



“DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZAS CON VALOR ECONÓMICO, EN LAS PIRITAS DEL PROSPECTO FERRÍFERO DOMEYKO II, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE”

Autor: Oscar Antonio Jeldres Salinas

Profesor Guía: MSc. Abraham Elías González Martínez

Profesional Guía: Sr. Leonardo Hugo Vergara Olguín †

**Profesores Comisión: MSc. Liubow González Martínez
Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn**

Resumen

El prospecto Ferrífero Domeyko II, se ubica en la Franja Ferrífera inmediatamente al sur del yacimiento El Algarrobo. Ha sido estudiado como posible generador de recursos de apoyo (Villagrán, 1997). Sin embargo, diversas evaluaciones lo han descartado por poseer baja concentración de magnetita (Rojo, 2003).

El año 2007 se realizó una campaña de sondajes diamantinos, los que evidenciaron una concentración anómala de pirita asociada a la mena ferrífera (10% aprox), por lo que se determinó estudiar la presencia de elementos de valor económico en dichas piritas a fin de incrementar el valor del depósito.

La geología del prospecto Ferrífero Domeyko II corresponde a una unidad volcánica de composición andesítica con alteración actinolítica, intruída por una unidad intrusiva de composición diorítica.

Se observó que las piritas se presentan diseminadas, en vetillas y como agregados cristalinos. Se seleccionaron muestras representativas para estudios de microsonda electrónica (EPMA), identificándose la presencia de Cobalto y en menor proporción Niquel.

La evaluación económica del Cobalto indica una concentración de 398.280 Ton Py con 0,743% Co. Lo que representa 2.960 Ton Co (bloque norte).

Se determinó un origen de tipo IOA para vetillas de pirita con magnetita y de IOCG para la mineralización principal.

Palabras Claves: Piritas Cobaltíferas, IOA (Iron Oxide Apatite), IOCG (Iron Oxide–Copper–Gold), ZFA (Zona de Falla Atacama), FFC (Franja Ferrífera Cretácica).

1 Introducción

El prospecto Ferrífero Domeyko II perteneciente a CAP Minería, se ubica en la denominada Franja Ferrífera Cretácica (FFC), emplazado en la Zona de Falla Atacama (ZFA). Su ubicación se determinó por medio de la interpretación de vuelos magnéticos realizados por Aero Service Co. Pennsylvania, a lo largo de la FFC en los años 1960-61. Sin embargo una primera evaluación, que incluyó estudios geológicos de superficie y sondajes de aire reverso (CAP 1974 y 1977), indicó baja concentración de magnetita, y el prospecto fue descartado en una primera instancia.

En el año 2007, se realizó una nueva campaña de sondajes tendiente a reevaluar el prospecto. Dentro de este proceso de evaluación, se observa una marcada interrelación entre el hierro (magnetita) y

grandes cantidades de pirita (hasta 30% volumen), las cuales deben ser desechadas como estéril en caso de desarrollarse una explotación futura del yacimiento.

En este contexto, y teniendo como antecedente la capacidad de las piritas de contener elementos trazas de valor económico (Lorca, 1990), se tomó la decisión de evaluar esta posibilidad (hipótesis de trabajo), tratando de resolver tres interrogantes principales: a) existencia o no de elementos trazas en las piritas, b) a que elementos corresponden y c) cuál es su concentración.

1.1 Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la presencia de elementos trazas de valor económico, en las piritas del prospecto Ferrífero Domeyko II. Determinando las especies y su concentración.

1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se pretende:

- * Caracterizar la existencia de elementos trazas, que puedan ser recuperados como subproducto económico dentro de la explotación de hierro.
- * Evaluar el volumen y/o tonelaje de piritas dentro del yacimiento y por ende, el contenido de él o los elementos trazas detectados.
- * Aportar al modelo geológico con la descripción de muestras obtenidas desde los sondajes.
- * Aportar al entendimiento del origen de la mineralización, usando las razones entre los elementos detectados.

El prospecto Ferrífero Domeyko II, se ubica en la Región de Atacama, aproximadamente 60 Km al SSW de la ciudad de Vallenar y a 10 Km al NW de la localidad de Domeyko (Figura 1).

El acceso principal se realiza desde la ciudad de Vallenar, siguiendo la Carretera Panamericana (Ruta 5 Norte) por 50 Km al sur, hasta el cruce con la Quebrada de Pastos Largos. Desde ahí se sigue un camino ripiado (C-562) en regular estado, por 12 Km.

El área de prospección es de 3,2 Km² y se encuentra delimitada por las coordenadas 6.801.200 a 6.802.800 N y 308.300 a 310.300 E. con cotas que fluctúan entre los 900 y 1.200 m s.n.m.

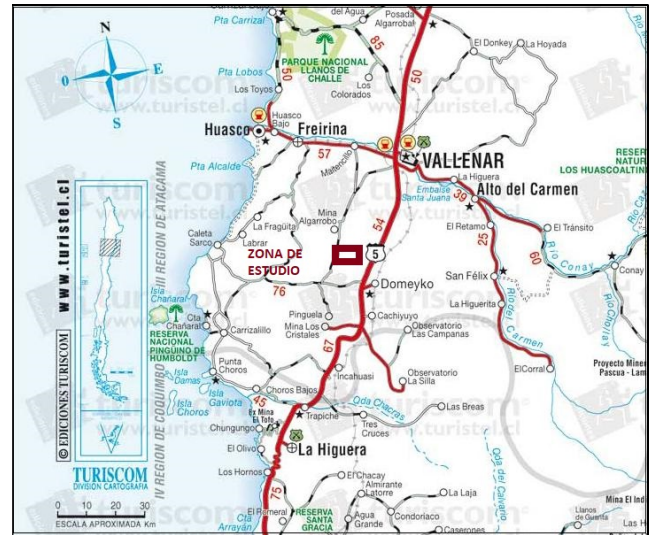


Figura 1: Ubicación prospecto Domeyko II, modificado Turistel.

2 Marco Geológico

2.1 Geología Regional

El Prospecto Domeyko II se encuentra emplazado en la Cordillera de la Costa del norte chico, que a la latitud de Domeyko se presenta como un "roof pendant" de rocas volcánicas que cuelga sobre un Batolito de composición tonalítica (Moscoso *et al.*, 1982).

Las rocas volcánicas corresponden a la Formación Punta del Cobre, de edad Jurásico Superior-Hauteriviano Superior (Segestrom y Parker, 1959; Arévalo *et al.*, 2009). Esta Formación se compone principalmente de lavas andesíticas de piroxeno y brechas verdosas, en menor proporción lavas andesíticas porfídicas y afaníticas de piroxeno y anfíbola y, de forma ocasional, calcarenitas, calcilitas y volcarenitas, con estratificación de media a gruesa (Arévalo *et al.*, 2009).

El Batolito de composición tonalítica forma parte de la Franja Central descrita por Moscoso *et al.* (1982), constituida por extensos plutones de forma elongada en dirección NS a NNE-SSW, que litológicamente incluyen desde granitos a gabros. En el sector de Domeyko, las rocas tonalíticas corresponden a tonalitas de anfíbola de colores blanco grisáceo (Moscoso, 1979; Moscoso *et al.* 1982).

Actualmente esta franja ha sido dividida de acuerdo a composición y mediciones radiométricas compiladas en el trabajo de Arévalo *et al.* (2009),

siendo reconocibles en el área el Complejo Plutónico Retamilla Kir (d), el Complejo Plutónico La Higuera Kih (gd) (d), Granodiorita El Ruso Kigdr, Diorita El Pingo Kidp y Monzodiorita Domeyko Kimdd (Figura 2).

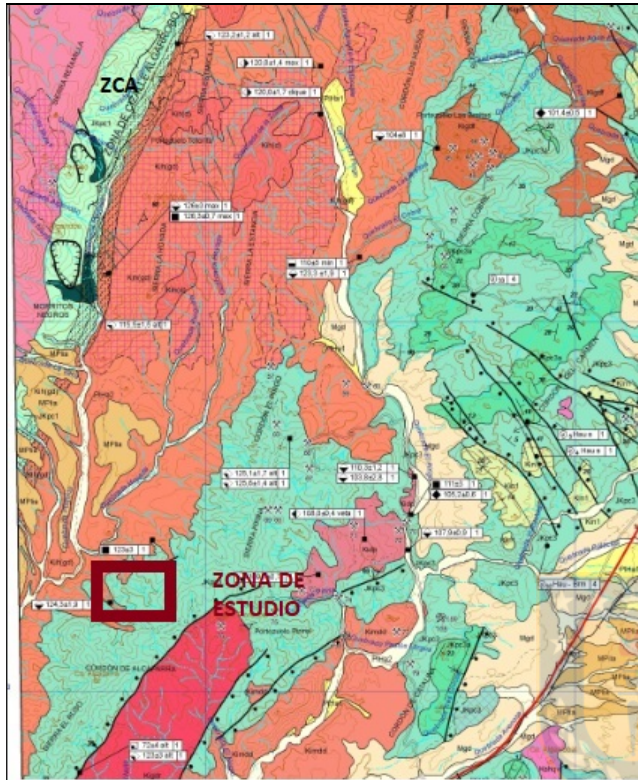


Figura 2: Geología Regional, modificado Arévalo *et al.* (2009).

El principal lineamiento estructural lo constituye el sistema NS a NE-SW, coincidente con el lineamiento de anomalías magnéticas (Villagrán, 1997). Existe un sistema de fallas de orientación NS a NNE-SSW, que se ubica en el borde oriental de la Cordillera de la Costa. Este sistema pertenece al de la zona de la Falla de Atacama, asociada en estas latitudes a franjas de rocas cataclásticas y miloníticas (Letelier, 1998).

Este lineamiento NS a NNE-SSW, es coincidente con la orientación de la Zona de Cizalle El Algarrobo, que se presenta como el principal lineamiento estructural a nivel distrital.

La Zona de Cizalle Algarrobo (ZCA), corresponde a una franja de milonitas de ancho variable entre 400 y 800 m con dirección NNE-SSW, que en el área de las cartas Vallenar y Domeyko, pone en contacto

rocas de la Formación Punta del Cobre con intrusivos del Cretácico Inferior (Creixell *et al.*, 2012).

2.1 Geología Local

El prospecto Ferrífero Domeyko II (Mapa Geológico, fuera de texto), corresponde a un depósito con mineralización de hierro, que se desarrolló en un ambiente de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal, en el cual un intrusivo de composición diorítica se emplazó en rocas andesíticas, produciendo una aureola metamórfica, descrita como andesítica corneana que hospeda las estructuras mineralizadas (González, 2009).

En el sector sur del depósito, se presenta una roca de asimilación entre diorita y andesita que también ha sido descrita como roca de mezcla y que hospeda a las estructuras mineralizadas detectadas en profundidad.

En la parte central se caracteriza por ser un roof pendant de andesita con alteración de actinolita y contacto controlado por fallas (Figura 3).

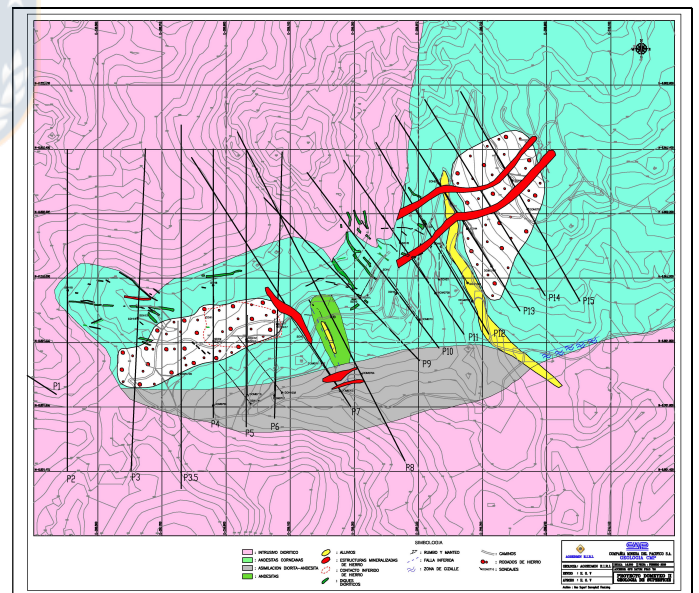


Figura 3: Geología Superficie (González, 2009).

El depósito lo forman dos series de estructuras vetiformes de magnetita con mineralización de baja a mediana ley. En superficie se reconocen guías y vetillas polidireccionales y en profundidad grada a textura brechosa, asociada a altas concentraciones de sílice coloidal. Además, como minerales de ganga se identifican: piritas de ocurrencia diseminada y en

altas concentraciones, calcopirita a nivel de trazas, apatito en proporción baja y actinolita. Estas series tienen direcciones EW/subvertical y NE-SW/60°-80° NW, las que convergen hacia el sector central del área (González, 2009).

Existe intensa alteración hidrotermal, la que afecta a las unidades volcánicas y se asocia a las facies de contacto; se reconocen sectores con alteración silico-argílica ubicadas hacia el SE del área, ligada principalmente a los cuerpos intrusivos (Villagrán, 1997).

3 Metodología

En una primera etapa se realizó una recopilación de la documentación existente, tal como informes internos y publicaciones, junto con los datos del muestreo de las campañas de polvo (anteriores) y de sondajes diamantinos (actuales). Al mismo tiempo, se efectuó una revisión de trabajos publicados sobre elementos traza en piratas en yacimientos de distintas partes del mundo.

Posteriormente, se desarrolló una descripción de los sondajes diamantinos, basada principalmente en parámetros de litología, alteración y mineralización, además de incluir parámetros específicos para las piratas, tales como: zonas y modos de ocurrencia, concentraciones en volumen y minerales paragenéticos.

En una tercera etapa, con el fin de corroborar las litologías presentes, así como establecer las asociaciones paragenéticas de la mena ferrífera y las piratas, sumado a la mineralogía de alteración, se seleccionaron muestras representativas. Con ellas se confeccionaron 18 cortes transparentes y 8 cortes pulidos, correspondientes a 22 muestras, en los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, los que fueron estudiados con microscopio de luz transmitida y reflejada (Geocronos, 2012). Otro grupo de cuatro muestras fue enviado al laboratorio del Departamento de Geología Económica Aplicada GEA, de la misma universidad, para la elaboración de briquetas de pirata, que fueron posteriormente estudiadas por Microsonda Electrónica (EPMA).

Finalmente, la cuarta etapa consistió en caracterizar las sustancias elementales presentes, realizando un

análisis estadístico de ellas, con el fin de realizar un modelo de distribución, para los distintos elementos reconocidos. Esta etapa contempla la redacción final del presente texto.

4 Resultados

La integración de la información existente, sumada a los antecedentes aportados en el presente trabajo, permiten corroborar con nuevas muestras obtenidas directamente desde los sondajes diamantinos, las unidades presentes en el área definidas por González (2009).

4.1 Litología.

4.1.1 Andesitas corneanas

Corresponden al cuerpo central del proyecto y es la unidad que contiene la mineralización principal. Esta unidad se encuentra caracterizada por andesitas con alteración actinolítica y diseminación de magnetita (Fotografía 1).



Fotografía 1: andesita con intensa alteración actinolítica, presenta magnetita diseminada y vetillas de calcita.

La roca está afectada por intensa alteración que ha obliterado los rasgos texturales y mineralógicos primarios. No obstante, se esbozan algunos fenocristales de anfíboles embebidos en una masa fundamental microcristalina, lo que permite inferir su textura porfídica original.

La alteración predominante corresponde a un agregado de anfíbol, clorita, titanita, arcillas, y minerales opacos. Esta asociación mineralógica y su disposición en la muestra son consistentes con los efectos de un proceso metamórfico.

Tanto las características generales como la asociación mineralógica y la textura porfídica inferida, además de otras evidencias mencionadas, llevan a clasificar la roca como **metandesita**.

4.1.2 Intrusivo Diorítico

Corresponde a la litología dominante en el área del prospecto y se presenta intruyendo a las andesitas. Se observa en el área noroccidental y sur, además se usa como límite inferior en los sondeos de mayor profundidad.

Macroscópicamente se reconoce textura porfídica, ojos de cuarzo hasta 3% y cristales alargados de hornblenda de hasta 1cm (Fotografía 2). La masa fundamental está compuesta de plagioclasa, y cristales secundarios de cuarzo, además de un porcentaje menor de epidota, arcilla y minerales opacos.



Fotografía 2: Pórfido Diorítico, tramo final sondaje Dom-0704.

Las características texturales la mineralogía primaria preservada, sugieren origen volcánico a subvolcánico y composición en el campo de las andesitas/dioritas. La presencia de cuarzo subredondeado tipo “ojos” hace presumir un origen hipabisal somero, en cuyo caso la muestra puede ser clasificada como **pórfido diorítico**.

4.1.3 Asimilación Diorita-Andesita

Corresponde a una franja elongada este-oeste en la zona centro sur del proyecto, controlada por fallas, constituida por rocas de mezcla, fuertemente tectonizadas, con presencia de bandas de minerales cortadas y desplazadas (Fotografía 3).

Al microscopio es una roca metamórfica gnéisica, como producto de metamorfismo dinámico, que se encuentra caracterizada por bandas de minerales y vetillas cortadas y deformadas en el sentido del cizalle.



Fotografía 3: testigo de la zona denominada asimilación diorita-andesita, corresponde a un gneiss con vetillas de magnetita y centro pirita.

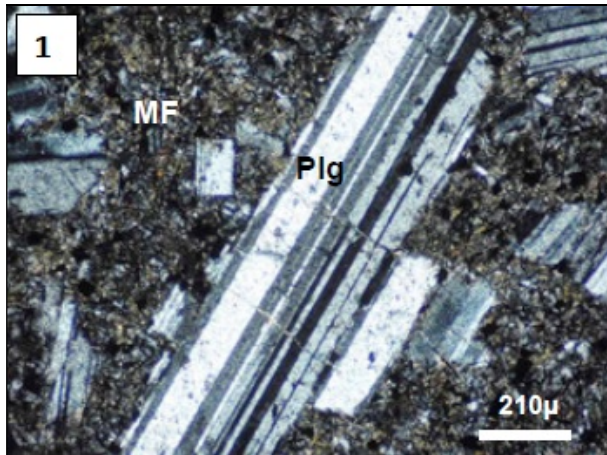
La mineralogía está compuesta de cristales anhedrales de epidota que se encuentran relleno vetillas y en agregados cristalinos bandeados, junto a minerales opacos. Los cristales de anfíbol forman agregados cristalinos prismáticos de hasta 0,2 mm de largo, orientados preferentemente en el sentido del cizalle. El cuarzo se presenta principalmente como cristales deformados y alargados distribuidos homogéneamente en la roca y también como relleno de vetillas. Los minerales opacos se distribuyen en bandas alargadas y relleno vetillas, siendo en ambos casos afectadas por metamorfismo. Se observan vetillas menores compuestas de cuarzo, epidota y minerales opacos, truncadas y deformadas por el metamorfismo.

Las características texturales permiten clasificar a la roca como un **gneiss**.

4.1.4 Andesita

Corresponde a una pequeña franja elongada nortesur, que aflora en la parte central del área, limitada al sur por falla con la zona de asimilación diorita-andesita (gneiss).

Posee textura porfídica seriada, localmente intersertal (intersticios de plagioclasas rellenos con material secundario), caracterizada por fenocristales de plagioclasa y piroxenos (ortopiroxenos y clinopiroxenos) inmersos en una masa fundamental compuesta de plagioclasa, clorita, arcilla, minerales opacos, \pm carbonato. La relación entre los fenocristales y masa fundamental es 59/41. Los fenocristales de plagioclasa ocurren como cristales euhedrales a subhedrales, de 0,2 a 3,2 mm de largo, frecuentemente con hábito tabular y maclas polisintéticas bien conservadas (Fotomicrografía 1).



Fotomicrografía 1: Fenocristal de plagioclasa inmerso en masa fundamental (textura porfídica). Nícoles cruzados, 50X.

Los piroxenos se manifiestan en sus variedades de orto y clinopiroxeno. Los primeros se encuentran como relictos (subhedrales a anhedrales) con impregnaciones en los bordes de minerales opacos y rellenos con calcita. Los segundos son cristales subhedrales de clinopiroxenos, bien conservados y levemente fracturados. La masa fundamental se encuentra constituida por cristales de plagioclasas subhedrales de grano fino (menor a 0,2 mm), mal conservados y agregados anhedrales de clorita, junto a arcilla y carbonato.

Las características mineralógicas y texturales permiten clasificar la roca como una **andesita de clinopiroxeno**.

4.2 Mineralización ferrífera

Como se mencionó anteriormente la mineralización de hierro se presenta como vetas de magnetita, y en menor proporción como vetillas polidireccionales que en profundidad gradan a textura brechosa, de acuerdo a la clasificación de texturas de yacimientos de hierro propuesta por Espinoza 1979 (Figura 4).

En cuanto a la mineralización por vetas, éstas tienen potencias de 20 a 100 m y corridas de 500 y 600 m. En la parte superficial, se presentan oxidadas (hematíticas) disminuyendo la relación de oxidación con la profundidad.

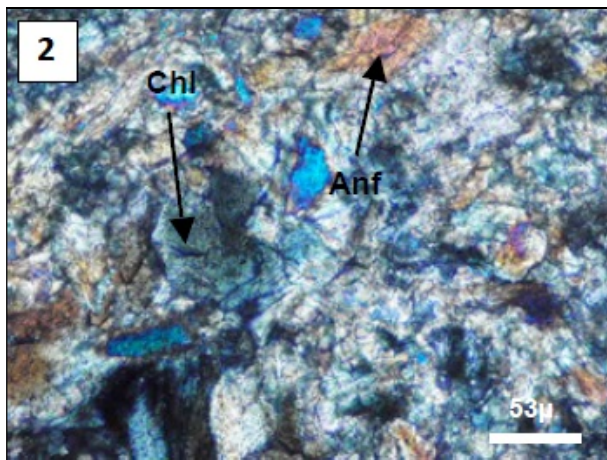


Figura 4: diagrama de clasificación de texturas de yacimientos de hierro, tomado de Espinoza (1979); 1) diseminado 2) vetillas polidireccionales 3) brechoso 4) vetas 5) macizo.

4.3 Alteración

4.3.1 Anfibolitización (actinolita)

Corresponde a la principal alteración del prospecto y se observa como reemplazo pervasivo en la roca caja andesítica (Fotomicrografía 2), con volúmenes superiores al 10% de la roca, siendo el factor principal del término "metandesita" utilizado ampliamente a lo largo de la FFC.



Fotomicrografía 2: Anfibol y clorita, presentes en masa de alteración. Nicoles cruzados, 200X.

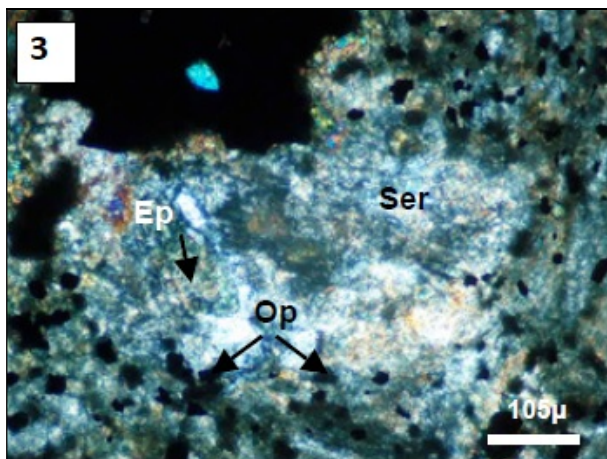
4.3.2 Clorita-epídota

La clorita-epidota está relacionada principalmente al proceso de metamorfismo sufrido por la caja andesítica y, en menor proporción, a la anfibolitización.

La asociación mineralógica de anfibol-clorita-epidota, su tamaño de grano y la disposición en la roca, es consistente con los efectos de un proceso metamórfico.

4.3.3 Sericitización

Ocurre como pseudomorfo de cristales tabulares, posiblemente de plagioclasas. El tamaño varía entre los 0,7 mm y 0,07 mm (microlitos de la masa fundamental original). En algunos cristales pseudomorfos se reconocen impregnaciones de epidota e incipiente argilización (Fotomicrografía 3).



Fotomicrografía 3: Sericita como pseudomorfo de plagioclasa con impregnaciones de epidota y rodeado de minerales opacos, 100X

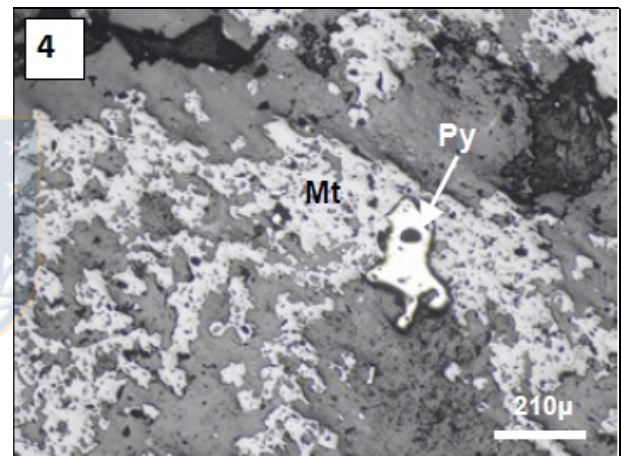
4.3.4 Arcillización

Es posible identificar agregados de arcillas en todas las muestras descritas. Se observa sobre las plagioclasas junto a sericita y en asociación con minerales de alteración como epidota-clorita. El término arcillas ha sido utilizado para identificar a todo material criptocristalino que no ha podido ser resuelto a través de métodos convencionales de microscopía

4.4 Ocurrencia de piritas

4.4.1 Diseminado

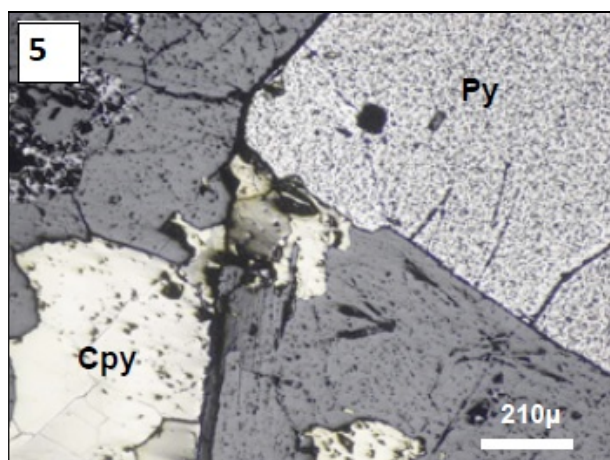
Tanto en forma macroscópica y microscópica, se observan agregados anhedral de pirita en contacto simple con la mena ferrífera (magnetita), en porcentajes que varían de 5% hasta 30% en volumen (Fotomicrografía 4).



Fotomicrografía 4: Pirita anhedral junto a magnetita, nicoles paralelos, 50X

4.4.2 Vetillas

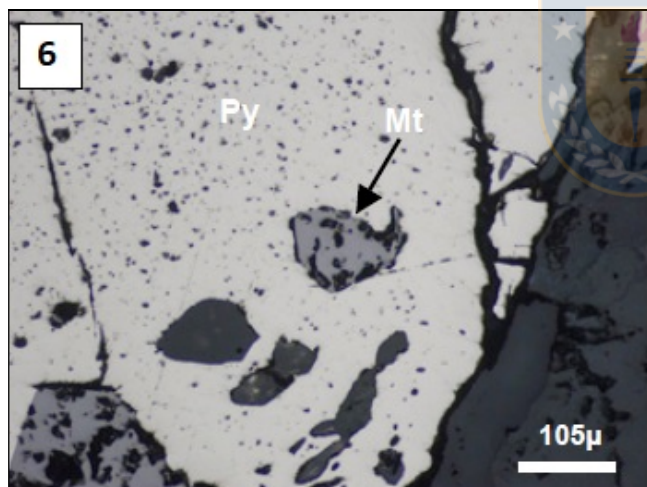
La pirita se observa como relleno de vetillas de cuarzo-turmalina-epidota junto a magnetita, en ocasiones tienen inclusiones anhedral de calcopirita (Fotomicrografía 5).



Fotomicrografía 5: Pirita y calcopirita en vetilla, nicoles paralelos, 50X.

4.4.3 Agregados cristalinos

Cristales subhedrales a euhedrales, generalmente de forma cúbica y tamaño variable entre 0,7 y 4 mm, en forma diseminada. Subordinadamente forma agregados junto con cristales de magnetita, pirrotina y calcopirita como relleno de espacios (Fotomicrografía 6).



Fotomicrografía 6: Magnetita relleno de espacios (oquedades) en pirita, nicoles paralelos, 100X

4.5 Elementos trazas contenidos

Para realizar las mediciones con microsonda electrónica, se seleccionaron dos muestras de vetillas de pirita y dos de agregados cristalinos. En ambos casos se consideró la asociación con mena ferrífera tanto en presencia y ausencia (con y sin magnetita).

Las cuatro muestras seleccionadas fueron enviadas a los laboratorios del GEA, dónde se procesaron los cortes y realizaron las preparaciones para las

mediciones, de acuerdo a condiciones analíticas propias del equipo (Pincheira, 2014).

Las lecturas cualitativas de reconocimiento de elementos en los cristales de pirita dieron como resultado preliminar la presencia de **cobalto** y **níquel**, sin detectarse ningún otro elemento de interés.

Posteriormente se recalibró el equipo con parámetros de Co y Ni, y se procedió a la lectura cuantitativa de éstos elementos, cuyos resultados se entregan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de las mediciones en cada tipo de muestra (wt%= porcentaje en peso; n.d.= no detectado).

TIPO MUESTRA	Muestra / Punto	Elemento wt%				Total	RAZÓN Co/Ni
		Fe	Co	Ni	S		
Pirita maciza con magnetita	266840 pto 01	45,88	11,905	n.d.	53,92	101,00	
	266840 pto 02	46,08	0,7190	0,0473	53,48	100,33	
	266840 pto 03	46,20	11,380	n.d.	53,74	101,10	
	266840 pto 04	46,85	0,1211	0,5577	53,46	100,99	
	266840 pto 05	46,88	10,229	n.d.	53,81	101,73	
	266840 pto 06	46,01	10,178	0,0513	53,78	100,85	
	266840 pto 07	46,62	0,4710	n.d.	53,57	100,68	
	266840 pto 08	46,44	0,5529	n.d.	53,34	100,36	
	266840 pto 09	45,76	0,9577	n.d.	53,21	99,93	
	MEDIA	46,30	0,8000	0,2200	53,59	100,77	3,65
Pirita maciza sin magnetita	252835 pto 25	46,17	0,5656	0,1059	53,69	100,53	
	252835 pto 26	46,67	0,1333	0,3212	53,30	100,42	
	252835 pto 27	46,08	0,1572	0,3211	52,85	99,41	
	252835 pto 28	46,16	0,5453	0,0445	53,43	100,19	
	252835 pto 29	46,76	0,1664	n.d.	53,29	100,22	
	252835 pto 30	46,36	0,1687	n.d.	53,19	99,73	
	252835 pto 31	46,66	0,6518	n.d.	53,18	100,49	
	252835 pto 32	47,22	0,0712	n.d.	53,92	101,42	
	MEDIA	46,51	0,3100	0,2000	53,36	100,30	1,55
Vetilla pirita con magnetita	240793 pto 10	47,35	0,2839	0,0607	53,41	101,10	
	240793 pto 11	45,95	0,6083	n.d.	53,19	99,75	
	240793 pto 12	46,59	0,7574	n.d.	53,17	100,53	
	240793 pto 13	46,08	0,6119	n.d.	52,83	99,53	
	240793 pto 14	45,18	15,997	n.d.	52,94	99,72	
	240793 pto 15	46,48	0,6522	n.d.	53,18	100,33	
	240793 pto 16	46,36	0,4409	0,0268	53,06	99,88	
	MEDIA	46,28	0,7100	0,0400	53,11	100,12	16,18
Vetilla pirita sin magnetita	240737 pto 17	46,75	0,0989	0,1823	53,45	100,49	
	240737 pto 18	46,26	0,1408	0,1367	53,08	99,63	
	240737 pto 19	46,80	0,0546	n.d.	53,09	99,98	
	240737 pto 20	47,03	0,0635	0,2711	53,52	100,89	
	240737 pto 21	46,24	0,0573	0,1256	53,35	99,78	
	240737 pto 22	47,10	0,0573	0,2099	53,29	100,65	
	240737 pto 23	46,73	0,0427	0,0744	53,45	100,30	
	240737 pto 24	46,89	0,0616	0,0808	53,59	100,67	
	MEDIA	46,73	0,0700	0,1500	53,35	100,30	0,47

5 Discusión

De los resultados en las distintas mediciones, se puede concluir que las muestras de pirita que se encuentran asociadas a la mena ferrífera, son las que tienen mayores concentraciones de cobalto, con una media de 0,8%, para el caso de agregados cristalinos, y de 0,71%, en las de vetillas de pirita.

Para las muestras que no se encuentran asociadas a la magnetita, igual poseen valores considerables en el caso de los agregados cristalinos, los que presentan una media de 0,31% y valores puntuales por sobre el 0,5%.

Sólo las muestras correspondientes a vetillas sin asociación con magnetita arrojaron valores que las hacen descartables de una evaluación económica con una media de 0,07%.

Desde el punto de vista de la química de las piritas, las razones Co:Ni (Campbell y Either, 1984; Lagas, 2016) sugieren un origen del tipo IOCG, con valores entre 1 y 5 para los agregados de pirita (Figura 4), las vetillas de pirita con magnetita, muestran afinidad al campo de IOA (razón > 10), mientras que las vetillas de pirita sin magnetita caen en el campo IOCG, colindante con Pórfido cuprífero (razón < 0,5).

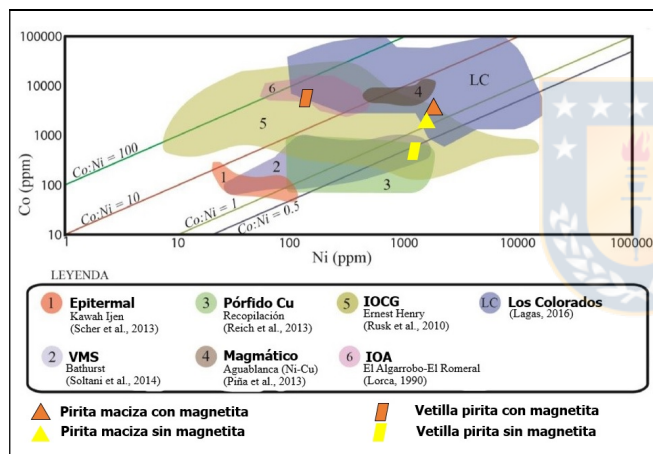


Figura 4: Gráfico de razones Co:Ni, modificado de Lagas, 2016

5.1 Distribución de piritas

Al realizar el mapeo de los sondajes diamantinos, para la evaluación posterior de piritas, se consideraron parámetros de porcentaje en volumen, modo de ocurrencia y asociación paragenética. Por lo tanto, utilizando éstos parámetros se filtraron las zonas con pirita en asociación con magnetita y se le incorporaron los valores medios de Cobalto, según los resultados mostrados en el subcapítulo anterior.

Con esta información se modelaron los sólidos representativos de cada unidad, utilizando el software Gemcom © 6.5 en las oficinas de CAP Minería (Figura 5).

El modelado de unidades se realizó en el cuerpo norte del yacimiento, el cual consta de cinco perfiles, los cuales fueron cubicados de forma independiente, a fin de evitar la dilución producto de la distancia entre ellos.

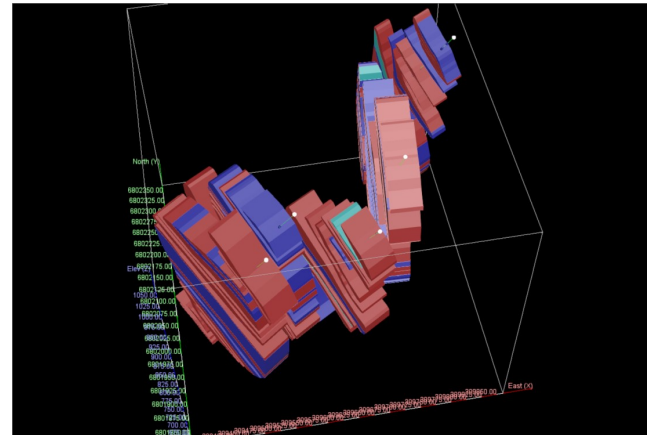


Figura 5: Vista Isométrica de los perfiles cubicados en el sector norte.

Los resultados de tonelaje total de roca, tonelaje de piritas y tonelaje de cobalto se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen de valores de toneladas de roca, volumen y tonelaje de piritas y tonelaje de cobalto.

PERFIL	ROCKCODE	TONNAGE	VOL PY	TON PY	%CO W	TON CO
1-NORTE	CCM	883.548,566	3.719,486	18.597,430	0,80	148,779
1-NORTE	CSM	92.429,605	122,872	614,361	0,31	2,481
1-NORTE	VCM	1.556.397,725	5.116,001	25.580,007	0,71	181,618
1-NORTE	VSM	168.908,627	1.090,064	5.450,318	0,07	3,815
2-NORTE	CCM	1.915.041,122	4.335,779	21.678,896	0,80	173,431
2-NORTE	VCM	3.653.466,696	9.001,308	45.006,540	0,71	319,546
2-NORTE	VSM	459.846,291	464,174	2.320,869	0,07	1,625
3-NORTE	CCM	856.128,699	1.989,715	9.948,575	0,80	79,589
3-NORTE	CSM	101.138,561	101,467	507,333	0,31	1,573
3-NORTE	VCM	1.670.497,007	4.566,701	22.833,507	0,71	162,118
3-NORTE	VSM	225.983,500	285,471	1.427,355	0,07	0,999
4-NORTE	CCM	1.176.903,730	6.045,452	30.227,262	0,80	241,818
4-NORTE	VCM	3.006.752,932	5.493,622	27.468,112	0,71	195,024
5-NORTE	CCM	2.413.788,988	27.742,935	138.714,676	0,80	1.109,717
5-NORTE	VCM	2.896.305,679	9.541,223	47.706,114	0,71	338,713
5-NORTE	VSM	41.868,436	39,771	198,854	0,07	0,553
TOTAL		21.119.006,16		398.280,21		2.961,40

5.2 Evaluación económica

De acuerdo con los tonelajes mostrados en tabla anterior, se asigna a cada bloque la ley de Cobalto determinada con las mediciones EPMA, lo que entrega un total de 2.961,4 Ton de cobalto en el área norte del yacimiento.

6 Conclusiones

Como resultado de este trabajo se concluye que la hipótesis original de que las piritas podían contener elementos trazas, fue desarrollada y verificada, comprobando la presencia de cobalto y, en menor medida, níquel. Se debe destacar que en el estudio microscópico de las muestras no se identificó ninguna especie mineral que contenga cobalto y/o níquel en su estructura (ej.: cobaltita, linæita, carrolita, millerita, etc.).

De ambos elementos detectados, es posible evaluar económicamente la presencia de cobalto, el cual se estima en 398.280 Ton de pirita con ley media 0,743% Co para el bloque norte, quedando pendiente la evaluación del bloque sur.

En esta evaluación no se consideró el volumen de piritas que se presenta como diseminado fino. Por lo tanto, queda abierta la posibilidad de aumentar el contenido de cobalto en el prospecto.

De acuerdo con las razones Co:Ni obtenidas en las muestras, se concluye un origen temprano para las vetillas de pirita con magnetita, las que tienen afinidad IOA. Posteriormente se desarrolla el evento principal que produce los grandes volúmenes de pirita, el cual tiene afinidad IOCG (concordante con las mayores leyes de Co). Finalmente ocurre un evento tardío de afinidad IOCG-Pórfido cuprífero, que se traduce en las vetillas de pirita sin magnetita.

Por último, se recomienda realizar análisis químicos en las futuras muestras, que incorporen azufre y cobalto, de ésta manera se puede establecer una correlación directa entre la presencia de piritas (azufre) y el contenido de Cobalto, facilitando de éste modo la evaluación de la mena.

7 Referencias

Arévalo, C.; Mourgues, F.A. & Chávez, R. 2009. Geología del Área Vallenar-Domeyko, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 120: 64 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

CAP. 1978. Estudio Metalúrgico del Mineral de Domeyko II. Departamento de Ingeniería de Desarrollo, Superintendencia de Desarrollo. Informe Interno: 39 pp. Vallenar.

Creixell, C.; Ortiz, M. & Arévalo, C. 2012. Geología del área Carrizalillo-El Tofo, Regiones de Atacama y Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de

Chile, Serie Geología Básica 133-134: 82 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago

Espinoza, S. 1979. Una Hipótesis Sobre la Metalogénesis de la Franja Ferrífera, Actas II Congreso Geológico, Arica Tomo 2: C1-C21.

Geocronos Servicios Geológicos, 2012. Estudio Petrográfico-Calcoográfico, CAP Minería. Informe Interno: 127 pp: La Serena.

González, H. 2009. Geología de Superficie Proyecto Domeyko II, III Región, Chile. 33 pp. Informe Interno.

Lagas, G. 2016. Estudio de la Química Mineral de la Pirita del Yacimiento Magnetita – Apatito de Los Colorados, III Región de Atacama, Chile. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Chile.

Letelier, M. 1998. Estudio Geológico Proyecto Domeyko II. Asesorías Geológicas Geonorte Ltda. 27 pp. Informe Interno. Vallenar.

Lorca, G. 1990. Caracterización Geoquímica y Cristalográfica de las Piritas de los Yacimientos de Hierro El Algarrobo y El Romeral. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Chile.

Moscoso, R.; Nasi C.; & Salinas P. 1982: Hoja Vallenar y Parte Norte de la Serena, Regiones de Atacama y Coquimbo, Carta Geológica de Chile, Escala 1:250.000. Santiago.

Pincheira, M. 2014. Estudio de la Microquímica mediante Microsonda Electrónica de muestras de Piritas Cobaltíferas de Compañía Minera Pacifico. Instituto De Geología Económica Aplicada. CAP Minería, Informe Interno: 6 pp. Concepción.

Rojo, M. 2003. Informe de Visita Técnica Preliminar a Prospectos San Pablo y Domeyko II, III Región. CAP Minería. Informe Interno: 5 pp. La Serena.

Rojo, M. 2007. Geología del Distrito Ferrífero Minas El Romeral. CAP Minería. Informe Interno: 12pp. La Serena.

Villagrán, J. 1997. Informe Geológico Sector Domeyko II, Comuna de Vallenar, Provincia del Huasco, III Región. CAP Minería, Informe Interno: 15 pp. Vallenar.



Universidad
de Concepción



DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZAS CON VALOR ECONÓMICO, EN LAS PIRITAS DEL PROSPECTO FERRÍFERO DOMEYKO II, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.

Defensa para optar al Título de Geólogo

OSCAR ANTONIO JELDRES SALINAS

Profesional Guía: Sr. Leonardo Hugo Vergara Olguín †

Profesores Comisión: MSc. Abraham Elías González Martínez

MSc. Liubow González Martínez

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

1. Introducción

El prospecto Ferrífero Domeyko II, se ubica en la Región de Atacama, 60 Km al SSW de la ciudad de Vallenar y a 10 Km al NW de la localidad de Domeyko (Figura 1).

El acceso se realiza desde la ciudad de Vallenar, siguiendo la Carretera Panamericana (Ruta 5 Norte) por 50 Km al sur, hasta el cruce con la Quebrada de Pastos Largos. Desde ahí se sigue un camino ripiado (C-562) en regular estado, por 12 Km.

El área de prospección se ubica en el flanco oriental de la cordillera de la costa con cotas que fluctúan entre los 900 y 1.200 m s.n.m.



Figura 1: Ubicación prospecto Domeyko II, modificado Turistel.

Agradecimientos: El presente trabajo fue posible gracias al apoyo y decisión de los dos jefes del Área de Geología de CAP Minería que se sucedieron en el tiempo de elaboración de éste. Siendo el señor Leonardo Vergara (Q.E.P.D.) un actor fundamental en la decisión inicial de estudiar las piritas y el señor Mario Rojo un defensor y motivador de su finalización.

1. Introducción

- El prospecto Ferrífero Domeyko II perteneciente a CAP Minería, se ubica en la denominada Franja Ferrífera Cretácica (FFC), emplazado en la Zona de Falla Atacama (ZFA).
- Una primera evaluación, que incluyó estudios geológicos de superficie y sondajes de aire reverso (CAP 1974 y 1977), indicó baja concentración de magnetita, y el prospecto fue **descartado** en una primera instancia.
- En el año 2007, se realizó una nueva campaña de sondajes tendiente a **reevaluar el prospecto**.
- Dentro de este proceso de evaluación, se observa una marcada interrelación entre el hierro (magnetita) y grandes cantidades de pirita (hasta 30% volumen), las cuales deben ser desechadas como **estéril** en caso de desarrollarse una explotación futura del yacimiento.

Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la presencia de elementos trazas de valor económico, en las piritas del prospecto Ferrífero Domeyko II. Determinando las especies y su concentración.

Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se pretende:

- * Caracterizar la existencia de elementos trazas, que puedan ser recuperados como subproducto económico dentro de la explotación de hierro.
- * Evaluar el volumen y/o tonelaje de piritas dentro del yacimiento y por ende, el contenido de él o los elementos trazas detectados.
- * Aportar al modelo geológico con la descripción de muestras obtenidas desde los sondajes.
- * Aportar al entendimiento del origen de la mineralización, usando las razones entre los elementos detectados.

2. Marco Geológico

2.1 Geología Distrital

Se presenta como un “roof pendant” de rocas volcánicas de la Formación Punta Del Cobre (Segerstrom y Parker, 1959; Arévalo *et al.*, 2009), que cuelga sobre un Batolito de composición tonalítica (Moscoso *et al.*, 1982).

El Batolito de composición tonalítica forma parte de la Franja Central descrita por Moscoso *et al.* (1982). Reconociéndose en el área el Complejo Plutónico Retamilla Kir (d), el Complejo Plutónico La Higuera Kih (gd) (d), Granodiorita El Ruso Kigdr, Diorita El Pingo Kidp y Monzodiorita Domeyko Kimdd (Arévalo *et al.*, 2009)(Figura 2).

Existe un sistema de fallas de orientación **NS a NNE-SSW**, perteneciente a la Falla de Atacama, asociada a franjas de rocas cataclásticas y miloníticas (Letelier, 1998). Este sistema NS a NNE-SSW, es coincidente con la Zona de Cizalle El Algarrobo (ZCA), que se presenta como el principal lineamiento estructural a nivel distrital.

La (ZCA), corresponde a una franja de milonitas de ancho variable entre 400 y 800 m con dirección NNE-SSW, que en el área de Vallenar y Domeyko, pone en contacto rocas de la Formación Punta del Cobre con intrusivos del Cretácico Inferior (Creixell *et al.*, 2012).

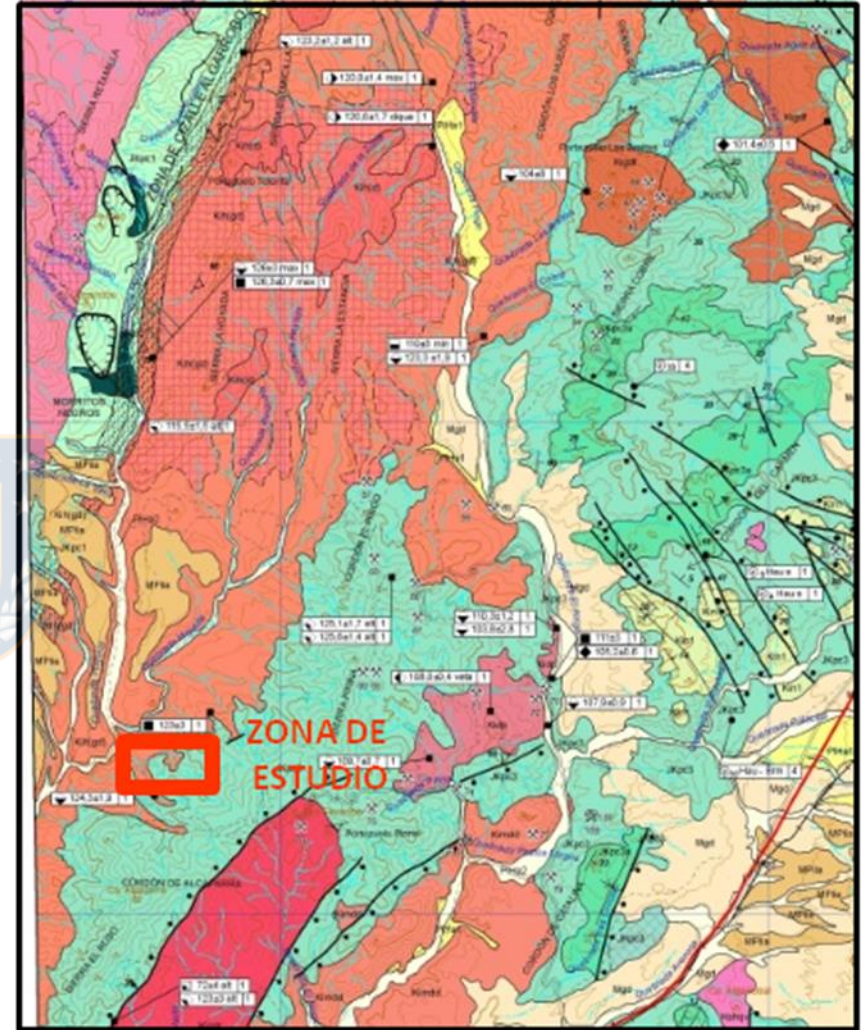


Figura 2: Geología Regional, modificado Arévalo *et al.* (2009).

2. Marco Geológico

2.2 Geología Local

El prospecto Ferrífero Domeyko II, corresponde a un depósito con mineralización de hierro, que se desarrolló en un ambiente de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal, en el cual un intrusivo de composición diorítica se emplazó en rocas andesíticas, produciendo una aureola metamórfica, descrita como andesítica corneana que hospeda las estructuras mineralizadas (González, 2009).

En el sector sur del depósito, se presenta una roca de asimilación entre diorita y andesita que también ha sido descrita como roca de mezcla y que hospeda a las estructuras mineralizadas detectadas en profundidad.

En la parte central se caracteriza por ser un roof pendant de andesita con alteración de actinolita y contacto controlado por fallas (Figura 3).

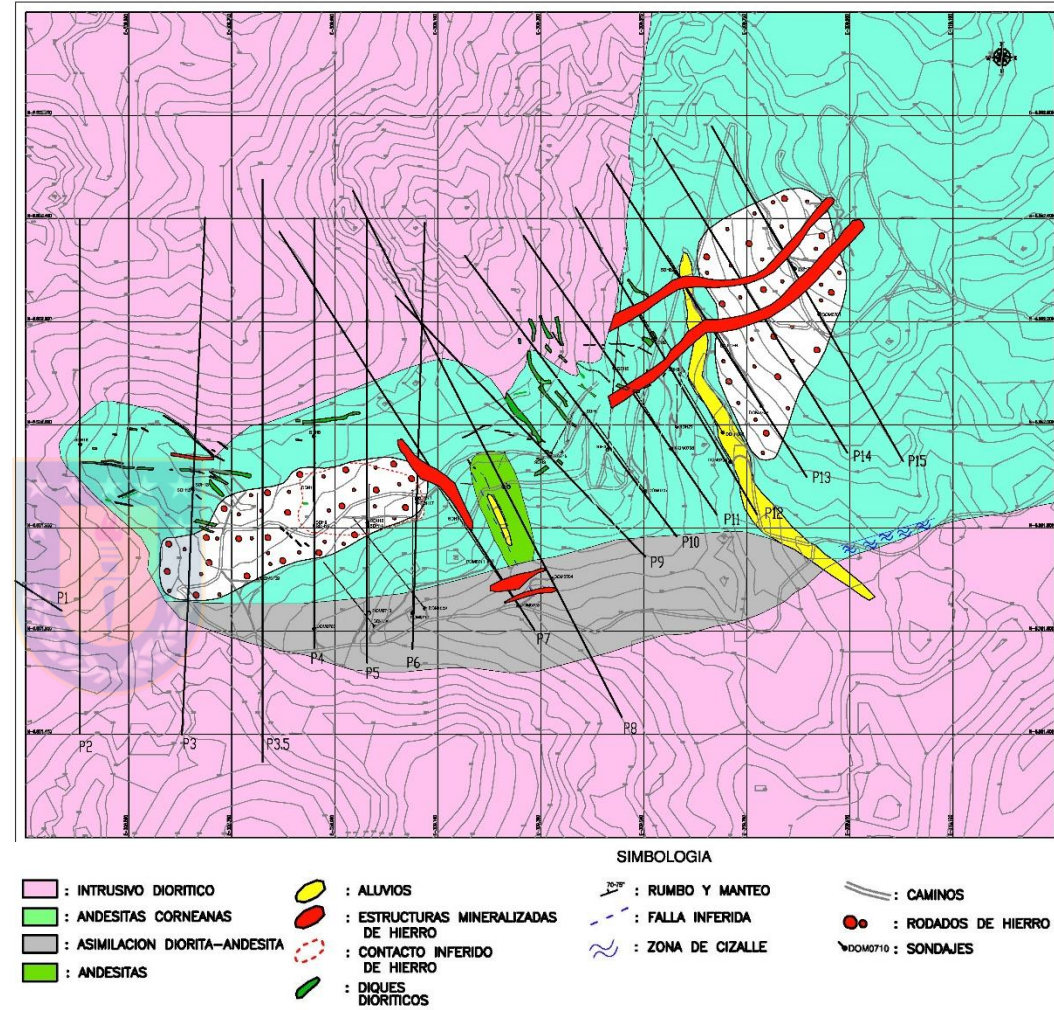


Figura 3: Geología Superficie (González, 2009).

3. Descripción del problema

Al describir los testigos de sondajes, se observa una marcada interrelación entre el hierro (magnetita) y grandes cantidades de pirita (hasta 30% volumen), las cuales deben ser desechadas como estéril en caso de desarrollarse una explotación futura del yacimiento.

En este contexto, y teniendo como antecedente la capacidad de las piritas de contener elementos trazas de valor económico (Lorca, 1990), se tomó la decisión de evaluar esta posibilidad (hipótesis de trabajo), tratando de resolver tres interrogantes principales:

- a) existencia o no de elementos trazas en las piritas
- b) a que elementos corresponden
- c) cuál es su concentración.

Este trabajo se desarrolla con la finalidad de incrementar el valor económico del yacimiento para la empresa.

Nota: Resultados de Lorca, 1990. Piritas de:

- El Algarrobo: As, Co, Cu, Ag.
- El Romeral: Co, Ni, As, Ag, Au.

4. Metodología

- 1. Recopilación de documentación existente**, informes internos y publicaciones. Al mismo tiempo, se efectuó una revisión de trabajos publicados sobre elementos traza en piritas en yacimientos de distintas partes del mundo.
- 2. Descripción de los sondajes diamantinos**, basada en parámetros de litología, alteración y mineralización, además de incluir parámetros específicos para las piritas, tales como: zonas y modos de ocurrencia, concentraciones en volumen y minerales paragenéticos.
- 3. Confección de cortes** para corroborar las litologías presentes, así como establecer las asociaciones paragenéticas de la mena ferrífera y las piritas. Se realizaron 18 cortes transparentes y 8 cortes pulidos. Otro grupo de 4 muestras fue enviado al laboratorio del Departamento de Geología Económica Aplicada GEA, para la elaboración de briquetas de pirita, que fueron posteriormente estudiadas por Microsonda Electrónica (EPMA).
- 4. Caracterización de los elementos reconocidos**, realizando un análisis estadístico y un modelo de distribución.
- 5. Redacción** de la presente Memoria de Título.

5. Resultados

La integración de la información existente, sumada a los antecedentes aportados en el presente trabajo, permiten corroborar con nuevas muestras obtenidas directamente desde los sondajes diamantinos, las unidades presentes en el área definidas por González (2009).

5.1 Litología.

5.1.1 Andesitas corneanas

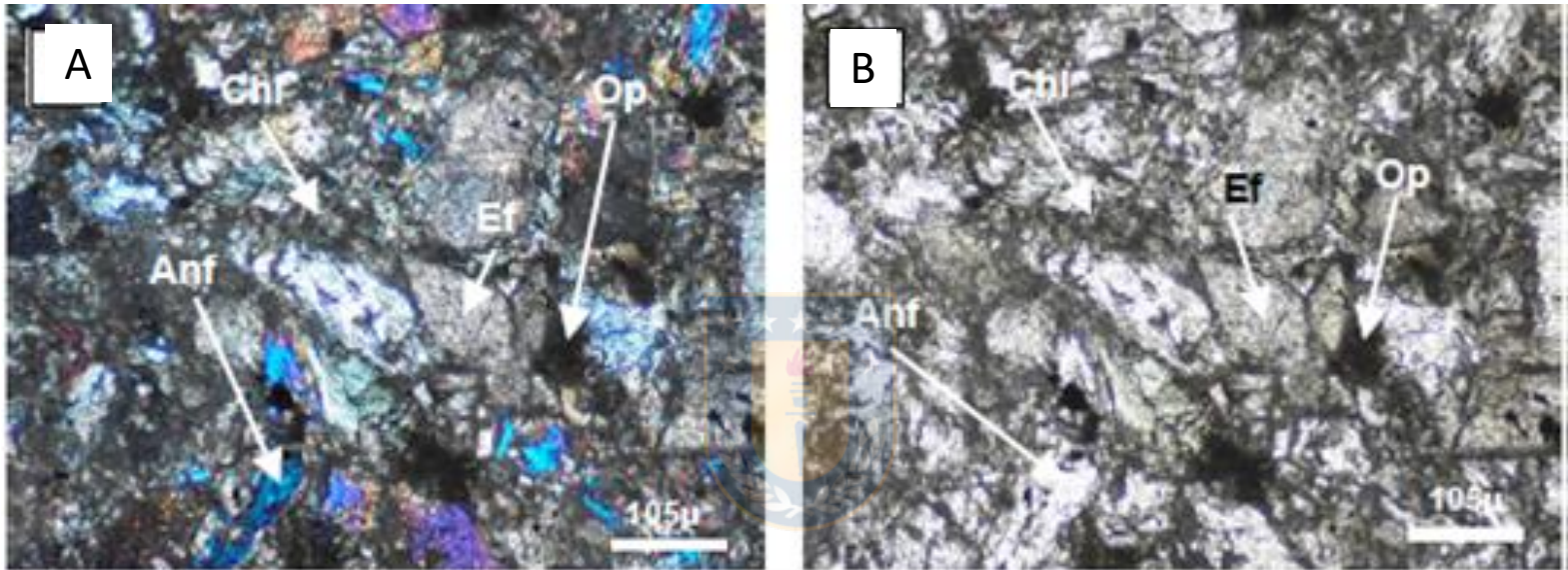
Corresponden al cuerpo central del proyecto y es la unidad que contiene la mineralización principal. Esta unidad se encuentra caracterizada por andesitas con alteración actinolítica y disseminación de magnetita (Fotografía 1).

La roca está afectada por intensa alteración que ha obliterado los rasgos texturales y mineralógicos primarios. No obstante, se esbozan algunos fenocristales de anfíboles embebidos en una masa fundamental microcristalina, lo que permite inferir su textura porfídica original.



Fotografía 1: andesita con intensa alteración actinolítica, presenta magnetita disseminada y vetillas de calcita.

La alteración predominante corresponde a un agregado de anfíbol, clorita, titanita, arcillas, y minerales opacos. Esta asociación mineralógica y su disposición en la muestra son consistentes con los efectos de un proceso metamórfico.



Fotomicrografía 1: (A), (B) Agregado de anfíbol, titanita (esfeno), clorita y minerales opacos. Nícoles cruzados y paralelos respectivamente, 100X.

Tanto las características generales como la asociación mineralógica y la textura porfídica inferida, además de otras evidencias mencionadas, llevan a clasificar la roca como **metandesita**.

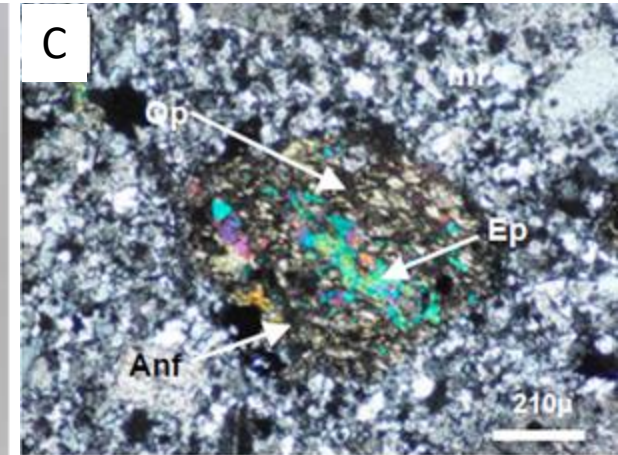
5.1.2 Intrusivo Diorítico

Corresponde a la litología dominante en el área del prospecto y se presenta intruyendo a las andesitas. Se observa en el área noroccidental y sur, además se usa como límite inferior en los sondajes de mayor profundidad.

Macroscópicamente se reconoce textura porfídica, ojos de cuarzo hasta 3% y cristales alargados de hornblenda de hasta 1cm (Fotografía 2). La masa fundamental está compuesta de plagioclasa, y cristales secundarios de cuarzo, además de un porcentaje menor de epidota, arcilla y minerales opacos.



Fotografía 2: pórfido diorítico, tramo final del sondaje Dom-0704.



Fotomicrografía 2: (C) Fenocristal de anfíbol alterado a clorita, con impregnaciones de epidota y minerales opacos. Inmersos en una masa fundamental de plagioclasa, cuarzo secundario, además de epidota, opacos y arcilla en menor proporción, 50X.

Las características texturales la mineralogía primaria preservada, sugieren origen volcánico a subvolcánico y composición en el campo de las andesitas/dioritas. La presencia de cuarzo subredondeado tipo “ojos” hace presumir un origen hipabisal somero, en cuyo caso la muestra puede ser clasificada como **pórfido diorítico**.

5.1.3 Asimilación Dioríta-Andesita

Corresponde a una franja elongada este-oeste en la zona centro sur del proyecto, controlada por fallas, constituida por rocas de mezcla, fuertemente tectonizadas, con presencia de bandas de minerales cortadas y desplazadas (Fotografía 3).



Fotografía 3: testigo de la zona denominada asimilación diorita-andesita, corresponde a un gneiss con vetillas de magnetita y centro pirita.

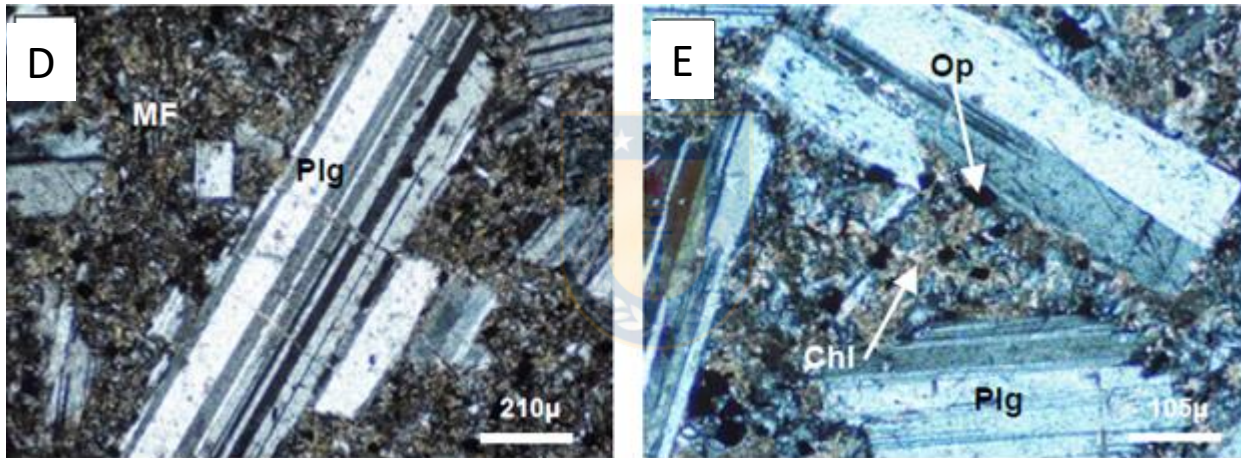
Al microscopio es una roca metamórfica gnéisica, como producto de metamorfismo dinámico, que se encuentra caracterizada por bandas de minerales y vetillas cortadas y deformadas en el sentido del cizalle.

Las características texturales permiten clasificar a la roca como un **gneiss**.

5.1.4 Andesita

Corresponde a una pequeña franja elongada norte-sur, que aflora en la parte central del área, limitada al sur por falla con la zona de asimilación diorita-andesita (gneiss).

Posee textura porfídica seriada, localmente intersertal (intersticios de plagioclasas rellenos con material secundario), caracterizada por fenocristales de plagioclasa y piroxenos (ortopiroxenos y clinopiroxenos) inmersos en una masa fundamental compuesta de plagioclasa, clorita, arcilla, minerales opacos, ± carbonato. La relación entre los fenocristales y masa fundamental es 59/41. Los fenocristales de plagioclasa ocurren como cristales euhedrales a subhedrales, de 0,2 a 3,2 mm de largo, frecuentemente con hábito tabular y maclas polisintéticas bien conservadas (Fotomicrografía 3).



Fotomicrografía 3: (D) Fenocristal de plagioclasa inmerso en masa fundamental (textura porfídica). Nicales cruzados, 50X. (E) cristales de plagioclasa pertenecientes a la masa fundamental, formando un armazón relleno por material secundario (clorita, opacos, arcilla). Nicales cruzados, 100X.

La masa fundamental se encuentra constituida por cristales de plagioclasas subhedrales de grano fino (menor a 0,2 mm), mal conservados y agregados anhedrales de clorita, junto a arcilla y carbonato.

Las características mineralógicas y texturales permiten clasificar la roca como una **andesita de clinopiroxeno**.

5.2 Mineralización ferrífera

La mineralización de hierro se presenta como vetas de magnetita, y en menor proporción como vetillas polidireccionales que en profundidad gradan a textura brechosa, de acuerdo a la clasificación de texturas de yacimientos de hierro propuesta por Espinoza 1979 (Figura 4).

En cuanto a la mineralización por vetas, éstas tienen potencias de 20 a 100 m y corridas de 500 y 600 m. En la parte superficial, se presentan oxidadas (hematíticas) disminuyendo la relación de oxidación con la profundidad.

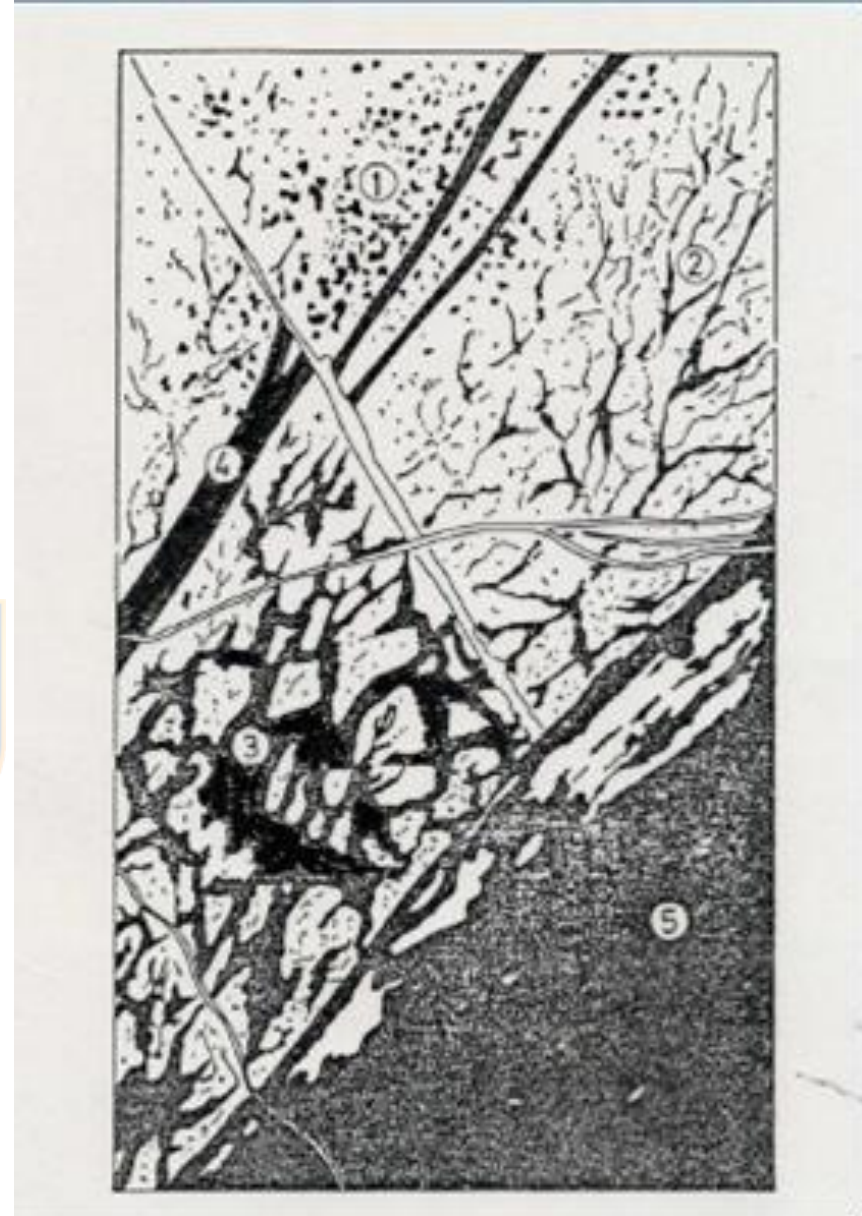
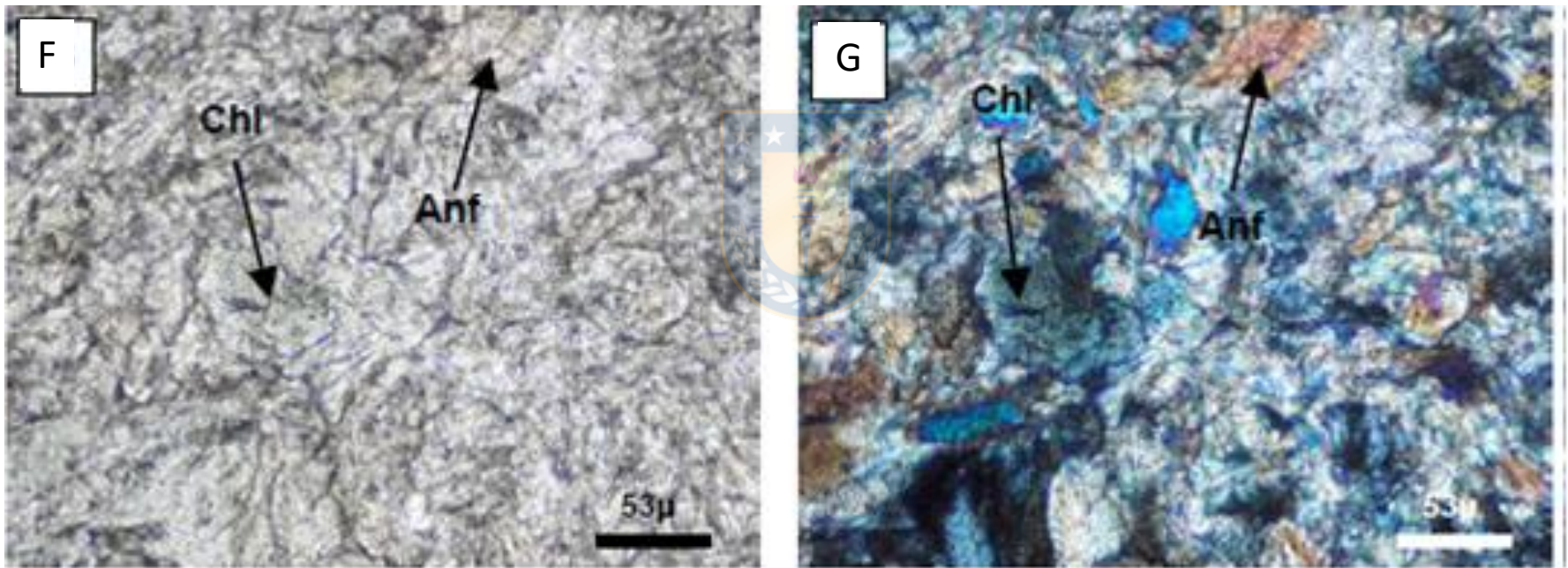


Figura 4: diagrama de clasificación de texturas de yacimientos de hierro, tomado de Espinoza (1979); 1) diseminado 2) vetillas polidireccionales 3) brechoso 4) vetas 5) macizo.

5.3 Alteración

5.3.1 Anfibolitización (actinolita)

Corresponde a la principal alteración del prospecto y se observa como reemplazo pervasivo en la roca caja andesítica (Fotomicrografía 2), con volúmenes superiores al 10% de la roca, siendo el factor principal del término "metandesita" utilizado ampliamente a lo largo de la FFC.



Fotomicrografía 4: (F), (G) Anfíbol y clorita, presentes en masa de alteración. Nicoses paralelos y cruzados respectivamente, 200X.

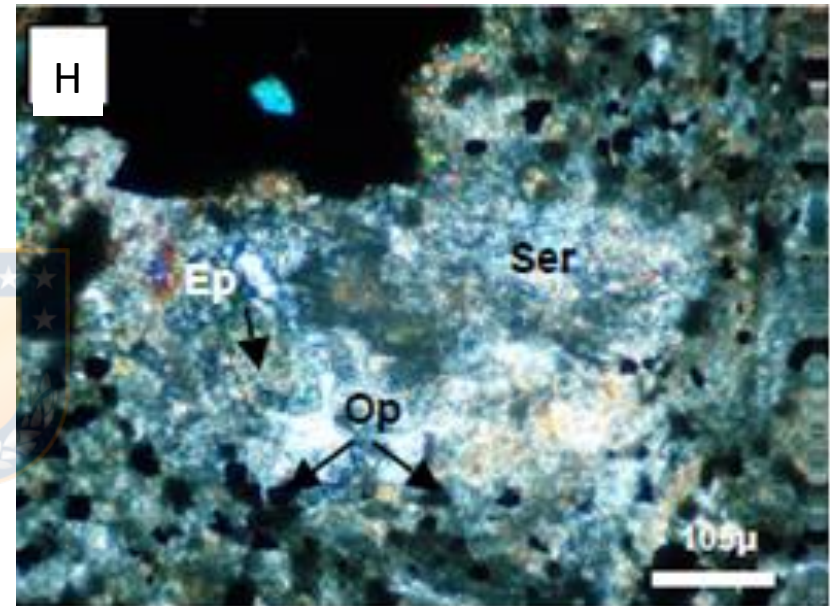
5.3.2 Clorita-epídota

La clorita-epidota está relacionada principalmente al proceso de metamorfismo sufrido por la caja andesítica y, en menor proporción, a la anfibolitización.

La asociación mineralógica de anfíbol-clorita-epidota, su tamaño de grano y la disposición en la roca, es consistente con los efectos de un proceso metamórfico.

5.3.3 Sericitización

Ocurre como pseudomorfo de cristales tabulares, posiblemente de plagioclasas. El tamaño varía entre los 0,7 mm y 0,07 mm (microlitos de la masa fundamental original). En algunos cristales pseudomorfos se reconocen impregnaciones de epidota e incipiente argilización (Fotomicrografía 3).



Fotomicrografía 5: sericita como pseudomorfo de plagioclasa con impregnaciones de epidota y rodeado de minerales opacos, 100X.

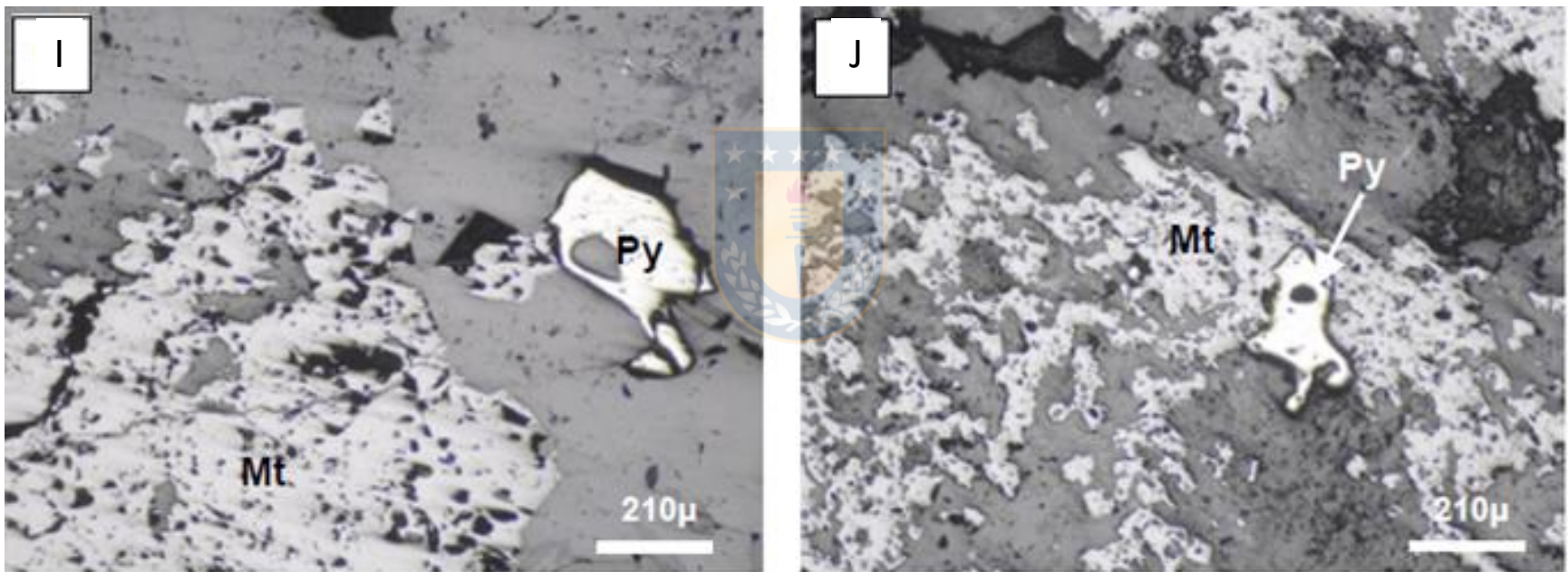
5.3.4 Arcillización

Es posible identificar agregados de arcillas en todas las muestras descritas. Se observa sobre las plagioclasas junto a sericita y en asociación con minerales de alteración como epidota-clorita.

5.4 Ocurrencia de piritas

5.4.1 Diseminado

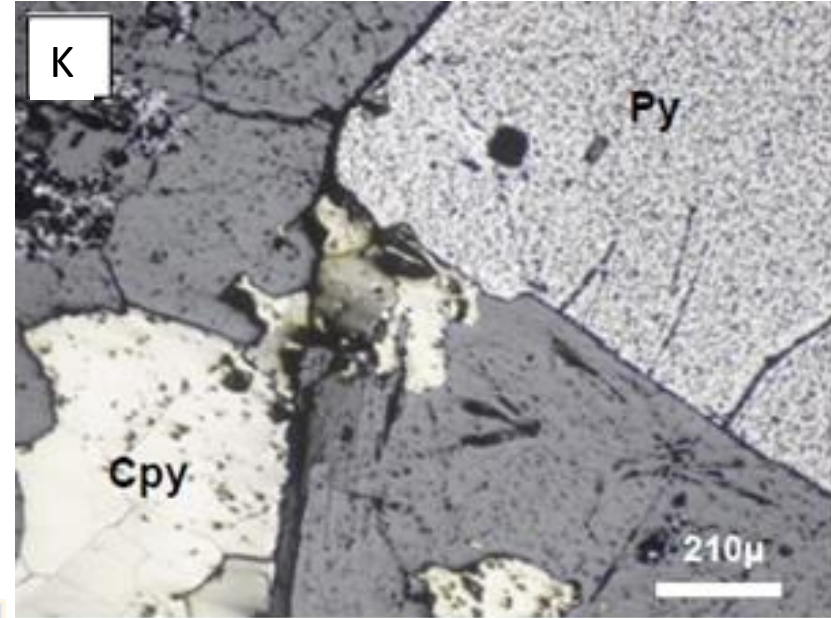
Tanto en forma macroscópica y microscópica, se observan agregados anhedrales de pirita en contacto simple con la mena ferrífera (magnetita), en porcentajes que varían de 5% hasta 30% en volumen (Fotomicrografía 4).



Fotomicrografía 6: (I), (J) Pirita anhedral junto a magnetita, nicoles paralelos, 50X

5.4.2 Vetillas

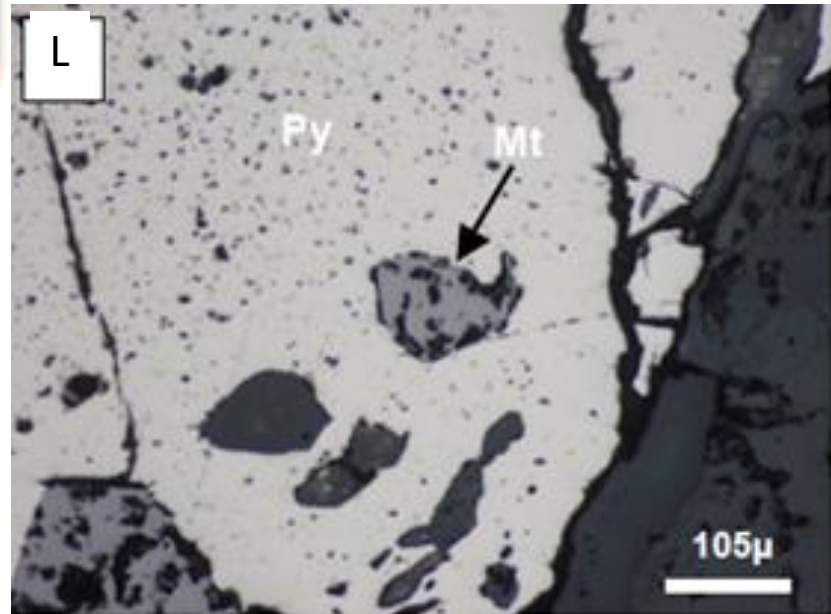
La pirita se observa como relleno de vetillas de cuarzo-turmalina-epidota junto a magnetita, en ocasiones tienen inclusiones anhedrales de calcopirita (Fotomicrografía 7).



Fotomicrografía 7: Pirita y calcopirita en vetilla, nicols paralelos, 50X.

5.4.3 Agregados cristalinos

Cristales subhedrales a euhedrales, generalmente de forma cúbica y tamaño variable entre 0,7 y 4 mm, en forma diseminada. Subordinadamente forma agregados junto con cristales de magnetita, pirrotina y calcopirita como relleno de espacios (Fotomicrografía 8).



Fotomicrografía 8: Magnetita rellenando espacios (oquedades) en pirita, nicols paralelos, 100X

5.5 Elementos trazas contenidos

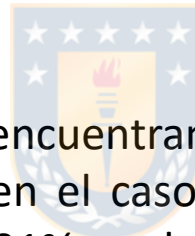
- Se seleccionaron dos muestras de vetillas de pirita y dos de agregados cristalinos. En ambos casos se consideró la asociación con mena ferrífera tanto en presencia y ausencia (con y sin magnetita).
- Las cuatro muestras seleccionadas fueron enviadas a los laboratorios del GEA, dónde se procesaron los cortes y realizaron las preparaciones para las mediciones, de acuerdo a condiciones analíticas propias del equipo (Pincheira, 2014).
- Las lecturas cualitativas de reconocimiento de elementos en los cristales de pirita dieron como resultado preliminar la presencia de **cobalto** y **níquel**, sin detectarse ningún otro elemento de interés.
- Posteriormente se recalibró el equipo con parámetros de Co y Ni, y se procedió a la lectura cuantitativa de éstos elementos, cuyos resultados se entregan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de las mediciones en cada tipo de muestra (wt%= porcentaje en peso; n.d.= no detectado).

TIPO MUESTRA	Muestra / Punto	Elemento wt%				Total	RAZÓN Co/Ni
		Fe	Co	Ni	S		
Pirita maciza con magnetita	266840 pto 01	45,88	11,905	n.d.	53,92	101,00	
	266840 pto 02	46,08	0,7190	0,0473	53,48	100,33	
	266840 pto 03	46,20	11,380	n.d.	53,74	101,10	
	266840 pto 04	46,85	0,1211	0,5577	53,46	100,99	
	266840 pto 05	46,88	10,229	n.d.	53,81	101,73	
	266840 pto 06	46,01	10,178	0,0513	53,78	100,85	
	266840 pto 07	46,62	0,4710	n.d.	53,57	100,68	
	266840 pto 08	46,44	0,5529	n.d.	53,34	100,36	
	266840 pto 09	45,76	0,9577	n.d.	53,21	99,93	
	MEDIA	46,30	0,8000	0,2200	53,59	100,77	3,65
Pirita maciza sin magnetita	252835 pto 25	46,17	0,5656	0,1059	53,69	100,53	
	252835 pto 26	46,67	0,1333	0,3212	53,30	100,42	
	252835 pto 27	46,08	0,1572	0,3211	52,85	99,41	
	252835 pto 28	46,16	0,5453	0,0445	53,43	100,19	
	252835 pto 29	46,76	0,1664	n.d.	53,29	100,22	
	252835 pto 30	46,36	0,1687	n.d.	53,19	99,73	
	252835 pto 31	46,66	0,6518	n.d.	53,18	100,49	
	252835 pto 32	47,22	0,0712	n.d.	53,92	101,42	
		MEDIA	46,51	0,3100	0,2000	53,36	100,30
Vetilla pirita con magnetita	240793 pto 10	47,35	0,2839	0,0607	53,41	101,10	
	240793 pto 11	45,95	0,6083	n.d.	53,19	99,75	
	240793 pto 12	46,59	0,7574	n.d.	53,17	100,53	
	240793 pto 13	46,08	0,6119	n.d.	52,83	99,53	
	240793 pto 14	45,18	15,997	n.d.	52,94	99,72	
	240793 pto 15	46,48	0,6522	n.d.	53,18	100,33	
	240793 pto 16	46,36	0,4409	0,0268	53,06	99,88	
	MEDIA	46,28	0,7100	0,0400	53,11	100,12	16,18
Vetilla pirita sin magnetita	240737 pto 17	46,75	0,0989	0,1823	53,45	100,49	
	240737 pto 18	46,26	0,1408	0,1367	53,08	99,63	
	240737 pto 19	46,80	0,0546	n.d.	53,09	99,98	
	240737 pto 20	47,03	0,0635	0,2711	53,52	100,89	
	240737 pto 21	46,24	0,0573	0,1256	53,35	99,78	
	240737 pto 22	47,10	0,0573	0,2099	53,29	100,65	
	240737 pto 23	46,73	0,0427	0,0744	53,45	100,30	
	240737 pto 24	46,89	0,0616	0,0808	53,59	100,67	
	MEDIA	46,73	0,0700	0,1500	53,35	100,30	0,47

6. Discusión

- De los resultados en las distintas mediciones, se puede concluir que las muestras de pirita que se encuentran **asociadas** a la mena ferrífera, son las que tienen mayores concentraciones de cobalto, con una media de 0,8%, para el caso de agregados cristalinos, y de 0,71%, en las de vetillas de pirita.
- Para las muestras que no se encuentran asociadas a la magnetita, igual poseen valores considerables en el caso de los agregados cristalinos, los que presentan una media de 0,31% y valores puntuales por sobre el 0,5%.
- Sólo las muestras correspondientes a vetillas sin asociación con magnetita arrojaron valores que las hacen descartables de una evaluación económica con una media de 0,07%.



Desde el punto de vista de la química de las piritas, las razones Co:Ni (Campbell y Eicher, 1984; Lagas, 2016) sugieren un origen del tipo IOCG, con valores entre 1 y 5 para los agregados de pirita (Figura 5), las vetillas de pirita con magnetita, muestran afinidad al campo de IOA (razón > 10), mientras que las vetillas de pirita sin magnetita caen en el campo IOCG, colindante con Pórfido cuprífero (razón < 0,5).

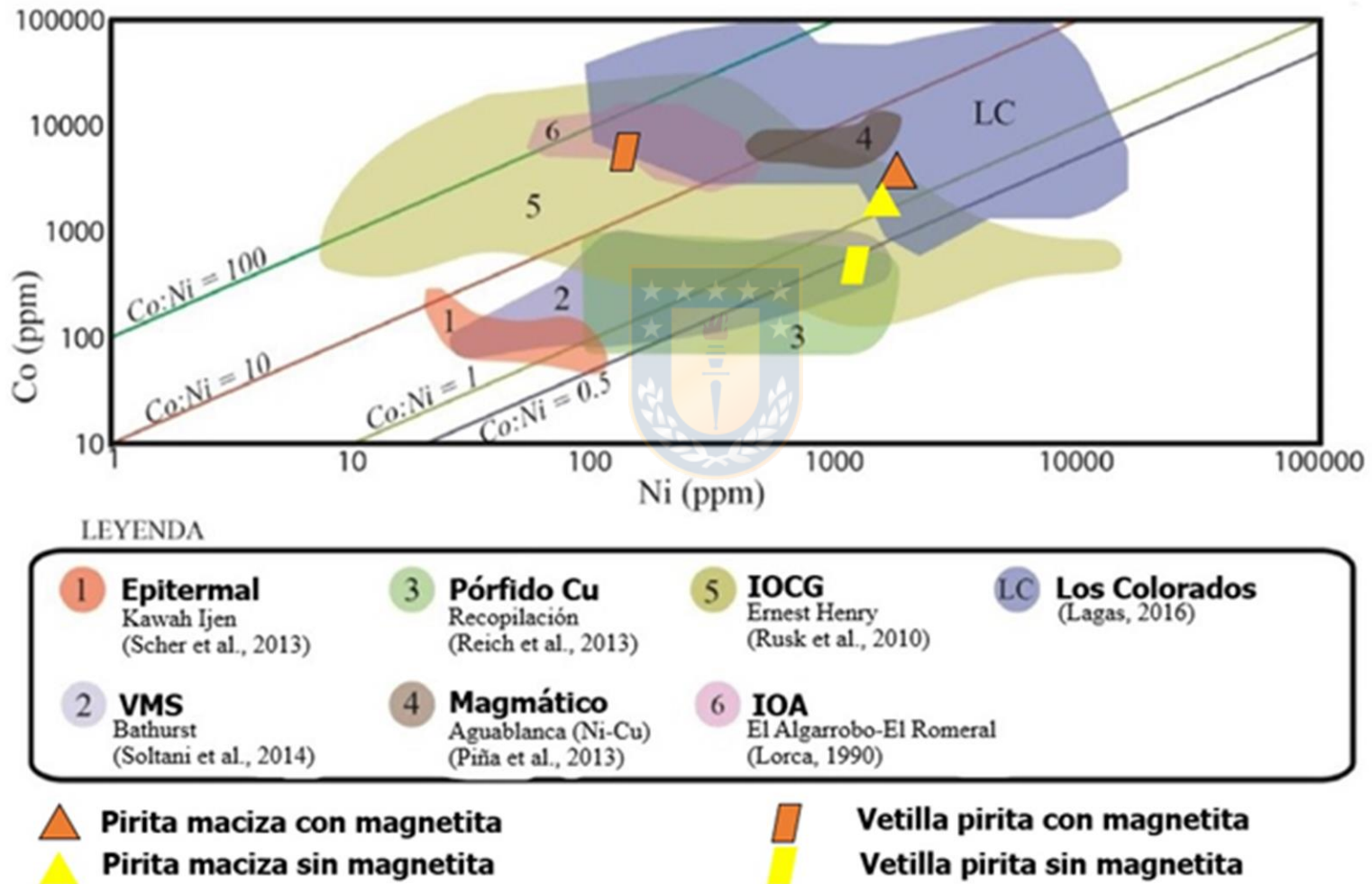


Figura 5: Gráfico de razones Co:Ni, modificado de Lagas, 2016.

Jeldres, 2020. Piritas cobaltíferas Domeyko II.

6.1 Distribución de piritas

- Al realizar el mapeo de los sondajes diamantinos, para la evaluación posterior de piritas, se consideraron parámetros de porcentaje en volumen, modo de ocurrencia y asociación paragenética. Por lo tanto, utilizando éstos parámetros se filtraron las zonas con pirita en asociación con magnetita y se le incorporaron los valores medios de Cobalto.
- Con esta información se modelaron los sólidos representativos de cada unidad, utilizando el software Gemcom © 6.5 en las oficinas de CAP Minería (Figura 6 y 7).
- El modelado de unidades se realizó en el cuerpo norte del yacimiento, el cual consta de cinco perfiles, los cuales fueron cubicados de forma independiente, a fin de evitar la dilución producto de la distancia entre ellos.

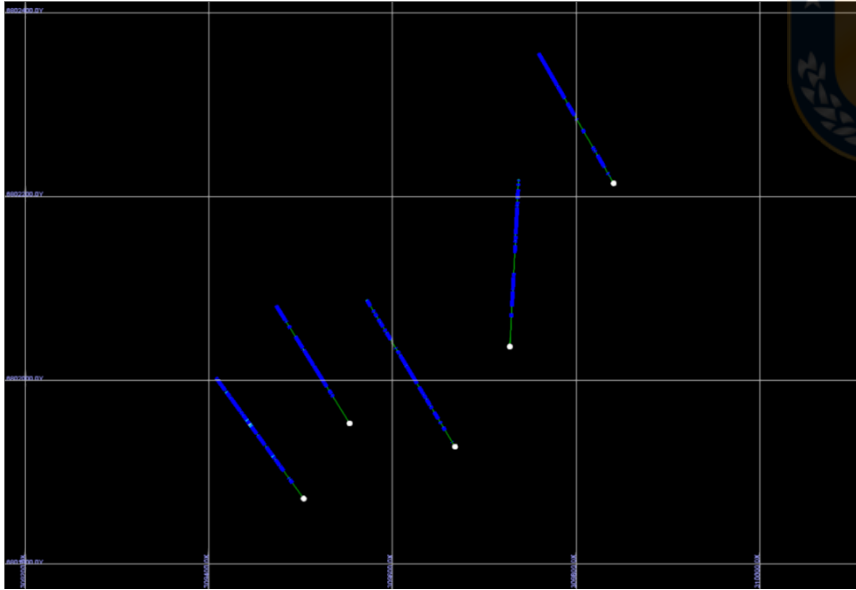


Figura 6: Vista en planta de los perfiles, cuadros blancos representan 200 x 200 m.

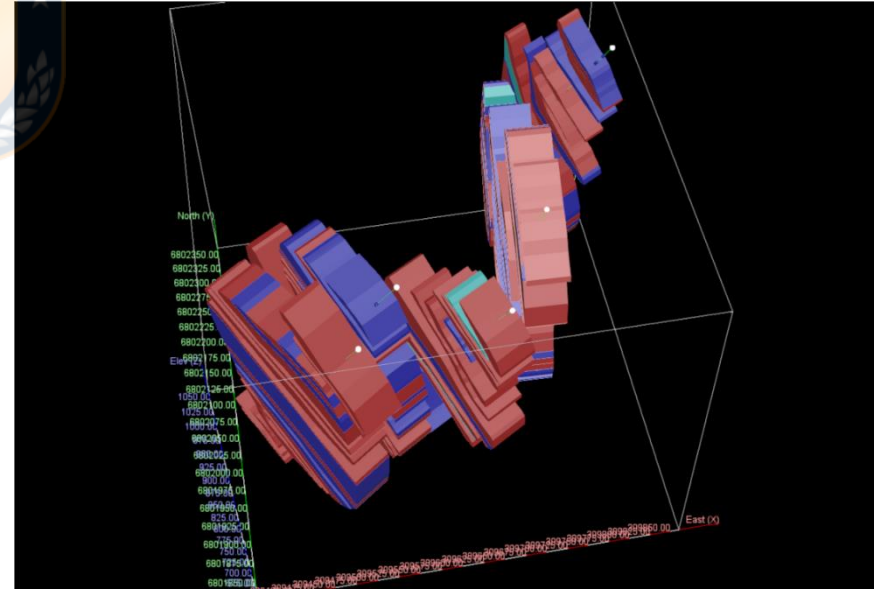


Figura 7: Vista Isométrica de los perfiles cubicados en el sector norte.

Tabla 2: Resumen de valores de toneladas de roca, volumen y tonelaje de piratas y tonelaje de cobalto.

PERFIL	ROCKCODE	TONNAGE	VOL PY	TON PY	%CO_W	TON CO
1-NORTE	CCM	883.548,566	3.719,486	18.597,430	0,80	148,779
1-NORTE	CSM	92.429,605	122,872	614,361	0,31	2,481
1-NORTE	VCM	1.556.397,725	5.116,001	25.580,007	0,71	181,618
1-NORTE	VSM	168.908,627	1.090,064	5.450,318	0,07	3,815
2-NORTE	CCM	1.915.041,122	4.335,779	21.678,896	0,80	173,431
2-NORTE	VCM	3.653.466,696	9.001,308	45.006,540	0,71	319,546
2-NORTE	VSM	459.846,291	464,174	2.320,869	0,07	1,625
3-NORTE	CCM	856.128,699	1.989,715	9.948,575	0,80	79,589
3-NORTE	CSM	101.138,561	101,467	507,333	0,31	1,573
3-NORTE	VCM	1.670.497,007	4.566,701	22.833,507	0,71	162,118
3-NORTE	VSM	225.983,500	285,471	1.427,355	0,07	0,999
4-NORTE	CCM	1.176.903,730	6.045,452	30.227,262	0,80	241,818
4-NORTE	VCM	3.006.752,932	5.493,622	27.468,112	0,71	195,024
5-NORTE	CCM	2.413.788,988	27.742,935	138.714,676	0,80	1.109,717
5-NORTE	VCM	2.896.305,679	9.541,223	47.706,114	0,71	338,713
5-NORTE	VSM	41.868,436	39,771	198,854	0,07	0,553
TOTAL		21.119.006,16		398.280,21		2.961,40

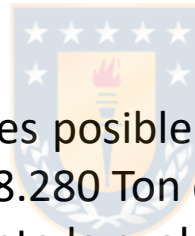
6.2 Evaluación económica

De acuerdo con los tonelajes mostrados en tabla anterior, se asigna a cada bloque la ley de Cobalto determinada con las mediciones EPMA, lo que entrega un total de **2.961,4 Ton** de cobalto en el área norte del yacimiento.

NOTA: Para los mismos perfiles, la cubicación por Hierro entrega 4.869.279,3 Ton.

7. Conclusiones

- Como resultado de este trabajo se concluye que la hipótesis original de que las piritas podían contener elementos trazas, fue desarrollada y verificada, comprobando la presencia de cobalto y, en menor medida, níquel. Se debe destacar que en el estudio microscópico de las muestras no se identificó ninguna especie mineral que contenga cobalto y/o níquel en su estructura (ej.: cobaltita, linnaeita, carrolita, millerita, etc.).
- De ambos elementos detectados, es posible evaluar económicamente la presencia de cobalto, el cual se estima en 398.280 Ton de pirita con ley media 0,743% Co para el bloque norte, quedando pendiente la evaluación del bloque sur.
- En esta evaluación no se consideró el volumen de piritas que se presenta como diseminado fino. Por lo tanto, queda abierta la posibilidad de aumentar el contenido de cobalto en el prospecto.



- De acuerdo con las razones Co:Ni obtenidas en las muestras, se concluye un origen temprano para las vetillas de pirita con magnetita, las que tienen afinidad IOA. Posteriormente se desarrolla el evento principal que produce los grandes volúmenes de pirita, el cual tiene afinidad IOCG (concordante con las mayores leyes de Co). Finalmente ocurre un evento tardío de afinidad IOCG-Pórfido cuprífero, que se traduce en las vetillas de pirita sin magnetita.
- Por último, se recomienda realizar análisis químicos en las futuras muestras, que incorporen azufre y cobalto, de ésta manera se puede establecer una correlación directa entre la presencia de piritas (azufre) y el contenido de Cobalto, facilitando de éste modo la evaluación de la mena.

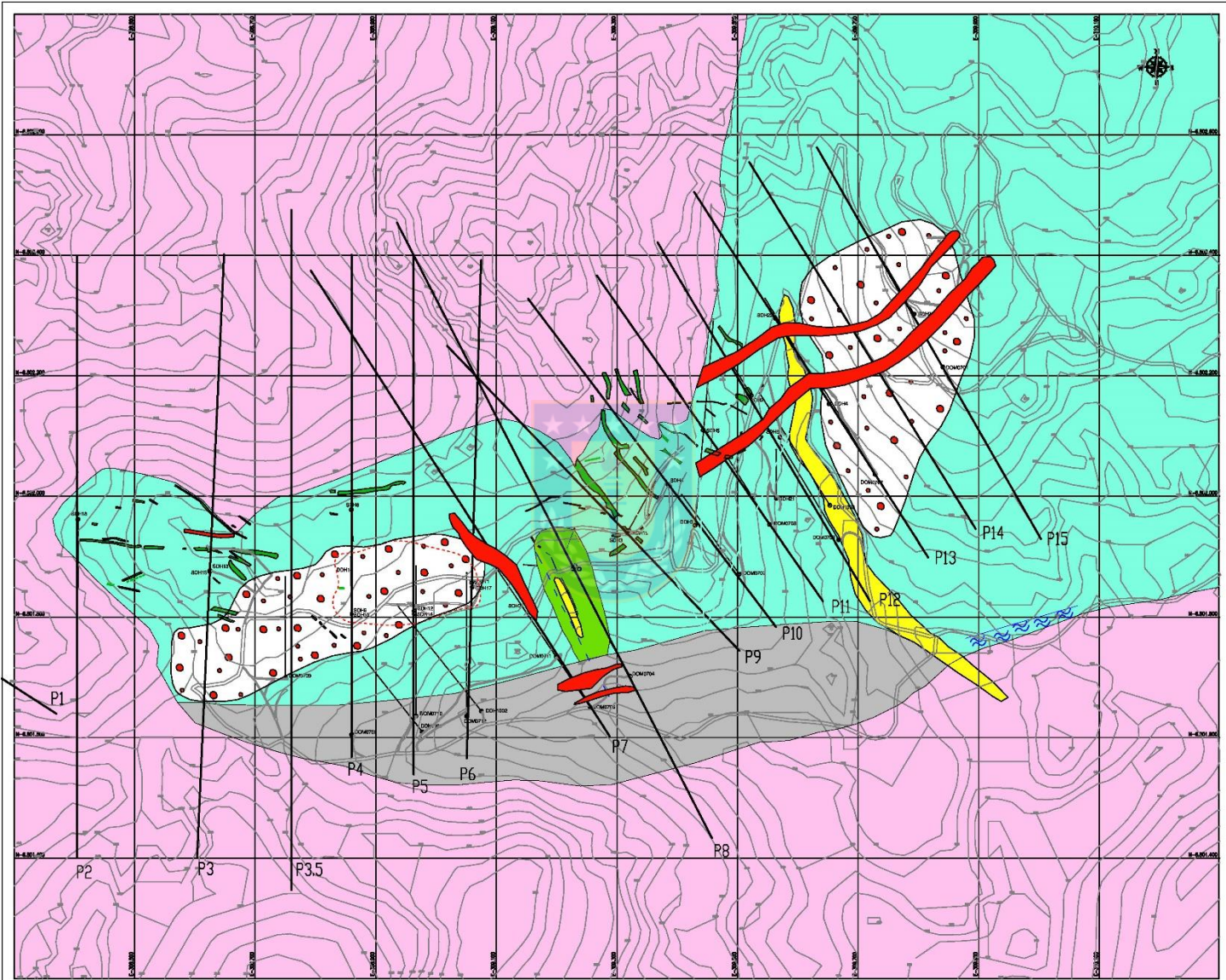
8. Referencias

- Arévalo, C.; Mourgues, F.A. & Chávez, R. 2009. Geología del Área Vallenar-Domeyko, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 120: 64 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- CAP. 1978. Estudio Metalúrgico del Mineral de Domeyko II. Departamento de Ingeniería de Desarrollo, Superintendencia de Desarrollo. Informe Interno: 39 pp. Vallenar.
- Creixell, C.; Ortiz, M. & Arévalo, C. 2012. Geología del área Carrizalillo-El Tofo, Regiones de Atacama y Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 133-134: 82 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago
- Espinoza, S. 1979. Una Hipótesis Sobre la Metalogénesis de la Franja Ferrífera, Actas II Congreso Geológico, Arica Tomo 2: C1-C21.
- Geocronos Servicios Geológicos, 2012. Estudio Petrográfico-Calcoográfico, CAP Minería. Informe Interno: 127 pp: La Serena.
- González, H. 2009. Geología de Superficie Proyecto Domeyko II, III Región, Chile. 33 pp. Informe Interno.
- Lagas, G. 2016. Estudio de la Química Mineral de la Pirita del Yacimiento Magnetita – Apatito de Los Colorados, III Región de Atacama, Chile. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Chile.

8. Referencias

- Letelier, M. 1998. Estudio Geológico Proyecto Domeyko II. Asesorías Geológicas Geonorte Ltda. 27 pp. Informe Interno. Vallenar.
- Lorca, G. 1990. Caracterización Geoquímica y Cristalográfica de las Piritas de los Yacimientos de Hierro El Algarrobo y El Romeral. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Chile.
- Moscoso, R.; Nasi C.; & Salinas P. 1982: Hoja Vallenar y Parte Norte de la Serena, Regiones de Atacama y Coquimbo, Carta Geológica de Chile, Escala 1:250.000. Santiago.
- Pincheira, M. 2014. Estudio de la Microquímica mediante Microsonda Electrónica de muestras de Piritas Cobaltíferas de Compañía Minera Pacífico. Instituto De Geología Económica Aplicada. CAP Minería, Informe Interno: 6 pp. Concepción.
- Rojo, M. 2003. Informe de Visita Técnica Preliminar a Prospectos San Pablo y Domeyko II, III Región. CAP Minería. Informe Interno: 5 pp. La Serena.
- Rojo, M. 2007. Geología del Distrito Ferrífero Minas El Romeral. CAP Minería. Informe Interno: 12pp. La Serena.
- Villagrán, J. 1997. Informe Geológico Sector Domeyko II, Comuna de Vallenar, Provincia del Huasco, III Región. CAP Minería, Informe Interno: 15 pp. Vallenar.

Notas

















Mapa Geológico Domeyko II.

(González, 2009, actualizado en este trabajo).

- | | | | |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> : PÓRFIDO DIORÍTICO : METADESITAS : GNEISS : ANDESITAS | <ul style="list-style-type: none"> : ALUVIOS : ESTRUCTURAS MINERALIZADAS DE HIERRO : CONTACTO INFERIDO DE HIERRO : DOMINIOS DIORÍTICOS | <p>SIMBOLOGIA</p> <ul style="list-style-type: none"> : RUMBO Y MANTEN : FALLA INFERIDA : ZONA DE CIZALLE | <ul style="list-style-type: none"> : CAMINOS : RODADOS DE HIERRO : SONDAJES |
|---|--|--|---|















<p>AGROMIN S.R.L.</p>	<p>COMPANIA MINERA DEL PACIFICO S.A. GEOLOGIA CAMP</p>
<p>BOYD : R. G. Y</p>	<p>BOYD : R. G. Y</p>
<p>AGROMIN S.R.L.</p>	<p>PROYECTO DOMEYKO II GEOLOGIA DE SUPERFICIE</p>
<p>Hoja 1 de Superficial Realiza</p>	

Notas

SIMBOLOGIA			
 : PÓRFIDO DIORÍTICO	 : ALUVIOS	 : RUMBO Y MANTEO	 : CAMINOS
 : METANDESITAS	 : ESTRUCTURAS MINERALIZADAS DE HIERRO	 : FALLA INFERIDA	 : RODADOS DE HIERRO
 : GNEISS	 : CONTACTO INFERIDO DE HIERRO	 : ZONA DE CIZALLE	 : SONDAJES
 : ANDESITAS	 : DIQUES DIORÍTICOS		

Leyenda actualizada de litología.



SIMBOLOGIA			
 : INTRUSMO DIORÍTICO	 : ALUVIOS	 : RUMBO Y MANTEO	 : CAMINOS
 : ANDESITAS CORNEANAS	 : ESTRUCTURAS MINERALIZADAS DE HIERRO	 : FALLA INFERIDA	 : RODADOS DE HIERRO
 : ASIMILACION DIORITA-ANDESITA	 : CONTACTO INFERIDO DE HIERRO	 : ZONA DE CIZALLE	 : SONDAJES
 : ANDESITAS	 : DIQUES DIORÍTICOS		

Leyenda González, 2009.

Notas

- Al día 20 de Julio de 2020, el valor del Cobalto es de 28.500 dólares por tonelada (fuente: web London Metal Exchange).
- Este trabajo reporta 2.961,4 Toneladas de Cobalto para el bloque norte. Lo que representa un aumento de valor de 84,4 Millones de dólares.
- Para el mismo bloque, se reportan 4.869.279 toneladas de Hierro, con un valor de 110 dólares por tonelada. Es decir 535,6 Millones de dólares.
- El Cobalto representa un aumento de valor de 15,76% como Fe equivalente.

Notas

- Entre los años 2010 y 2014, el Hierro se transó entre 170 y 180 dólares la tonelada, con peaks de 190. Si evaluamos el Hierro a 170 USD/Ton. Nos da un valor de 827,7 Millones de dólares.
- Entre los años 2017 y 2019, el Cobalto se transó entre 70.000 y 80.000 dólares la tonelada, con peaks de 90.000. Si evaluamos el Cobalto a 70.000 USD/Ton. Nos da un valor de 207,3 Millones de dólares.
- Al realizar una evaluación con precios altos de mercado. El Cobalto representa un aumento de valor de 25 % como Fe equivalente.