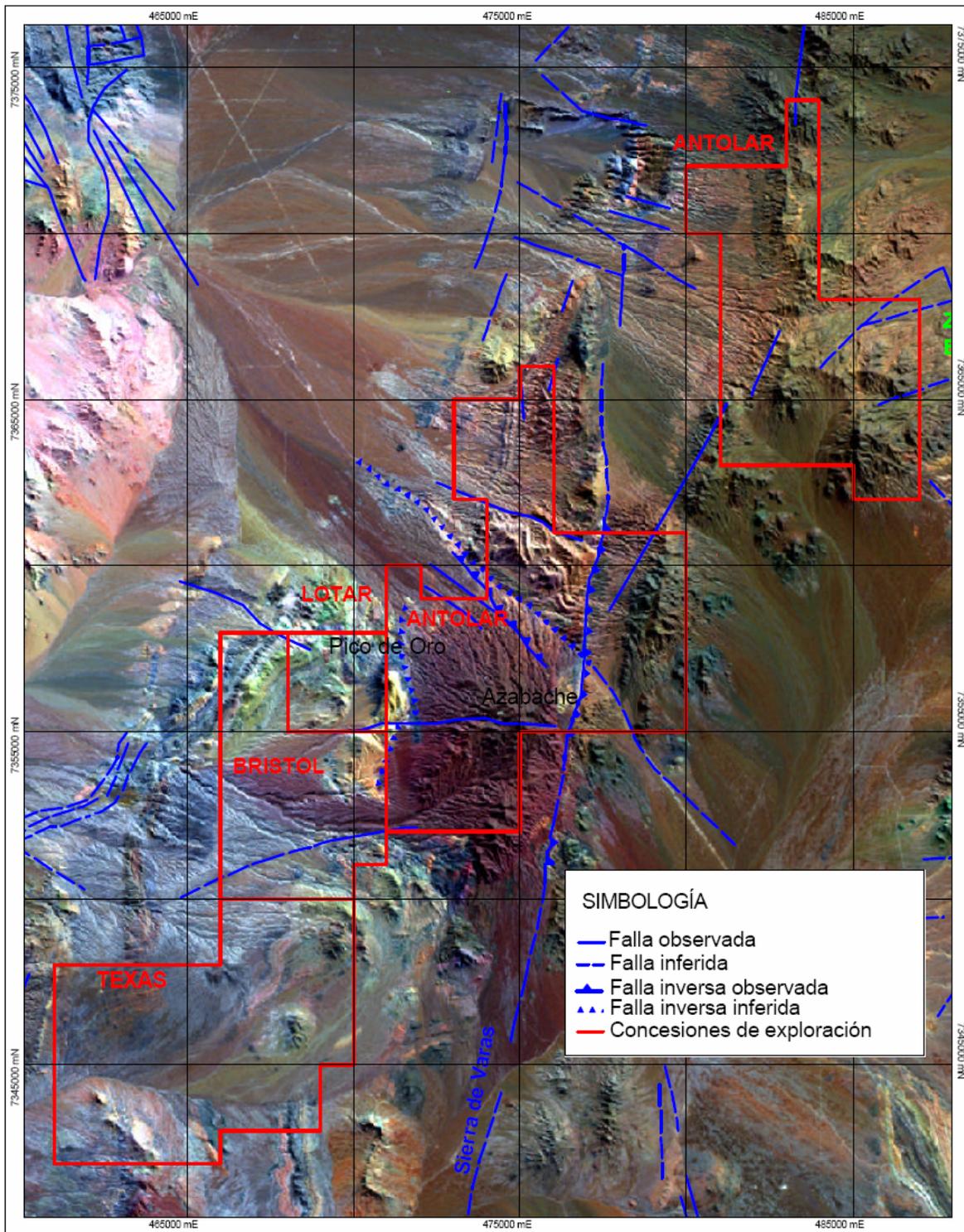


Fig. 7: Fallas y Lineamientos en la Zona de Estudio.

CAPÍTULO 4. MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

4.1.- Mineralización

En la zona de estudio se encuentran vetas con mineralización de cobre y vetas con mineralización de plomo y zinc. Ambos tipos de mineralización han sido objeto de explotación artesanal. Estas ocurrencias minerales se presentan alojadas tanto en rocas de composición andesítica como en rocas de composición dacítica y riolítica, con o sin alteración hidrotermal asociada (*Fig.8*).

Las ocurrencias minerales de la zona se pueden dividir en tres grandes grupos, diferenciándose ellos por su mineralogía de mena y por el tipo de depósito que presentan. A continuación se describen las ocurrencias minerales encontradas por el autor en los trabajos de terreno y aquellas que estaban descritas anteriormente por geólogos de la empresa Teck Cominco (Tabla 3).

El primer grupo corresponde a vetas de cuarzo, o calcita con mineralización de cobre, las que han sido objeto de explotación artesanal. Estas vetas presentan una rumbo preferencial NS, y están alojadas en andesitas pertenecientes al miembro Volcánico Central de la UVSP. Sus minerales de mena son principalmente minerales oxidados de cobre como brocantita, atacamita y crisocola. Inmediatamente al este del cerro Pico de Oro se encuentra la mayor cantidad de estas vetas, sin embargo es posible encontrarlas más al sur.

Una ocurrencia mineral importante de destacar es la Mina Libra, la cual presenta dos vetas con mineralización de cobre, que han sido explotados en forma artesanal. Por un lado la veta principal de la mina corresponde a una veta mineralizada de cobre con brocantita, crisocola y menos calcosina. Por otra parte, la veta secundaria corresponde a una veta de calcita con minerales oxidados de cobre, los que se alojan en tobas de lapilli brechosas (*Fig.9*).

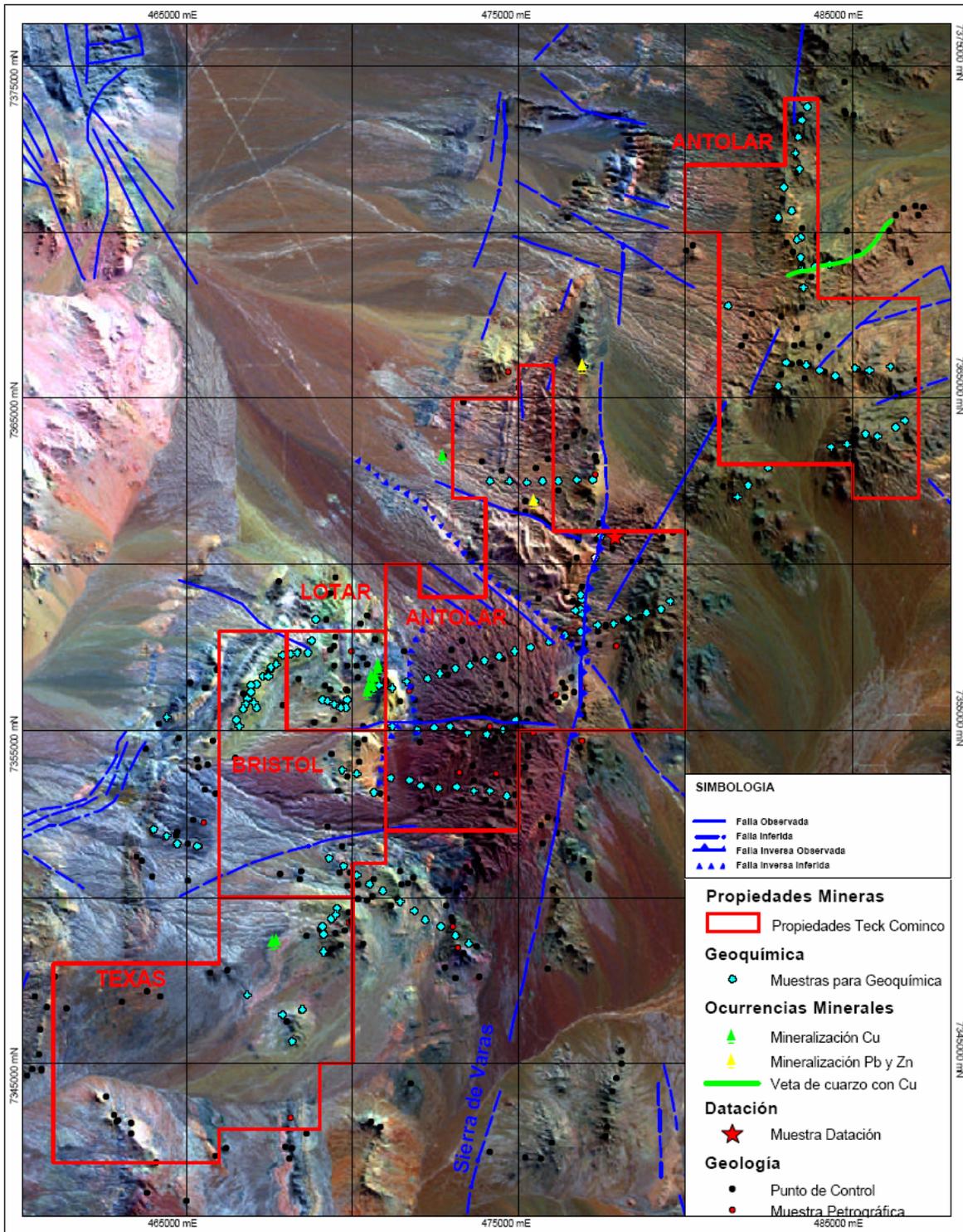


Fig. 8: Distribución y ubicación de las diferentes muestras tomadas por el autor para la elaboración del presente informe, y ocurrencias minerales.

El segundo grupo corresponde a vetas de rumbo N80°W y N10°E, subverticales con mineralización de plomo, zinc y cobre, las cuales se encuentran alojadas en rocas volcánicas ácidas del miembro Volcánico Superior de la UVSP y en rocas calcáreas de la UCP (Tabla 3). Estas estructuras presentan una asociación mineral correspondiente a galena, minerales oxidados de cobre, cerusita, baritina, anglesita, y posiblemente smithsonita y esfalerita. Estos minerales comúnmente se encuentran acompañados por abundantes arcillas y minerales oscuros terrosos que podrían corresponder a wad de cobre (por los altos contenidos de Cu en muestras, los que no reflejan la cantidad de minerales oxidados verdes de cobre).

Por último existe una ocurrencia mineral en la parte oriental de la zona de estudio, al este de la Falla Sierra de Varas, y alojada en rocas paleozoicas del CIG. Esta ocurrencia corresponde a una gran veta de cuarzo, subvertical, con una potencia de 2 m, y que se extiende a lo largo de 5 km con un rumbo EW, cruzando granitos y riolitas paleozoicas. Esta veta contiene minerales oxidados de cobre, principalmente crisocola y atacamita. La estructura fue analizada por geoquímica de elementos menores, al igual que la roca huésped, sin encontrar en esta última, zonas de interés exploratorio.



Fig. 9 : Mineralización de cobre alojado en tobas de Mina Libra.



Fig. 10: Veta de Cuarzo con minerales oxidados de cobre.

4.2.- Alteración Hidrotermal

En las rocas del Prospecto Texas se observa una gran variedad de asociaciones minerales de alteración, las cuales afectan a diferentes tipos litológicos. Estas asociaciones minerales de alteración definen los siguientes tipos de alteración: potásica, propilítica, cuarzo-sericita, argílica intermedia y argílica avanzada.

Las zonas de alteración hidrotermal en el prospecto Texas han sido definidas en base a observaciones de terreno, hechas tanto por el autor como por geólogos de la empresa Teck Cominco.

4.2.1.- Alteración Potásica

Corresponde a una asociación mineral compuesta por feldespato potásico, y menor cantidad de biotita, clorita y cuarzo, la cual se presenta exclusivamente en la parte oriental de la zona de estudio, afectando a lavas riolíticas del CIG y en mucho menor grado a granitos del CIG. Está caracterizada por la presencia de pequeñas vetillas polidireccionales de feldespato potásico y menos biotita secundaria sobre anfíboles y sobre biotita primaria. Por el hecho de presentar muy bajos contenidos metálicos y estar afectando a rocas paleozoicas, esta parte de la zona de estudio no es considerada como un blanco de exploración (*Fig.11*).

4.2.2.- Alteración Propilítica

En el área de estudio, la alteración propilítica se presenta afectando tanto a rocas volcánicas del UVSP (mesozoicas) como a rocas paleozoicas del CIG. Este tipo de alteración se presenta con diferentes asociaciones mineralógicas, las que son identificadas a continuación

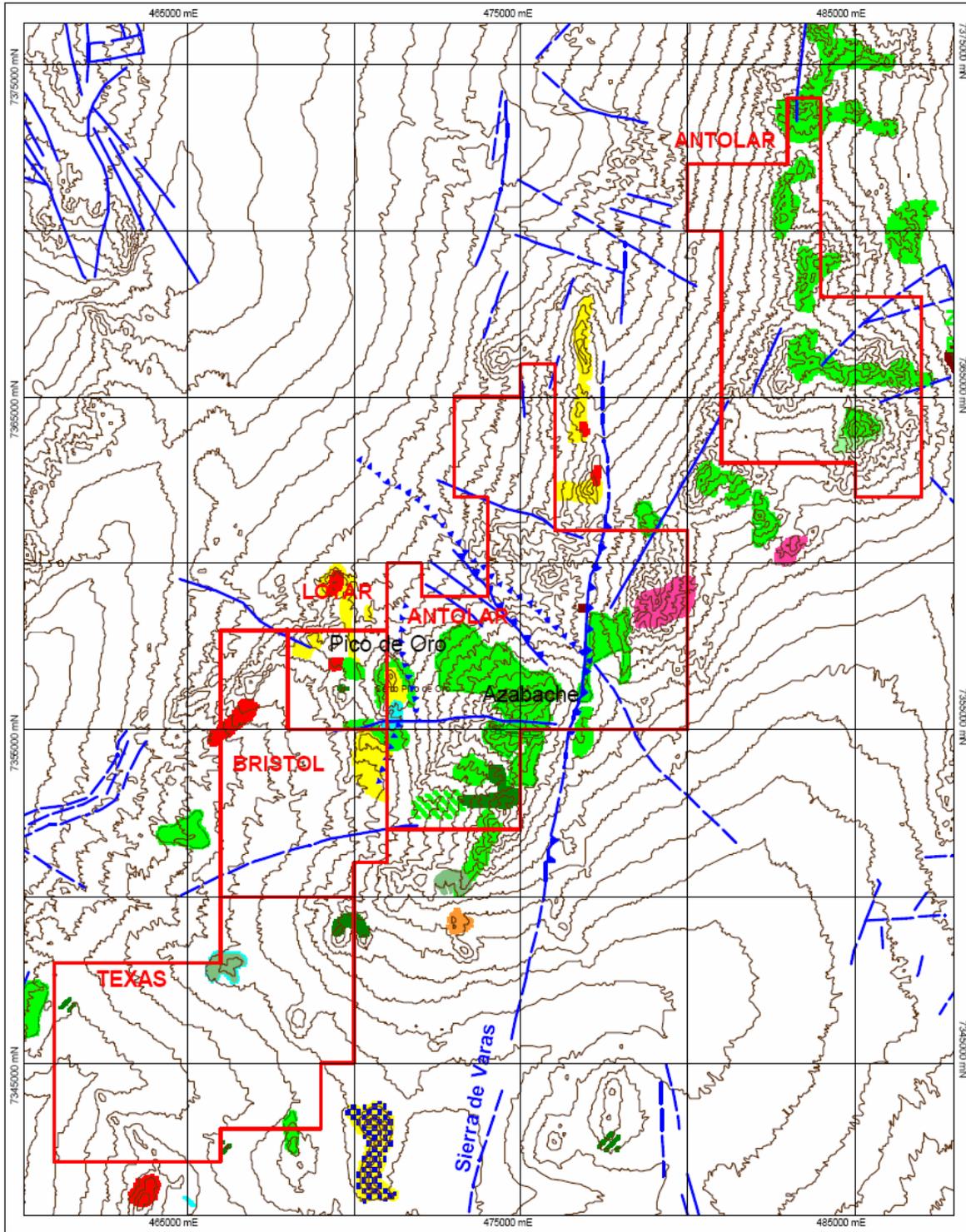


Fig. 11: Distribución tipos de alteración.

LEYENDA ALTERACIÓN



Clorita-Epidota



Clorita



Epidota



Smectita



Propilítica



Silicificación



Cuarzo - Caolinita



Sericita



Potásica



Alunita - Pirofilita

-Asociación Clorita-Epidota-Albita-Actinolita-Smectita: En la zona de estudio, la alteración propilítica caracterizada por la asociación mineral albita-clorita-epidota-calcita-magnetita, además de actinolita y smectita, afecta principalmente a rocas volcánicas andesíticas, tanto de la UVSP como de la UVM, y en menor medida a Granito Cuarzófero, en el cual la asociación es clorita-epidota-smectita. (*Fig.11*).

-Asociación Clorita-Epidota: la alteración propilítica caracterizada por la asociación clorita-epidota afecta a las unidades de andesitas UVSP y UVM y a los intrusitos del CIG. Se caracteriza por la asociación mineralógica antes mencionada, la cual afecta tanto a la masa fundamental como a los fenocristales de las andesitas. La asociación mineralógica se encuentra desde casi exclusivamente clorita, pasando por clorita mas epidota en microvetillas, hasta epidota dominante, con cristales gruesos (1mm).

- Asociación Clorita-Sericita: Esta asociación está muy restringida espacialmente en el área de estudio, afectando a lavas andesíticas de la UVSP que se encuentran al suroeste del Cerro Pico de Oro (*Fig11*). Se caracteriza por clorita alterando a máficos, principalmente biotita y sericita alterando a fenocristales de plagioclasa.

4.2.3.- Alteración Cuarzo-Sericita

Presenta una asociación mineralógica cuarzo-caolinita-sericita. Afecta principalmente a rocas del miembro volcánico superior de la UVSP. Se traslapa con alteración argílica, argílica avanzada y con silicificación. Sericita se encuentra como alteración de fenocristales de plagioclasa mientras que el cuarzo ocurre como agregados de calcedonia.

4.2.4.- Alteración Argílica Intermedia:

En la zona de estudio se caracteriza por la asociación Caolinita-Cuarzo, y se presenta afectando a rocas del miembro volcánico superior de la UVSP, muy ligada espacialmente a la alteración cuarzo-sericita. Esto puede deberse a una cierta sobreimposición de eventos tanto hipógenos como supérgenos. Este tipo de alteración es selectivo, afectando a plagioclasas, y en vetillas de caolinita. Las rocas con este tipo de alteración presentan un color blanco amarillento (*Fig.11*).

4.2.5.- Alteración Argílica Avanzada:

En la zona de estudio este tipo de alteración se encuentra representado por una gran cantidad de asociaciones mineralógicas, siendo las siguientes las más extendidas: cuarzo-alunita, y sílice oquerosa.

La asociación cuarzo-alunita se da principalmente en la zona sur de la propiedad Texas, al oeste de la Falla Sierra de Varas, afectando a rocas de la UVSP donde todos los rasgos texturales de la roca han sido borrados por la alteración. También se encuentra asociada pirofilita (lo que indica condiciones de alteración de alta temperatura, 300-400°) y arcillas que completan la asociación. Sin embargo este tipo de alteración se encuentra fuera de las propiedades de Teck Cominco (*Fig.11*).

La formación de sílice oquerosa afecta a rocas ácidas del miembro superior de la UVSP, en el Cerro Pico de Oro, y se encuentra muy restringida espacialmente y acompañadas por evidencias de piritita (boxwork), y por abundante alteración supérgena (hematita, jarosita, goethita).

Tabla 3:

Tabla resumen de las ocurrencias minerales en el Prospecto Texas

NOMBRE	HUESPED	TIPO	ACTITUD	UTME	UTMN	MENA	ROCA HUESPED	MINERALES DE MENA
MM169	UCP	Veta	N80W	475480	7361913	Ba, Pb, Cu	Lutitas calcárea	Baritina, Galena y minerales oxidados de Cu
MM179	UVSP	Veta	N10E	476930	7365949	Pb, Zn, Cu	Riolitas	Galena - min. ox. Cu, Cerusita, Anglesita, Smithsonita, Esfalerita
MM275	UVSP	Veta	EW	470590	7356640	Cu	Andesitas y brechas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
MM278	UVSP	Veta	N30W/50E	470800	7356880	Cu	Andesitas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
MPC279	UVSP	Veta	N30W/50E	470780	7356940	Cu	Andesitas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
MM59	UVSP	Falla	N10W/80W	470720	7356593	Cu	Andesitas	Brocantita, atacamita y vetillas de calcita asociada
Pique1	UVSP	Veta	N15W/80W	470515	7356335	Cu	Andesitas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
Pique2	UVSP	Veta	N15W/80W	470620	7356312	Cu	Andesitas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
Pique3	UVSP	Veta	N10W/80W	470465	7356164	Cu	Andesitas	Crisocola, Atacamita, Brocantita
Mina Libra	UVSP	Falla	NS/ vertical	467604	7348632	Cu	Riolitas a dacitas	Brocantita, crisocola, calcosina?
Showing				467727	7348674	Cu	Tobas brechizada	Atacamita, Crisocola?
MM318	CIG	Veta Qz	EW/80N	483515	7368920	Cu	Riolitas y Granito	Crisocola, Atacamita.
MM396	UCP	Veta		472733	7363260	Cu	Lutitas Calcárea	Atacamita, Crisocola

CAPÍTULO 5. GEOQUÍMICA DE EXPLORACIÓN

El presente capítulo entrega los resultados de análisis geoquímicos efectuados a 142 muestras de rocas que afloran en el Prospecto Texas y el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos. La distribución espacial de las muestras responde a la necesidad de cuantificar el contenido de cobre y otros elementos relacionados con los depósitos de cobre, en aquellas unidades que se encuentran dentro de los límites de las concesiones mineras de exploración de la empresa Teck Cominco.

En este capítulo, se describen los métodos utilizados para realizar un estudio geoquímico de exploración, tomando en cuenta tanto los análisis de roca como los controles realizados a los laboratorios, para asegurar la validez de los datos.

Fueron analizadas 142 muestras de roca por ICP-AES (*Induced Coupled Plasma Atomic Emisión Spectrometry*), para 34 elementos, con digestión por Agua Regia. Estas muestras fueron preparadas y analizadas por el laboratorio ALS Chemex. De las 142 muestras, 9 corresponden a controles (4 muestras estándar y 5 duplicados de terreno), que han sido analizadas independientemente para asegurar la calidad de los datos entregados por ALS Chemex (Anexo 3).

Han sido eliminados del posterior análisis estadístico de datos aquellos elementos que tienen más del 50 % de las muestras con valores por debajo de su límite de detección y para los cálculos estadísticos, han sido reemplazados los valores bajo el límite de detección por la mitad del límite de detección.

5.1.- Fundamentos y Objetivos del Muestreo

La zona de estudio presenta una gran cantidad de litologías y alteraciones diferentes. El muestreo apunta a determinar los contenidos geoquímicos de elementos de esas unidades, teniendo en cuenta la relación espacial y el tipo de alteración que ellas presentan. Por esta razón es que se decidió utilizar el método de líneas geoquímicas, las cuales están dispuestas de manera que corten a las unidades de interés. Además las restricciones de presupuesto hacían imposible generar una malla geoquímica de la zona, que fuera representativa y que tuviera el detalle necesario.

El muestreo fue llevado a cabo por el autor y por el asistente Sr. Mario Porzio, cuidando de generar muestras homogéneas y representativas del punto de interés. Para esto no se utilizaron elementos metálicos (salvo martillo geológico), y se trabajó con el mayor cuidado para no contaminar las muestras. Las muestras de rocas fueron tomadas en terreno, tratando de completar un peso aproximado de 4 kg, y posteriormente fueron reducidas en terreno al tamaño de chip y homogenizadas in situ, mediante cuarteo manual de cuatro puntas, dos veces, antes de ser enviadas a laboratorio, reduciendo el peso de la muestra a 1 kg aproximadamente.

Cada muestra fue seleccionada tomando 30 a 40 incrementos aleatorios, lo cual permite disminuir el Error Fundamental, haciendo relativamente equiprobable la selección de cada partícula. Las muestras duplicadas fueron generadas por el método de cuarteo manual de una muestra inicial, y han sido ocupadas para controlar todo el proceso de preparación y análisis de muestra. Las muestras estándar corresponden a roca molida bajo malla 150, las cuales habían sido confeccionadas con anterioridad por la empresa Teck Cominco, estas muestras han sido ocupadas para controlar los procesos de análisis de elementos.

5.2.-Métodos de Análisis

La preparación mecánica y el análisis de las muestras son parte del protocolo de ALS Chemex (Anexo 2). El análisis de las muestras corresponde a ICP-AES por 34 elementos y con digestión por Agua Regia. Este tipo de ataque ácido no es capaz de disolver completamente la roca, razón por la cual se advierte de ciertos elementos para los cuales la digestión no es completa. Estos elementos han sido eliminados del posterior análisis estadístico.

5.3.-Control de Calidad de los Análisis

Para asegurar tanto la precisión como la exactitud de los análisis, se han insertado un total de 9 controles (cifra por debajo de lo normalmente utilizado, que corresponde al 10% de todas las muestras). De éstas, 4 corresponden a muestras estándar y 5 corresponden a duplicados de terreno.

5.3.1.-Estándar (STD)

El estándar es un material ya pulverizado (-150 #) y que tiene un valor certificado. Corresponde a un material homogéneo y una matriz similar al material que está siendo analizado. El análisis de los ensayos de los estándares permite detectar tendencias en el laboratorio y evaluar la exactitud de los resultados. Se han ocupado en este estudio muestras estándar correspondientes al grupo AAC-2 preparados por Teck Cominco y envasados en potes de 100 grs. cada uno. Estas muestras han sido analizadas inicialmente, pero fue necesario enviarlas nuevamente a analizar a 4 laboratorios para determinar los valores certificados, debido a que no coincidían las técnicas analíticas.

Las muestras fueron enviadas a los laboratorios ALS Chemex, Teck Cominco Vancouver, Acme y Geolaquim. Los valores obtenidos por Geolaquim fueron desechados

por encontrarse fuera de los parámetros de aceptación. Los valores referenciales para los diferentes elementos han sido calculados usando el promedio de los datos aportados por los tres laboratorios. A continuación se presentan las estadísticas básicas para las muestras estándar (Tabla 4).

Tabla 4: Resumen de resultados analíticos de las muestras estándar.

Elemento	N	Valor Referencial	Promedio	Mediana	σ	Prom+2 σ	Prom-2 σ	% (+2 σ)
As	4	7.67	6	6	0.816	7.632993	4.367007	100
Co	4	13.92	11.75	12	2.629	17.00991	6.490089	100
Cu	4	9522.67	9230	9230	25.819	9281.64	9178.36	100
Fe	4	3.59	3.3275	3.33	0.029	3.387222	3.267778	100
Mg	4	0.28	0.2675	0.27	0.005	0.2775	0.2575	100
Mn	4	969.25	912.75	913.5	10.812	934.3756	891.1244	100
Mo	4	20.25	19.75	20	0.500	20.75	18.75	100
Ni	4	17.50	16.5	16.5	0.577	17.6547	15.3453	100
P	4	1276.89	1827.5	1825	9.574	1846.649	1808.351	100
Pb	4	59.67	54	50	8.000	70	38	100
V	4	107.42	107.25	107	3.774	114.7998	99.70017	100
Zn	4	389.83	362.5	361	11.474	385.4492	339.5508	100

El criterio de aceptación corresponde a que más del 90% de las muestras arrojen valores entre ± 2 desviaciones estándar en torno al promedio. Una medida más robusta que la media para determinar los valores referenciales corresponde a la mediana, pero por no contar con suficientes datos se ha decidido usar la media.

5.3.3.- Duplicados (DUP)

En el presente estudio se han ocupado 5 muestras duplicadas, las cuales han sido analizadas por ALS Chemex. El duplicado corresponde a una muestra que es dividida en dos partes representativas, las cuales son cuarteadas en terreno luego de ser homogenizadas.

El análisis en los ensayos de duplicado es para determinar la reproducibilidad de los resultados, es decir, estimar la desviación que tiene el laboratorio al analizar muestras

iguales. Además se ocupan como herramienta para de monitorear las rutinas de muestreo, como un esfuerzo por controlar posibles errores en las etapas de muestreo, reducción de muestras y análisis. Para lograr esto es necesario efectuar un análisis estadístico simple para originales y duplicados, y determinar la precisión y exactitud del proceso analítico. Es conveniente aplicar la metodología propuesta sólo para poblaciones que cuentan con más de 30 de datos. Mediante el uso de la planilla electrónica se pueden calcular los estadígrafos que permiten estimar la magnitud del error y construir gráficos simples para detectar posibles sesgos.

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos para las regresiones lineales de los pares de datos original-duplicado, los cuales son satisfactorios, y nos indican una alta reproducibilidad de datos, ya que los coeficientes de R^2 están por sobre los valores aceptables de R^2 crítico = 0.9.

Tabla 5: Coeficientes R^2 para los pares original-duplicado

Elemento	R^2	Elemento	R^2
As	0.9813	Mo	0.9601
Co	0.9933	Ni	0.9992
Cu	0.9947	P	0.9973
Fe	0.9987	Pb	0.9999
Mg	0.9939	V	0.9986
Mn	0.9972	Zn	0.9961

5.3.4.- Precisión y Exactitud Analítica

Precisión es la habilidad de reproducir consistentemente una medida. Para evaluar la precisión se utiliza las “medidas de varianzas”. Exactitud es la proximidad de una medida al “valor verdadero”, el cual es siempre desconocido. Para evaluar la exactitud su utiliza las “medidas de tendencia central.

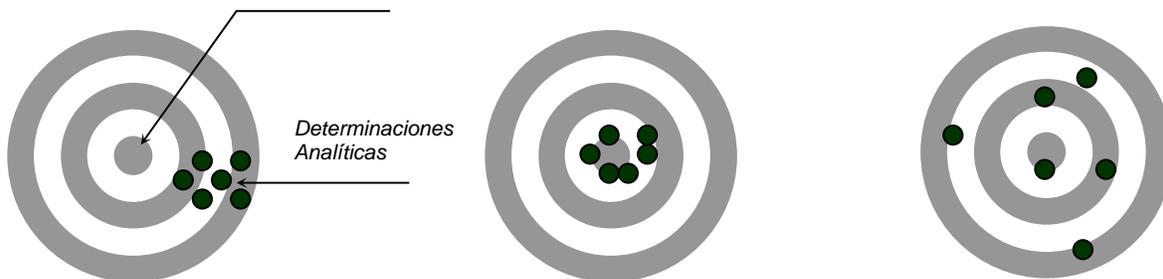


Fig. 12 **Buena Precisión**
Mala Precisión

Mala Exactitud

Buena Precisión

Buena Exactitud

Mala Exactitud

Para evaluar la Precisión analítica, se han utilizado los siguientes estadígrafos:

- Coeficiente de Variación para DUP:

$$CV = 100 \cdot (x_1 - x_2) / (x_1 + x_2)$$

- **AMPD** (Absolute Mean Percentage Diference) para los DUP:

$$AMPD = 1/n \sum [100 \cdot (|x_1 - x_2|) / (x_1 + x_2)]$$

- **AMPD** (Absolute Mean Percentage Diference) para STD:

$$AMPD = 1/n \sum [100 \cdot (|x_1 - m|) / m], \text{ donde } m \text{ corresponde a la media, debido a que existen muy pocos datos como para ocupar la mediana.}$$

- Coeficiente de determinación R^2 y constante de correlación a para las curvas de DUP.

Como se aprecia en la Tabla 6, los resultados son medianamente satisfactorios para el análisis de estándares y duplicados, lo cual indica que los procesos de analíticos desarrollados por el laboratorio se encuentran bajo control, entregando resultados confiables, dentro del rango de confianza requerido.

Los valores de R^2 tendiendo a 1 y los valores de la constante a tendiendo a cero, nos indican una buena reproducibilidad. Mientras que las desviaciones estándares bajas junto a los coeficientes de variación bajos nos indican que los análisis realizados tienen una alta precisión (salvo en el caso de Mn, P, y Zn). El valor anómalo que se aprecia en la desviación estándar en los valores de Cu para STD, se debe a que los STD analizados contienen mucho Cu (1%), y como las medidas son en ppm, las variaciones pequeñas producen un gran ruido estadístico.

Los resultados de AMPD debieran estar en un 90% bajo el valor 10, sin embargo debido a la escasez de medidas, esto no es del todo aplicable. El criterio que si se puede utilizar es que los valores de AMPD para estándares son menores o cercanos a 10 salvo para Co.

Tabla 6: Muestra los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar la precisión.

Criterio de Calidad
Precisión

Parámetros Estadísticos Medición	Tipo de Control Interno	n	As	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	V	Zn
Coefficiente de variación	DUP	5	14,92	14,57	11,16	1,89	4,23	2,41	9,43	15,54	3,93	18,40	4,05	9,29
AMPD	DUP	5	10,55	10,30	7,89	1,34	2,99	1,71	6,67	10,99	2,78	13,01	2,86	6,57
% Población AMPD <10%	DUP	5	40,00	60,00	40,00	100,00	100,00	100,00	80,00	60,00	100,00	20,00	100,00	80,00
DesvEs Prom	DUP	5	1,131	1,131	1,838	0,041	0,042	11,31	0,071	1,98	22,63	79,76	3,111	13,15
Coef. Determinación "R2"	DUP	5	0,981	0,993	0,995	0,999	0,9939	0,9972	0,9601	0,9992	0,9973	0,9999	0,9986	0,9961
Const. Corr "a"	DUP	5	1,38	-0,66	3,27	-0,05	-0,04	-23,92	-0,11	0,48	-41,34	-4,24	-2,12	-16,88

Desviación Estandard	STD	4	0,816	2,630	25,820	0,030	0,005	10,813	0,500	0,577	9,574	8,000	3,775	11,475
% Población AMPD <10%	STD	4	50,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0	100,0	100,0
AMPD	STD	4	8,33	19,15	0,22	0,68	1,40	0,96	1,90	3,03	0,41	11,11	3,03	2,62

Para evaluar la Exactitud analítica se han utilizado los estadígrafos de sesgo relativo, sesgo relativo absoluto y MPD (Mean Percentage Difference):

- Sesgo Relativo: $S = 100*(m-m_i)/m_i$, donde m es la media y m_i la mediana.
- Sesgo Relativo Absoluto: es el valor absoluto de la medida anterior.
- MPD para STD: $MPD = 1/n \sum [100*(x_1 - m) / m]$, donde m corresponde a la media.
- MPD para DUP: $MPD = 1/n \sum [100*(x_1-x_2)/(x_1+x_2)]$.

Como se puede apreciar en la Tabla 7, los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar exactitud, son satisfactorios, indicando que los procesos de preparación y análisis de las muestras están entregando valores cercanos a los esperados.

Los valores de MPD son cero para los STD y denotan buena exactitud de los resultados analíticos. Por las diferencias que hay entre STD y DUP podemos indicar que los procesos están en control tanto en la parte de cuarteo, preparación mecánica, preparación analítica y análisis propiamente, y podemos señalar que la pérdida de exactitud de DUP se pueden explicar por parte del proceso que no es evaluada por STD (homogenización y cuarteo de la muestra en terreno).

Los indicadores de Sesgo Relativo y Sesgo Relativo Absoluto no entregan mucha información, debido a que los análisis realizados son pocos. Sin embargo se puede señalar que como estos están en forma aleatoria en torno a cero (positivos y negativos), nos indican que no existe sesgo importante para las muestras STD ni para las muestras DUP.

Tabla 7: Muestra los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar la exactitud.

Criterio de Calidad
Exactitud

Parámetros Estadísticos Medición	Tipo de Control Interno	n	As	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	V	Zn
Sesgo Relativo	STD	4	0,00	-2,08	0,00	-0,08	-0,93	-0,08	-1,25	0,00	0,14	8,00	0,23	0,42
Sesgo Relativo Absoluto	STD	4	0,00	2,08	0,00	0,08	0,93	0,08	1,25	0,00	0,14	8,00	0,23	0,42
MPD	STD	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MPD	DUP	5	10,55	2,30	7,397	-0,86	0,637	-0,445	-6,667	10,99	-1,891	7,299	0,196	5,465

Sesgo relativo

Prospecto Texas	As	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	V	Zn
AAC-2	0,00	-2,08	0,00	-0,08	-0,93	-0,08	-1,25	0,00	0,14	8,00	0,23	0,42

Sesgo relativo absoluto

Prospecto Texas	As	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	V	Zn
AAC-2	0,00	2,08	0,00	0,08	0,93	0,08	1,25	0,00	0,14	8,00	0,23	0,42

5.4.- Análisis de Resultados

La zona de estudio se caracteriza por presentar una mineralización preferentemente de cobre, plomo y zinc. Como el presente estudio está orientado a la búsqueda de depósitos de cobre, los elementos que han sido tomados en cuenta para el análisis estadístico de datos son aquellos que presentan una importancia como elementos indicadores de este tipo de depósito. Estos elementos corresponden a Arsénico, Cobre, Molibdeno, Plomo y Zinc (Jones, 1992).

Para tener una visión más acertada de los resultados geoquímicos, éstos se han separado en diferentes grupos de muestras (Anexo Análisis Geoquímicos). Los grupos de muestras son los siguientes: *andesita*, *riolita*, *granito*, *calizas*, *sedimentaria*, *estructura* y *dacita*. El grupo *dacita* corresponde a lavas y tobas ácidas del Miembro Volcánico Superior de la UVSP. El grupo *estructura* corresponde a las muestras tomadas en vetas mineralizadas, y sólo se ocupan como un referente del tipo de mineralización que poseen dichas vetas. El grupo *sedimentaria* se refiere a brechas, areniscas y conglomerados del Miembro Volcanoclástico de la UVSP. El grupo *andesita* incluye a todas las lavas andesíticas, de todas las unidades. Los grupos *riolita* y *granito* se refieren al Complejo Igneo Granítico. El grupo *calizas* corresponde a rocas calcáreas de la UCP.

5.4.1.- Estadística Univariable

Cuando se trabaja con datos geoquímicos, es mejor ajustarlos a un patrón de distribución, y lejos el patrón más aplicable en prospección geoquímica de elementos traza es la distribución lognormal (Ahrens, 1957). Decir que los valores tienen una distribución lognormal equivale a decir que el logaritmo de los datos sigue una distribución normal (Lepeltier, 1969). Es por esto que los datos presentados tanto en la estadística univariable como en la estadística multivariable han sido procesados en base logarítmica y luego los resultados calculados como el antilogaritmo de esos datos.

Los resultados del análisis estadístico básico son presentados en la Tabla 8, donde se indican los valores para el promedio, desviación estándar, error estándar, el background de la zona y los valores globales esperados para ese tipo de litología.

Estos indicadores son ocupados como guía, sin embargo no se pueden utilizar por sí solos, debido a que hay que considerar factores estructurales y evidencias de terreno para poder elaborar una guía de exploración de la zona.

Tabla 8: Estadística Básica para cada una de las litologías.

ANDESITA	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	5.09	15.89	61.66	4.24	1.47	831.72	0.64	13.45	1551.95	9.53	143.20	56.68
Desviación Standard	2.237	1.620	2.580	1.334	1.354	1.282	1.623	2.741	1.417	2.584	1.841	1.471
Error Standard	0.389	0.282	0.449	0.232	0.236	0.223	0.283	0.477	0.247	0.450	0.320	0.256
Background Zona	5.87	16.45	62.56	4.71	1.94	832.16	1.20	14.40	1552.44	10.43	143.84	57.19
Valores Globales	1,5-2	1-7	30-72	1,4-3	0,2-0,9	390-540	1-1,5	4,5-15	600-920	4-15	44-88	60-94

CALIZAS	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	3.99	2.84	10.15	1.08	0.38	653.04	3.55	9.90	521.21	5.68	19.61	26.92
Desviación Standard	2.074	3.021	2.842	2.710	2.370	2.111	1.900	3.048	2.219	3.244	2.773	2.730
Error Standard	0.554	0.807	0.760	0.724	0.633	0.564	0.508	0.815	0.593	0.867	0.741	0.730
Background Zona	5.10	4.46	11.67	2.53	1.65	654.17	4.56	11.53	522.40	7.41	21.10	28.38
Valores Globales	2,5-15	7-19	42-50	4,7-9	0,4-1,5	850-1000	1-3	30-68	350-700	10-25	130-770	20-100

DACITA	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	8.75	1.58	9.01	1.01	0.17	300.37	1.55	3.46	211.15	11.08	12.01	15.79
Desviación Standard	2.503	1.915	2.077	1.394	2.220	1.801	1.785	2.217	1.994	3.996	2.380	2.293
Error Standard	0.401	0.307	0.333	0.223	0.355	0.288	0.286	0.355	0.319	0.640	0.381	0.367
Background Zona	9.55	2.19	9.68	1.46	0.88	300.95	2.12	4.17	211.79	12.36	12.77	16.53
Valores Globales	1,5-2	1-7	30-72	1,4-3	0,2-0,9	390-540	1-1,5	4,5-15	600-920	4-15	44-88	60-94

GRANITO	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	4.59	4.10	10.70	1.76	0.40	357.36	0.82	2.85	427.69	14.04	39.46	35.72
Desviación Standard	1.285	1.511	1.725	1.230	1.481	1.232	1.402	1.589	1.314	1.216	1.462	1.282
Error Standard	0.486	0.571	0.652	0.465	0.560	0.466	0.530	0.600	0.497	0.459	0.552	0.485
Background Zona	5.57	5.24	12.01	2.69	1.52	358.30	1.88	4.05	428.69	14.96	40.56	36.69
Valores Globales	1,5-2	1-7	30-72	1,4-3	0,2-0,9	390-540	1-1,5	4,5-15	600-920	4-15	44-88	60-94

RIOLITA	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	5.12	2.44	8.05	1.33	0.23	363.01	0.98	1.93	312.27	13.79	17.10	31.99
Desviación Standard	1.917	1.571	2.461	1.474	2.655	1.539	1.892	1.697	1.632	1.877	2.263	1.859
Error Standard	0.339	0.278	0.435	0.261	0.469	0.272	0.334	0.300	0.288	0.332	0.400	0.329
Background Zona	5.80	3.00	8.92	1.85	1.17	363.55	1.65	2.53	312.85	14.45	17.90	32.65
Valores Globales	1,5-2	1-7	30-72	1,4-3	0,2-0,9	390-540	1-1,5	4,5-15	600-920	4-15	44-88	60-94

SEDIMENTARIA	As ppm	Co ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Promedio	7.62	4.97	14.38	2.02	0.42	811.17	1.15	18.61	757.96	41.52	55.58	48.98
Desviación Standard	1.815	3.741	1.848	2.202	3.993	2.867	2.137	4.503	6.050	7.260	1.969	3.198
Error Standard	0.811	0.661	0.327	0.389	0.706	0.507	0.378	0.796	1.070	1.283	0.348	0.565
Background Zona	9.25	6.29	15.04	2.80	1.83	812.19	1.90	20.20	760.09	44.09	56.28	50.11
Valores Globales	1	0,3		0,9	0,7		0,2	2	170	7	20	16

¹ **Error Standard:** Se calcula como σ/\sqrt{n} .

² **Background Zona:** Se obtiene como el Promedio + 2 Error Standard. Corresponde al Limite Superior Regional (Townley et al., 1999)

³ **Valores Globales:** Corresponden a los contenidos medios de elementos, en diferentes rocas, recopilados por diversos autores. Se obtiene de Townley et al., 1999 y de Turekian y Wedepohl, 1961.

5.4.2.- Análisis estadístico de Poblaciones

Con el objetivo de determinar la distribución de población estadística de los datos en la zona del Prospecto Texas, se ha desarrollado un análisis de población, utilizando como herramienta el programa PROBPLOT (Pplot: Versión 1.07 E-7, Stanley, 1987). Este programa permite identificar, linealizar y extrapolar poblaciones en una base de datos geoquímica.

Los modelos de población se obtienen de las curvas de frecuencia acumulada en base Lognormal para cada elemento y cada litología. Con este método se identifican rectas de población y sus respectivos umbrales superior e inferior, con un nivel de certeza del 95%.

El Umbral Exploratorio Recomendado fue determinado para cada caso como el límite superior de la población cuyo promedio o el valor del umbral superior caen dentro del rango de los valores globales. Se ha trabajado de esta manera debido a la falta de datos para rocas no alteradas, las cuales idealmente debieran ser ocupadas para determinar el mayor valor entre los valores globales y los regionales.

Las poblaciones que se encuentran por sobre los valores globales han sido consideradas anómalas para efectos de exploración, sin embargo, es necesario recordar que este análisis es solamente estadístico, y por lo tanto es necesario complementarlo con las evidencias geológicas.

Los resultados de este análisis están resumidos en la tabla 9. Para las litologías de rocas sedimentarias, calizas y granitos no ha sido posible la aplicación de este método, debido a la falta de datos (el programa requiere al menos 15 análisis), por lo que se ha tomado el Umbral Exploratorio Recomendado como el máximo entre los valores globales y background zona (Tabla 8). Aunque este valor puede estar sobreestimado, de todas formas constituye un valor para ser considerado.

Tabla 9: Estadística de poblaciones geoquímicas y Umbrales de Exploración Recomendados.

Andesitas

Elemento	N	Poblaciones	Background Zona	Valores Globales	Promedio Poblaciones	Umbral Inferior	Umbral Superior	% Población	Umbral Exploración
*As	33	4	5,87	2	2,00 3,63 11,12 27,93	1,95 1,41 3,85 22,22	2,05 9,36 32,11 32,61	21 47 30 2	32
Cu	33	4	62,56	72	5,48 35,50 105,13 151,25	1,00 9,03 87,54 85,79	30,06 139,53 126,29 266,67	7 43 35 15	126
Mo	33	3	1,2	1,5	0,50 0,61 2,29	0,49 0,27 1,43	0,51 1,36 3,66	72 23 5	1,5
Pb	33	5	10,43	15	3,88 5,59 9,53 30,70 93,47	1,79 4,65 3,24 17,03 21,95	8,43 6,73 28,09 55,21 398,01	15 15 55 13 2	28
Zn	33	4	57,19	94	18,17 42,01 58,67 96,91	4,40 26,82 43,22 48,80	75,07 65,82 79,64 192,45	5 7 83 5	94

Dacitas

Elemento	N	Poblaciones	Background Zona	Valores Globales	Promedio Poblaciones	Umbral Inferior	Umbral Superior	% Población	Umbral Exploración
As	39	5	9,55	2	2,00 2,78 8,59 15,83 119,36	1,95 1,24 4,99 7,97 3,42	2,05 6,23 14,79 31,45 4162,70	10 10 62 15 3	31
Cu	39	3	9,68	72	5,15 11,07 28,00	2,24 8,00 5,70	11,80 15,30 137,40	45 42 13	137
Mo	39	5	2,2	1,5	0,96 1,37 2,00 2,21 7,48	0,70 0,70 1,95 1,45 1,30	1,30 2,80 2,00 3,40 44,00	5 45 35 12 3	44
Pb	39	3	12,36	15	4,42 7,86 33,76	2,10 5,30 0,90	9,10 11,60 1241,40	32 45 23	15
Zn	39	4	16,53	94	3,18 8,36 22,50 102,97	1,40 3,40 13,00 6,10	7,10 20,70 39,00 1726,40	5 35 57 3	94

Tabla 9: Continuación

Riolitas

Elemento	N	Poblaciones	Background Zona		Promedio Poblaciones	Umbral Inferior	Umbral Superior	% Población	Umbral Exploración
As	32	3	5,8	2	2,58 5,65 50,00	1,70 1,70 3,40	3,90 18,90 739,40	15 84 1	19
Cu	32	3	8,92	72	5,78 9,46 75,00	3,50 6,40 2,60	9,70 14,00 2180,10	70 25 5	72
Mo	32	3	1,65	1,5	0,82 1,10 3,31	0,40 0,70 0,40	1,60 1,80 24,80	70 22 8	25
Pb	32	3	14,45	15	5,35 15,74 51,24	2,50 7,70 17,40	11,50 32,10 150,50	20 76 4	32
Zn	32	3	16,53	94	4,58 12,96 39,02	1,40 5,10 24,50	15,20 33,20 62,10	5 10 85	94

Calizas

Elemento	Promedio	Valores Globales	Background Zona	Umbral Exploración
As	5,21	2,5-15	13,74	15,00
Cu	26,29	42-50	157,03	157,00
Mo	4,29	1-3	10,07	10,00
Pb	10,14	10-25	33,71	34,00
Zn	48	20-100	178,3	178,00

Granito

Elemento	Promedio	Valores Globales	Background Zona	Umbral Exploración
As	4,71	1,5-2	6,94	7,00
Cu	12,43	30-72	29,74	72,00
Mo	0,86	1-1,5	1,35	1,50
Pb	14,29	4-15	20,36	20,00
Zn	36,71	60-94	55,99	94,00

Sedimentaria

Elemento	Promedio	Valores Globales	Background Zona	Umbral Exploración
As	8,6	1	16,67	17,00
Cu	16,2		30,3	30,00
Mo	1,5	0,2	4,33	5,00
Pb	223,6	7	1098,93	224,00
Zn	75	16	200,77	75,00

5.4.3.- Estadística Multivariable

En esta sección se analizan las correlaciones entre los diferentes elementos guía. Los datos son transformados a logaritmo y luego es calculada la Matriz de Correlación de Pearson, para cada unidad litológica. Los resultados son expuestos en la Tabla 10.

Los valores que están por sobre 0,5 son considerados buenos, mientras que los valores que se encuentran sobre 0,8 son considerados excelentes (Townley, 1999).

Tabla 10: Matriz de Correlación

andesita

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	-0,47	0,27	0,65	0,46
Cu(ppm)	-0,47	1,00	-0,48	-0,31	-0,08
Mo(ppm)	0,27	-0,48	1,00	0,17	-0,17
Pb(ppm)	0,65	-0,31	0,17	1,00	0,19
Zn(ppm)	0,46	-0,08	-0,17	0,19	1,00

dacita

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	-0,05	0,93	-0,01	-0,07
Cu(ppm)	-0,05	1,00	0,01	0,04	0,03
Mo(ppm)	0,93	0,01	1,00	0,09	0,05
Pb(ppm)	-0,01	0,04	0,09	1,00	0,94
Zn(ppm)	-0,07	0,03	0,05	0,94	1,00

riolita

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	0,26	0,90	0,90	-0,11
Cu(ppm)	0,26	1,00	-0,01	0,24	-0,46
Mo(ppm)	0,90	-0,01	1,00	0,80	-0,10
Pb(ppm)	0,90	0,24	0,80	1,00	0,11
Zn(ppm)	-0,11	-0,46	-0,10	0,11	1,00

Tabla 10: Continuación

calizas

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	-0,26	0,31	0,10	0,29
Cu(ppm)	-0,26	1,00	-0,20	-0,20	-0,13
Mo(ppm)	0,31	-0,20	1,00	-0,14	0,72
Pb(ppm)	0,10	-0,20	-0,14	1,00	0,39
Zn(ppm)	0,29	-0,13	0,72	0,39	1,00

sedimentaria

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	-0,41	0,22	-0,35	-0,21
Cu(ppm)	-0,41	1,00	-0,11	0,62	0,61
Mo(ppm)	0,22	-0,11	1,00	-0,14	0,58
Pb(ppm)	-0,35	0,62	-0,14	1,00	0,68
Zn(ppm)	-0,21	0,61	0,58	0,68	1,00

granito

	As(ppm)	Cu(ppm)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)
As(ppm)	1,00	0,08	-0,18	-0,07	0,12
Cu(ppm)	0,08	1,00	0,07	0,34	0,55
Mo(ppm)	-0,18	0,07	1,00	0,40	0,19
Pb(ppm)	-0,07	0,34	0,40	1,00	0,02
Zn(ppm)	0,12	0,55	0,19	0,02	1,00

Estos datos solamente nos entregan una guía de cómo se distribuyen estadísticamente los elementos, las altas correlaciones pueden ser atribuidas a asociaciones mineralógicas, sin embargo, esta herramienta por si sola no nos indicativa de dichas asociaciones.

De la tabla anterior se observa lo siguiente: As-Mo: existe alta correlación en las unidades litológicas Dacita y Riolita. Pb-Zn: existe una excelente correlación en la unidad litológica Dacita. Esto es esperable y observable en terreno, ya que en esta unidad se aloja la mineralización de plomo y zinc, además de constituir zonas periféricas al núcleo hipotético de mineralización de cobre. As-Pb: existe una excelente correlación en la unidad litológica Riolita. Mo-Pb: existe una excelente correlación en la unidad litológica Riolita.

5.4.4.-Distribución Geoquímica

Un método complementario al análisis estadístico multivariable para determinar zonas potenciales para la exploración es revisar gráficamente los valores de los análisis y cómo éstos se distribuyen en la zona de estudio, identificando zonas por sobre los valores umbrales recomendados.

Para esto se ocupó la librería estadística Gslib, la cual proporciona una herramienta de análisis gráfico, mediante el cual se puede observar la distribución espacial de los datos y se pueden evaluar similitudes o diferencias respecto de zonaciones geoquímicas esperables en un sistema del tipo Pórfido Cuprífero.

Aparte de tener en cuenta la mineralogía de alteración es necesario hacer consideraciones a cerca del comportamiento geoquímico de los elementos indicadores de pórfidos como Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, entre otros (Jones, 1992). Los elementos como el Cu y el Mo se comportan, en una mineralización hipógena, como elementos con una movilidad restringida a las cercanías del pórfido mineralizador, mientras que elementos como el Pb y el Zn, presentan mayor movilidad y por lo tanto, mayores contenidos en las zonas más periféricas. En el caso de la plata, se han registrado altos contenidos tanto en la zona Cu-Mo como en la zona Pb-Zn (ej. Kalamazoo-Chaffee, 1976).

De esto se desprende la utilidad de usar razones Pb/Mo, Pb+Zn/Cu, y Pb/Cu en la exploración geoquímica, ya que estas se debieran comportar en forma creciente hacia los bordes de un sistema tipo Pórfido Cuprífero (Jones, 1992).

Sin embargo hay que considerar otros procesos como es el caso de la lixiviación supérgena, la cual provoca un empobrecimiento en Cu, Mn y Zn y un enriquecimiento en Pb, Mo, Ag y Fe en la zona de la cubierta lixiviada en un depósito tipo Pórfido Cuprífero (Heberlein et al, 1983).

Para determinar las zonas de interés exploratorio se han ocupado tanto valores de elementos solos, como razones $Pb+Zn/Cu$, Pb/Mo . Los resultados se presentan a continuación.

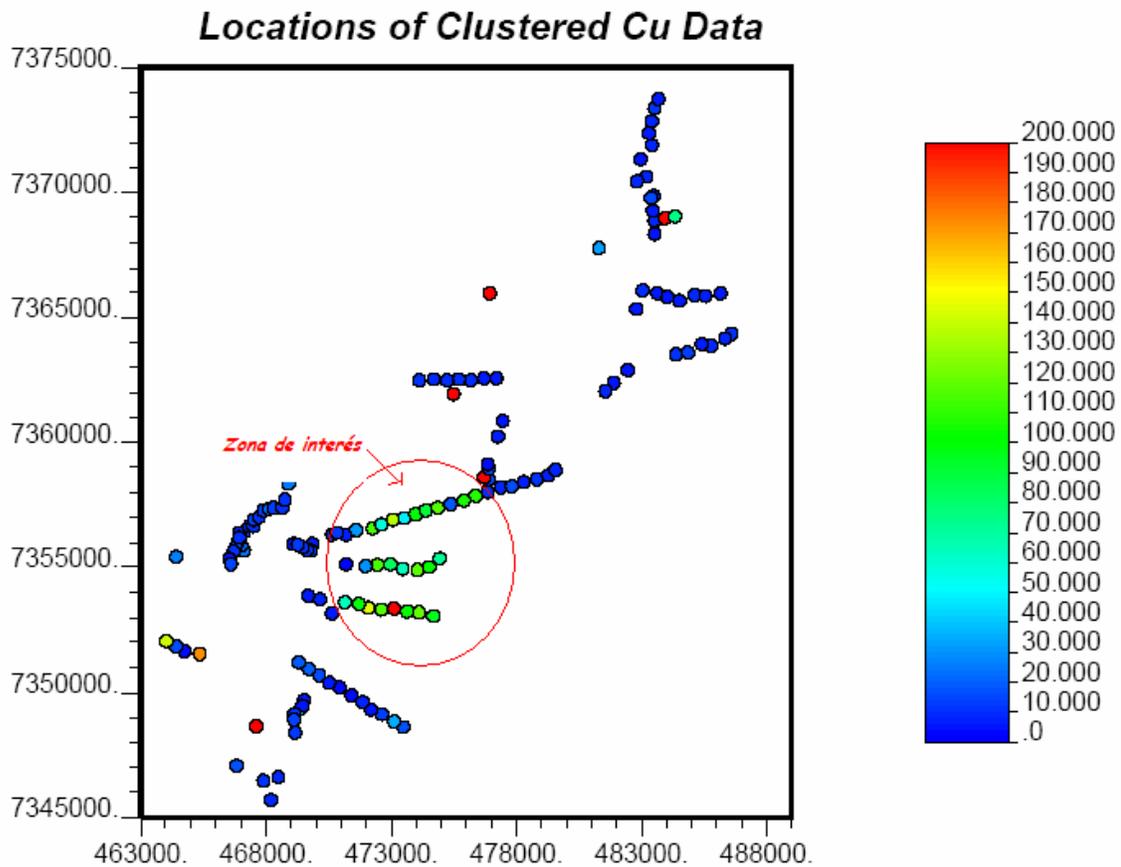


Fig. 13: Zonas con alto contenido de cobre

En la Fig. 13 se aprecia una zona importante en contenidos de cobre, la cual coincide con la unidad litológica de andesitas. Estas andesitas normalmente tienen altos contenidos de cobre, pero en la sección anterior se determinó estadísticamente como contenido anómalo el valor de 126 ppm de cobre, por lo tanto aquellos valores por sobre 126 ppm pueden ser considerados anómalos para efectos de exploración.

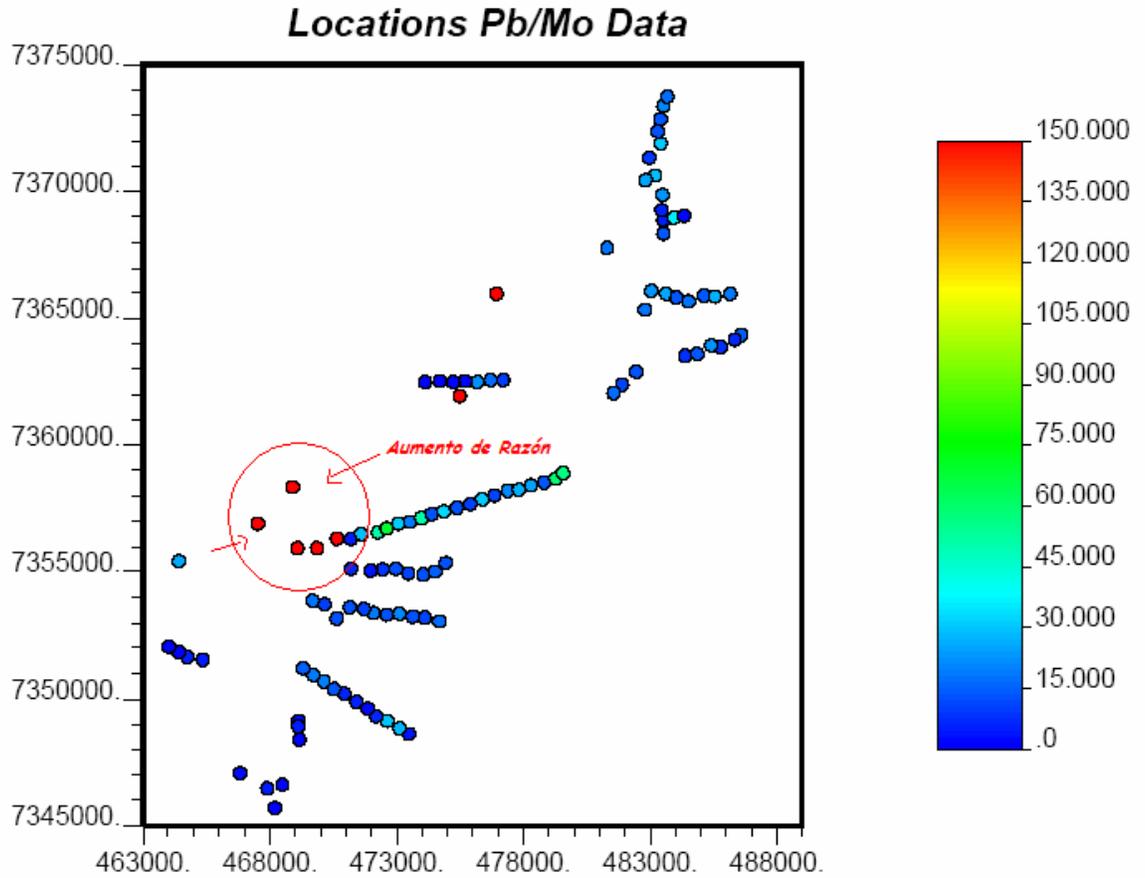


Fig. 14: Zonas con altas razones de Pb/Mo

En la Fig. 14, se aprecia una zona que es alta en razones Pb/Mo. Estos valores pueden indicar el borde de un sistema porfirico (Jones, 1992). Estos valores altos coinciden con una zona de Dacitas, las cuales afloran con abundante alteración supérgena y argílica. Como esta figura solo representaría un borde, es necesario combinar esta observación con el resto de los criterios mencionados con anterioridad.

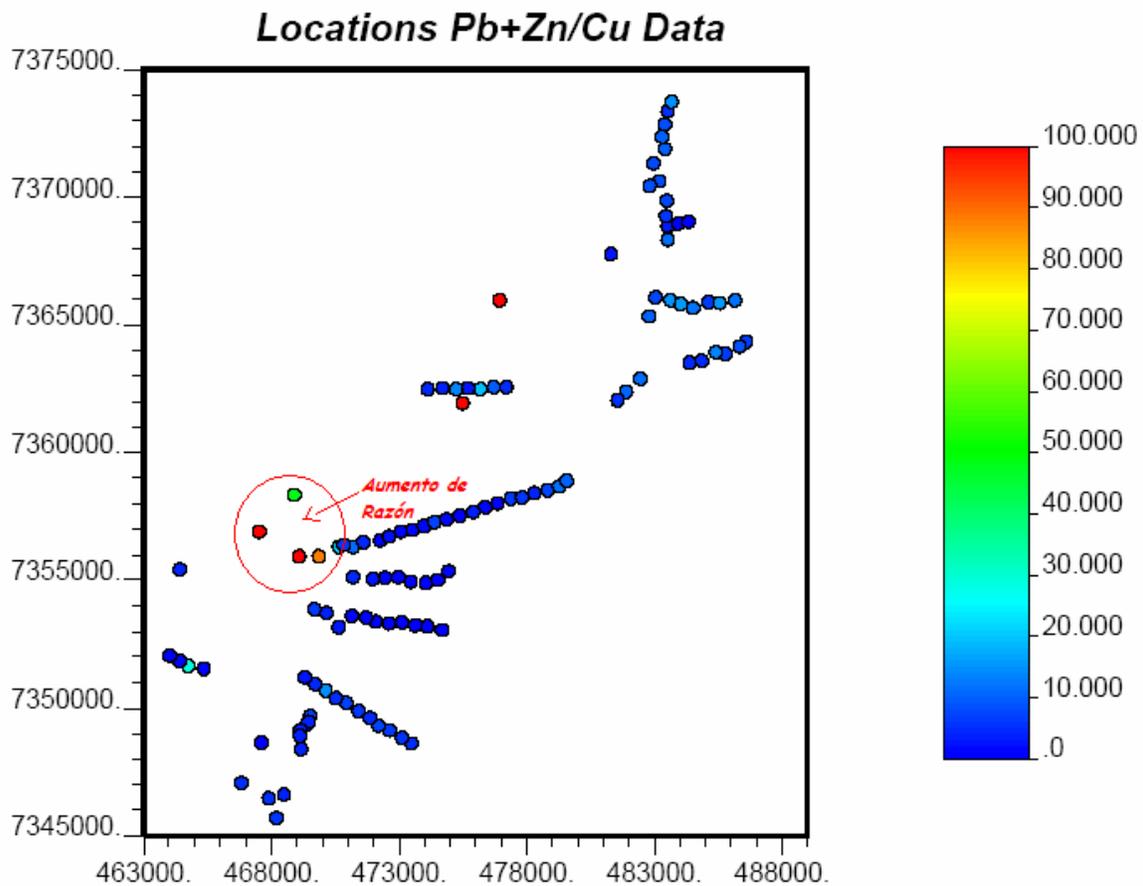


Fig. 15: Muestra las zonas con altas razones de Pb+Zn/Cu

Al igual que la figura anterior, la Fig. 15 muestra un borde, el cual es coincidente con el borde anterior, sin embargo deja la zona abierta hacia el otro lado y hacia arriba por falta de datos.

Según el análisis gráfico anterior, y considerando las características de alteración y mineralización, además de los factores estructurales, es posible identificar una zona en el centro del área de estudio, correspondiente a la UVM, que presenta valores de Cu que pueden ser considerados levemente anómalos, la cual podría constituir un blanco de exploración más específico.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

6.1.- Síntesis Geológica

Durante el Paleozoico Superior se desarrolló un intenso volcanismo de carácter ácido (Marinovic, 2007), con menores manifestaciones de composición intermedia, dando origen a la depositación de las unidades volcánicas UVS (La Tabla) y CIG (Riolitas Sierra del Jardín), las que fueron acompañadas por el emplazamiento de cuerpos graníticos que las intruyen (CIG).

Durante el Jurásico- Cretácico Inferior, el marco geotectónico de los Andes del norte de Chile, correspondió a un sistema de arco magmático-cuenca de trasarco. La cuenca permitió la acumulación de potentes secuencias sedimentarias marinas. La UCP (Formación Sierra el Cobre) y UCS (Formación el Profeta) representan un extenso período de sedimentación marina. Estas secuencias habrían sido deformadas a fines del Cretácico temprano (fase Peruana; MaksaeV, 1978).

En el Cretácico Superior se reanudó la actividad magmática y transcurrió en dos eventos. El primer evento incluye intrusión de algunos cuerpos plutónicos dioríticos, dacíticos y riolíticos, y el desarrollo simultáneo de un volcanismo continental calcoalcalino, que emitió tanto lavas como flujos piroclásticos (Marinovic, 2007) al cual pertenecen la UVSP (Formación Augusta Victoria) y la UVM (Unidad Informal Cerro Azabache). Estas unidades tienen su origen en un arco magmático emplazado en un margen continental activo, asociado a subducción. El segundo evento corresponde a una importante actividad magmática durante el Paleoceno-Eoceno, que se inicia con el emplazamiento de domos riolíticos y granitos (Granitos Cuarcíferos).

A partir del Mioceno se depositaron en los flancos de la Cordillera de Domeyko y depresiones intermontanas, extensas cubiertas de sedimentos aluvionales (Gravas semiconsolidadas), aluviales y coluviales (Depósitos aluviales y coluviales holocenos).

6.2.- Desarrollo de Alteración

Las evidencias de alteración hidrotermal en el Prospecto Texas podrían ser similares a aquellas que se presentan en un sistema tipo pórfido cuprífero (**Fig. 16**). Según este modelo, la alteración hidrotermal presenta una zonación tanto vertical como horizontal, la cual va desde un núcleo potásico, rodeado por halos de alteración filica, alteración argílica intermedia local en torno a zona filica, un halo externo de alteración propilitica, alteración sódico-cálcica profunda (Carten, 1986; Dilles & Einaudi, 1992) y una cubierta de alteración argílica avanzada. Esta zonación presenta un patrón coaxial centrado en el núcleo potásico (Lowell y Guilbert, 1970). Estas dos últimas no se apreciarían en el prospecto. El siguiente es un perfil esquemático EW del área que presenta interés exploratorio (ver Capítulo 7).

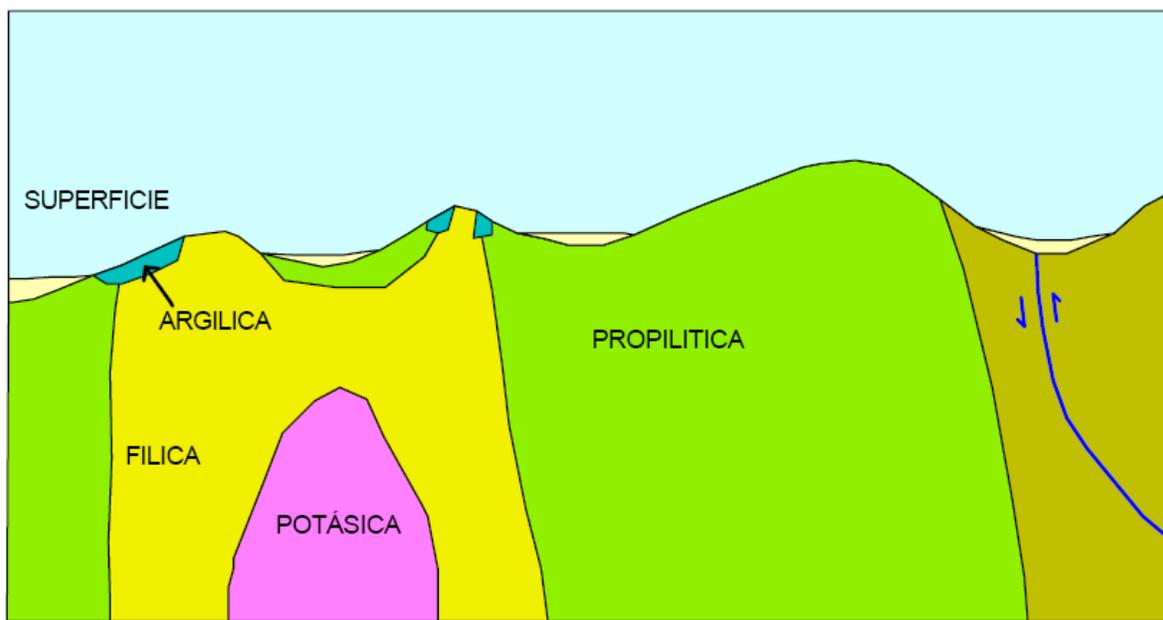


Fig 16. Zonas de alteración hidrotermal en un Pórfido Cuprífero modificado de Lowell y Guilbert, 1970.

6.2.1.- Etapa Temprana o Tardimagmática

La etapa temprana corresponde al desarrollo de alteraciones potásica y propilítica en la periferia. Este evento se produce en condiciones de equilibrio con el magma fuente, bajo condiciones de temperatura superiores a 300°C, a partir de fluidos salinos con altas razones K^+/H^+ en un régimen de alta fugacidad de oxígeno y actividad de azufre (Beane y Titley, 1981 in Camus, 2003). Según estos autores, en esta etapa temprana, se formarían las alteraciones potásica y propilítica.

En el área de estudio se encuentran evidencias de desarrollo de este tipo de alteración de etapa temprana, al este de la Falla Sierra de Varas y afectando al CIG, se puede encontrar alteración potásica y periféricamente alteración propilítica. Sin embargo la edad de las rocas y principalmente los resultados de análisis geoquímicos pobres en Cu hacen que sea muy difícil la existencia de un sistema del tipo pórfido cuprífero emplazado al este de la falla.

Al oeste de la Falla Sierra de Varas, se encuentran evidencias de alteración propilítica, afectando a rocas volcánicas cretácicas de la UVM. Esta alteración coincide con algunos valores de Cu mayores al umbral exploratorio definido (126 ppm; Capítulo 5) y podría convertirse en un blanco exploratorio en la medida que se desarrolle un plan de explotación específico para esa área, con una malla regular de muestreo y mapeo en detalle.

Por otra parte, Reed (1997) establece una zonación mineralógica para el caso de una alteración propilítica, basándose en la temperatura. Esta zonación corresponde, en orden creciente de temperatura a la siguiente secuencia de minerales: esmectitas y zeolitas en la periferia y en las partes más altas del sistema, bajo las cuales se gradan a clorita, albita y epidota, y a actinolita y biotita en zonas de mayor temperatura y profundidad. Esta zonación nos acerca de algún modo al centro del sistema hidrotermal. En el área de estudio, si bien se encuentran asociaciones de mayor temperatura y otras de menor temperatura, no ha sido posible identificar una zonación clara con estos minerales, por lo cual no se puede identificar si es que existió un gradiente térmico que dio origen a los diferentes minerales.

6.2.2.- Etapa Hidrotermal Principal

En depósitos tipo pórfido cuprífero, esta etapa está caracterizada por las alteraciones cuarzo- sericita y argílica. Se desarrolla producto de que los fluidos hidrotermales migran desde el magma fuente y se enfrian bajo condiciones de alta actividad de S_2 , baja fugacidad de O_2 , y baja razón K^+/H^+ (Camus, 2003). Este tipo de alteración puede profundizar sus efectos y presentarse de manera sobreimpuesta con las alteraciones anteriores (“Telescoping”), debido a la erosión y/o control estructural, las que a su vez producen súbitas descompresiones que terminan en un fracturamiento en profundidad de las rocas.

En el área de estudio es posible encontrar alteración cuarzo- sericítica y alteración argílica afectando al miembro superior de la UVSP y cercana a cuerpos intrusivos, en el Cerro Pico de Oro. Hacia el norte de la zona, también se encuentra este tipo de alteración, pero no se ha encontrado ningún intrusivo relacionado. En la zona de alteración cuarzo-sericítica y argílica que se encuentra en el Cerro Pico de Oro los contenidos geoquímicos de Cu son bajos, por lo cual es poco probable que exista un sistema del tipo pórfido cuprífero en esa zona.

6.2.3.- Etapa Hidrotermal Tardía

Corresponde a la última fase de alteración hidrotermal, la cual se presenta como una alteración Argílica Avanzada. Este tipo de alteración estaría más ligado con un ambiente epitermal, sin embargo es conocido que se puede utilizar como guía en la exploración de depósitos tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2005).

En el área de estudio existen evidencias de alteración Argílica Avanzada, en la zona sur y fuera del prospecto existe una zona con alteración argílica avanzada penetrativa, con asociación cuarzo – alunita – pirofilita. Esta zona podría tener un interés exploratorio, sin embargo se encuentra fuera de la propiedad.

En resumen, en el área de estudio, existen asociaciones mineralógicas correspondientes a alteración hidrotermal del tipo que es posible encontrar en un sistema de pórfido cuprífero, sin embargo no ha sido posible establecer zonaciones de minerales que indiquen aumento de la temperatura, para poder identificar un centro de sistema y apuntar ahí una segunda etapa de exploración. En efecto, la alteración potásica se encuentra afectando a rocas paleozoicas, y en ellas no se aprecia evidencia de alguna etapa posterior de alteración ni de mineralización importante. Mientras que en la zona donde existe evidencias de alteración argílica avanzada, tampoco hay indicios de mineralización tipo pórfido cuprífero.

6.3.- Resultados Geoquímicos

En la zona de estudios es posible encontrar numerosas evidencias de mineralización de cobre, plomo, zinc y plata. Todas estas evidencias corresponden a vetas o fallas con mineralización, sin embargo, los resultados de la geoquímica de superficie no es suficiente para definir un blanco de exploración, puesto que los contenidos de Cu, Mo, Pb y Zn son bajos y a penas superan el umbral de exploración en algunos casos.

Con los resultados de análisis geoquímico, fue posible definir los umbrales de exploración de As, Cu, Mo, Pb y Zn para las diferentes litologías (Capítulo 5, Tabla 9). Estos umbrales indican que los valores geoquímicos que estén por sobre el umbral pueden ser considerados anómalos para efectos de la exploración en esta área. Con esto se puede identificar una zona ubicada entre el cerro Pico de Oro y el Cerro Azabache que presenta valores levemente anómalos con respecto al umbral, y que en su borde oriental presenta razones altas de $Pb+Zn/Cu$, lo cual se asemeja a las condiciones de borde que se presentan en un sistema tipo pórfido cuprífero (Jones, 1992).

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el área de trabajo se han definido 11 unidades litológicas, que abarcan desde al Paleozoico hasta el Holoceno, las cuales han sido correlacionadas con las respectivas formaciones definidas por otros autores.

Las rocas paleozoicas que afloran en el área corresponden a lavas riolíticas (CIG) correlacionables con la Unidad Informal Sierra del Jardín (Marinovic, 2007), a riolitas y andesitas correlacionables con la Formación La Tabla (García, 1967) y a rocas intrusivas (CIG), las que mediante análisis de K-Ar en biotita fueron datadas en 290 ± 9 M.a., es decir, corresponden al Pérmico. Estas rocas paleozoicas se encuentran en contacto por falla al oeste con rocas marinas jurásicas, correlacionables con las formaciones El Profeta (Chong, 1973) y Sierra El Cobre (Tobar, 1966). Sobre estas rocas marinas se disponen discordantes rocas volcánicas, principalmente andesíticas, correlacionables con la Formación Augusta Victoria (García, 1967) a su vez, sobre ellas se dispone discordante una secuencia de andesitas correlacionable con la unidad informal Formación Azabache (Marinovic, 2007). Cortando a las unidades mesozoicas se encuentran intrusivos graníticos y dioríticos, que no han sido datados, pero se asumen post eocenos. Finalmente sobre todas estas rocas se dispone una cubierta miocena, donde se distinguen dos tipos de depósitos, uno de gravas semiconsolidadas correlacionable con la Formación Pampa de Mulas (Chong, 1973) y otro de sedimentos no consolidados holocenos.

Se hizo un reconocimiento de los minerales de alteración que se presentan en el área, identificando asociaciones minerales que corresponden a alteración hidrotermal tipo pórfido cuprífero, con presencia de alteración potásica y propilítica afectando a las rocas paleozoicas que se encuentran al este de la Falla Sierra de Varas. Además en la zona del cerro Pico de Oro se identificaron asociaciones minerales correspondientes a alteración propilítica, cuarzo-sericítica, argílica y argílica avanzada afectando a rocas volcánicas cretácicas.

Mediante muestreo de superficie, se determinaron los contenidos geoquímicos de aquellos elementos guía en una mineralización del tipo pórfido cuprífero Cu, Mo, Pb, Zn y As, definiendo además mediante un análisis estadístico de poblaciones, los valores del umbral exploratorio para dichos elementos los resultados para el umbral exploratorio son los siguientes.

Tabla 11. Valores del umbral exploratorio

	Cu	Mo	Pb	Zn	As
Andesitas	126	1.5	28	94	32
Dacitas	137	44	15	94	31
Riolitas	72	25	32	94	19
Calizas	157	10	34	178	15
Granito	72	1.5	20	94	7
Sedimentaria	30	5	224	75	17

Con el umbral identificado, se puede revisar los contenidos geoquímicos de las diferentes unidades, para poder asignar algún valor o interés exploratorio a las propiedades.

Es así que se descartan las unidades paleozoicas, debido a que sus valores de Cu no superan el umbral, por lo cual la alteración presente no habría alcanzado a desarrollar algún tipo de mineralización. También se descarta la zona sur del prospecto ya que no presenta ni contenidos de Cu sobre el umbral ni alteración hidrotermal propicia para una eventual mineralización de cobre tipo pórfido cuprífero.

Sin embargo no es posible descartar la zona que abarca desde el cerro Pico de Oro hasta el cerro Azabache, debido a que la zona presenta valores de Cu que están un poco por sobre el umbral, además de presentar alteración propilitica y cuarzo-sericítica, similares a las encontradas en sistemas del tipo pórfido cuprífero (**Fig.16**).

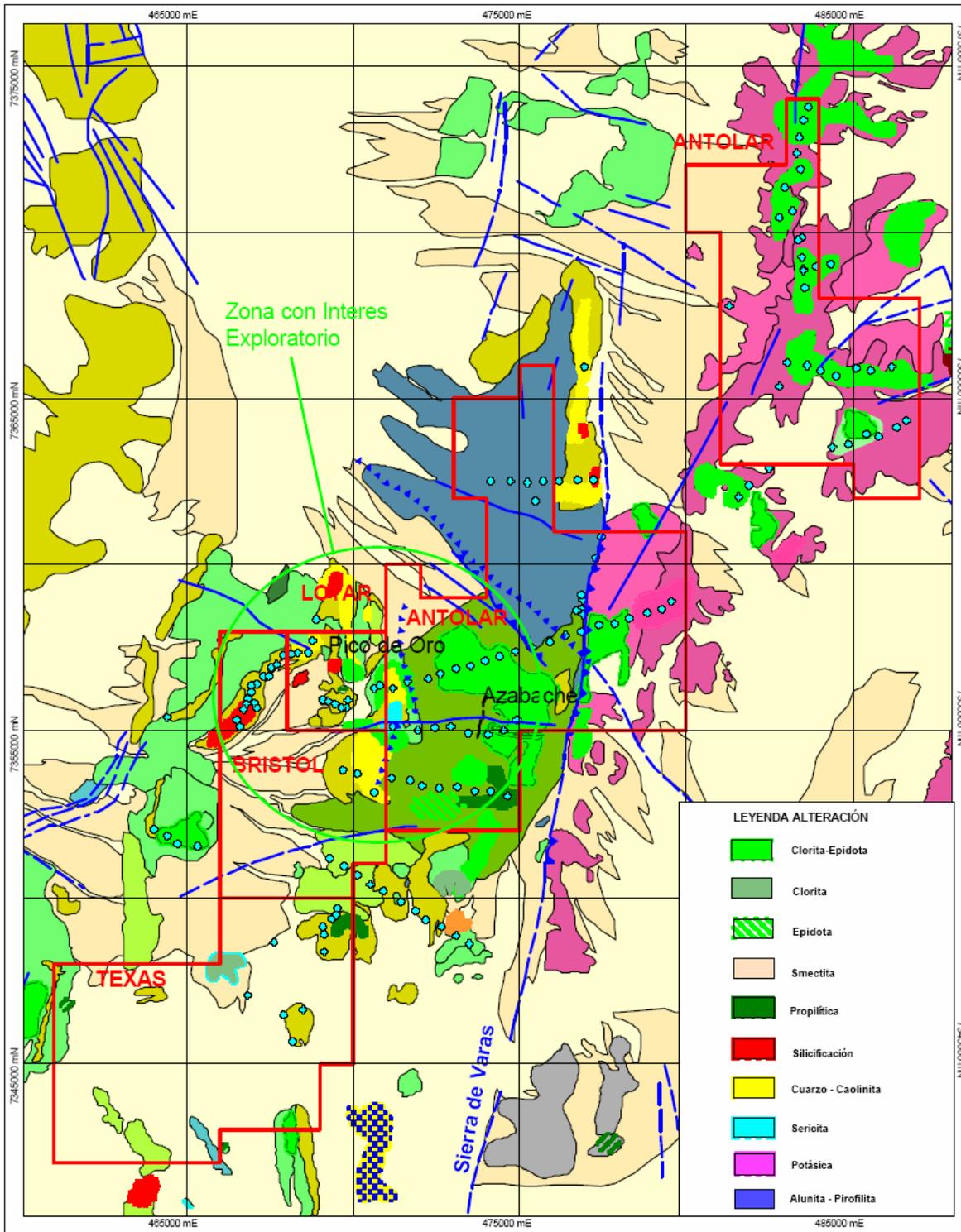


Fig. 16. Zona con interés exploratorio.

LEYENDA

Rocas estratificadas



Mioceno Superior - Holoceno
DEPOSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES.



Pleistoceno - Holoceno
DEPOSITOS DE GRAVAS SEMICONSOLIDADAS.



Cretácico Superior
UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA MAYOR (UVM)
Lava andesíticas, porfíricas, fenocristales de plag, anfibia y piroxeno.

Cretácico Superior - Eoceno
UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA SEDIMENTARIA PRINCIPAL (UVSP)



MIEMBRO VOLCÁNICO SUPERIOR
Lavas y tobas ácidas, tanto dacíticas como riolíticas



MIEMBRO VOLCÁNICO CENTRAL
Lava andesíticas porfíricas, rojizas y verdosas. Presencia de Magnetita



MIEMBRO VOLCANOCLÁSTICO
Lutitas



MIEMBRO VOLCANOCLÁSTICO
Areniscas rojizas y verdosas volcánicas. Brechas volcanoclasticas.



Bajociano-Oxfordiano
UNIDAD INFORMAL CALIZAS PRINCIPALES (UCP)
Calizas, lutitas y areniscas calcáreas y no calcáreas fosilíferas marinas.



Triásico Superior-Jurásico
UNIDAD INFORMAL CALIZAS SUR (UCS)
Calizas y lutitas calcáreas



Carbonífero-Permico
UNIDAD INFORMAL VOLCÁNICA SUR (UVS)
Lavas riolíticas con fenocristales de qz y plag en masa fundamental rojiza, andesitas subordinadas



Carbonífero-Permico
COMPLEJO INTRUSIVO GRANÍTICO
Lava riolítica, porfírica, de anfibia, localmente con magnetita. Masa fundamental gris rosada

Rocas Intrusivas



No Datado
GRANITOS CUARCIFEROS
Granito holocristalino cuarcífero, de anfibia y piroxeno



No Datado
DIORITA A MONZODIORITA
Diorita a monzodiorita con alteración argílica avanzada



290+-9 M.a. Permico
COMPLEJO INTRUSIVO GRANÍTICO
Granito holocristalino, de anfibia y piroxeno

RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener la propiedad que incluye la zona de Interés exploratorio (*Fig.16*) y descartar el resto de las propiedades.

Además se sugiere realizar otra campaña de exploración realizando un muestreo geoquímico regular de superficie para determinar si efectivamente existe mineralización anómala asociada a la alteración.

Se sugiere también apoyarse con técnicas de identificación de minerales como PIMA o similar para

REFERENCIAS

- Bogdanic, T. Chong, G. 1985.** Bioestratigrafía del Jurásico de la zona Preandina chilena entre los 24°30'-25°30' de lat. Sur. *In Congreso Geológico Chileno, N°4, Actas*, Vol. 1, p. 138-157. Antofagasta.
- Bogdanic, T. Von Hillebrandt, A. Quinzio, A. 1985.** El Aaleniano de Sierra de Varas, Cordillera de Domeyko, Antofagasta, Chile. *In Congreso Geológico Chileno, N°4, Actas*, Vol. 1, p. 158-175. Antofagasta.
- Boric, R.; Díaz, F.; Maksaev, V. 1990.** Geología y Yacimientos Metalíferos de la Región de Antofagasta. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín*, No. 40, 246 p., 2 mapas escala 1:500.000.
- Camus, F. 2003.** Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. Sernageomin, 267 p.
- Chong, G. 1973.** Reconocimiento Geológico del área Catalina-Sierra de Varas y estratigrafía del Jurásico del Profeta, Provincia de Antofagasta. Memoria de Título (Inédito), *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 284 p.
- Chong, G. Von Hillebrandt, A. 1985.** El Triásico preandino de Chile entre 23°30'-26° de latitud sur. *In Congreso Geológico Chileno, N°4, Actas*, Vol. 1, p. 1-162/1-210. Antofagasta.
- Ferraris, F. Di Biase, F. 1978.** Hoja Antofagasta, Región de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, N°30, escala 1:250.000*, 48 p.
- Fuenzalida, G. 1986.** Estratigrafía y estructuras del Paleozoico y Mesozoico en el área Cerro Bayo-Cerro Chinchilla. Taller de Título II (Inédito), *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 84 p.

García, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. *In Simposium sobre el Geosinclinal Andino. Sociedad Geológica de Chile, Publicación N° 3.* 138 p.

Heberlein, D., Fletcher, W., Godwin, C. 1983. Lithogeochemistry of Hypogene, Supergene and Leached Cap samples, Berg Porphyry copper deposit, British Columbia. *Journal of Geochemical Exploration, v.19, 1983, pp 595-609.*

Jones, B. 1992. Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems. *Journal of Geochemical Exploration, v. 43, 1992, pp 127-155.*

Lowell, J.D., and Guilbert, J.M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits: *Economic Geology, v. 65, p. 373-408.*

Maksaev, V. 1978. Cuadrángulo Chitigua y sector occidental de Cuadrángulo Cerro Palpana, Región de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas , Carta Geológica de Chile 31, 50 p.*

Maksaev, V. 2001. Reseña Metalogénica de Chile y de los Procesos que Determinan la Metalogénesis de Chile. *Apuntes para el curso “GL54A: Metalogénesis” de la carrera de geología. Universidad de Chile.*

Maksaev, V. 2004. Pórfidos Cupríferos. *Apuntes para el curso “GL54A: Metalogénesis” de la carrera de geología. Universidad de Chile.*

Marinovic, N. Smonje, I. Maksaev, V. Hervé, M. Mpodozis, C. 1995. Hoja Aguas Blancas, Región de Antofagasta. *Sernageomin, Carta Geológica de Chile, N°70, escala 1:250.000, 150 p.*

Marinovic, N. 2007. Carta Oficina Domeyko, Región de Antofagasta. *Sernageomin, Carta Geológica de Chile, N°105, escala 1:100.000, 41 p.*

Mpodozis, C.; Marinovic, A.; Smoje, I. & Cuitiño, L. 1993. Estudio geológico – estructural de la Cordillera de Domeyko entre la Sierra Limón Verde y Sierra Mariposas. Región de Antofagasta. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. pp. 232.

Padilla, H. 1988. Eventos intrusivos y deformaciones en la Cordillera de Domeyko a la latitud del Salar de Punta Negra. Antecedentes geocronológicos K-Ar. *In Congreso Geológico Chileno, N° 5, Actas*, Vol. 3, p. 1229-1243. Santiago.

Richards, J., 2000, Lineaments revisited. *Society of economic geologists, SEG Newsletter*, N° 42 pp. 14-20.

Richards, J., Boyce, A., J., Pringle, M. S., 2001, Geologic evolution of the Escondida Area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization. *Economic Geology*, v. 96, pp. 271-305.

Reed, 1997. Hydrothermal Alterations and its Relationship to Ore Fluid Composition. *In. Barnes (ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3th Edition, John Wiley and Sons*, p. 303-360.

Rose, 1970. Zonal Relations of Wallrock Alteration and Sulfide Distribution at Porphyry Copper Deposits. *Economic Geology*, V. 65, pp. 920-936.

Sernageomin, 2002. Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000, Versión 4. *Documento Digital confeccionado por Departamento de Geología Regional en colaboración con la Oficina Técnica de Puerto Varas y la Unidad USIG, dependientes de la Subdirección Nacional de Geología del Sernageomin*

Sillitoe, R. 1995. Exploration of porphyry copper lithocaps. *PANCRIM'95*, pp. 527-532.

Stanley, C.R., 1987. PROBLOT: an interactive computer program to fit mixtures of normal (or log-normal) distributions with maximum likelihood optimization procedures (version 1.01E7). *Assoc. Explor. Geochemist, Spec. Vol.* 14, 42 pp.

Tobar, A. 1966. Estratigrafía del área Baquedano-Rencoret. Provincia de Antofagasta. *Tesis de Grado, Universidad de Chile*, 69 p.

Townley, B.; Maksaev, V.; Palacios, C.; Lahsen, A.; Parada, M. 1999. Base and precious metals geochemistry of rock units of the mainland Aysén region, Chilean Patagonia. *Journal of Geochemical Exploration*, N° 68, pp. 21-46.

Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*. V. 72, pp. 175–192.

Véliz, W. 2004. Relación Espacio-Temporal del Sistema Pórfido Cuprífero y Epitermal en el Yacimiento Escondida, Provincia de Antofagasta, Segunda Región, Chile. *Tesis para optar al Grado de Magíster en Geología Económica, Mención Exploración, Universidad Católica del Norte*, 89 p.