



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

**ANÁLISIS GEOLÓGICO DE ESTUDIOS GEOFÍSICOS DE POLARIZACIÓN  
INDUCIDA (IP) EN SISTEMAS IOCG Y PÓRFIDO CUPRÍFERO DEL NORTE  
DE CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO**

SEBASTIÁN AGUILEF CARMONA

PROFESOR GUÍA:  
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS  
EMILIO VERA SOMMER

Este trabajo fue financiado parcialmente por Exploraciones Mineras Andinas S.A.

SANTIAGO DE CHILE  
DICIEMBRE 2012

## RESUMEN

En esta memoria de título se estudiaron las características geológicas que determinan las respuestas de Polarización Inducida (IP) obtenidas en zonas con mineralización tipo Óxidos de Fe-Cu-Au (IOCG) y Pórfido Cuprífero. El análisis tuvo lugar en cuatro zonas mineralizadas no aflorantes ubicadas en el Norte de Chile, tres prospectos del tipo IOCG (Casualidad, Pampa y Ventanas), más un prospecto tipo Pórfido Cuprífero (Inca de Oro).

La obtención de las variables geológicas se basó en el mapeo litológico y mineralógico (escala 1:500) de un total de 13 sondajes (5.449 m) que cortaron sectores anómalamente altos en efecto IP. Este mapeo fue respaldado mediante el estudio de cortes transparentes y pulidos, y un conteo detallado de sulfuros. Para depósitos tipo IOCG se estimó el contenido de magnetita a partir de datos de susceptibilidad magnética medidos en muestras de sondajes. Los datos IP fueron tomados de estudios previamente realizados, consistentes en mediciones con arreglos tipo dipolo-dipolo y polo-dipolo, distancias dipolares entre 100-200 m, y lecturas hasta el nivel  $n=6$ , que permitieron profundidades máximas de investigación en torno a los 250-400 m.

El análisis de la información consistió en comparaciones gráficas y numéricas entre las variables geológicas y curvas geofísicas (cargabilidad y resistividad eléctricas) tomadas de modelos de inversión de las secciones IP. Los resultados obtenidos con esta metodología son consistentes, los cuales a la vez son coherentes con patrones petrofísicos descritos en la literatura.

Los resultados indican que el contenido de sulfuros totales es el factor de primer orden que explica las variaciones en la intensidad del efecto de polarización inducida. La relación entre concentración de sulfuros y cargabilidad eléctrica presenta en general una proporcionalidad directa, pero no sigue una relación lineal. Se identificó que cargabilidades sobre 20 mili-seg se relacionan con al menos un 0,5% en sulfuros totales, mientras que cargabilidades sobre 30 mili-seg son coherentes con tramos que contienen al menos un 1% de sulfuros. Cargabilidades eléctricas mayores a 20 mili-seg, en tramos donde el mapeo convencional no detectó sulfuros macroscópicos, se explicaron por la presencia de sulfuros microscópicos.

De los sulfuros identificados, las variaciones en pirita son las que mejor explican cambios, de forma proporcional, en el efecto de polarización. En cuanto a la ocurrencia mineral, la presencia de disseminación fina y vetillas son las que exhiben mayor correlación con tramos de alta cargabilidad.

En los depósitos tipo IOCG no se observa una relación directa entre el contenido de magnetita y cargabilidad, excepto una tendencia proporcional para altas cargabilidades en razón magnetita: sulfuros (1:4) obtenida para un sondaje.

En general no se observaron correlaciones claras entre tipos litológicos y la cargabilidad, no obstante, se identificó aumentos relativos de cargabilidad en sectores con predominio de litologías granulométricamente compactas (p.ej. intrusivos).

***“A mi madre, ejemplo de entrega y sacrificio  
Y en memoria de Javiera, mi prima y amiga”***

## **Agradecimientos**

Esta memoria fue financiada parcialmente por Exploraciones Mineras Andinas S.A, y por la Universidad de Chile.

Primeramente quisiera agradecer a Dios, a mis padres María y Gabriel los mejores tripulantes de mis sueños, por su incondicional apoyo y sustento, en su esmero por darme lo mejor. A mi madre por su esfuerzo y amor en tantos años de su vida, sin ti no hubiese llegado hasta acá.

A mi profesor guía Sr. Víctor Makshev quién me aproximó a este interesante y motivante tema.

Muy en especial al geólogo-geofísico Jaime Araya por su invaluable colaboración y apoyo a lo largo de todo este año.

A los profesores: Brian Townley, Emilio Vera y Gonzalo Yañez por su predisposición en la revisión y recomendaciones de este trabajo.

A los geólogos, geofísicos y ayudantes de EMSA, Luis Baeza, Paola Kovacic y Carlos Cifuentes, quienes gestionaron oportunamente los requerimientos de esta memoria.

A mi familia, amigos, compañeros de la U y de la vida, espero que nuestra amistad siga creciendo! , y a todas aquellas personas anónimas que cotidianamente entregan cariño y comprensión sin esperar retribución.

A mi prima y amiga Javiera, por tantos años de amistad y compañía, tu alegría aún permanece con nosotros.

A las personas que integran el departamento de Geología de la Universidad de Chile, de forma especial a María Rosa, Blanca y Gloria, gracias por su paciencia, consejo y guía en estos años.

A todas las personas que he tenido la oportunidad de conocer y que de algún modo han contribuido en mi formación. Sus experiencias, consejos y amor me hacen crecer cada día como profesional y como persona.

Finalmente, agradecer a toda la comunidad científica, y a quienes dedican su vida al hallazgo de nuevas técnicas y el mejoramiento de estas en beneficio del hombre.

# INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1. Presentación del Estudio .....	11
1.2. Objetivos.....	12
1.3. Metodología General .....	13
2. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. El Método de Polarización Inducida (IP).....	15
2.1.1. Generalidades.....	15
2.1.2. Resistividad.....	15
2.1.2. Base Teórica y Medición en Terreno .....	18
2.1.3. El Efecto de Polarización Inducida.....	21
2.1.4. Tipos de Medición.....	23
2.1.5. Proceso e Interpretación de datos IP.....	25
2.2. Yacimientos tipo IOCG.....	30
2.3. Yacimientos tipo Pórfido Cuprífero.....	34
2.4. Marco Geológico Regional.....	36
2.4.1. Evolución Tectonoestratigráfica .....	36
2.4.2. Estructuras .....	37
3. ANÁLISIS DE CASOS.....	39
3.1. Casualidad.....	41
3.1.1. Ubicación y Accesos.....	41
3.1.2. Geología local .....	41
3.1.3. Alteración y Mineralización .....	43
3.1.4. Datos IP .....	44
3.1.5. Caracterización geológica.....	45
3.1.6. Análisis.....	49
3.2. Pampa.....	53
3.2.1. Ubicación y Accesos.....	53
3.2.2. Geología Local .....	53
3.2.3. Alteración y Mineralización .....	54
3.2.4. Datos IP .....	55

3.2.5	<i>Caracterización geológica</i> .....	57
3.2.6	<i>Análisis</i> .....	59
3.3	<i>Ventanas</i> .....	64
3.3.1	<i>Ubicación y Accesos</i> .....	64
3.3.2	<i>Geología local</i> .....	64
3.3.3	<i>Alteración y Mineralización</i> .....	65
3.3.4	<i>Datos IP</i> .....	66
3.3.5	<i>Caracterización geológica</i> .....	67
3.3.6	<i>Análisis</i> .....	71
3.4	<i>Inca de Oro</i> .....	73
3.4.1	<i>Ubicación y Accesos</i> .....	73
3.4.2	<i>Geología Local</i> .....	73
3.4.3	<i>Alteración y Mineralización</i> .....	74
3.4.4	<i>Datos IP</i> .....	74
3.4.5	<i>Caracterización geológica</i> .....	75
3.4.6	<i>Análisis</i> .....	78
4.	<i>DISCUSIONES</i> .....	81
4.1.	<i>Influencia de aspectos geológicos en resultados IP</i> .....	81
4.1.1	<i>Sulfuros</i> .....	81
4.1.2	<i>Ocurrencia de Sulfuros</i> .....	84
4.1.3	<i>Óxidos de Fe</i> .....	86
4.1.4	<i>Influencia de la Litología</i> .....	89
4.2	<i>Aspectos Geofísicos</i> .....	90
4.2.1	<i>Rol de la Resistividad</i> .....	90
4.2.2	<i>IP como método integrador</i> .....	91
4.3.	<i>Discusión Metodológica</i> .....	92
4.3.1	<i>Limitaciones del análisis</i> .....	92
4.3.2	<i>Factores de Error</i> .....	92
5.	<i>CONCLUSIONES</i> .....	94
6.	<i>REFERENCIAS</i> .....	96
7.	<i>ANEXOS</i> .....	101
	<i>APENDICE I</i> .....	102
	<i>Perfiles datos IP/Resistividad y estimaciones</i> .....	102

APENDICE II .....	110
Estimaciones de sulfuros, ocurrencias y magnetita .....	110
APENDICE III .....	115
Coeficientes de Correlación entre variables .....	115
APENDICE IV .....	122
Susceptibilidad Magnética.....	122
APENDICE V .....	126
Conteo detallado de Sulfuros.....	126
APENDICE VI .....	129
Cortes Transparentes y Pulidos.....	129

# Índice de Tablas

*Tabla II-1: Cargabilidad de minerales* \_\_\_\_\_ 24

# Índice de Figuras

<i>Figura I-1 Ubicación de los prospectos estudiados.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura II-1 Sección transversal de un electrodo de corriente en la superficie de un sólido .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura II-2 Diagrama de resistividad para distintos tipos de roca y minerales.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura II-3 Arreglo convencional de 4 electrodos, con su resistividad aparente.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura II-4 Arreglo Polo-Dipolo con su factor geométrico, para medir IP/resistividad.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura II-5 Arreglo Dipolo-Dipolo con su factor geométrico, para medir IP/resistividad.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura II-6 Arreglo Wenner con su factor geométrico, para medir IP/resistividad.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura II-7 Arreglo Schlumberger con su factor geométrico, para medir IP/resistividad .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura II-8 Medida de IP (Cargabilidad), a través del decaimiento de voltaje.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura II-9 Polarización de Membrana en arcillas (Reynolds, 1997).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura II-10 Polarización de Membrana asociada a la constricción del grano del mineral .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura II-11 Polarización Electrónica en solución acuosa .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura II-12 Polarización Electrónica en los contactos mineral-electrolito .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura II-13 Arreglo Gradiente para medir cargabilidad/resistividad. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura II-14 Arreglo Dipolo-Dipolo para medir cargabilidad/resistividad. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura II-15 Arreglo de electrodos para mediciones eléctricas en 2-D .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura II-16 Pseudo-sección con resistividad aparente junto a un modelo de inversión. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura II-17 Trazas de Fallas principales de los Sistemas de Fallas Atacama y Domeyko .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura II-18 Franjas metalogénicas del Paleoceno, Eoceno-Oligoceno .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura II-19 Relación cronoestratigráfica .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura III-1 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Casualidad .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura III-2 Entorno a Casualidad. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura III-3 Labor minera, en las inmediaciones de Casualidad.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura III-4 Manto de Sulfuros-Magnetita, labor pequeña en las inmediaciones a Casualidad.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura III-5 Sección IP/Resistividad, DDS-7 y RC-309. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura III-6 Sección IP/Resistividad, RC-310.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura III-7 Strip-log Resumen, RC-309.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura III-8 Strip-log Resumen, RC-310.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura III-9 Strip-log Resumen, DDS-7 .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura III-10 Gráfico %sulfuros-cargabilidad, Casualidad.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura III-11 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-cargabilidad .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura III-12 Relación entre porcentajes (%) de sulfuros, magnetita y su cargabilidad .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura III-13 DDS-7 metraje (95.85-95.93) 10 X 10.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura III-14 RC-310 metraje (66-67) 10 X 10. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura III-15 Vista al Sur-Oeste. Quebrada Pampa.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura III-16 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Pampa.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura III-17 Sección IP/Resistividad, RC-607 y RC-615.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura III-18 Sección IP/Resistividad, RC-606.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura III-19 Strip-log Resumen, RC-606. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura III-20 Strip-log Resumen, RC-607.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura III-21 Strip-log resumen, RC-615.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura III-22 Gráfico %sulfuros-cargabilidad, Pampa. ....</i>	<i>60</i>

<i>Figura III-23 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-cargabilidad, Pampa.</i>	60
<i>Figura III-24 Relación entre % de sulfuros y magnetita</i>	61
<i>Figura III-25 RC-606 metraje (25-27) 10X10.</i>	62
<i>Figura III-26 RC-606 metraje (70-72) 10X10.</i>	62
<i>Figura III-27 Dioritas y sulfuros diseminados en RC-606, Pampa.</i>	63
<i>Figura III-28 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Ventanas.</i>	65
<i>Figura III-29 Vista al Oeste, prospecto Ventanas.</i>	65
<i>Figura III-30 Sección IP/Resistividad RC-180 y RC-187.</i>	66
<i>Figura III-31 Sección IP/Resistividad RC-184 y RC-238.</i>	66
<i>Figura III-32 Sección IP/Resistividad RC-235.</i>	67
<i>Figura III-33 Strip-log Resumen, RC-180.</i>	68
<i>Figura III-34 Strip-log Resumen, RC-184.</i>	68
<i>Figura III-35 Strip-log Resumen, RC-187.</i>	69
<i>Figura III-36 Strip-log Resumen, RC-235.</i>	69
<i>Figura III-37 Strip-log Resumen, RC-238.</i>	70
<i>Figura III-38 Gráfico %sulfuros-cargabilidad, Ventanas.</i>	71
<i>Figura III-39 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-Cargabilidad, Ventanas.</i>	71
<i>Figura III-40 Relación entre % de sulfuros y magnetita estimada con su cargabilidad medida, para RC-235</i>	72
<i>Figura III-41 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Inca de Oro.</i>	73
<i>Figura III-42 Sección IP/Resistividad, DDH-2453 y DDH-2485.</i>	75
<i>Figura III-43 Fotografía zonas de alta cargabilidad, en DDH-2453 y DDH-2485.</i>	76
<i>Figura III-44 Strip-log Resumen, DDH-2453.</i>	77
<i>Figura III-45 Strip-log Resumen, DDH-2485.</i>	77
<i>Figura III-46 Gráfico %Sulfuros-Cargabilidad, Inca de Oro.</i>	78
<i>Figura III-47 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro y cargabilidad, Inca de Oro.</i>	79
<i>Figura III-48 Variación de ocurrencia en sulfuros a lo largo del sondaje DDH-2453.</i>	79
<i>Figura III-49 Microfotografía 4X10, sondaje DDH-2453.</i>	80
<i>Figura IV-1 Gráfico relación %Sulfuros-Cargabilidad</i>	81
<i>Figura IV-2 Gráfico relación %Pirita-Cargabilidad</i>	83
<i>Figura IV-3 Gráfico relación %Calcopirita- Cargabilidad</i>	83
<i>Figura IV-4 Microfotografía 4X10, sondaje DDH-2485, en tramo de alta cargabilidad.</i>	84
<i>Figura IV-5 Curva de cargabilidad versus ocurrencia mineral de sulfuros, DDH-2453.</i>	85
<i>Figura IV-6 Curva de cargabilidad versus ocurrencia mineral de sulfuros, DDH-2485.</i>	85
<i>Figura IV-7 Gráfico relación %magnetita-cargabilidad.</i>	87
<i>Figura IV-8 Gráfico %magnetita-%sulfuros-cargabilidad, prospectos IOCG.</i>	88
<i>Figura IV-9 Gráfico % sulfuros-cargabilidad-resistividad.</i>	90
<i>Figura IV-10 Gráfico %sulfuros-%magnetita-resistividad, para prospectos IOCG.</i>	91
<i>Figura IV-11 Fotografía Sondajes tipo Aire Reverso y Diamantino.</i>	93

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación del Estudio

En esta memoria de título se estudiaron las características geológicas que determinan las respuestas de Polarización Inducida (IP) obtenidas en zonas con mineralización tipo IOCG y Pórfido Cuprífero. El análisis tuvo lugar en cuatro zonas mineralizadas no aflorantes ubicadas en el Norte de Chile, tres prospectos del tipo Óxidos de Fe-Cu-Au (IOCG): Casualidad, Pampa y Ventanas, más un prospecto tipo Pórfido Cuprífero correspondiente a Inca de Oro (Figura I-1).



Figura I-1 Ubicación de los prospectos estudiados.

La importancia de este estudio consiste en caracterizar de manera cualitativa y/o cuantitativa el método geofísico IP, a partir de antecedentes geológicos y geofísicos en sectores con mineralización tipo IOCG y Pórfido Cuprífero.

Los datos geológicos y geofísicos utilizados en ésta memoria han sido proporcionados y auspiciados por Exploraciones Mineras Andinas S.A., empresa que ejecuta los trabajos de búsqueda de nuevos yacimientos minerales en Chile para la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO).

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar cuáles son las características geológicas, y su efecto individual y/o grupal, que determinan la respuesta de Polarización Inducida (IP) detectado por estudios geofísicos en zonas con mineralización tipo óxidos de Fe-Cobre-Oro (IOCG) y tipo Pórfido Cuprífero.

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar como influye la concentración, composición y modos de ocurrencia de sulfuros en la señal de cargabilidad eléctrica que detectan los estudios IP.
2. Identificar si la presencia de óxidos de hierro (magnetita, specularita) influyen en forma relevante en la señal de cargabilidad eléctrica que detectan los estudios IP.
3. Identificar si algún patrón litológico (ej: textura de roca y/o mena) influye en las señales que detectan los estudios IP.
4. Obtener una relación predictiva (cuantitativa o semicuantitativa) de cómo las concentraciones de sulfuros y óxidos de hierro influyen en la respuesta de cargabilidad eléctrica que puede medir un estudio IP.

### 1.3 Metodología General

Para cumplir los objetivos específicos, se revisaron los aspectos litológicos y mineralógicos antes descritos en testigos de sondajes contenidos dentro de perfiles IP. La comparación de los aspectos geológicos obtenidos en cada sondaje, con respecto a los resultados que presentan los perfiles IP, permitieron obtener respuestas (o aproximaciones) a los objetivos propuestos.

La metodología utilizada contempló las siguientes tareas específicas:

- La revisión de las características relevantes para los objetivos de éste estudio del método geofísico de Polarización Inducida (IP), en particular la descripción del fenómeno IP, las metodologías de medición en terreno y las propiedades físicas que determinan las respuestas IP (Capítulo: 2.1 El Método de Polarización Inducida (IP)).
- La revisión de las características de los sistemas mineralizados tipo IOCG (Capítulo: 2.2 Yacimientos tipo IOCG) y tipo Pórfido Cuprífero (Capítulo: 2.3 Yacimientos tipo Pórfido Cuprífero), y del Marco Geológico Regional (Capítulo: 2.4 Marco Geológico Regional).
- La recopilación de antecedentes geológicos de los prospectos estudiados (subcapítulos de geología local en Análisis de Casos: Casualidad, Pampa, Ventanas e Inca de Oro).
- El estudio de 13 sondajes tipo Aire Reverso y Diamantino (Total 5.449 m) contenidos en perfiles IP (subcapítulos de estudios de sondajes en Análisis de Casos: Casualidad, Pampa, Ventanas, Inca de Oro). El estudio de cada sondaje comprendió las siguientes actividades:
  - Una revisión escala 1:500 de la litología, alteración y mineralización del sondaje, apoyado con mapeos preexistentes.
  - Un mapeo escala 1:500 de sulfuros, óxidos de hierro, arcillas y textura de la roca. En el caso del mapeo mineralógico, se caracterizaron las concentraciones, intensidad relativa y ocurrencia de los minerales. Este mapeo se respaldó con el estudio petrográfico de cortes transparentes y pulidos.

- La revisión de los resultados obtenidos en los perfiles IP medidos en cada área de estudio (subcapítulos de datos IP en Análisis de Casos: Casualidad, Pampa, Ventanas, Inca de Oro).
- Un Conteo detallado de sulfuros, los cuales fueron realizados con un contador automático Swift, con un espaciado entre líneas de 1/5 mm y 1/6 mm entre puntos; y aumento 40x10 (Anexo V).
- El análisis comparativo de los antecedentes geológicos estudiados en testigos de sondajes y revisados en superficie con los resultados de los perfiles IP (Capítulo de Discusiones: Casualidad, Pampa, Ventanas, Inca de Oro).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 El Método de Polarización Inducida (IP)

#### 2.1.1 Generalidades

El método de Polarización Inducida es un método geofísico, el cual es ampliamente usado en la exploración de yacimientos metálicos, ya que es capaz de identificar concentraciones anómalas de sulfuros en profundidad. Su desarrollo se basó en el reconocimiento del fenómeno de polarización inducida hace más de 80 años, mediante el desarrollo del método auto-potencial, alcanzando notoriedad como método de prospección geofísica desde mediados de la década de los 50's (Telford *et al.*, 1990).

La popularidad del método radica en el descubrimiento de depósitos (con metales-base) a gran y pequeña escala las que han sido realizadas con la ayuda del método (Watts, 2002). Algunos estudios de campo establecen que las anomalías de IP y Resistividad, por lo general, ocurren juntas (alto IP en sectores con baja resistividad), por lo que se podría argumentar que el uso del método no está justificado. No obstante, existen numerosos casos de éxito en la aplicación del método IP, en zonas con presencia de mineralización diseminada (p.ej. pórfidos Cupríferos), donde las anomalías de resistividad son prácticamente inexistentes (Telford *et al.*, 1990).

A continuación se describen las dos propiedades eléctricas del subsuelo que el método IP permite caracterizar: la resistividad eléctrica y efecto de polarización inducida. Finalmente se describen la metodología de medición IP en terreno y el proceso de interpretación.

#### 2.1.2 Resistividad

La resistividad eléctrica de un material se relaciona a la capacidad que tiene éste para conducir la corriente eléctrica. En términos físicos, la resistencia es definida a través de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.1)$$

A partir de la resistencia medida se obtiene la resistividad del medio al multiplicar la resistencia R por un factor "k", tal que:

$$\rho = Rk \quad (1.2)$$

El factor “k” corresponde al factor geométrico del arreglo empleado en la medición, y tiene unidades de longitud. Por ejemplo, para un cable de sección **A** y largo **L**, se tiene:

$$k = \frac{A}{L} \quad (1.3)$$

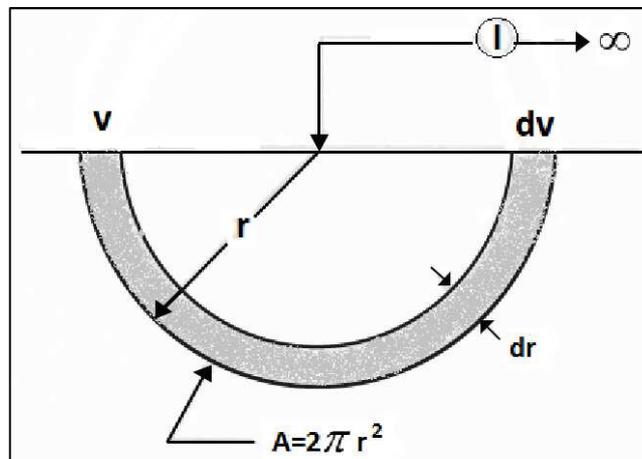
Las unidades de resistividad en el sistema internacional SI son:

$$\text{Resistividad} = (\text{Volt} / \text{Amper}) \times \text{metro} = \text{Ohm} - \text{metro}$$

Para un electrodo que inyecta una corriente **I** en la superficie de un medio homogéneo de resistividad  $\rho$ , se tiene (Figura II-1):

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1.4)$$

Donde **r** es la distancia al punto de inyección (el Voltaje es nulo en el infinito).



**Figura II-1** Sección transversal de un electrodo de corriente en la superficie de un sólido conductor; el potencial **V** está relacionado a la resistividad  $\rho$ , Corriente **I** y distancia desde el electrodo (Van Blaricom, 1986).

La resistividad eléctrica de un volumen de roca depende de las características de cada mineral, de su porosidad, la composición de los fluidos presentes en ella, su grado de saturación, entre otros. Por lo general, los minerales formadores de roca se consideran como aislantes efectivos, y por tanto no conducirían corriente. No obstante, variables como las antes mencionadas podrían variar ésta situación (Telford *et al*, 1990).

La Figura II-2, muestra la variación de la resistividad según: tipo de roca, contenido de agua, fracturamiento o alteración, y presencia de minerales de lustre metálico, en su mayoría sulfuros, los cuales son buenos conductores.

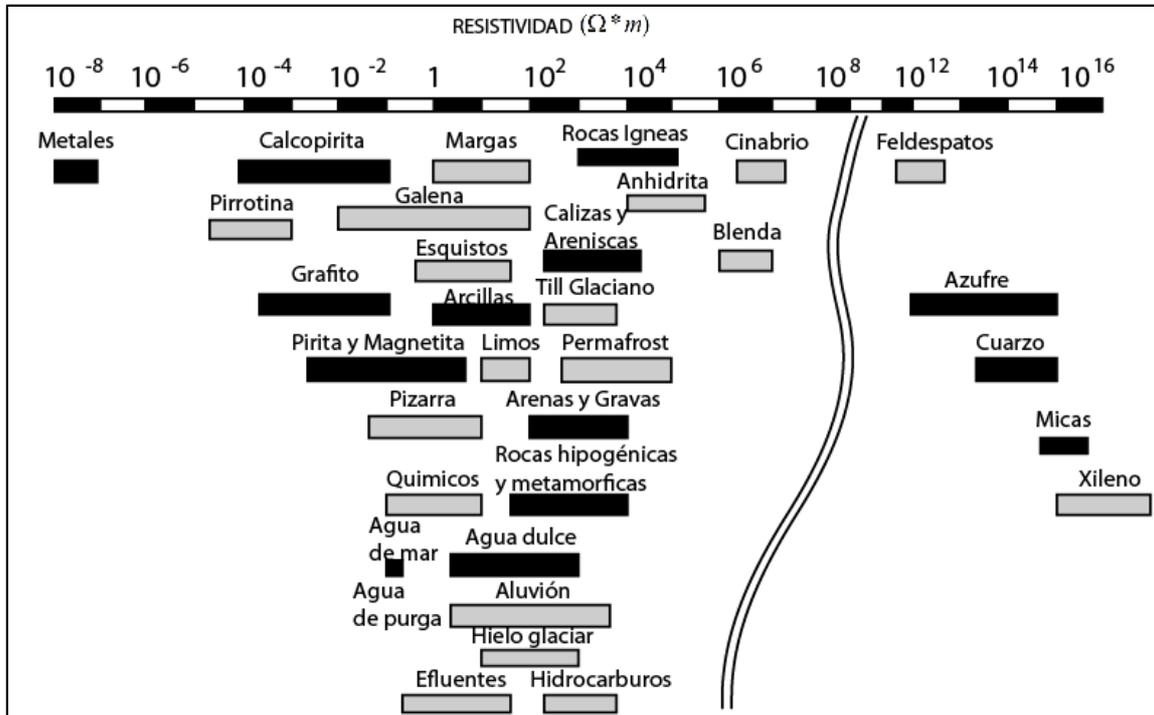


Figura II-2 Diagrama de resistividad para distintos tipos de roca y minerales (modificado de Orellana, 1982).

Se distinguen 4 tipos de conductores: (a) metales y (b) semiconductores, cuya conductividad es electrónica; (c) dieléctricos, y (d) electrolitos, con conductividad iónica. Los tipos de conductores y sus minerales asociados más comunes son (Telford *et al.*, 1990):

(a) Metales (Au, Ag, Cu, Sn, grafito): Presentan resistividades muy bajas, del orden de  $10^{-8}$ - $10^{-7}$  [ $\Omega \cdot m$ ]. Los electrones tienen gran movilidad producto del enlace metálico. A escala macroscópica, la conductividad no es tan significativa, debido a la presencia de impurezas que en general se encuentran en una mayor proporción.

(b) Semiconductores (calcopirita, bornita, piritas, magnetita, pirrotina): Se necesita de la presencia de campos eléctricos fuertes para producir conducción. La conductividad aumenta en el material con la temperatura y con la presencia de impurezas.

(c) Dieléctricos (micas, feldspatos, cuarzo, calcita, silicatos en general): Presentan resistividades del orden de  $10^7$  [ $\Omega \cdot m$ ]. Los enlaces iónicos y/o covalentes son predominantes manteniendo los electrones fuertemente ligados.

(d) Electrolitos (soluciones salinas): La corriente eléctrica se sustenta en los cationes y aniones presentes en la solución acuosa. La resistividad de un electrolito queda definido como: la resistencia eléctrica presentada por un volumen de electrolitos de forma cúbica y un metro de lado cuando se establece una diferencia de potencial de un volt entre dos caras opuestas.

### 2.1.2 Base Teórica y Medición en Terreno

La medición en terreno, se basa en establecer un campo eléctrico en un medio de resistividad  $\rho$ . Para ello es necesario la inyección de corriente eléctrica al medio (corteza terrestre), mediante dos electrodos de corriente.

El efecto producido en el medio producto de la inyección de corriente, es explicado a través de las Leyes de Maxwell:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1.5)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1.6)$$

Donde: J: Densidad de corriente [ $A/m^2$ ]; E: Intensidad del campo eléctrico [ $V / m$ ]; B: flujo de densidad magnética [Teslas]; H: Intensidad de campo magnético [ $A/m$ ]; D: Desplazamiento eléctrico [ $C/m^2$ ].

En el caso de la aplicación de corriente continua no existe dependencia temporal, y las Ecuaciones (1.5) y (1.6) se reducen a:

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \quad (1.7)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (1.8)$$

Donde la primera de ellas implica que el campo eléctrico es conservativo, y se puede derivar de un potencial escalar, en definitiva:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (1.9)$$

Asumiendo que el medio no acumula cargas y permanece por lo tanto eléctricamente neutro, la ecuación de continuidad para la corriente implica que ( $\nabla \cdot \vec{J} = 0$ ). Utilizando además la ley de Ohm, ( $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ ,  $\sigma = 1/\rho$ ), se obtiene:

$$\nabla \cdot \vec{J} = \nabla \cdot (\sigma \vec{E}) \rightarrow \sigma \nabla \cdot \vec{E} + \vec{E} \cdot \nabla \sigma = 0 \quad (2.0)$$

Si se considera, la ecuación de potencial escalar (1.9) en (2.0), la ecuación se reduce a:

$$\sigma \nabla^2 V + \nabla V \cdot \nabla \sigma = 0 \quad (2.1)$$

Luego, considerando un medio uniforme el gradiente de la conductividad es cero y el voltaje cumple la ecuación de la Laplace:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.2)$$

En un medio homogéneo ilimitado con una fuente de corriente  $I$  en el origen, la solución adecuada de (2.2) es:

$$V = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.3)$$

Considerando la interfaz tierra-aire, las condiciones de borde condicionan un flujo nulo de corriente perpendicular a la superficie, por lo que el potencial eléctrico es incrementado en un factor 2:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

Obteniendo la ecuación enunciada en (1.4)

En cuanto al método convencional de medición, éste estima la resistividad aparente del subsuelo, mediante el uso de cuatro electrodos, dos de corriente y dos de potencial (Figura II-3).

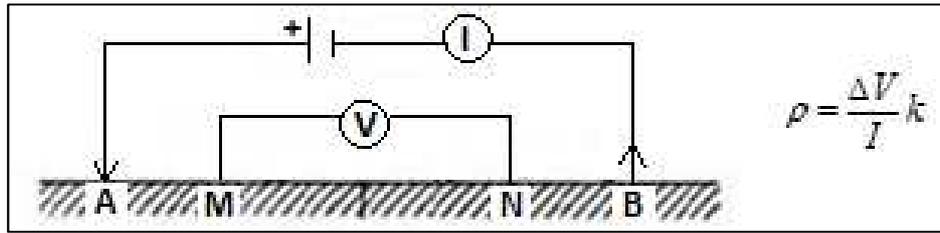


Figura II-3 Arreglo convencional de 4 electrodos, con su resistividad aparente.

En un medio homogéneo, utilizando (1.4), el voltaje medido entre los electrodos M y N es:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \left( \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.4)$$

De donde es inmediato obtener el factor geométrico:

$$k = 2\pi \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1} \quad (2.5)$$

Existen varias configuraciones para distribuir los electrodos en terreno (Figuras II-4, II-5, II-6 y II-7). Cada uno presenta sus ventajas y desventajas, dentro de éstos el que usualmente ofrece una mayor sensibilidad ante variaciones en profundidad, es el arreglo Polo-Dipolo (Figura II-4), sin embargo, su pseudo-sección a menudo es difícil de interpretar, por lo que usualmente se utiliza el arreglo Dipolo-Dipolo el cual también cuenta con una buena señal (Figura II-5).

Los datos de potencial medidos y la corriente inyectada deben ser corregidos por el factor geométrico específico según el tipo configuración utilizada, obteniendo de esta manera la resistividad aparente  $\rho$ .

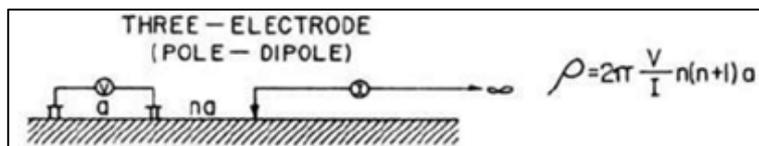


Figura II-4 Arreglo Polo-Dipolo con su factor geométrico, para medir IP/resistividad (Sumner *et al.*, 1972).

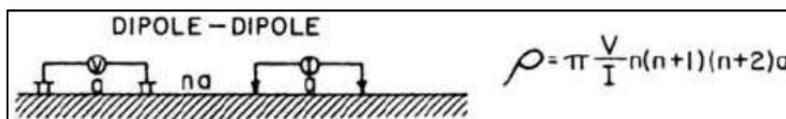


Figura II-5 Arreglo Dipolo-Dipolo con su factor geométrico, para medir IP/resistividad (Sumner *et al.*, 1972).

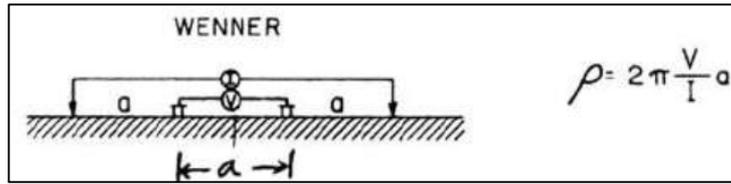


Figura II-6 Arreglo Wenner con su factor geométrico, para medir IP/resistividad (Sumner *et al.*, 1972).

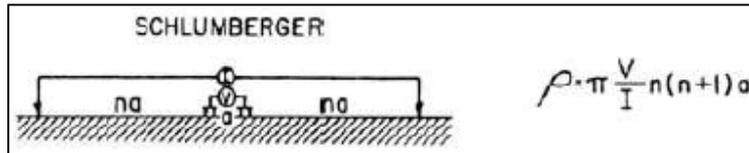


Figura II-7 Arreglo Schlumberger con su factor geométrico, para medir IP/resistividad (Sumner *et al.*, 1972).

### 2.1.3 El Efecto de Polarización Inducida

El método de polarización inducida mide el decaimiento de voltaje en materiales terrestres, en respuesta a una corriente que es inducida en el subsuelo, el cual genera el efecto IP. Tal efecto corresponde a un fenómeno complejo que se produce cuando fluidos en espacios porosos de la roca entran en contacto con: minerales de lustre metálico, grafito, arcillas u otros minerales producto de alteración (Zonge, 2005), desencadenando una transferencia electrónica entre éstos materiales y electrolitos iónicos del medio que los contiene (roca caja). Por tanto, el efecto IP refleja la habilidad de minerales, rocas o litologías de actuar como un capacitor eléctrico.

La corriente que es inyectada al subsuelo, permite en primera instancia medir la resistividad aparente  $\rho$  a través de un diferencial de voltaje  $V_c$  medido (Figura II-8). Una vez suprimida la corriente el voltaje medido a través de los electrodos no decae a cero instantáneamente, sino que lo hace en el orden de mili-segundos a segundos (Telford *et al.*, 1990).

La Figura II-8 ilustra la curva de caída de potencial de retorno al estado original de un material al cual se le aplicó una corriente.

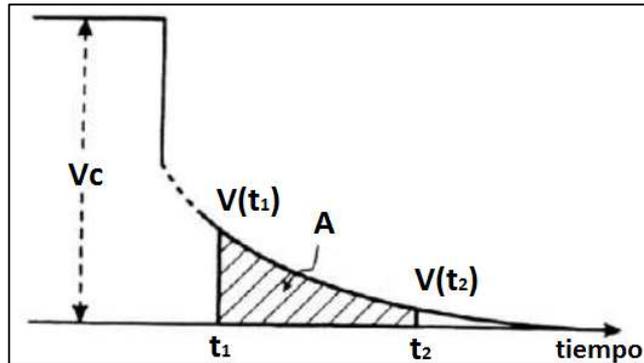


Figura II-8 Medida de IP (Cargabilidad), a través del decaimiento de voltaje (Reynolds, 1997).

Éste fenómeno ha sido atribuido a un tipo de energía almacenada en el material mientras que el flujo de corriente es aplicado. Esta energía almacenada podría ser de origen mecánico, químico etc., sin embargo, la energía de origen químico es el tipo de energía más relevante en este proceso, y sería producto de (a) variaciones en la movilidad de iones de los fluidos presentes en la estructuras de la roca, o (b) producto de la variaciones en la conductividad iónica y electrolítica en presencia de minerales metálicos. El primer fenómeno se conoce como polarización electrolítica o de membrana (Figuras II-9 y II-10), el cual podría ocurrir o no en presencia de minerales metálicos, mientras que el segundo es conocido como polarización electródica o de sobre-voltaje (Figuras II-11 y II-12), el cual depende de la presencia de minerales metálicos.

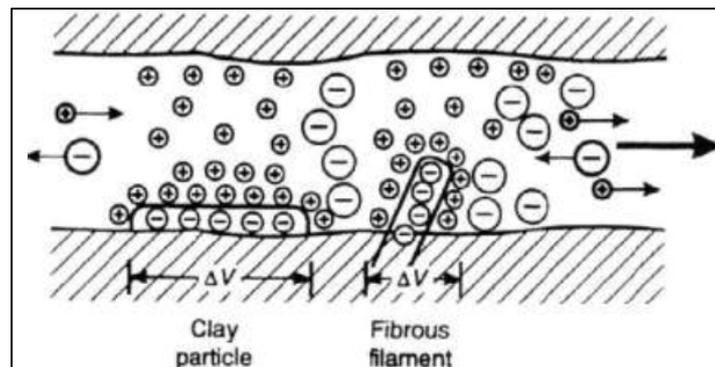


Figura II-9 Polarización de Membrana en arcillas (Reynolds, 1997).

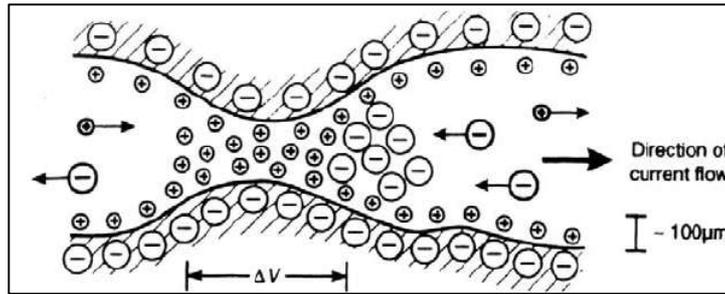


Figura II-10 Polarización de Membrana asociada a la constricción del grano del mineral (Reynolds, 1997).

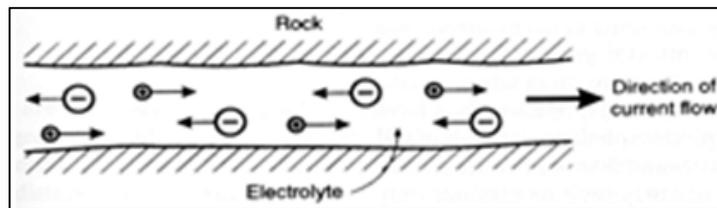


Figura II-11 Polarización Eléctrica en solución acuosa (Reynolds, 1997).

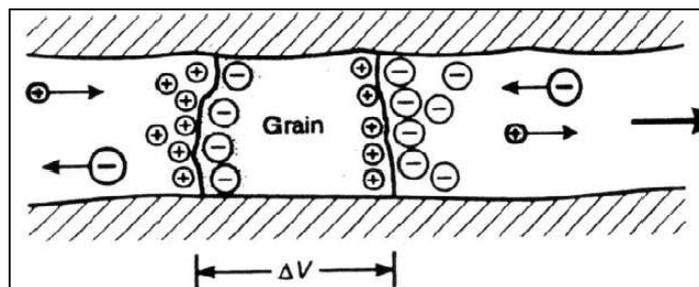


Figura II-12 Polarización Eléctrica en los contactos mineral-electrolito (Reynolds, 1997).

### 2.1.4 Tipos de Medición

Existen dos formas de medir la caída de voltaje, una medida en función del tiempo en varias ondas, conocido como “IP time-domain”, y otro basado en el hecho que la resistividad aparente debe variar con la frecuencia, conocido como “IP frequency-domain”.

#### Mediciones Time-Domain

**Milivolt por Volt:** se trata de la manera más simple de medir el efecto IP en el “time domain”, y consiste en comparar el voltaje residual  $V(t)$  existente después de suprimir la corriente, versus voltaje estable  $V_c$  medido mientras la corriente es aplicada.

**Cargabilidad:** viene definido por la formula:

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (2.6)$$

La cargabilidad corresponde a la medida más utilizada dentro de mediciones del tipo "time- domain" y consiste en el cálculo de la integral de la caída de voltaje entre un tiempo  $t_1$  y  $t_2$ , en varios puntos de la curva (Figura II-8). En el caso en que  $V(t)$  y  $V_c$  tienen las mismas unidades, la cargabilidad  $M$  se expresa en milisegundos (ms).

El intervalo de medición entre  $t_1$  y  $t_2$  viene definido por el número de ventanas de cargabilidad medidos a través de la curva de caída de potencial. En términos generales se utiliza un estándar que emplea 13 ventanas de cargabilidad iniciando a un tiempo de -53.3 ms, con una ventana de ancho 148.4 ms (Desde 53.3 ms hasta 1876 ms). Donde la cargabilidad reportada corresponde a la integración de  $V(t)/V_c$  entre el tiempo 449,2 y 1098 ms multiplicado por una constante conocida de Swift (1,87) en unidades de mili-segundos.

La tabla II-1 muestra la Cargabilidad medida en algunos minerales de interés.

Mineral	Cargabilidad (ms)
Pirita	13.4
Calcosina	13.2
Cobre	12.3
Grafito	11.2
Calcopirita	9.4
Bornita	6.3
Galena	3.7
Magnetita	2.2
Malaquita	0.2
Hematita	0.0

Tabla II-1 Cargabilidad de minerales (de Telford *et al.*, 1990).

### **Mediciones frequency-domain**

**Efecto frecuencia:** Consiste en medir la resistividad aparente en dos o más frecuencias, y es definido como:

$$FE = (\rho_{dc} - \rho_{ac}) / \rho_{ac} = (\rho_{dc} / \rho_{ac}) - 1 \quad (2.7)$$

El porcentaje efecto frecuencia, viene dado por:

$$PFE = 100(\rho_{dc} - \rho_{ac}) / \rho_{ac} \quad (2.8)$$

Donde:  $\rho_{dc}$ ,  $\rho_{ac}$  son resistividades aparentes medidas en  $dc$  y muy alta frecuencia, respectivamente.

Algunos autores (Pittard y Bourne, 2007) basados en la comparación de datos tipo time-domain y frequency-domain obtenidos sobre una misma línea de medición para un sector en particular, han propuesto una equivalencia entre ambas mediciones mediante un factor empírico adimensional de valor 1,6 [mili-rad/mili-seg] para convertir cargabilidades desde mili-seg a mili-rad y viceversa. Este factor no es único y varía de una región a otra, según las características geológicas del lugar y de la medición. Para efecto de éste estudio se propone un factor de 1,4 como factor de conversión basado sobre una línea del prospecto Inca de Oro, la cual fue medida en ambos dominios y que permite convertir cargabilidades desde el dominio de frecuencias (mili-rad) al dominio del tiempo (mili-seg) como una forma de normalizar todos los prospectos estudiados bajo un mismo criterio de comparación.

### **2.1.5 Proceso e Interpretación de datos IP**

Para la obtención de datos de Polarización inducida en terreno, al igual que para la medición de resistividad, se requiere del uso de 4 electrodos, 2 de los cuales son usados para introducir corriente al subsuelo y otros 2 para medir el voltaje inducido en el subsuelo.

Existen varias configuraciones y formas de desplegar los electrodos de medición en terreno, dependiendo del tipo y de las características físicas del cuerpo que se quiera medir. Dentro de los arreglos convencionales más utilizados se encuentran el IP gradiente, y el IP Dipolo- Dipolo (Figuras II-13 y II-14). Con el primero de ellos se puede obtener una interpretación relativamente directa de la información a partir de una representación en planta, obteniendo buenos resultados para variaciones laterales de los parámetros de resistividad-cargabilidad medidos. Por otra parte, para información distribuida verticalmente en profundidad, se recomienda el uso de IP Dipolo-Dipolo, ya que la información en la componente vertical es más directa de interpretar que en IP-Gradiente.

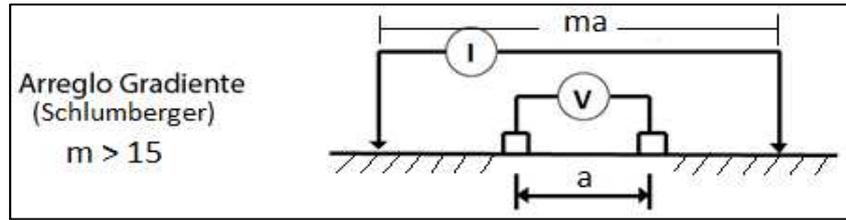


Figura II-13 Arreglo Gradiente para medir cargabilidad/resistividad.

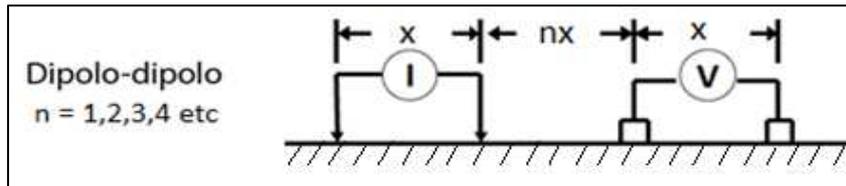


Figura II-14 Arreglo Dipolo-Dipolo para medir cargabilidad/resistividad.

Para cualquier tipo de medición IP/Resistividad, el parámetro de polarización es sensible ante la presencia de sulfuros metálicos diseminados en el subsuelo. En este contexto, las respuestas altas de polarización responden por lo general a tres fuentes:

- mineralización metálica diseminada
- presencia de grafito
- presencia de algunos tipos de arcillas y/o de un conjunto de minerales de silicatos aluminicos hidratados, tales como las zeolitas.

En general, la calidad de los datos es medida en base a una evaluación cuantitativa de los errores, esto en base a la totalidad de los datos adquiridos, su calidad y grado de repetición. Los errores pueden ser examinados mediante los errores tipo “intra-stack” e “inter-stack”. El primero de ellos representa el nivel del ruido de la medición mediante un “standard error of the mean” (SEM), mientras que el segundo contempla un cálculo del error final en la cargabilidad y resistividad aparente, en el procesamiento de datos.

Otra fuente de error, corresponde a los errores sistemáticos entre los que se incluyen:

- Errores del instrumento
- Metodología, ubicación y conexiones de los equipos monitoreados
- Calibración del receptor y revisiones de esta calibración y del sistema durante el estudio
- Revisión en forma periódica de sincronización
- Revisión de onda transmitida

- Acoplamiento Electromagnético

### Toma de datos y Modelación

Para obtener una tomografía/imagen en 2-D de las mediciones eléctricas IP/Resistividad en áreas geológicamente complejas, se despliegan varios electrodos todos conectados a un cable múltiple enlazado directamente a un ordenador laptop. La Figura II-15 muestra una medición típica 2-D, usando normalmente un espaciamiento constante entre cada electrodo. Tal caso (Figura 15) representa el arreglo de Wenner, donde se toma inicialmente una línea de datos con espaciamiento “a” recorriendo sucesivamente los electrodos a lo largo de la línea desde la posición número 1 hasta la 20, completando un total de 17 datos (20 - 3). Para alcanzar mayores profundidades, se deben separar los electrodos, tal como lo indica la Figura II-15 (estación 18 y 32), y por lo tanto a mayor profundidad menor es el número de datos obtenidos.

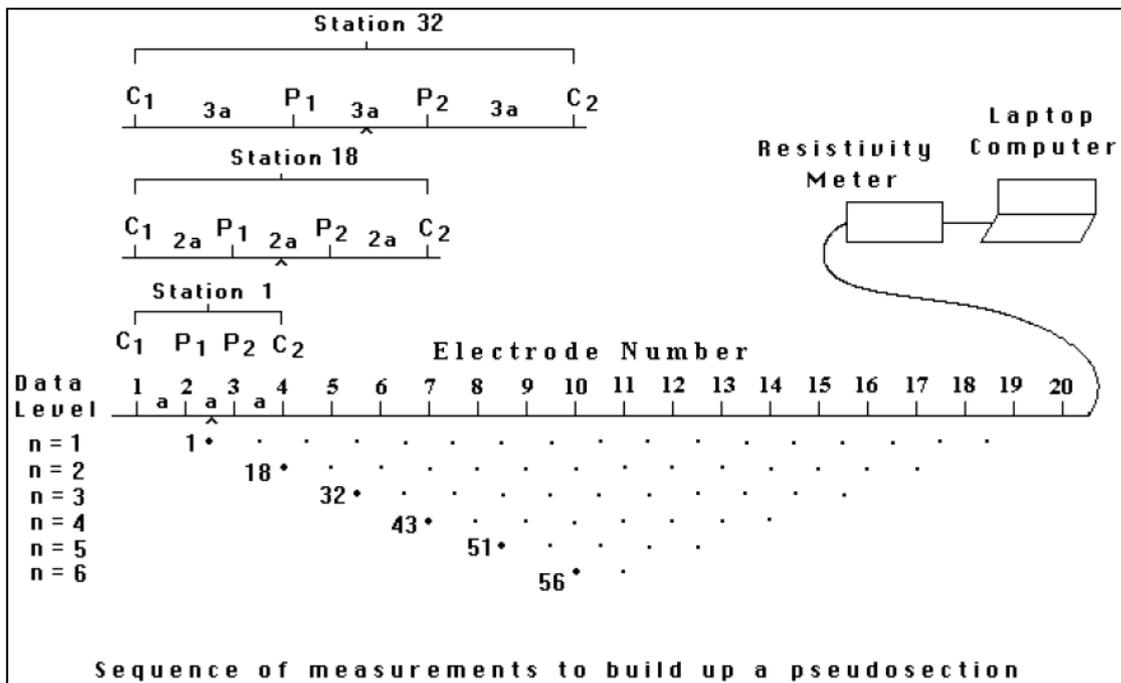


Figura II-15 Arreglo de electrodos para mediciones eléctricas en 2-D (Loke, 1999).

Para un arreglo tipo Dipolo-Dipolo, la medición varía ligeramente, definiéndose el factor “n” como la razón entre la distancia de los electrodos C1-P1 y el espaciamiento entre los dipolos C1-C2. De tal manera que si “n=2” la distancia entre C1 y P1 es dos veces el espaciamiento entre los dipolos C1-C2 (Figuras II-14 y II-15).

Posteriormente, para el ploteo de los datos existe el método de la pseudo-sección, el cual da una imagen aproximada de las anomalías. El dato es ubicado a una distancia proporcional a la distancia entre los electrodos, mientras que la profundidad máxima de investigación, en términos generales, es proporcional a la mitad de la longitud dipolar. Una limitante importante del método es que da una imagen distorsionada de la sub-superficie, debido a que la forma del contorno de los cuerpos en sub-superficie está determinada por tipo de arreglo utilizado y por el parámetro físico real medido en sub-superficie.

Para solucionar tal inconveniente se utiliza la modelación inversa. Este ejercicio, permite calcular la cargabilidad aparente de una pseudo-sección 2-D, dividiendo la subsuperficie en un gran número de pequeñas celdas rectangulares bajo el método de elementos finitos o el de diferencia finita, según se escoja. Con esta modelación es posible obtener contornos más definidos para posteriormente comparar las pseudo-secciones previamente obtenidas para una mejor interpretación de los datos.

### **Método de Inversión**

El método de inversión intenta encontrar un modelo de la sub-superficie terrestre que responda a datos medidos en terreno. En la aplicación del método es bien conocido el problema de la no unicidad, es decir, la existencia de un amplio rango de modelos capaces de responder a los mismos datos de IP/Resistividad aparente. Para reducir el rango de modelos posibles se utilizan supuestos sobre la naturaleza de la sub-superficie, junto a datos previos de la geología (intrusivos ígneos en rocas sedimentarias, depósitos de cuerpos masivos, etc.) que permitan establecer el modelo de inversión más apropiado.

Los programas de inversión, emplean un método iterativo a partir de un modelo inicial en la búsqueda de un modelo mejorado en cada iteración, que se aproxime de mejor forma al set de datos con los que se cuenta inicialmente. En casi todos los casos existe conocimiento previo acerca de la geología en subsuperficie, así por ejemplo la sub-superficie de interés puede tener bordes gradacionales, para los cuales el método de inversión "constrained-smoothness" sería el más apropiado. Mientras que para cuerpos geológicos discretos con límites marcados el método de inversión robusta sería el más recomendado. Cierta información puede ser ingresada dentro del proceso de inversión en lo que constituye "filtros" que den peso relativo a la existencia de cuerpos con orientación horizontal (capas sedimentarias) y/o verticales (existencia de diques y/o fallas) conocidos previamente.

El método de inversión “constrained-smoothness” viene representado por la siguiente ecuación (Loke, 1999):

$$(J^T J + uF)d = J^T g - uFr \quad (2.9)$$

Donde:

$F$  = Una matriz suavizadora

$J$  = Una matriz jacobiana de derivadas parciales

$r$  = Vector que contiene el logaritmo de los valores del modelo

$u$  = Factor de amortiguación

$d$  = Vector de perturbación del modelo

$g$  = Vector de discrepancia

El vector “g” contiene la diferencia entre los valores aparentes medidos y calculados, su valor se expresa en RMS (root-mean-squared), y es justamente este valor el cual el método de inversión busca reducir en un intento por mejorar el modelo en cada iteración. El vector de perturbación del modelo “d” registra el cambio en los valores calculados y los valores aparentes medidos tales como: la rugosidad. Por otra parte el factor de amortiguación “u”, controla el peso del modelo en cada iteración del proceso de inversión. La ecuación (2.9) intenta minimizar el cuadrado de los cambios espaciales o la rugosidad de los valores entregados, generando un modelo con variaciones y contornos suaves.

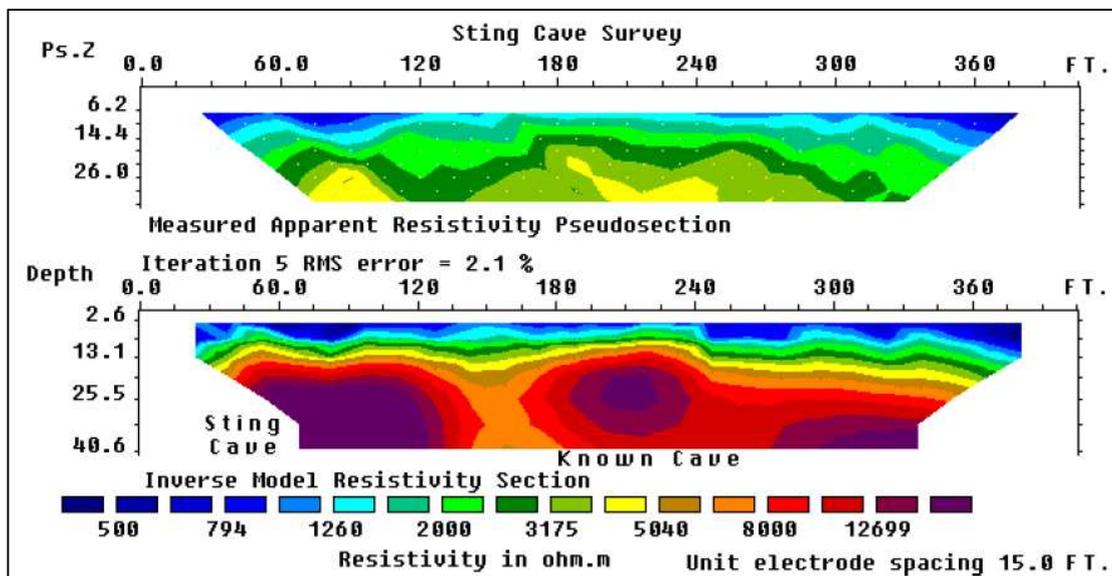


Figura II-16 Pseudo-sección con resistividad aparente junto a un modelo de inversión.

## 2.2 Yacimientos tipo IOCG

Los yacimientos tipo IOCG tienen una mineralogía que viene representada por una abundancia en minerales oxidados de Fe y escasa presencia de sulfuros de Fe, y que a diferencia de otros tipos de depósitos, no parecen tener una relación espacial directa con intrusiones en niveles estructurales de mineralización (Hitzman *et al.*, 2000). Además cuentan con una variada morfología, que va desde cuerpos estratoligados hasta stockwork en zona de brechas irregulares.

En Chile se han identificado depósitos tipo IOCG con edades que van entre el Mesozoico y el Cenozoico, donde es posible encontrar depósitos tanto del tipo magnetita-apatito como también del tipo Óxidos de Fe-Cu-Au. En términos de volumen, los principales yacimientos de Cu-Au asociados a mineralización de óxidos de hierro se ubican en la Cordillera de la Costa del Norte de Chile y sur de Perú (13-33°30'S), alojados en rocas del arco volcánico Jurásico Medio-Cretácico Inferior (Díaz *et al.*, 2003), y emplazados en sistemas de fallas mayores (p.ej. Sistema de Falla de Atacama, Sistema de Falla Paipote – Chivato). En cuanto a la génesis de éste tipo de depósitos se han postulado tres escenarios tectónicos favorables (Hitzman *et al.*, 2000), con una fuente de los fluidos mineralizadores aún discutida. Por una parte algunos autores favorecen un origen magmático mientras que otros apoyan un origen meteórico de las soluciones (Barton, 2009).

Algunos casos representativos de éste tipo de depósitos, en el norte de Chile son:

### Caso Candelaria

Corresponde a un depósito tipo óxido de Fe-Cu-Au (IOCG) ubicado en la región de Atacama, norte de Chile (27°30'S). El yacimiento se encuentra alojado en rocas del arco magmático-plutónico del Cretácico Inferior en una trampa estructural formada por la Formación Punta del Cobre y por las rocas carbonatadas del Grupo Chañarcillo (Arévalo *et al.*, 2006).

Las edades radiométricas obtenidas para el evento mineralizador principal en Candelaria-Punta del cobre son de unos 115 Ma (Marschik *et al.*, 2001), las cuales se relacionan bien con la actividad tectono-magmática de la cordillera de la Costa de Chañaral y Copiapó, bajo un régimen sinistral-transtensional con un incremento de la componente sinistral strike-slip que tomó lugar desde el Jurásico Tardío. Ésta se desarrolló debido a deformación sin-plutónica en el Sistema de Fallas de Atacama (130 Ma) (Figura II-17) y en el Sistema de Fallas del Chivato (107 a 93 Ma) (Arévalo *et al.*, 2006).

Las rocas expuestas en Candelaria pertenecen a las formaciones Punta del Cobre y Abundancia. Ryan (1995) dividió las rocas estratificadas de Candelaria en cuatro unidades. Las tres unidades más viejas forman parte de la Fm. Punta del Cobre, mientras que la más reciente se correlaciona con la Fm. Abundancia. Las unidades de andesitas inferiores, tobas y sedimentos volcanoclásticos, de la Fm. Punta del Cobre, son las que albergan la mineralización.

Estructuralmente, la zona corresponde a un cinturón altamente foliado con esquistos de biotita, las cuales se encuentran principalmente confinadas a la sección superior del miembro de Andesitas inferiores y a las unidades de rocas basales de tobas y sedimentos volcanoclásticos, donde ocurre parte importante de la mineralización. Por otra parte, la existencia de fallas lítricas que se encuentran en el sector están asociadas con anticlinales de roll-over expuestos en los niveles superiores. El depósito se encuentra desplazado por una falla de rumbo NNW y cortada por una red de fallas menores con rumbo NNW a NW, las cuales exhiben mineralización de pirita y calcopirita. Todas las estructuras muestran una separación lateral izquierda (Arévalo *et al.*, 2006).

Las rocas que albergan la mineralización corresponden a las del Miembro Geraldo-Negro, que forma parte de las Andesitas inferiores de la Fm. Punta del Cobre y que presentan alteración del tipo biotita-cuarzo-magnetita con ocurrencia de plagioclasa y/o feldespato potásico. Los niveles potásicos pasan a niveles más someros dentro de una secuencia sódica de albita-clorita. Las rocas metasomatizadas con sodio representarían una parte periférica de la alteración hidrotermal. La intensidad de carbonatización y cloritización tienden a aumentar hacia niveles más altos en la estratigrafía, mientras que la silicificación tiende a disminuir. Las andesitas que albergan la mineralización en Candelaria se encuentran previamente afectadas por alteración sódica penetrativa, y posteriormente por alteración potásica penetrativa junto a la mineralización (Marschik *et al.*, 2001).

### **Caso Mantoverde**

Ubicado en la Cordillera de la Costa III Región, norte de Chile (26°30'40"-26°36'03"S, 70°17'39"-70°20'05"W), se emplaza en un arco volcano-plutónico calco-alcalino de edad Mesozoica, hospedado por estratos meta-sedimentarios de edad Devónico a Carbonífero, con rocas plutónicas del permo-triásico y rocas volcanoclásticas. Tanto el arco como el basamento se encuentran dominados por un régimen extensional representado por el Sistema de Fallas de Atacama (SFA) (Figura II-17) y cubiertos por depósitos aluviales y coluviales del Neógeno al Cuaternario (Benavides *et al.*, 2007).

El rasgo estructural dominante en el sector es el Sistema de Fallas de Atacama que corresponde a un sistema de estructuras paralelas al arco que registra una compleja evolución cinemática que comienza en el Jurásico Temprano y que predomina en el Cretácico Temprano, el cual juega un rol importante en el control del emplazamiento de plutones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior, junto al desarrollo de depósitos tipo Oxido de Fe-Cu-Au (Herrera *et al.*, 2007).

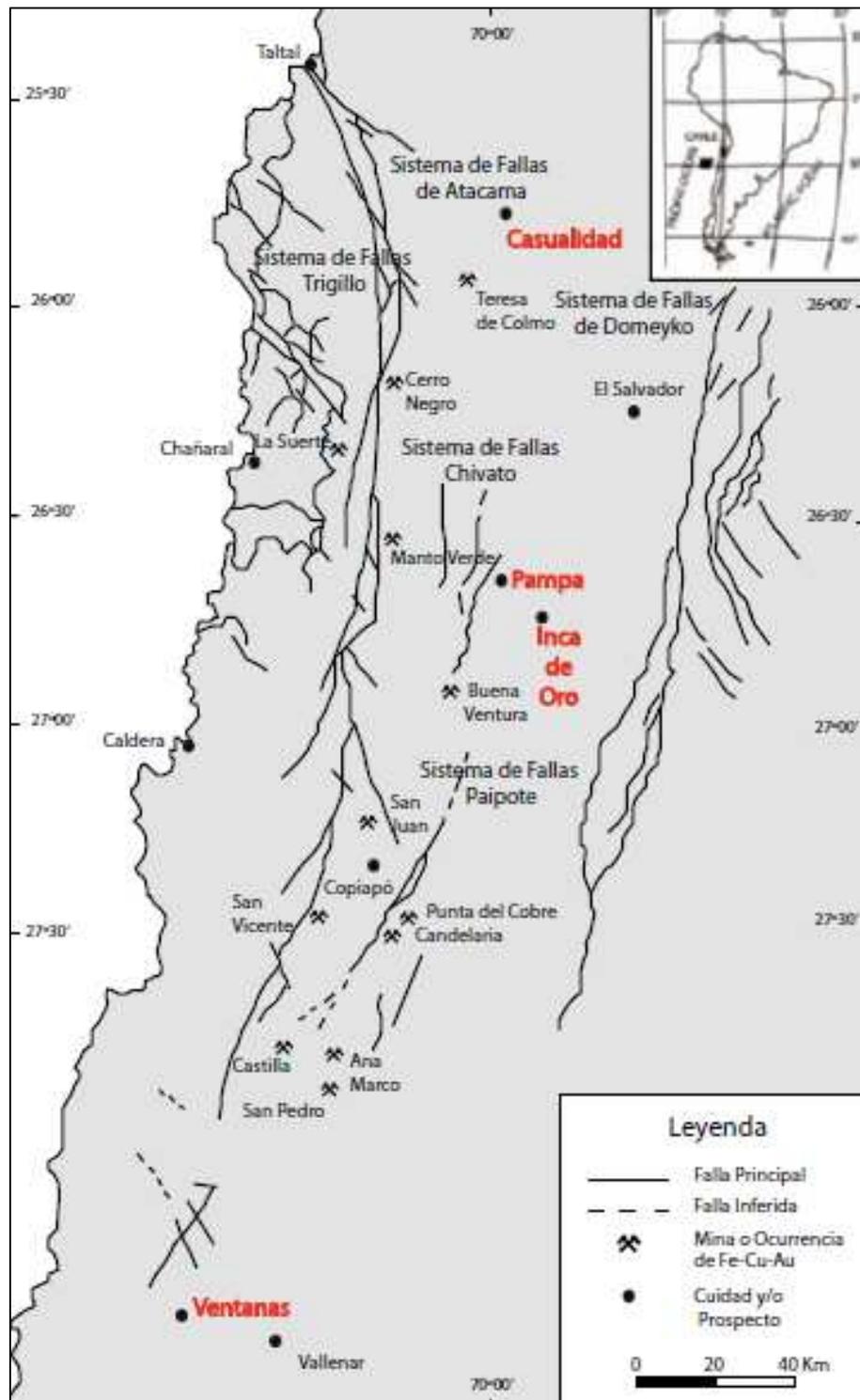
La mineralización principal en el sector, consiste en brechas y stockwork de calcopirita y hematita especular y cuerpos con magnetita-apatito±pirita, distribuidos en varios centros del distrito, el cual se extiende por unos 10 km en dirección N-S. Las brechas mineralizadas y stockworks comúnmente se encuentran en la caja pendiente de una falla conocida como Mantoverde en la mitad norte del Distrito, mientras que los cuerpos masivos de magnetita-pirita ocurren en la caja yacente de la falla, en la mitad sur del Distrito. También existen cuerpos masivos irregulares de magnetita-apatito±pirita a lo largo de la rama este del Sistema de Fallas de Atacama (Benavides *et al.*, 2007).

La mineralogía de sulfuros hipógenos (calcopirita y pirita), están asociados con menor bornita y pirrotina. Por su parte, la hematita, clorita, apatito, calcita, cuarzo, feldespato potásico, sericita y turmalina son los minerales asociados más relevantes.

La mineralización de Mantoverde se encuentra albergada en un bloque intensamente fracturado de una zona de transferencia, delimitada por estructuras centrales y ramas subsidiarias hacia el este del Sistema de Fallas de Atacama, conectadas por la Falla Manto Verde de dirección N15° a 20°W y manteo 40° a 50°E (Benavides *et al.*, 2007).

### **Características Geofísicas**

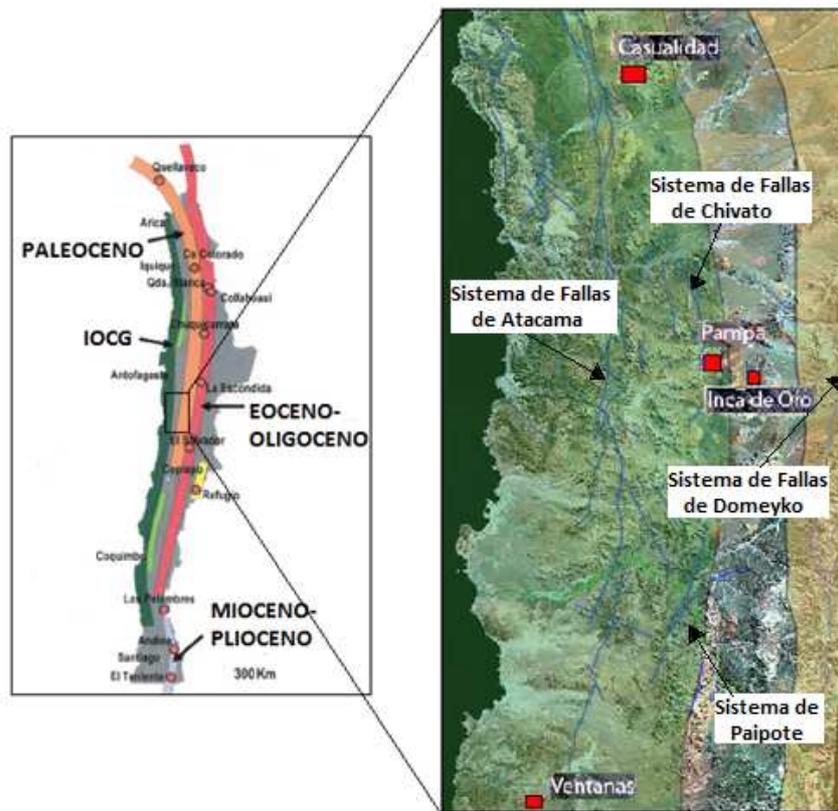
Estos sistemas se caracterizan en general por su alto contenido en óxidos de hierro tales como la magnetita, hematita (incluyendo hematita especular), junto a sulfuros de Fe en menor medida. Una característica común es la presencia de Cu, como calcopirita acompañada por proporciones variables de pirita. Por otra parte, las concentraciones de oro no son suficientes para perturbar las condiciones físicas y por ende las propiedades geofísicas del depósito (Smith, 2002). Por lo tanto, las respuestas de cargabilidad-resistividad están principalmente dominadas por la presencia de sulfuros donde aparentemente la ocurrencia tiene algún grado de incidencia importante, y potencialmente también la presencia de óxidos de Fe, en una relación que aún no es del todo entendida y que es materia de discusión en éste trabajo.



**Figura II-17** Trazas de Fallas principales de los Sistemas de Fallas Atacama y Domeyko, junto al Sistema de Fallas en la Cordillera de la Costa y en el límite de la precordillera de Copiapó. Además se indican los yacimientos principales y ocurrencias de magnetita-apatito junto a óxidos de Fe-Cu-Au (modificado de Arévalo *et al*, 2006).

## 2.3 Yacimientos tipo Pórfido Cuprífero

Los depósitos tipo Pórfido Cuprífero consisten en yacimientos con mineralización de Cu diseminados en vetillas, en stockwork, en vetas y en brechas, equitativamente distribuidos en grandes volúmenes de roca (más de 100 millones de toneladas) y con leyes relativamente bajas (0,3- 2,0% de Cu) (John *et al.*, 2010). Corresponden a sistemas amplios, que se encuentran estrechamente ligados en tiempo y espacio con la evolución general de los arcos magmáticos a lo largo del margen convergente de placas (Richards, 2005). En los Andes existen varias franjas asociadas a la formación de estos depósitos con edades que van desde el Paleozoico Tardío al Plioceno (Figura II-18), de las cuales tres franjas metalogénicas terciarias son las que contienen la mayor parte de los depósitos tipo pórfido cuprífero, entre ellos los más grandes del mundo (Sillitoe y Perrelló, 2005; Cannell *et al.*, 2005).



**Figura II-18** Franjas metalogénicas del Paleoceno, Eoceno-Oligoceno, junto a la franja ferrífera principal de la Cordillera de la Costa, Norte de Chile. Sistema de Fallas principales y prospectos estudiados.

Respecto a la génesis de éstos depósitos, algunos autores, proponen ambientes compresivos combinados a la buoyancia de la placa oceánica, que conlleva al engrosamiento de la corteza, que junto a altas tasas de exhumación generaría las condiciones necesarias para la acumulación de fluidos magmáticos ricos y cámaras someras, para la formación de grandes depósitos tipo pórfido cuprífero (John *et al.*, 2010).

### **Características Geofísicas**

En éste tipo de depósito, en general, los sulfuros de Cu y Fe (pirita, calcopirita, calcosina y bornita) se encuentran distribuidos en todas las zonas de mena y alteración. No obstante, las anomalías más altas en efecto IP a menudo se relacionan con la presencia de alteración tipo cuarzo-sericita-pirita.

En pórfidos cupríferos, el núcleo de alteración potásica presenta generalmente una concentración baja de sulfuros, que se relaciona a su vez con altas resistividades debido a silicificación y ausencia de alteración fílica- argílica. Más en la periferia, la zona de alteración sericítica contiene una alta concentración de sulfuros a diferencia de la zona de alteración propilítica la cual presenta un bajo contenido en pirita. Por lo tanto, la zona de alteración sericítica es un blanco importante para mediciones IP en pórfidos cupríferos (John *et al.*, 2010). De esta forma, el método IP puede emplearse con el fin de mapear zonas de alteración y localizar los rasgos estructurales que controlen el depósito (Pelton, y Peter, 1976).

Por otra parte, la naturaleza dispersa de éstos minerales sulfurados propicia el empleo del método de Polarización inducida (IP), sobre todo en casos donde la presencia de pirita diseminada implique una proximidad al sistema mineralizado, acorde a un modelo geológico previo. Al respecto, el tamaño de grano de los minerales metálicos es relevante para la cargabilidad medida, en virtud que la diseminación conlleva a una mayor superficie de contacto y por ende a un incremento en la cargabilidad medida (Wong, 1979). Los minerales más relevantes para exploración geofísica son pirita, calcopirita, calcosina.

## 2.4 Marco Geológico Regional

### 2.4.1 Evolución Tectonoestratigráfica

La totalidad de los prospectos estudiados en este trabajo se albergan en rocas volcánicas y volcanoclásticas del Jurásico Temprano tardío - Cretácico Temprano tardío. Este ciclo contempla un escenario general extensivo con la formación de un arco magmático con intensa actividad magmática, paralelo al margen continental levemente orientado en dirección NW, en lo que hoy se conoce como Cordillera de la Costa, con abundante sedimentación en una cuenca de tras arco ubicada al este del arco (Charrier *et al.*, 2007).

Al norte de los 39°S, entre las localidades de Arica y Chañaral, la actividad magmática del arco corresponde a la Formación La Negra, la cual consiste en una gruesa sucesión de origen volcánico volcano-clástico y que alberga varios depósitos del tipo estratoligados, entre ellos, Mantos Blancos, Mantos de la Luna, Buena Esperanza y el Distrito Michilla (Charrier *et al.*, 2007). Hacia la zona de tras- arco se han definido varias Formaciones de carácter volcano-sedimentario (Fm. Saucine, Fm. Atajaña, Fm. Caleta Coloso) los que en su mayoría se presentan en discordancia sobre la Fm. La Negra. Más tarde, a comienzos del segundo subescenario (Kimmeridgiano al Aptiano- Albiano), entre las regiones de Tal-tal y Chañaral, se han identificado una secuencia de rocas volcánicas correspondiente a la Fm. Aeropuerto, la cual representa la transición arco-tras arco para éste tiempo.

Más al sur, en la región entre Chañaral y La Serena (26°S-30°S), la evolución del arco continúa con la Fm. La Negra, donde al este de la comuna de Chañaral se reconoce una sucesión de lavas andesíticas y basalto-andesitas de más 2000 metros de potencia conocida como Fm. Sierra Fraga, correspondiente a una extensión distal de la Fm La Negra. En el segundo subescenario los depósitos del arco en esta región corresponden a la Fm. Punta del Cobre, la cual consiste principalmente de un miembro volcánico en su parte inferior (Miembro Geraldo – Negro) y volcanoclástico hacia su parte superior (Miembro Algarrobos), y cuya mayoría corresponde a depósitos de una región intermedia entre el arco y el tras arco. Los depósitos volcano-volcanoclásticos de la Fm. Punta del Cobre (Jurásico Tardío- pre Valanginiano) representan un límite transicional con la subyacente Fm. La Negra, indicando una continuidad de la actividad volcánica en esta región. Por otra parte, ésta Formación alberga los depósitos de Óxidos de Fe-Cu-Au (IOCG) de incipiente interés económico, en la denominada franja de Punta del Cobre.

Por último, hacia finales del primer ciclo, sobre esta formación se encuentran depósitos de carácter marino en el tras arco correspondientes al Grupo Chañarcillo y sucesiones volcano-sedimentarias con intercalaciones marinas calcáreas de más de 2500 metros de espesor del Grupo Bandurrias, ambos correspondientes a una zona de transición entre el arco al oeste y la cuenca de tras arco al este (Figura II-19).

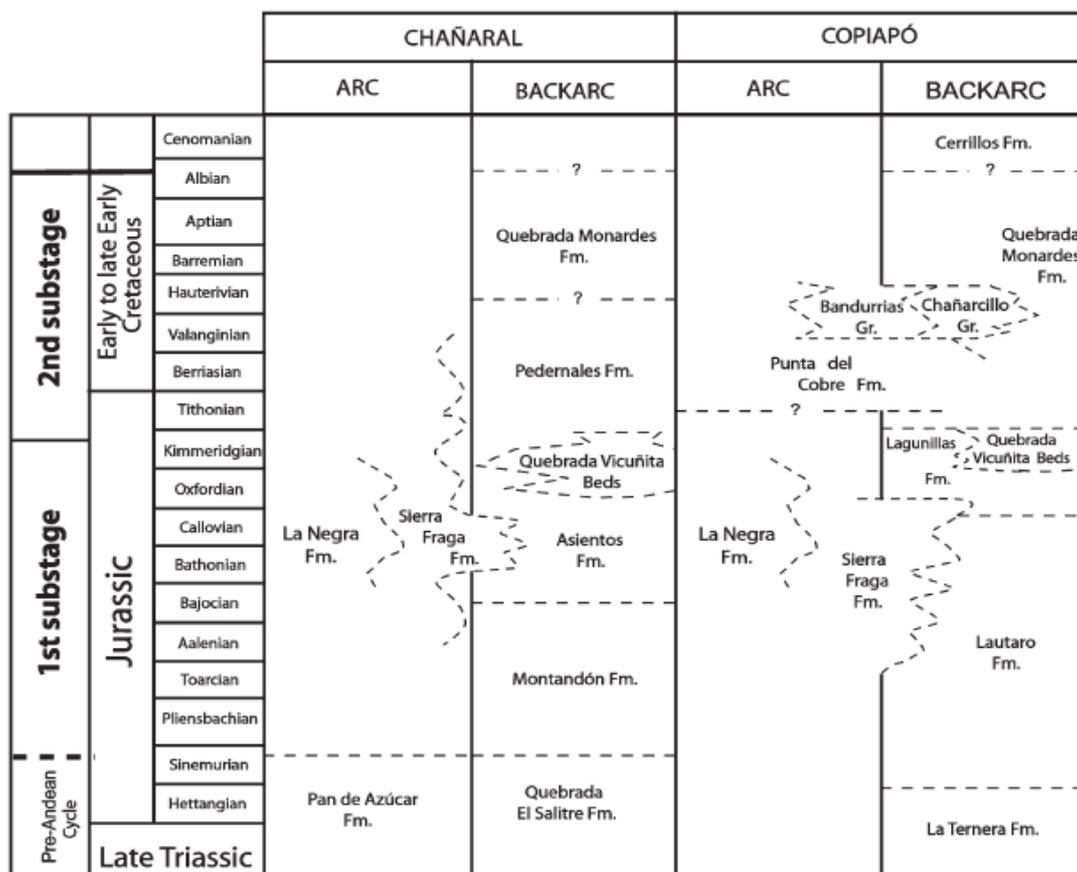


Figura II-19 Relación cronoestratigráfica entre el arco tras-arco durante el primer escenario del ciclo tectónico Andino entre Chañaral y Copiapó (de Charrier *et al.*, 2007).

## 2.4.2 Estructuras

El rasgo estructural principal en la región corresponde al Sistema de Fallas de Atacama (SFA), formada durante el Jurásico Inferior al Cretácico Superior, la cual se extiende aproximadamente unos 1000 km en la zona del ante arco chileno, entre las ciudades de Iquique y La Serena. La geometría se caracteriza por estructuras frágiles de grandes dimensiones, en respuesta a movimientos siniéstrales, con estructuras de rumbo NS y otras subsidiarias de orientación NW formando dúplexes a escala regional y local (Charrier *et al.*, 2007).

Dentro de su dominio se encuentran los yacimientos de hierro más importantes de Chile, pertenecientes a la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa, la cual se extiende por más de 600 km entre las latitudes 26° y 32°S. Allí se encuentra el depósito tipo IOCG de Manto Verde, localizado 32 km al SE de Chañaral en una zona de fallas subsidiarias de rumbo NNW delimitada por dos Fallas maestras principales N-S, pertenecientes a este sistema de Fallas (SFA).

Otros sistemas de Fallas importantes para los prospectos estudiados, especialmente en el caso de Inca de Oro y de Pampa, lo representa el Sistema de Fallas de Chivato y de Paipote (Figura II-17). En particular, el sistema de Fallas de Chivato representa un sistema que estuvo activo como un sistema extensional en el lado este de la cordillera de la costa en tiempos del Triásico-Cretácico temprano, y que mas tarde evolucionó como un sistema extensional oblicuo sinistral, siendo posteriormente invertido por la transpresión de un sistema de transferencia NW reactivado. De igual forma que el Sistema de Fallas de Atacama (SFA), estos sistemas representan zonas frágil-dúctil de alta temperatura ligados al emplazamiento de plutones en el arco, asemejándose a las condiciones de mineralización tipo magnetita-apatito durante la transición frágil-dúctil en estas zonas de fallas (Grocott yTaylor, 2002). Estos sistemas al igual que lo postulado para el lineamiento de Antofagasta-Calama (Palacios *et al.*, 2007) podrían implicar algún tipo de desplazamiento oblicuo de estos sistemas mineralizados, explicando la presencia de depósitos minerales a estas latitudes, cuyo origen aún debe ser estudiado.

### 3. ANÁLISIS DE CASOS

A continuación se describe la geología local, estudios IP disponibles, y los testigos de sondajes analizados por cada uno de los cuatro prospectos estudiados. Si bien los testigos de sondajes fueron mapeados a escala 1:500, los porcentajes de sulfuros y óxidos de hierro se estimaron en tramos cada 25 metros, esto dado la profundidad alcanzada por un estudio IP dipolo-dipolo, la que en términos generales, está dada por la mitad de la longitud dipolar. De tal manera que si se considera  $\frac{1}{4}$  de la longitud dipolar mínima (100 m, en Casualidad), se obtiene una ventana de 25 m, así se cuenta con al menos dos muestras representativas dentro de la profundidad mínima de estudio.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el tamaño del grano y ocurrencia pueden influir en la intensidad de la respuesta IP, se estimó el porcentaje total de sulfuros (% en volumen), su desglose según el tipo de sulfuro y su ocurrencia clasificada en: sulfuros diseminados, en vetillas o en cúmulos (Anexo I).

En el caso de los depósitos tipo IOCG (Casualidad, Pampa y Ventanas), las concentraciones de magnetita fueron estimadas a partir de datos previos de susceptibilidad magnética, medidos con susceptibilímetro marca KT-9, y mediciones intra-pozo wellfield, en el caso del sondaje DDS-7. Con los datos de susceptibilidad magnética se obtuvo una estimación del porcentaje en volumen de magnetita, a través de la relación empírica de Mooney y Bleifuss (1953) (ver Anexo IV).

Para identificar las relaciones existentes entre los parámetros IP (cargabilidad y resistividad eléctrica) y las variables geológicas estudiadas en los testigos de sondajes, se realizaron comparaciones visuales entre las curvas obtenidas para cada variable (Anexo I). De igual modo, se estableció un grado de correlación numérico a través del coeficiente de correlación de Pearson (Anexo III), el cual permite establecer la relación lineal entre 2 variables aleatorias cuantitativas. De esta forma, se puede obtener un índice numérico que apoye numéricamente la comparación visual entre dos variables de carácter físico (cargabilidad-resistividad) versus las variables geológicas observadas en los testigos de sondajes (% sulfuros totales, % tipo de sulfuro, %ocurrencia, % magnetita).

En términos de cargabilidad se cuenta con datos medidos en el dominio de frecuencias (mili-radianes) (Casualidad y Pampa), y otros medidos en el dominio del tiempo (mili-segundos) (Pampa e Inca de Oro). Con el fin de obtener una escala de medida común para todos los prospectos, se ha propuesto un factor de conversión igual a 1,4 (mrad/msec) estimado a partir de una sección IP en Inca de Oro, la cual fue medida en ambos dominios (frecuencia y tiempo), obteniendo de

esta manera un factor promedio, al comparar cada uno de los datos obtenidos. Estudios previos (Pittard y Bourne, 2007) han propuesto un factor de conversión empírico similar de 1,6, el cual depende de las características geológicas del sector y de la medición.

En cuanto al análisis e interpretación de las secciones IP/Resistividad, presentadas a continuación, se puede establecer lo siguiente:

Para las secciones de Polarización Inducida (cargabilidad), los colores amarillo-rojos indican valores relativamente altos de Polarización representando presencia de sulfuros diseminados y/o minerales no metálicos producto de alteraciones argílica y sericítica. A diferencia de colores verde-azul de menor cargabilidad relacionada a rocas volcánicas y/o intrusivas con un grado de alteración menor, o bien a rocas mineralizadas con óxidos metálicos.

En las secciones de resistividad, los colores rojo-amarillos representan bajas resistividades, las que son relacionadas preferentemente con la presencia de rocas con alteración hidrotermal y mineralización de sulfuros. Mientras que los sectores de color verde-azul representan resistividades mayores relacionándose a menudo con la presencia de rocas volcánicas y/o intrusivas con o sin alteración y también a rocas mineralizadas con óxidos no saturadas con agua.

## **3.1 Casualidad**

### **3.1.1 Ubicación y Accesos**

El prospecto Casualidad se encuentra en la Región de Antofagasta a 70 km al sureste del puerto de Taltal, y 60 km al norte de Diego de Almagro. El acceso se realiza a través del camino que une Diego de Almagro con la Quebrada del Carrizo y el Distrito Frankenstein, o bien desde el camino que une la carretera Panamericana (Ruta 5) con la antigua estación del ferrocarril Altamira (Figura I-1).

### **3.1.2 Geología local**

El prospecto Casualidad consiste en un cuerpo mineralizado tipo Cu-Fe-Au, oculto bajo una cobertura de gravas de 40 m de espesor promedio.

En el área aflora una secuencia volcánica, donde se distinguen dos unidades: una inferior conformada por lavas, brechas andesíticas, aglomerados y tobas, que ha sido asignada a la Fm. La Negra (Jurásico) y una superior, formada por tobas dacíticas y sedimentitas volcanoclásticas ligadas a la Fm. Aeropuerto (Cretácico Inferior) (Figura III-1). En profundidad, los testigos de sondaje detectaron la presencia de un stock granodiorítico que instruye a tobas de la unidad inferior y que se encuentra oculto bajo gravas de la quebrada Cachina, de igual forma se reconocieron diques de pórfidos andesíticos y microdioritas (Rivera *et al.*, 2009). El cuerpo mineralizado se emplaza íntegramente en la secuencia volcánica inferior, con un volumen mayor en el contacto entre las dos unidades.

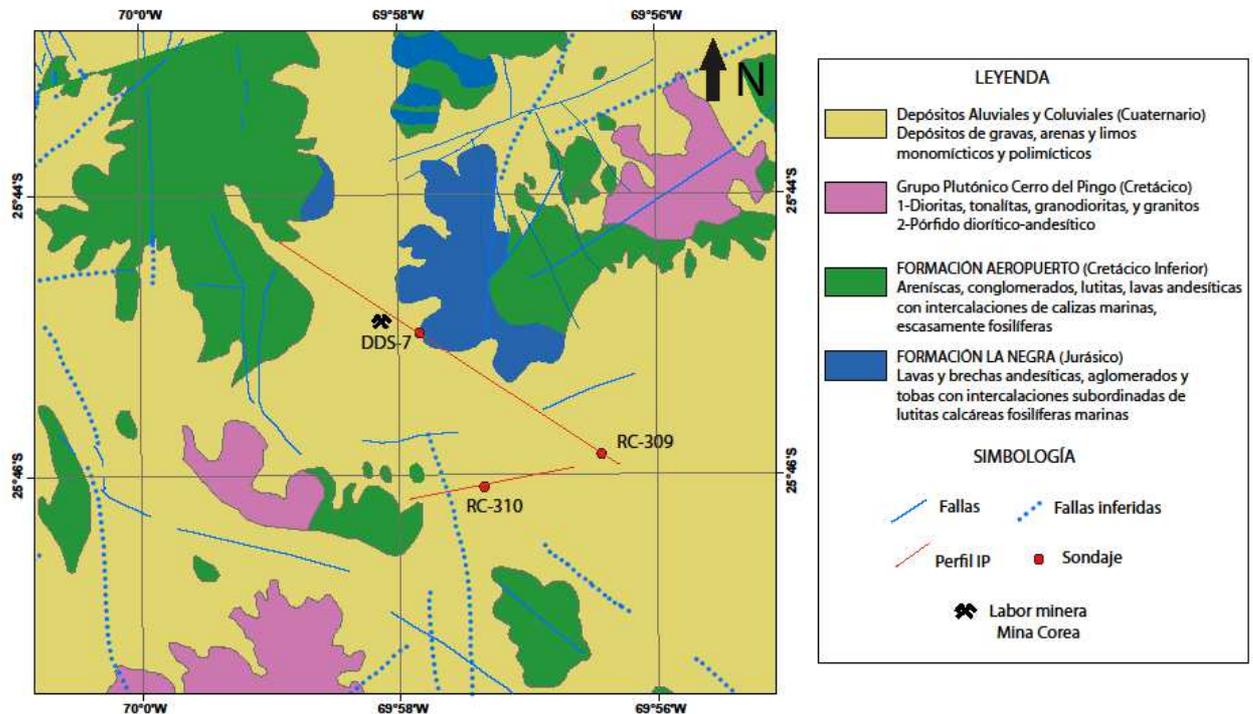


Figura III-1 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Casualidad (Naranjo *et al.*, 1984)

Las estructuras del sector esta dominada por tres orientaciones distintas: un set de estructuras de rumbo NNO, otro de rumbo NE, y un set de fallas menores de rumbo ONO (Rivera *et al.*, 2009).

También se constata un plegamiento y vasculamiento de la secuencia volcánica, el cual se considera resultado del desarrollo de fallas inversas de bajo ángulo, dentro de un régimen tectónico de acortamiento posterior NE-SW. Esto es validado por el desarrollo de un stock lentes de mena en estructuras de bajo ángulo entre los contactos, y dispuestos de manera oblicua a la estratigrafía.



Figura III-2 Entorno a Casualidad.

### 3.1.3 Alteración y Mineralización

Las rocas de Casualidad en su mayoría corresponden a andesitas porfíricas y brechosas. Las rocas huésped están afectadas por varios tipos de alteración relacionados al evento mineralizador. Se reconoce un fuerte metasomatismo de biotita-magnetita temprano, sobre la cual se desarrollan asociaciones de alteración calco-sódica con clorita, clorita –albita y epidota-albita (Rivera *et al*, 2009). En andesitas porfíricas se constató alteración biotítica-clorítica-epidota y en menor medida silicificación. En éstas se reconocen vetillas con calcopirita-magnetita y halos de goethita-pirita primaria.

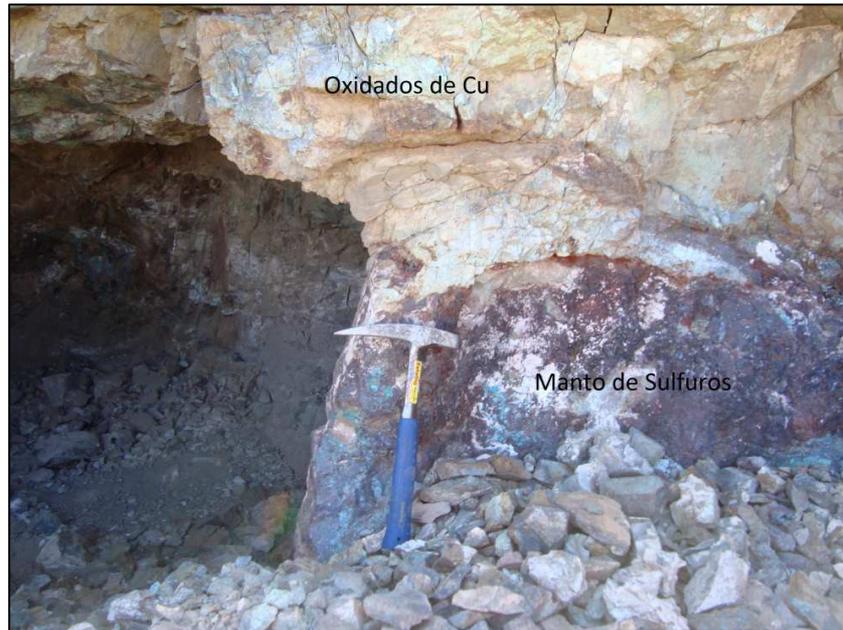
En sectores con andesita brechizada se constata alteración del tipo albita-epidota, lo cual ha sido relacionado a un evento de autosomatismo con la inferencia de un sistema hidrotermal de Na-(Ca), importante para la mineralización tipo Cu-Au.

Mientras que la alteración temprana consiste en un remplazo mineral de la roca por la asociación biotita-magnetita, las asociaciones minerales relacionadas al evento mineralizador ocurren en vetas y vetillas. De esta forma, el evento mineralizador generó mantos, enrejado de vetas y vetillas y cuerpos brechosos con magnetita-sulfuros de cobre en contactos más o menos paralelos a la estratificación (Rivera *et al*, 2009).

A unos 500 m al SE de Casualidad existe una única pequeña labor minera (Figura III-3) donde se reconoció un manto de sulfuros (Figura III-4), los que en su mayoría se encuentran alterados a hematita y limonitas, con actitud sub-horizontal ( $N60^{\circ}W/15^{\circ}N$ ) y de 1,5 m de espesor, con respuesta magnética intensa (Abril del 2012).



Figura III-3 Labor minera, 500 m al SE de Casualidad (Abril, 2012).



**Figura III-4** Manto de Sulfuros-Magnetita, pequeña labor minera, Casualidad (Abril, 2012).

### **3.1.4 Datos IP**

Los estudios IP en el sector fueron realizados por la empresa Geodatos S.A.I.C, el año 2005 para EMSA (Exploraciones Mineras Andinas S.A). Las mediciones fueron realizadas en el dominio de frecuencias, arreglo Polo-Dipolo, longitud dipolar de 100 m, y con lecturas hasta nivel  $n=6$ , lo cual permitió alcanzar una profundidad máxima de investigación de 250 m. El estudio detectó zonas anómalamente altas en efecto IP.

Los sondajes estudiados cortan anomalías IP entre 20-60 mili-radianes, las cuales representan valores 4 veces mayores al promedio de fases observadas en el perfil de valores entre 10 a 20 mili-radianes (Figura III-5). Estas zonas anómalas en efecto IP están generalmente asociadas a resistividades entre 400-80  $\text{ohm}^*\text{m}$ . En términos comparativos, el sondaje RC-309 se ubica en un dominio de fases mayores a los otros dos sondajes (RC-310 y DDS-7). A su vez el sondaje RC-310 se ubica en un entorno con fases levemente mayores a DDS-7, con valores entre 15-30 mili-radianes, y valores de resistividad entre 80-400  $\text{ohm}^*\text{m}$ .

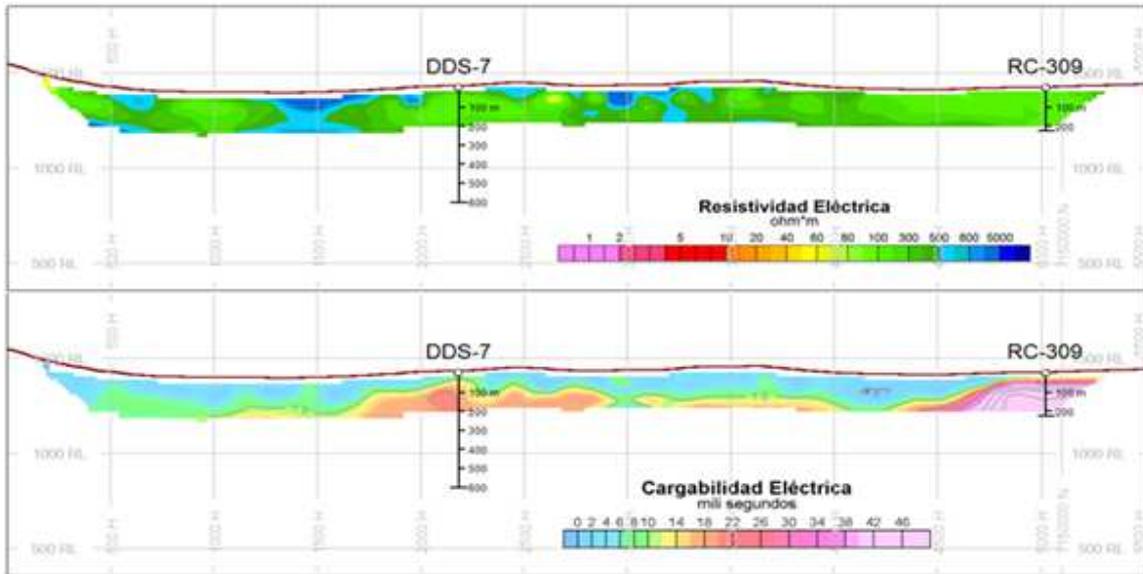


Figura III-5 Sección IP/Resistividad, DDS-7 y RC-309.

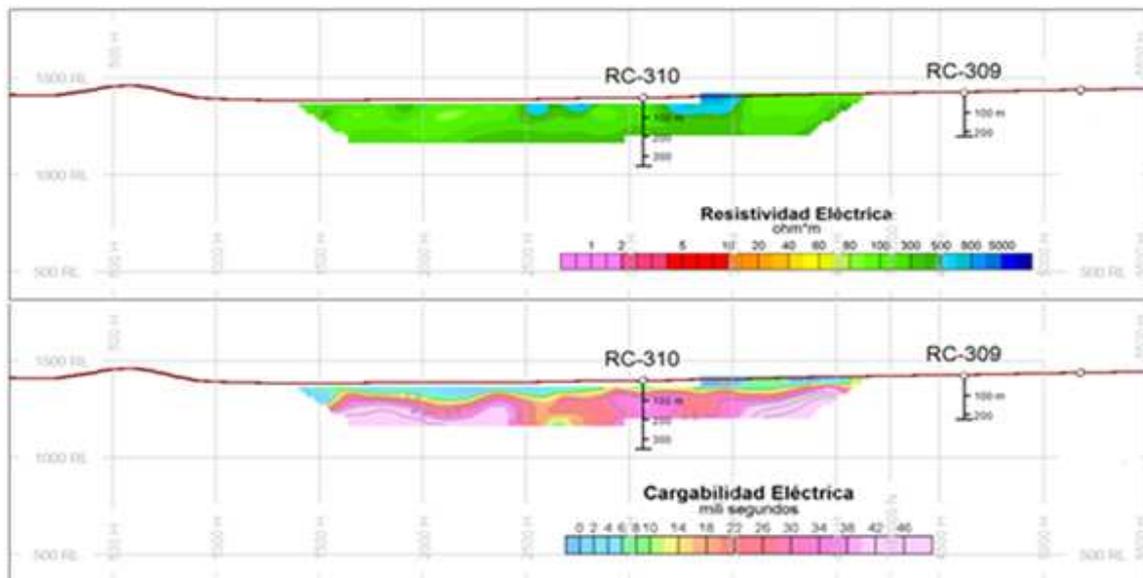


Figura III-6 Sección IP/Resistividad, RC-310.

### 3.1.5 Caracterización geológica

Se mapearon 2 sondajes tipo aire-reverso (RC-309, 250 m; y RC-310, 351 m), más un sondaje diamantino (DDS-7, 600 m). La descripción detallada de cada sondaje, junto a las curvas que resumen todas las variables geofísicas y geológicas estudiadas, se encuentran en Anexo I y II.

A continuación se ofrece una breve descripción:

## Sondajes

En los testigos de sondajes de Casualidad, se reconoce principalmente una secuencia volcánica andesítica conformada por tobas, lavas y brechas, excepto para RC-309 el cual cortó principalmente intrusivos. En los tres sondajes, los primeros 25 m están conformados por gravas polimícticas sin minerales polarizables relevantes que incidan en el efecto IP.

Los valores de cargabilidad registrados en los tres sondajes varían entre 15 a 45 mili-segundos (en el dominio del tiempo, ver Figuras III-7, III-8 y III-9), que se relacionan con valores en el porcentaje de sulfuros totales que van desde 1 a 1,5% en volumen. Tanto en RC-310 como en DDS-7, se tienen valores máximos de cargabilidad entre 20 y 15 mili-segundos respectivamente. En el primero existen valores máximos de hasta 1% de sulfuros, predominando la presencia de pirita por sobre calcopirita, mientras que en DDS-7 se registró una variedad más amplia de sulfuros (pirita, calcopirita, calcosina, bornita y covelina). Ambos sondajes (RC-310 y DDS-7) cuentan con litologías similares destacando la presencia de lavas, tobas, brechas andesíticas, incluyendo andesita porfírica y un pequeño tramo de un pórfido andesítico al final del pozo en DDS-7.

Por otra parte, el testigo de sondaje RC-309 alcanza valores de cargabilidad de hasta 45 mili-segundos relacionado con valores entre 0,5 y 1,5% de sulfuros totales. Su litología es notablemente distinta en comparación con la de los otros dos sondajes, y se encuentra formada por intrusivos, principalmente dominada por dioritas y granodioritas que intruyen una secuencia de tobas coincidentes con el tramo de mayor cargabilidad (desde 100 m de profundidad). El tipo de sulfuro dominante es la pirita el cual representa sobre un 90% del total de sulfuros estimados en éste sondaje.

Los valores de resistividad varían generalmente entre 30-300 ohm\*m en los tres testigos de sondajes mapeados.

A continuación se presentan los Strip-log resumen de los 3 testigos de sondajes mapeados, considerando las variables geológicas más significativas:

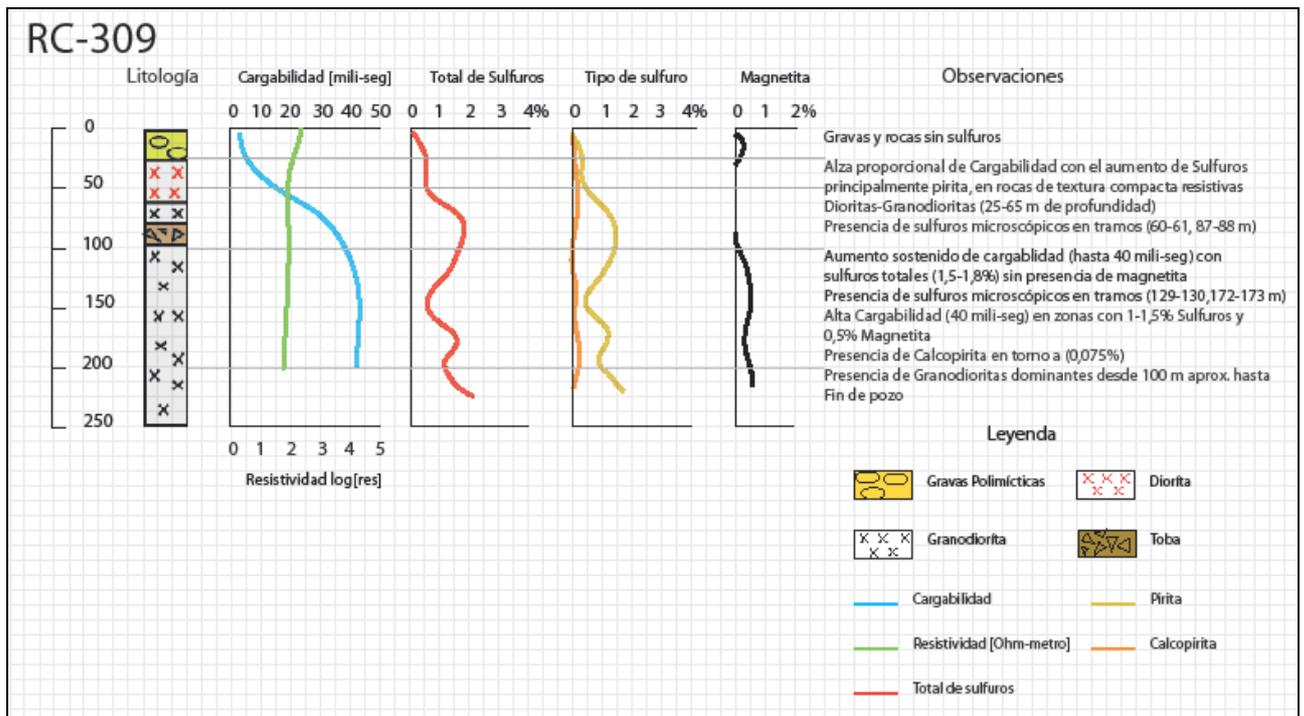


Figura III-7 Strip-log Resumen, RC-309.

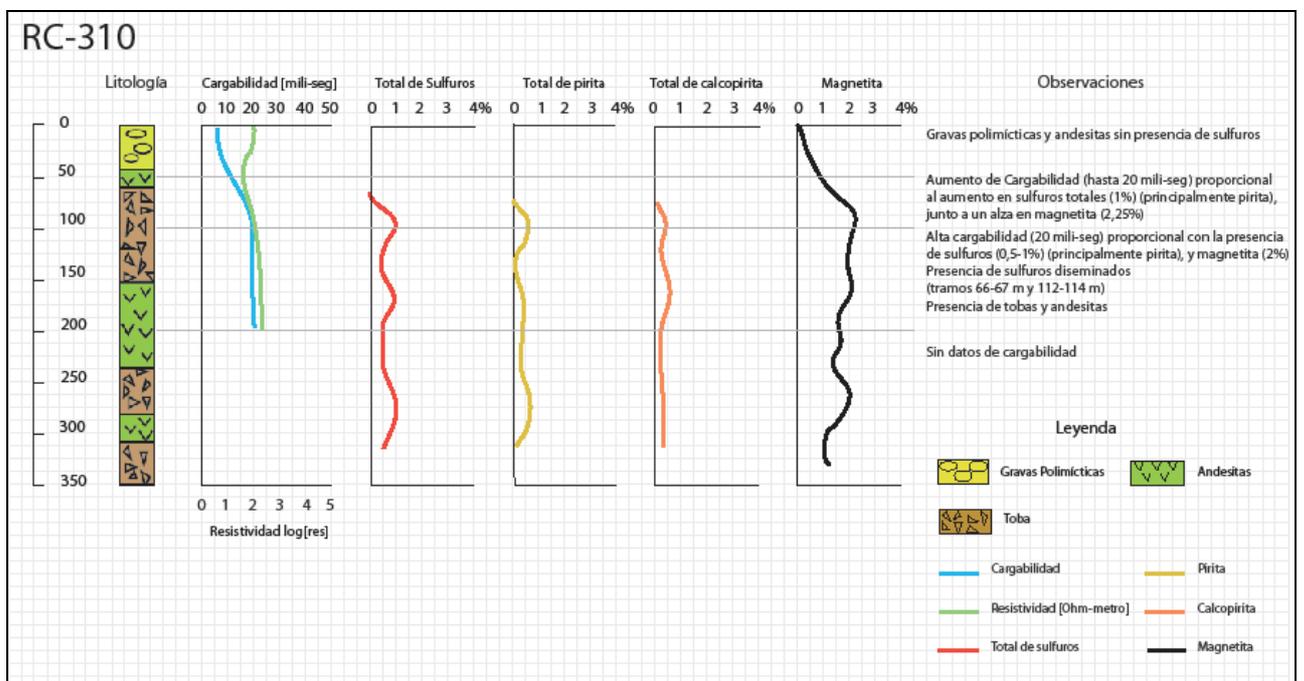


Figura III-8 Strip-log Resumen, RC-310.

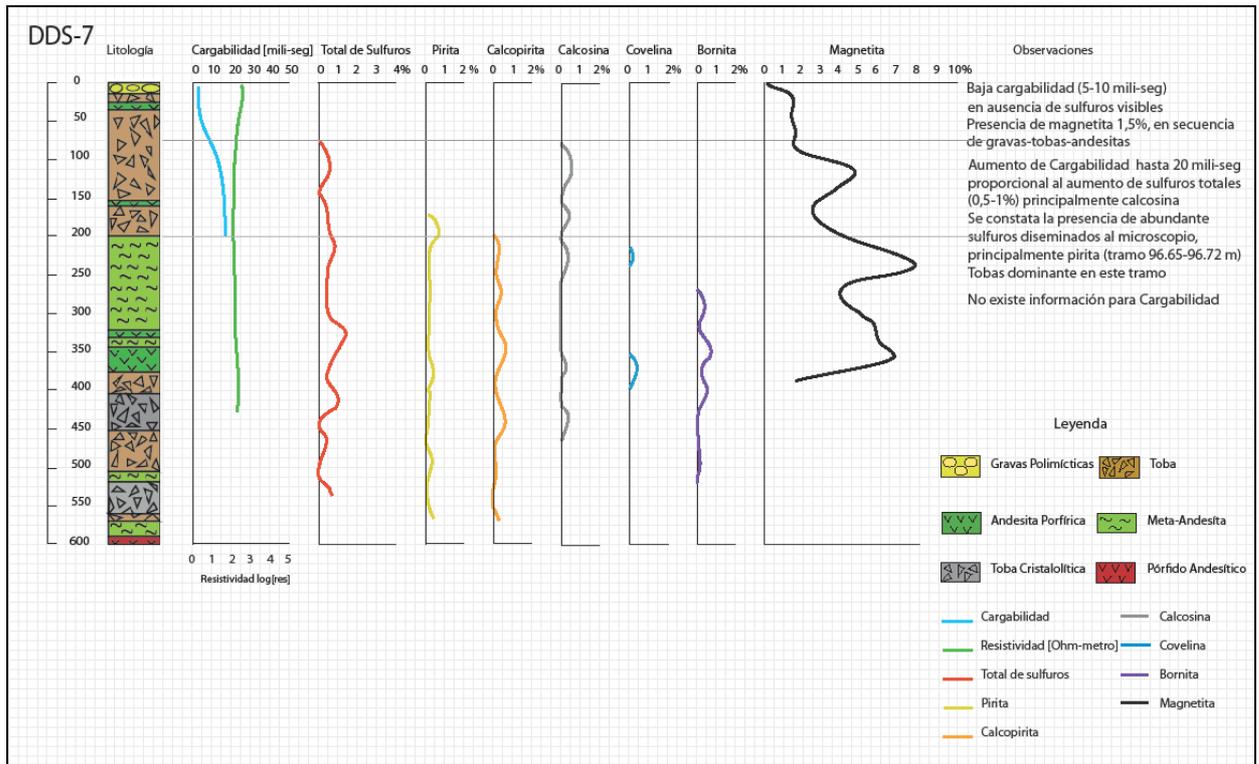


Figura III-9 Strip-log Resumen, DDS-7.

### 3.1.6 Análisis

En términos generales se tienen fases IP comparativamente mayores en RC-309, que en RC-310, y a su vez ambos mayores a los obtenidos en DDS-7. Los porcentajes en sulfuros totales estimados varían entre un 0,5% hasta un 2% (RC-309 (0,5-2%) > RC-310(0,5-1%)> DDS-7(0,5%)) exhibiendo una buena correlación entre el aumento en el total de sulfuros estimados y un alza en cargabilidad (ver Figura III-10).

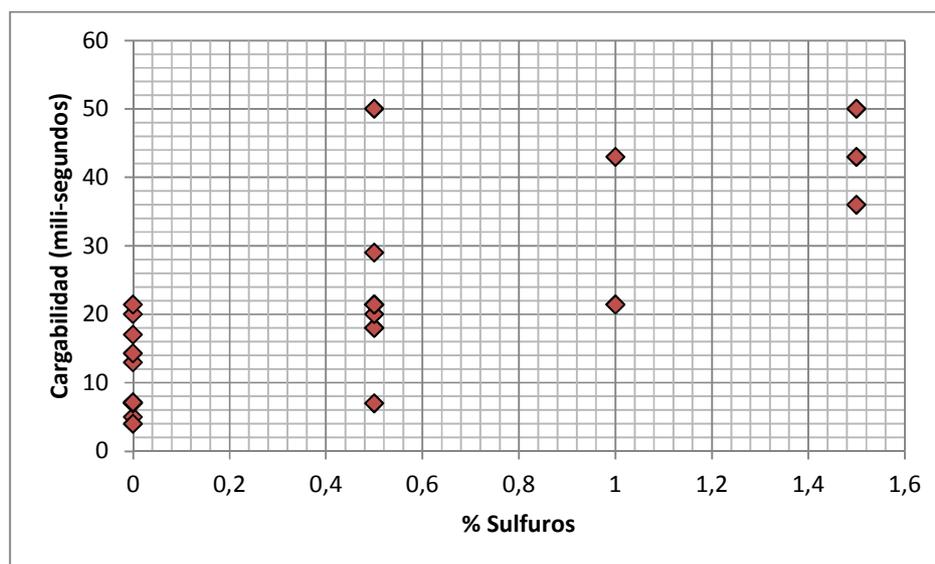


Figura III-10 Gráfico %sulfuros-cargabilidad, Casualidad.

La presencia de pirita y calcopirita también muestran buenas correlaciones con la cargabilidad (ver Figura III-11 y Anexo III). En particular la presencia de pirita es importante, ya que representa el sulfuro con mayor volumen, a excepción de DDS-7 el cual está representado principalmente por calcosina dentro de los primeros metros.

Por otra parte, la presencia de magnetita también muestra una alta correlación para los tres sondajes. Una correlación excepcionalmente alta se obtiene en RC-310 entre la cargabilidad y el contenido de magnetita estimado (ver Anexo III), lo que podría conducir a una potencial relación entre el contenido de magnetita y la cargabilidad medida en éste sondaje.

En el gráfico %volumen vs cargabilidad (Figura III-11), la dispersión de los datos es mayor en la calcopirita en comparación a la pirita y calcosina, lo que es

coherente con el hecho de que la pirita y calcosina muestran una respuesta mayor en efecto IP comparado al de la calcopirita (ver Tabla II-1).

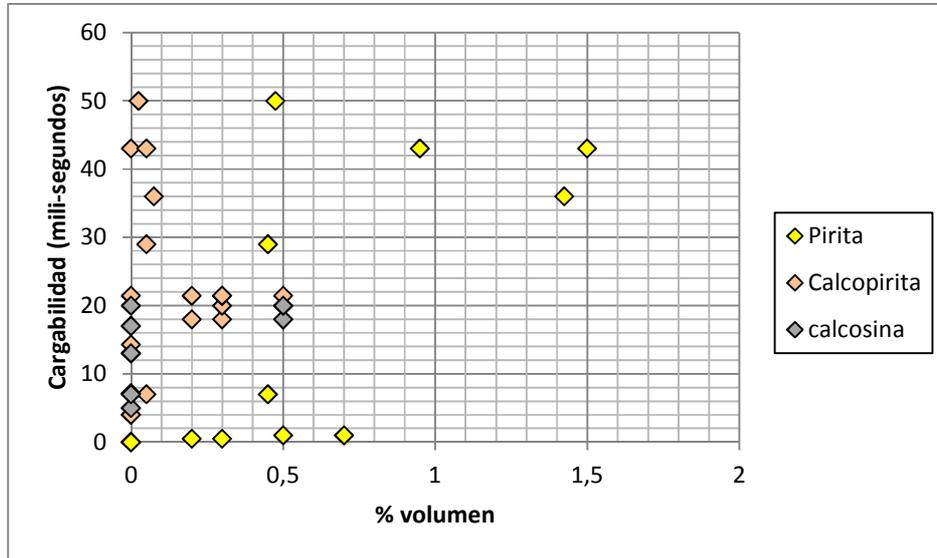
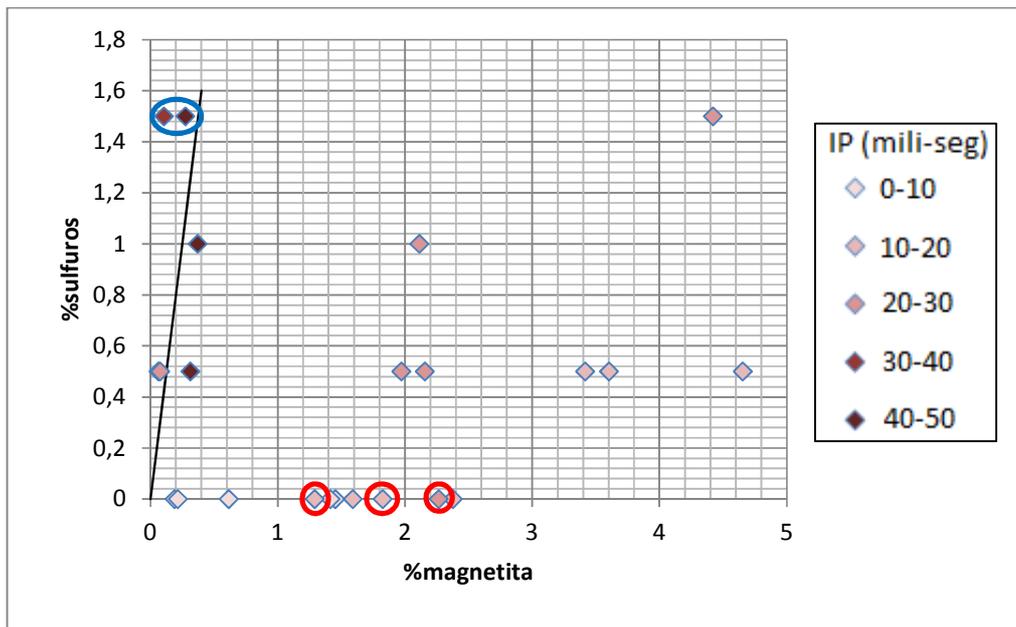


Figura III-11 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-cargabilidad.

En base a las estimaciones realizadas en los 3 testigos de sondajes, la ocurrencia mineral dominante en el sector es la disseminación fina, presente en RC- 309 y en RC-310. En el caso de DDS-7 éste se encuentra representado principalmente por la presencia de vetillas y microvetillas en zonas de alta cargabilidad. Al respecto, se constata que tanto RC-309 como RC-310 exhiben cargabilidades más altas que DDS-7, en particular RC-309 con disseminación fina en litologías texturalmente más compactas (intrusivos, ver Anexo VI), el cual coincide con las cargabilidades más altas del sector.

El efecto que ejerce la magnetita sobre el efecto IP, o bien el efecto combinado de magnetita-sulfuros es analizado en Sub-Capítulo 4.1.3: Óxidos de Fe.

En la Figura III-12 se aprecia la relación entre porcentaje total de sulfuros, el porcentaje total de magnetita y la cargabilidad.



**Figura III-12** Relación entre porcentajes (%) de sulfuros, magnetita y su cargabilidad para los tres sondajes estudiados en Casualidad. Recta (en negro) relación lineal Sulfuros:Magnetita (1:4). Datos en círculos rojos corresponden a tramos sin presencia de sulfuros visibles coincidentes con altas cargabilidades; datos en elipse azul corresponden a tramos de alta cargabilidad en granodioritas del sondaje RC-309.

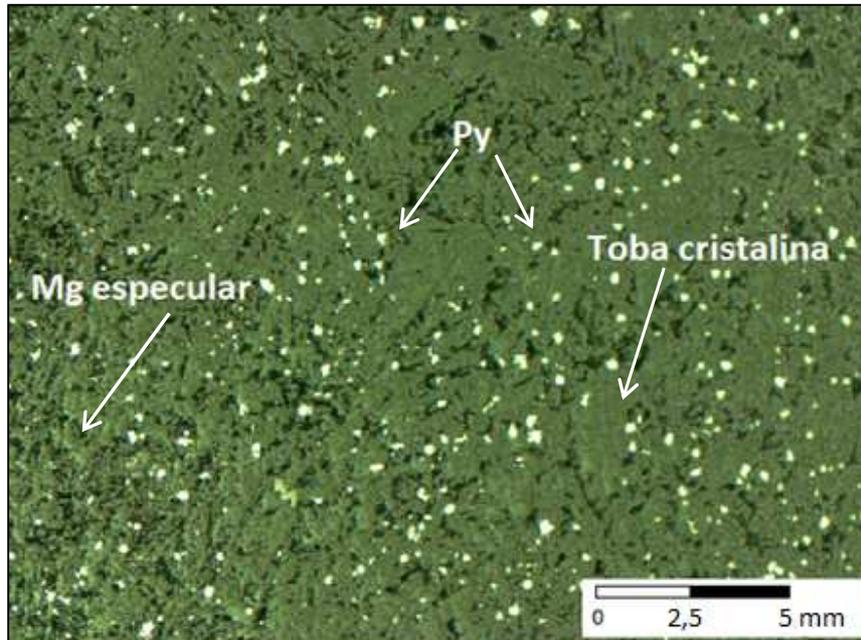
Gráficamente es posible apreciar que las anomalías principales (40-50 mili-seg) corresponden a muestras que contienen al menos un 1% o más de sulfuros totales, dentro de un rango de magnetita entre 0,1-0,4%. Por otra parte, datos con valores de cargabilidad entre 20 y 30 (mili-seg) corresponden a sectores con al menos un 0,5% o más de sulfuros totales, y con contenido de magnetita entre 0,2-2,2%.

Para valores entre 10-20 (mili-seg) se tienen muestras con sulfuros en torno al 0,5%, excepto para las 3 muestras en elipse roja (Figura III-12) cuyas altas cargabilidades se relacionan a la presencia de sulfuros diseminados finos, corroborados en microscopio (Figuras III-13 y III-14), y por ende no estimadas en el mapeo previo con lupa.

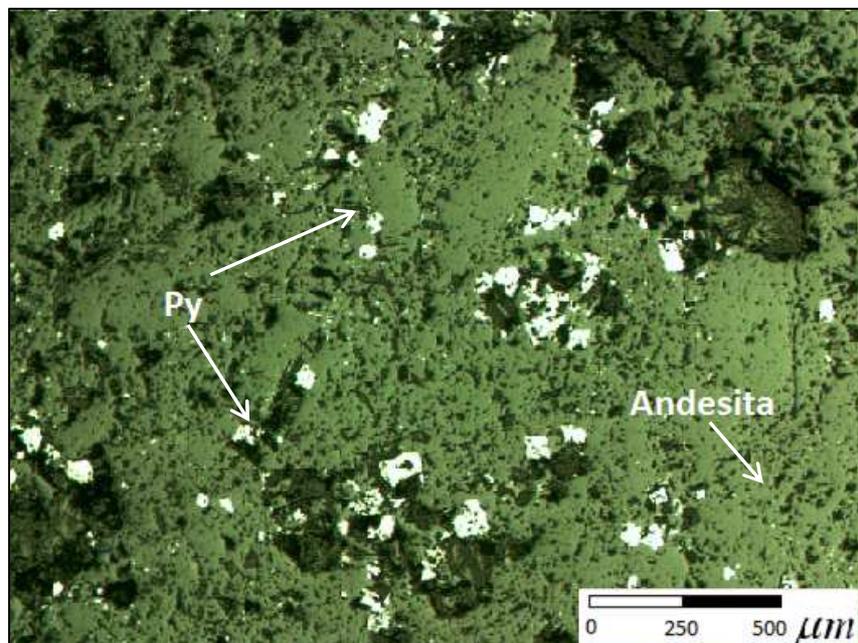
Finalmente, para valores en torno a 0-10 (mili-seg) se tienen sectores que varían desde 0% hasta un máximo de 0,5% en sulfuros totales.

En el gráfico también se muestra la proporción, propuesta en estudios previos (Pittard y Bourne, 2007), de al menos 1:4 entre magnetita y pirita para dar con tramos de alta cargabilidad, considerando que parte importante de los sulfuros esta conformado por pirita (ver Influencia de magnetita al efecto IP, Subcapítulo

4.1.3 Óxidos de Fe). Al respecto, destacan dos datos (elipse azul, Fig.III-12) de alta cargabilidad en RC-309 que no cumplen dicha proporción los cuales corresponden a tramos con granodioritas.



**Figura III-13** DDS-7 metraje (95.85-95.93) 4 X 10. Presencia de disseminación fina en tramos de alta cargabilidad.



**Figura III-14** RC-310 metraje (66-67) 10 X 10. Presencia de sulfuros disseminados en tramos de alta cargabilidad.

## 3.2 Pampa

### 3.2.1 Ubicación y Accesos

El prospecto Pampa está ubicado en la Región de Atacama, 15 Km al noroeste del pueblo Inca de Oro, y a unos 80 km al norte de Copiapó. El acceso principal es a través de la carretera que une la ciudad de Copiapó con la ciudad de Diego de Almagro, y desde allí se dispone de varios caminos secundarios que conducen al lugar (Figura I-1).

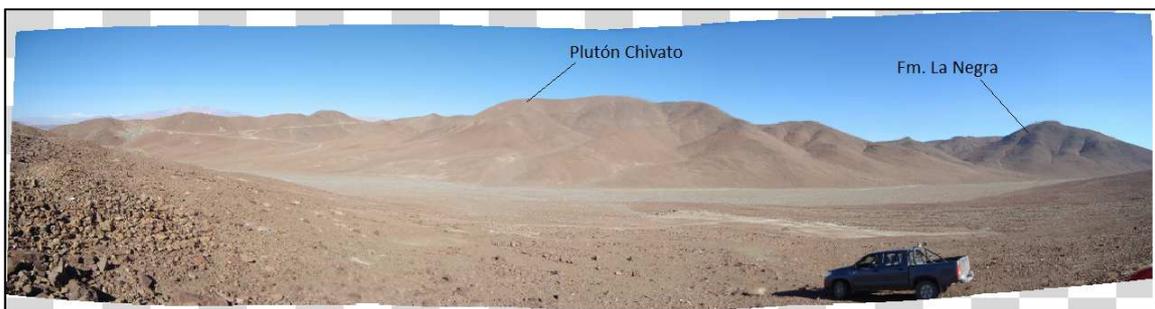


Figura III-15 Vista al Sur-Oeste. Quebrada Pampa (Abril, 2012).

### 3.2.2 Geología Local

En el área aflora una secuencia volcano-detrítica de composición andesítica asignada a la Fm. La Negra, y que esta intruida por plutones de edad cretácica (Lara *et al.*, 1998). Las rocas andesíticas presentan biotitas poco alteradas y epidota selectiva alterando a plagioclasas. Las rocas intrusivas que afloran hacia la parte oriental-central son parte del Plutón Remolino (110-90 Ma), hacia el extremo SW afloran dioritas y tonalitas del Plutón Chivato (114-114 Ma) el cual se encuentra asociado a un trend intrusivo formado por tonalitas de anfíbol parcialmente cloritizados. También se reconocen stocks tonalíticos menores correlacionados con el Complejo intrusivo Serena (96-90 Ma) (Gröpper, 2009).

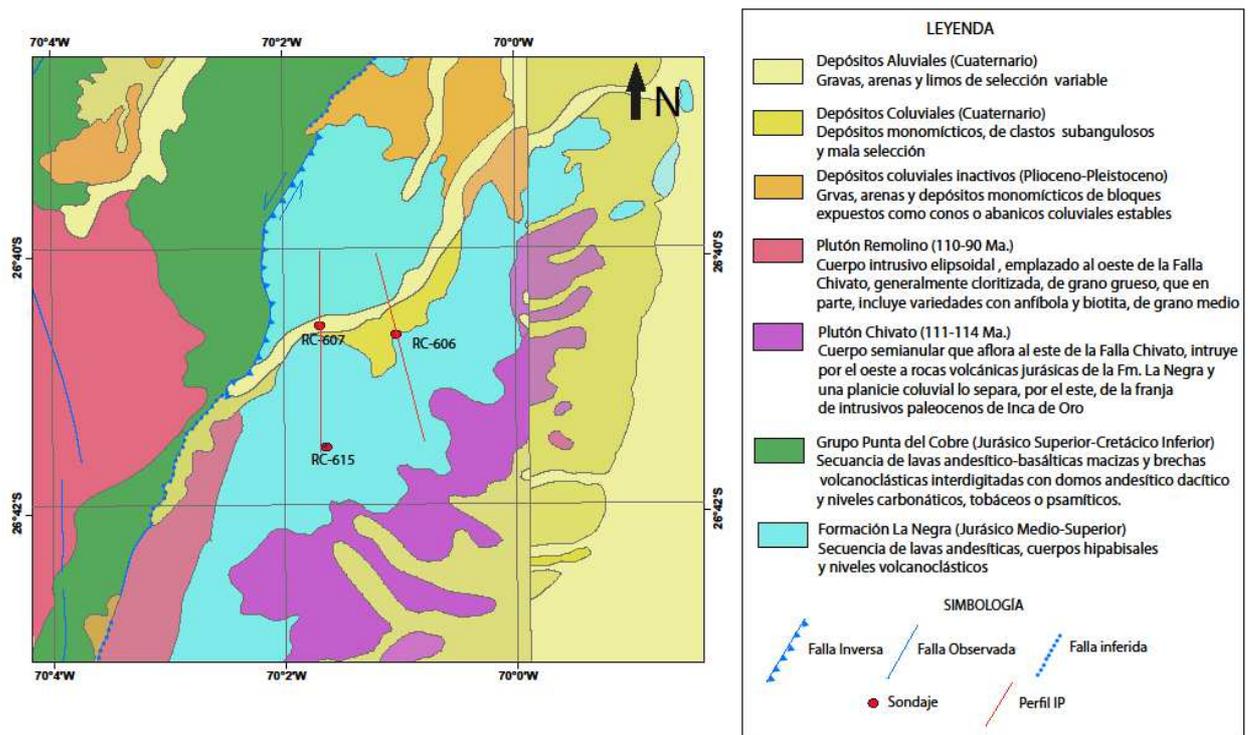


Figura III-16 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Pampa (Lara *et al.*, 1998).

La geología estructural del sector esta dominada por la falla Chivato, la cual forma parte de un sistema de fallas sin-plutónicas de edad Cretácica las cuales registraron una sucesión de episodios magmáticos y de mineralización de ésta edad (Arévalo *et al.*, 2006).

### 3.2.3 Alteración y Mineralización

La alteración en superficie corresponde a una zona de biotita de intensidad moderada a fuerte, la cual aflora en las partes más bajas, variando gradualmente a una zona de clorita-epidota hacia los bordes (Abril del 2012). Esta zona de biotita se desarrolla sobre tobas finas y areniscas volcánicas, cubriendo una zona elongada con rumbo NE, siguiendo el trend intrusivo de stocks dioríticos.

En el prospecto se reconoce un sistema de vetas de cuarzo con potencias milimétrica a centimétrica de rumbo NW y NE. Estas se encuentran emplazadas en el relleno de fallas, cuyas cajas están controladas por salbanda o brechas de fallas con presencia de minerales oxidados de Cu. En el interior del sistema de vetas de cuarzo existe magnetita, specularita hematita metálica y/o hematita roja.

Hacia la periferia los óxidos de hierro tienden a desaparecer, donde se reconoce calcita en vetas de cuarzo.

### **3.2.4 Datos IP**

Los estudios IP fueron llevados a cabo por la empresa Zonge S.A para EMSA el año 2010. Los perfiles fueron medidos en el dominio del tiempo, arreglo Dipolo-Dipolo, longitud dipolar de 200 m, y con lecturas hasta el nivel  $n=6$ , lo que permitió una profundidad máxima de investigación de 400-500 m. Los resultados relevantes para los sondajes estudiados son presentados en secciones (Anexo V). El estudio detectó zonas anómalamente altas en efecto IP.

Los tres testigos de sondajes del prospecto cortan anomalías entre 20-60 mili-segundos. En particular, los sondajes RC-607 y RC-615, cortan anomalías máximas de 30-40 mili-segundos y 20-25 mili-segundos respectivamente, en un medio con cargabilidad promedio de 10 mili-segundos, lo que implica una anomalía hasta cuatro veces mayor al promedio del entorno (Figura III-17). Mientras que RC-606 corta la anomalía máxima del prospecto de 60 mili-segundos dentro de un entorno con cargabilidades promedio de 20 mili-segundos (Figura III-18).

Los valores de resistividad varían ampliamente entre 200 y 5000  $\text{ohm}^*\text{m}$  de un sector a otro. RC-615 presenta los valores más resistivos entre 800-4000  $\text{ohm}^*\text{m}$  que se relacionan con las cargabilidades más bajas de los tres sondajes, a su vez RC-607 lo hace entre 400-1800  $\text{ohm}^*\text{m}$ . Por otra parte, RC-606 presenta las resistividades más bajas, las cuales varían desde los 200  $\text{ohm}^*\text{m}$  cercanos en superficie, hasta 800  $\text{ohm}^*\text{m}$  por sobre los 200 m de profundidad, en tramos con dioritas en directa relación con la anomalía principal de cargabilidad (Figura III-19).

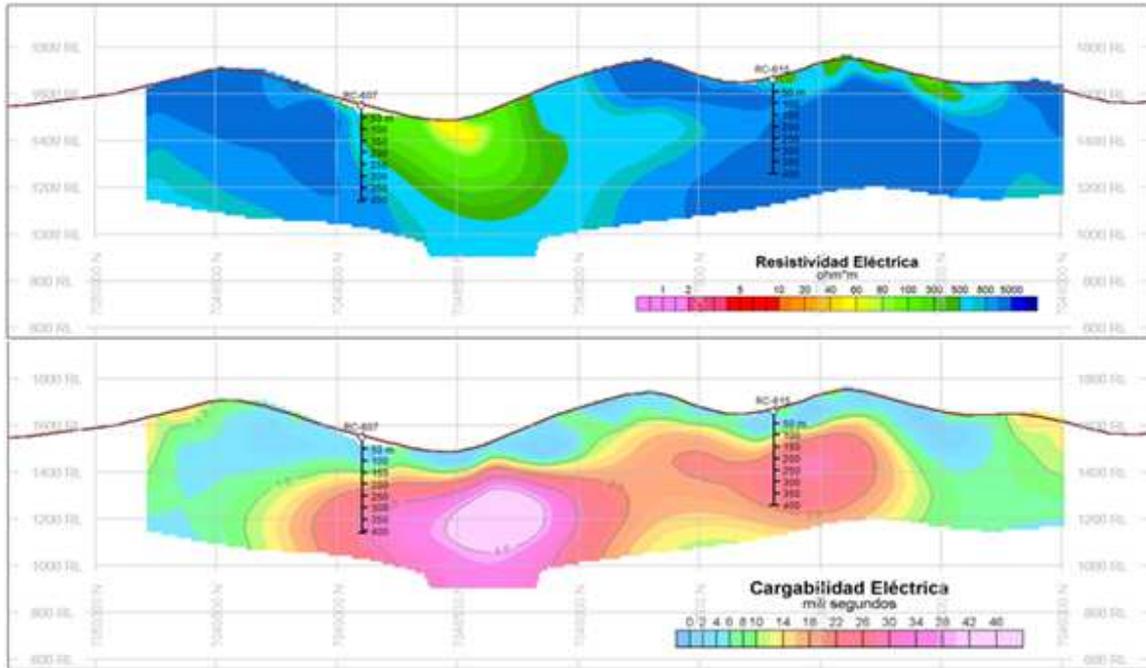


Figura III-17 Sección IP/Resistividad, RC-607 y RC-615.

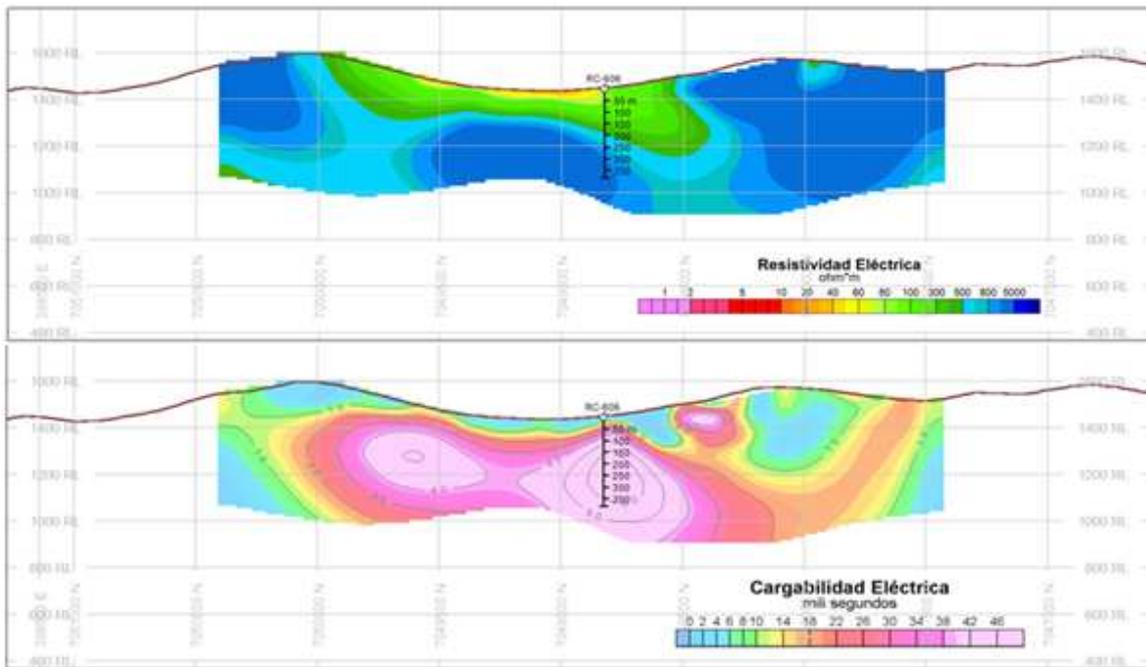


Figura III-18 Sección IP/Resistividad, RC-606.

### **3.2.5 Caracterización geológica**

Los sondajes estudiados en este prospecto contemplaron 3 sondajes tipo aire reverso: RC-606 (384 m), RC-607 (408 m) y RC-615 (375 m). La descripción detallada de cada sondaje, así como una sección que resume todas las variables geofísicas y geológicas estudiadas, se encuentran en Anexo I.

A continuación se ofrece una breve descripción de los 3 testigos de sondaje:

#### **Sondajes**

Las litologías cortadas por los tres testigos de sondajes están conformadas principalmente por andesitas, meta-andesitas y tobas, a excepción de RC-606 el cual cortó una secuencia intrusiva formada por dioritas. Los primeros metros están conformados por gravas polimícticas, areniscas volcánicas y tobas con total ausencia de sulfuros visibles. Más en profundidad se cortan andesitas, meta-andesitas y meta-areniscas, con presencia de dioritas en RC-606. Los porcentajes en sulfuros en los 3 sondajes oscilan entre 0,5-1,5%. En el caso de los sondajes RC-607 y RC-615 se obtienen valores entre 0,5-1,5% en sulfuros totales con cargabilidades entre 25-30 mili-segundos, mientras que en RC-606 oscilan entre 1-1,5% con cargabilidades máximas de 60 mili-segundos que representan el doble de las anomalías cortadas por los otros dos sondajes (RC-607, RC-615).

Los sulfuros están representados principalmente por pirita, que representan entre un 60% a un 95% del total de sulfuros mapeados, con calcopirita en segundo orden. La presencia de magnetita muestra buena correlación con el aumento de sulfuros detectados en profundidad (ver Anexo I). La ocurrencia mineral es principalmente diseminada en RC-615, en cúmulos, vetillas y diseminados en RC-606, y en cúmulos en RC-607. Se detectaron sulfuros diseminados microscópicos en tramos de alta cargabilidad especialmente en RC-606 (Figura III-25 y III-26) y RC-607.

Los Strip-log resumen de los 3 testigos de sondajes mapeados, considerando las variables geológicas más significativas, son los siguientes:

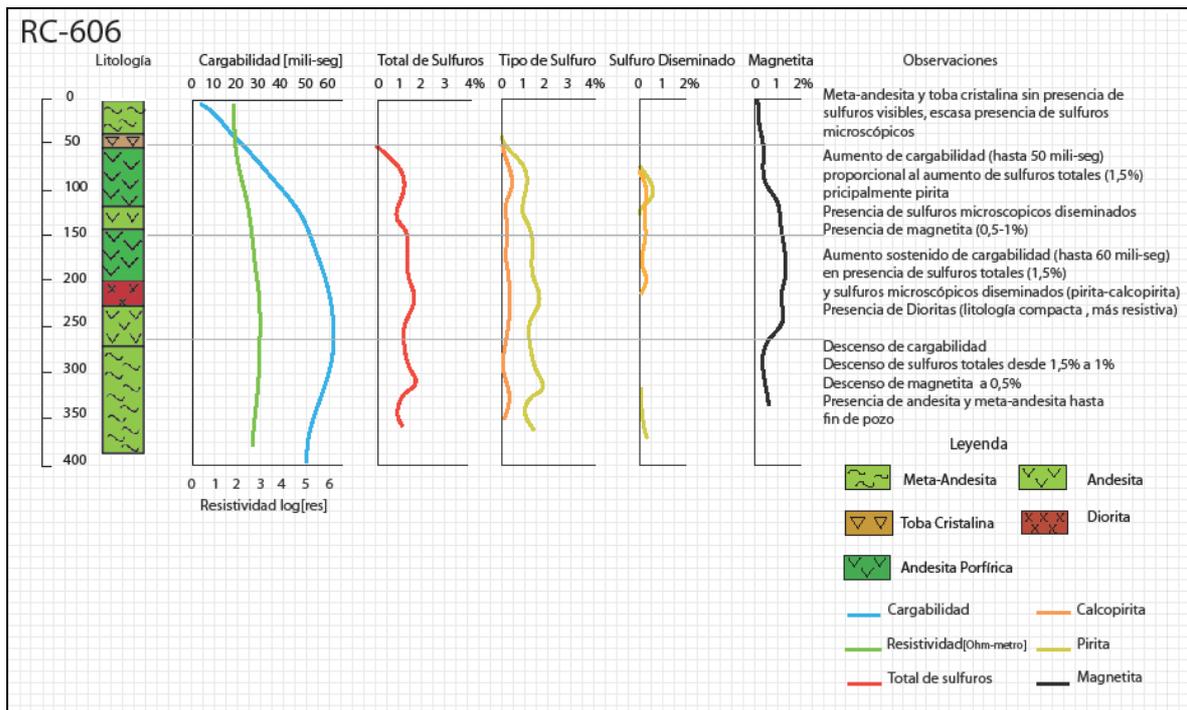


Figura III-19 Strip-log Resumen, RC-606.

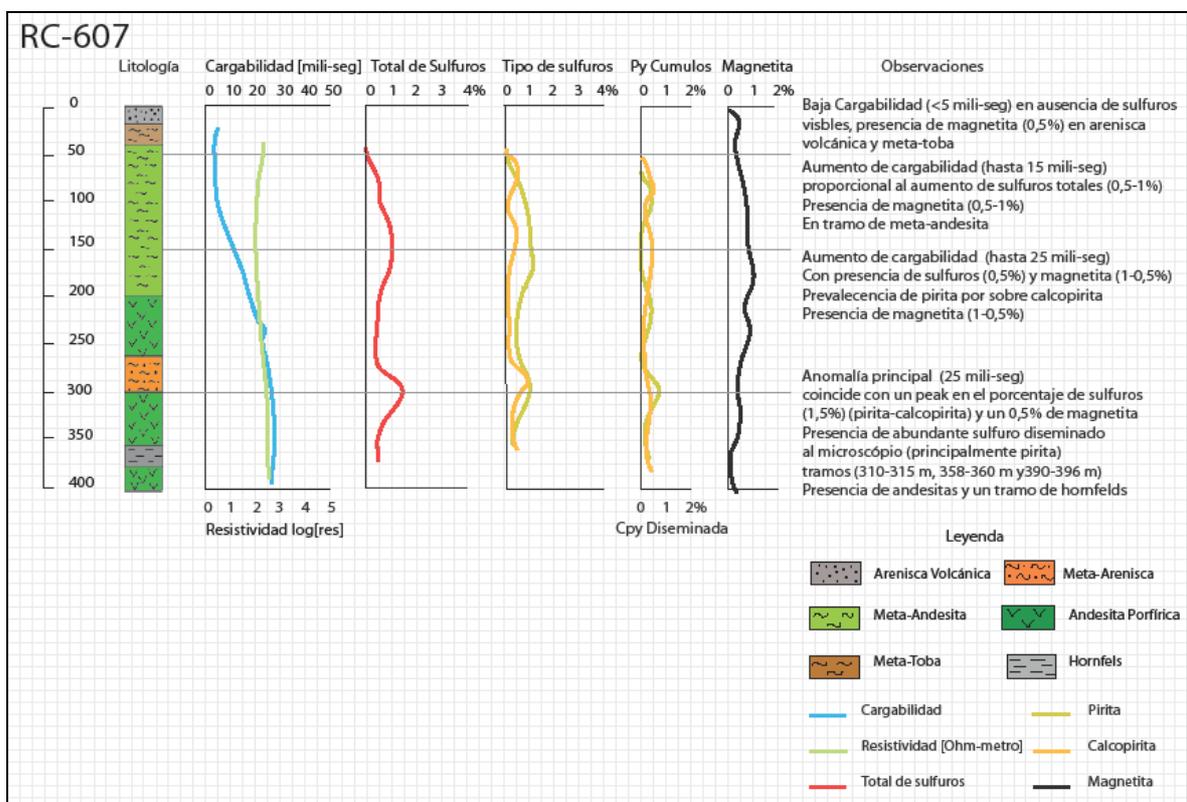


Figura III-20 Strip-log Resumen, RC-607.

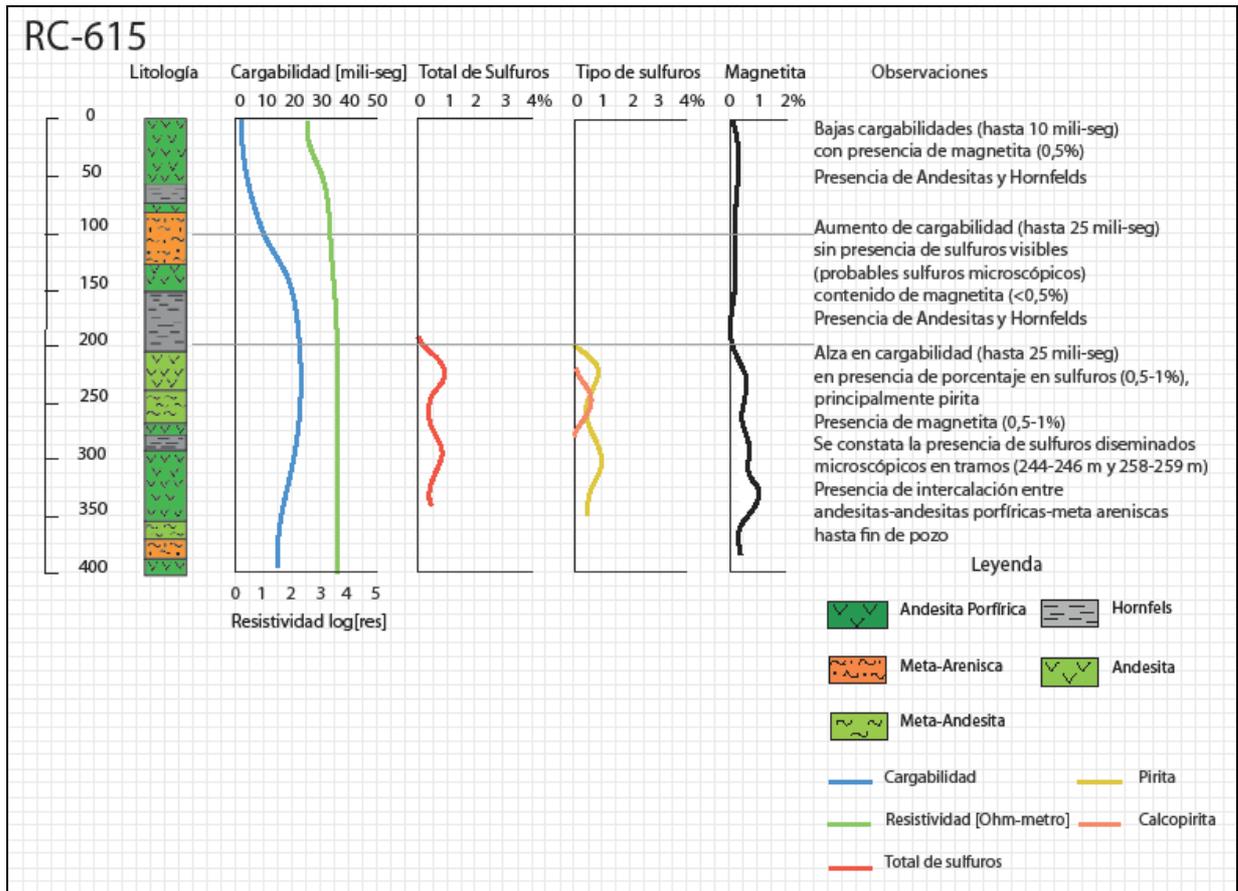


Figura III-21 Strip-log resumen, RC-615.

### 3.2.6 Análisis

En base a las estimaciones de sulfuros, magnetita y ocurrencias, para los 3 sondeos del prospecto Pampa se puede observar que existe una buena relación entre el aumento de sulfuros totales y un alza en la cargabilidad (ver Figura III-22).

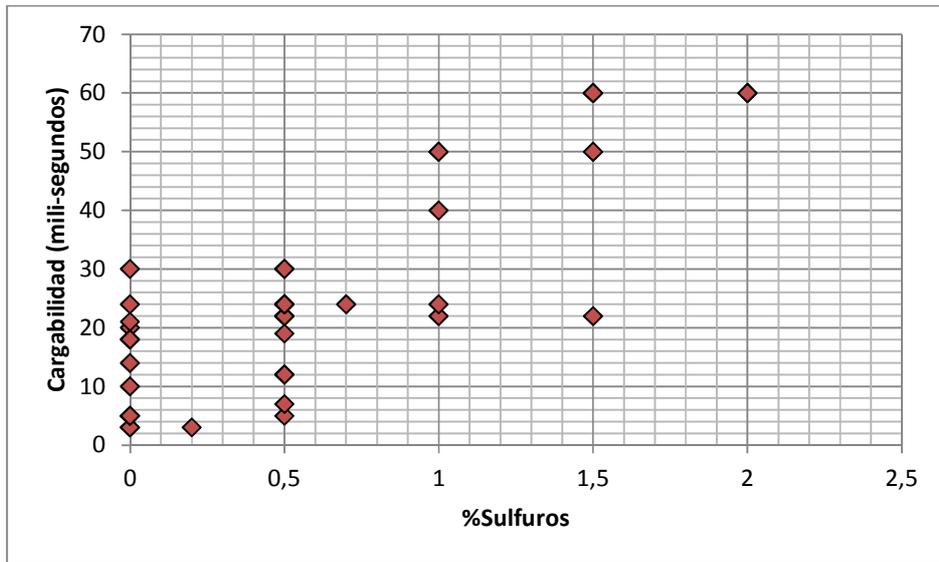


Figura III-22 Gráfico %sulfuros–cargabilidad, Pampa.

Los sulfuros principalmente representados por pirita muestran una tendencia similar a la relación observada entre sulfuros totales y cargabilidad, también se observa que la dispersión de datos es menor en comparación a la calcopirita (ver Figura III-23).

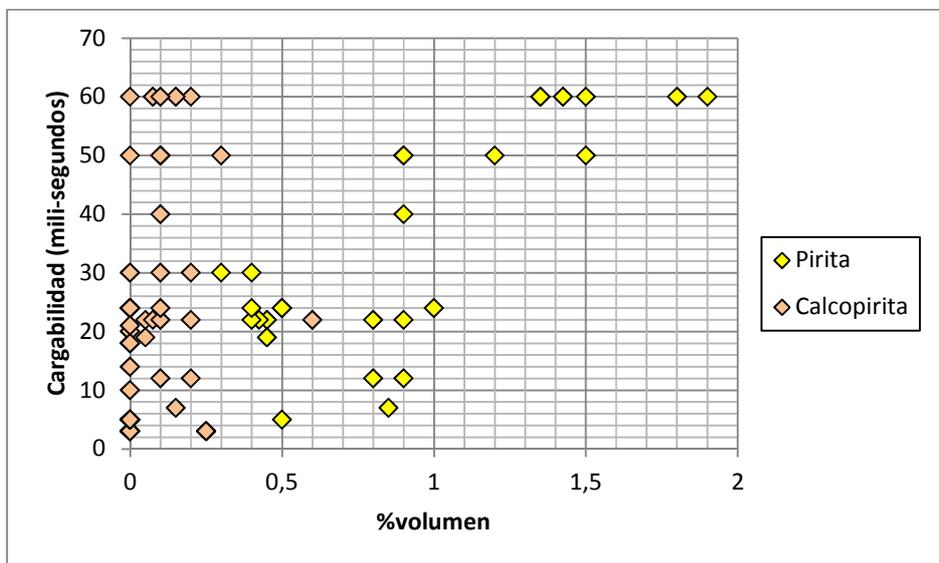
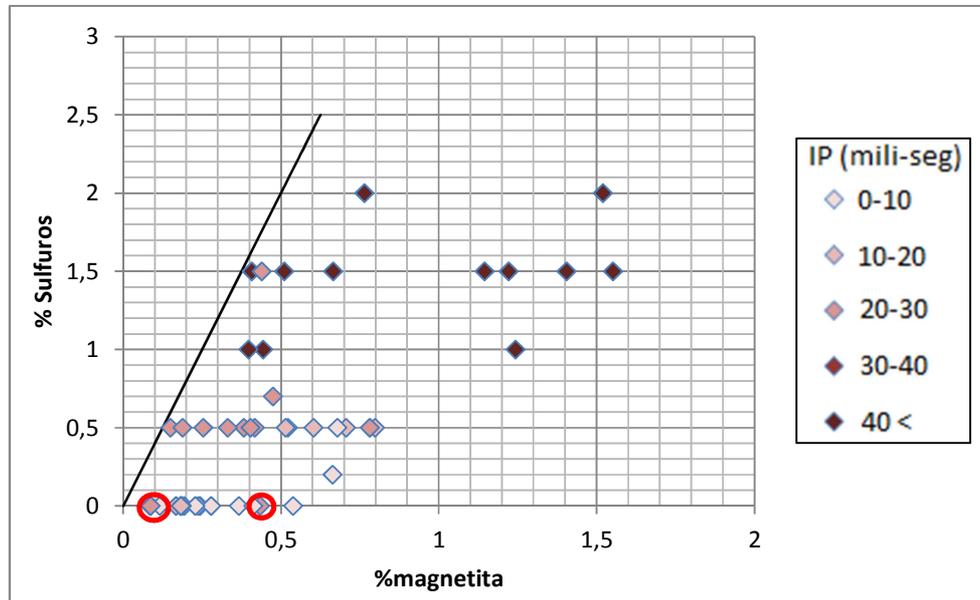


Figura III-23 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-cargabilidad, Pampa.

En términos de la presencia de sulfuros y de magnetita, se ha constatado que anomalías iguales o superiores a 40 (mili-seg) se relacionan con un contenido en sulfuros mínimo de 1% en volumen total, concentrándose la mayoría de ellos entre

un 1,5% y 2%. El contenido en magnetita, para estas cargabilidades, oscila entre 0,4% y 1,6% en volumen (ver Figura III-24).



**Figura III-24** Relación entre % de sulfuros y magnetita estimada con su cargabilidad para los tres sondajes estudiados en Pampa. Datos en círculos rojos corresponden a tramos de alta cargabilidad con sulfuros microscópicos en RC-606 (Figuras III-25 y III-26).

Anomalías IP entre 10-30 (mili-seg) se relacionan con un contenido en sulfuros que va desde 0,5% hasta un máximo de 1,5% de porcentaje en volumen, excepto para dos casos en círculos rojos (ver Figura III-24), con estimaciones previas de 0% de sulfuros, y que se justifican bien ante la presencia de sulfuros diseminados observados a microscopio, no visibles a lupa en la estimación previa (Figuras III-25 y III-26).

Valores de cargabilidad entre 0-10 (mili-seg) se asocian con valores que van desde 0% hasta un máximo de 0,5% de contenido en sulfuros totales y valores de magnetita entre 0,1-0,8%. Se debe notar que la mayor parte de estos valores se concentra en torno al 0% de contenido de sulfuros totales.

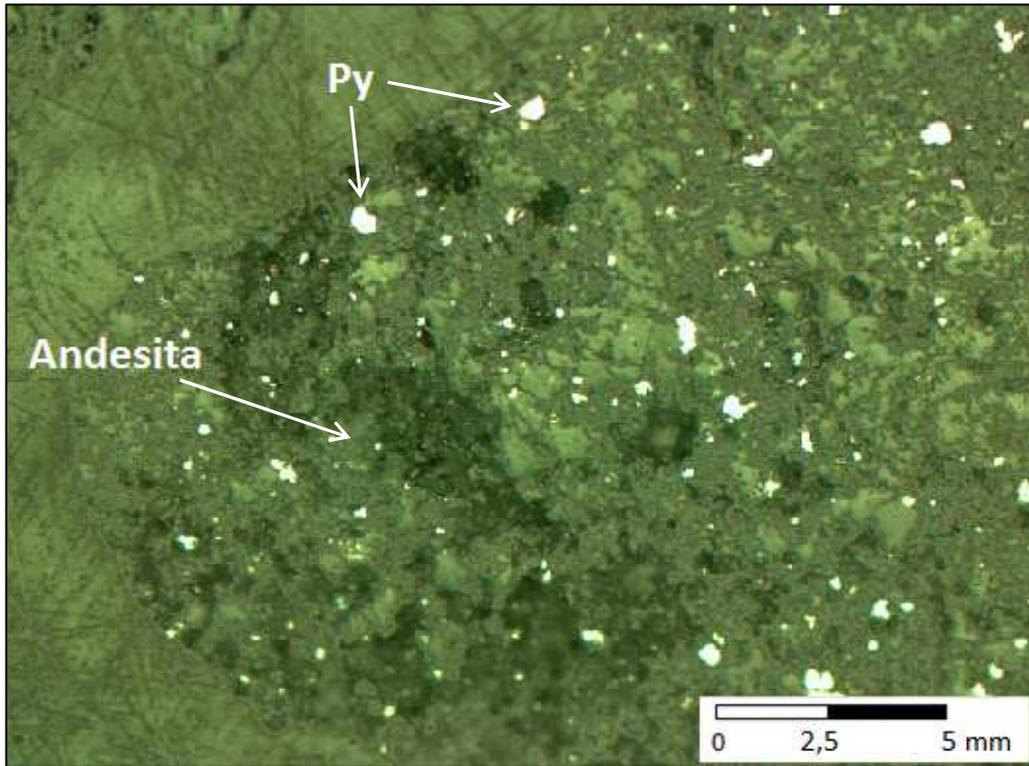


Figura III-25 RC-606 metraje (25-27) 10X10.

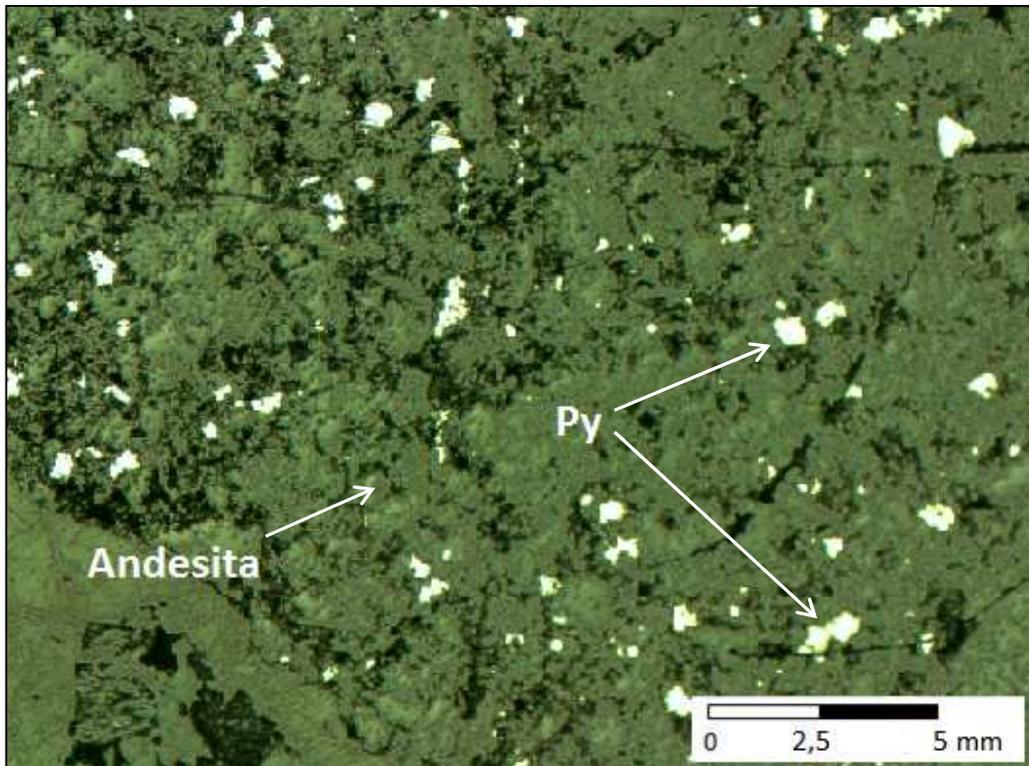


Figura III-26 RC-606 metraje (70-72) 4X10.

Los coeficientes de correlación (ver Anexo III) denotan una buena relación entre las curvas de cargabilidad y porcentaje total de sulfuros, con coeficientes de correlación que van desde 0,35 para RC-607 hasta 0,92 en el caso de RC-606, lo que reafirma lo observado gráficamente. Dentro de los tipos de sulfuros, la pirita es la que presenta la mayor correlación con la cargabilidad, seguido en segundo lugar por la calcopirita.

A pesar de que los 3 sondajes cortan rocas que presentan porcentajes de sulfuros y de magnetita similares en tramos de alta cargabilidad (corroborado por estudios microscópicos, ver Anexo V), el sondaje RC-606 atraviesa una zona con valores de cargabilidad hasta 2 veces más altos que los otros dos sondajes (Ver Strip-log resumen, Figura III-19). Al respecto el único factor geológico diferente detectado en este estudio es que el sondaje RC-606 corta rocas intrusivas, conformado por dioritas y granodioritas, de granulometría compacta (Anexo VI).

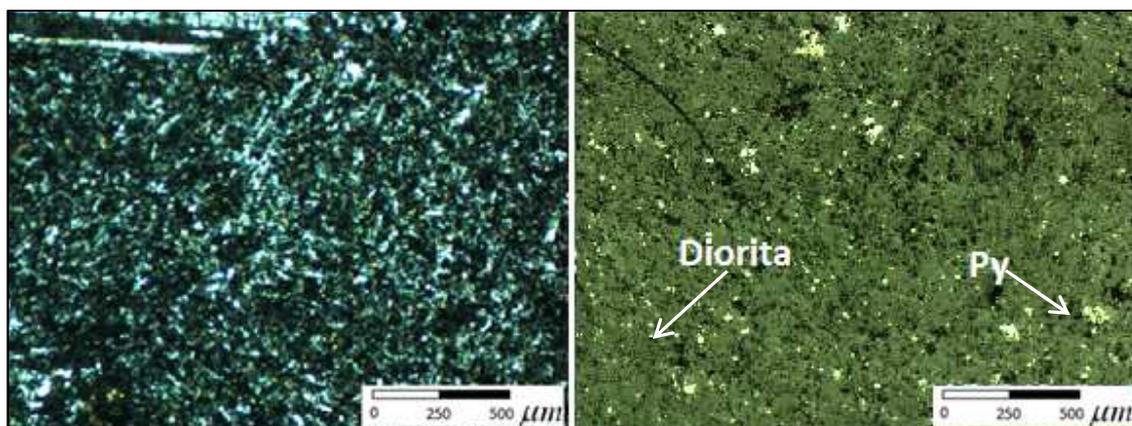


Figura III-27 Dioritas y sulfuros diseminados en RC-606 (10X10), Pampa.

Al igual que para las estimaciones de sulfuros- magnetita, tampoco existe una diferencia relevante en cuanto a la ocurrencia mineral de los tres sondajes del prospecto Pampa (RC-606, RC-607 y RC-615). El estudio microscópico permitió establecer la presencia de magnetita y sulfuros diseminados en los tres sondajes, la cual consiste en pirita y calcopirita a escala micrométrica con diseminación fina de magnetita lo que generalmente coincide con zonas de alta cargabilidad (ver Anexo V).

## **3.3 Ventanas**

### **3.3.1 Ubicación y Accesos**

El Prospecto Ventanas se encuentra en la Región de Atacama, 10 km al noroeste de la ciudad de Vallenar, y abarca un área aproximada de 7x5 km. El acceso desde Vallenar se realiza a través de la ruta 5 Norte hasta el kilómetro 17, en intersección con un camino de tierra que sale al oeste por 10 km, y luego se continua al sur, paralelo a una red eléctrica, por unos 8 km hasta de llegar al sector (Figura I-1).

### **3.3.2 Geología local**

En el sector aproximadamente un 35% corresponden a afloramientos, el resto forma parte de un llano aluvial. Estudios previos han reconocido un miembro inferior compuesto por rocas piroclásticas y volcánicas de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, el cual se encuentra sobreyacido por niveles de calizas asociadas a rocas marinas del Grupo Chañarcillo (Neocomiano). A su vez la cuenca se encuentra limitada al oeste por una unidad intrusiva (tonalitas) denominada Plutón Retamilla, en contacto inferido por falla, mientras que hacia el este se encuentra otra unidad intrusiva (tonalitas) denominado Plutón La Higuera (Arévalo *et al.*, 2003) en contacto intrusivo. El Plutón Retamilla intruye una secuencia volcánica, la cual infrayace a rocas del Grupo Chañarcillo en la parte norte de la cuenca. De igual forma se reconoce en terreno diques de composición granodiorítica, los cuales son posteriormente cortados por vetas de cuarzo.

El rasgo estructural principal del prospecto esta representado por el Sistema de Fallas de Atacama (SFA), junto a fallas subsidiaras menores y lineamientos magnéticos orientados en dirección NNE-N, NO las cuales controlan una mineralización vetiforme de Fe-Cu dentro de éste dominio.

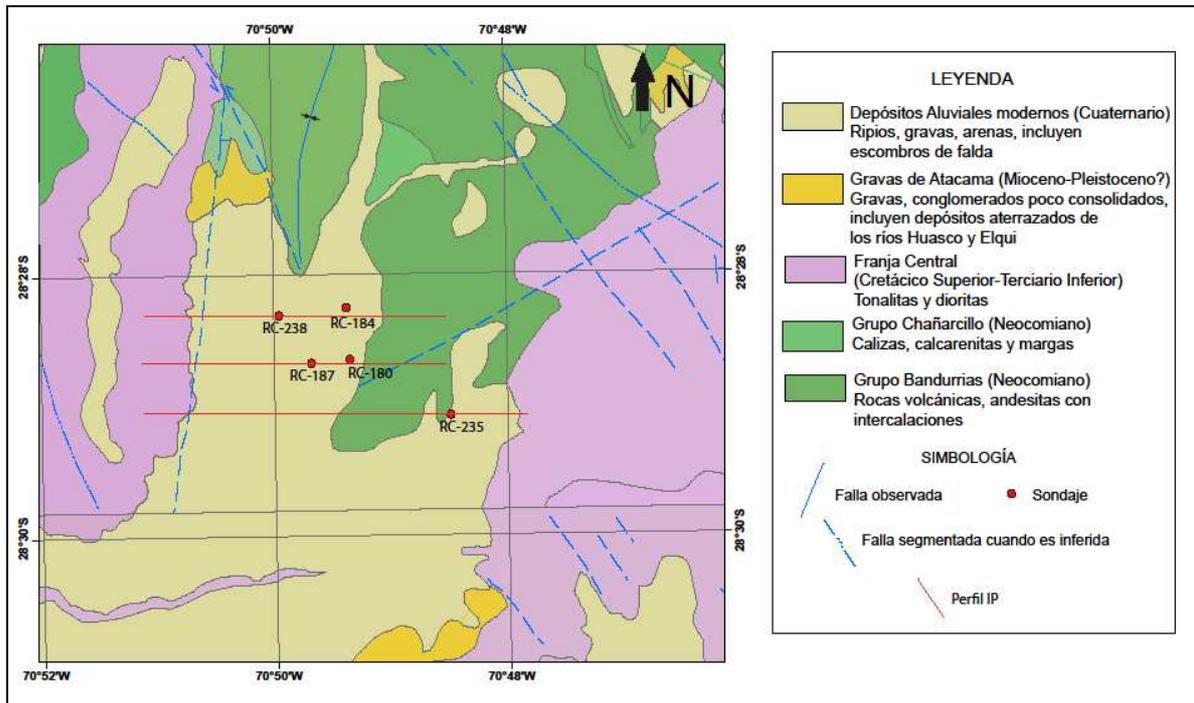


Figura III-28 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Ventanas (Moscoso *et al*, 1984).

### 3.3.3 Alteración y Mineralización

La alteración principal corresponde a asociaciones calco-sódicas (actinolita-albita) que afectan a las rocas del Plutón Retamilla, La Higuera y estratos del Jurásico Superior- Cretácico Inferior. La asociación calco-sódica de baja temperatura se extiende por toda la secuencia volcanoclástica (clorita-epidota-calcita-albita-especularita/hematita). También se constató alteración potásica (ortoclasa) en la roca caja junto a vetas de specularita-crisocola (Abril del 2012). En superficie se reconocen vetas y/o vetillas de specularita-cuarzo-(crisocola) con orientación N30°O-N50°O-N70°O y manteos que van entre los 90° y 65° al SO y NE. Las vetas tienen potencias centimétrica y son posteriores a los diques, pues los cortan aprovechando sus cajas para remplazarse.

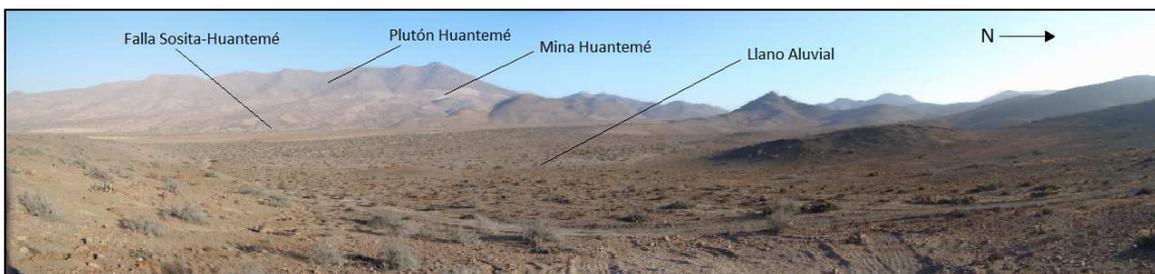


Figura III-29 Vista al Oeste, prospecto Ventanas (Abril, 2012).

### 3.3.4 Datos IP

Los estudios IP fueron realizados por la empresa Zonge S.A para EMSA, el año 2004. Las mediciones fueron realizadas en el dominio de frecuencias, arreglo Dipolo-Dipolo, longitud dipolar de 150 m y con lecturas hasta el nivel  $n=6$ , lo que permitió una profundidad máxima de investigación de 375 m. En este estudio se reconocieron zonas anómalamente altas en efecto IP.

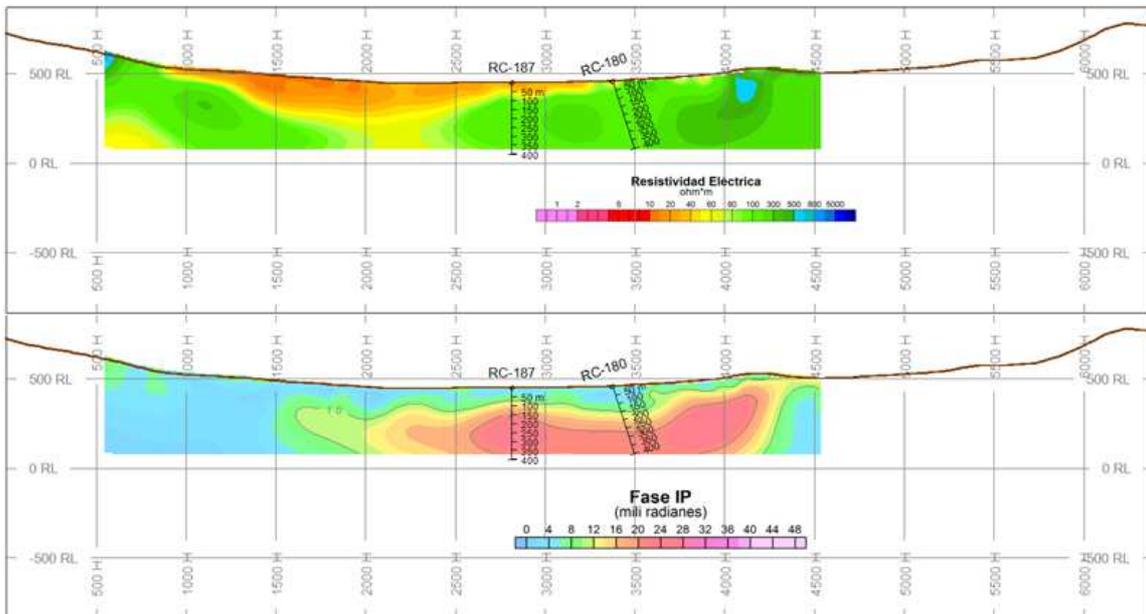


Figura III-30 Sección IP/Resistividad RC-180 y RC-187.

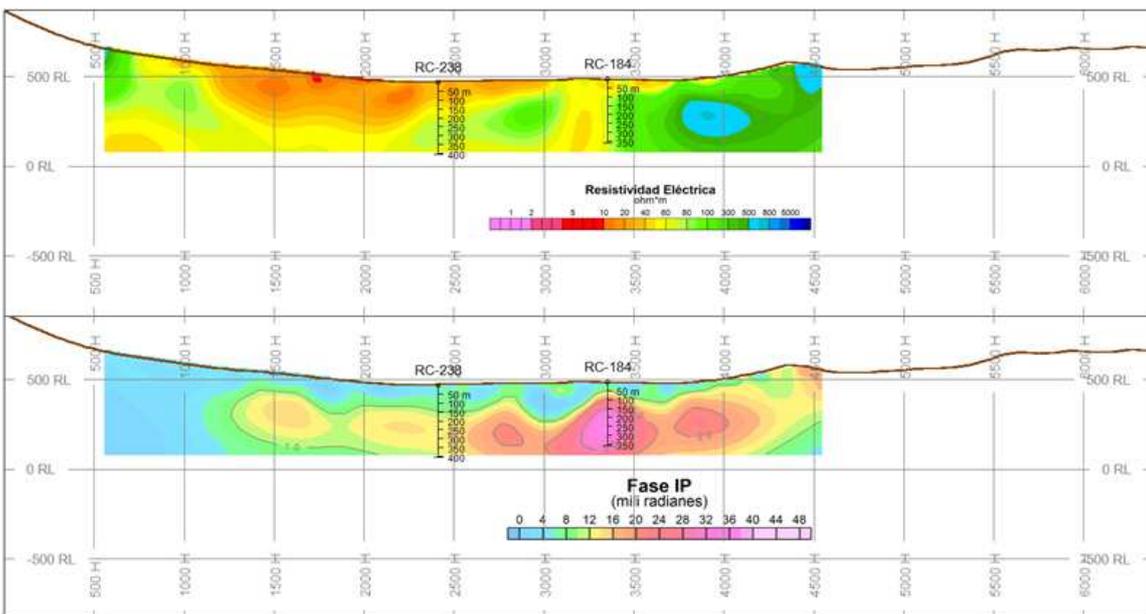


Figura III-31 Sección IP/Resistividad RC-184 y RC-238.

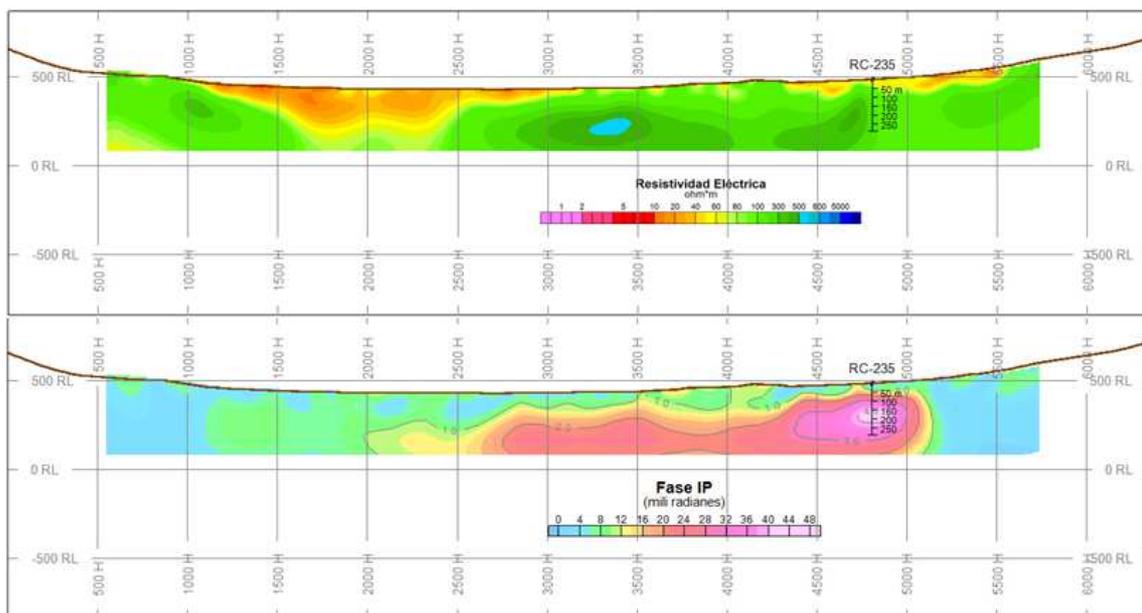


Figura III-32 Sección IP/Resistividad RC-235.

### 3.3.5 Caracterización geológica

Para este prospecto se estudió un total de 5 testigos de sondajes tipo aire reverso (RC-180, RC-184, RC-187, RC-235 y RC-238), junto a datos de susceptibilidad magnética para RC-235 que permitieron estimar el contenido de magnetita y su distribución a lo largo del sondaje (ver Anexo IV).

#### Sondajes

Los primeros metros están representados por la presencia de gravas polimícticas, excepto para RC-180 compuesto en los primeros metros por tobas y RC-187 conformado por andesitas. En tramos intermedios los sondajes cortaron secuencias de andesitas, meta-andesitas, tobas y brechas volcánicas, a excepción de RC-235 el cual cortó pórfidos tonalíticos y andesíticos.

La presencia de sulfuros varía entre 0,5-2,5% en volumen y corresponde principalmente a piritita y calcopiritita, donde la piritita representa sobre 50% del total de sulfuros. La ocurrencia mineral es principalmente diseminada, con variaciones locales muy leves de sulfuros en cúmulos. La intensidad de magnética varió ampliamente desde tramos sin magnetismo a tramos con magnetismo fuerte a intenso. Al respecto, se cuenta con datos de susceptibilidad magnética solo para RC-235, permitiendo estimar su porcentaje de magnetita, el cual exhibe una alta correlación con el total de sulfuros estimados (ver Anexo III).

A continuación se presentan los Strip-log resumen de los 5 testigos de sondajes mapeados, considerando las variables geológicas más significativas:

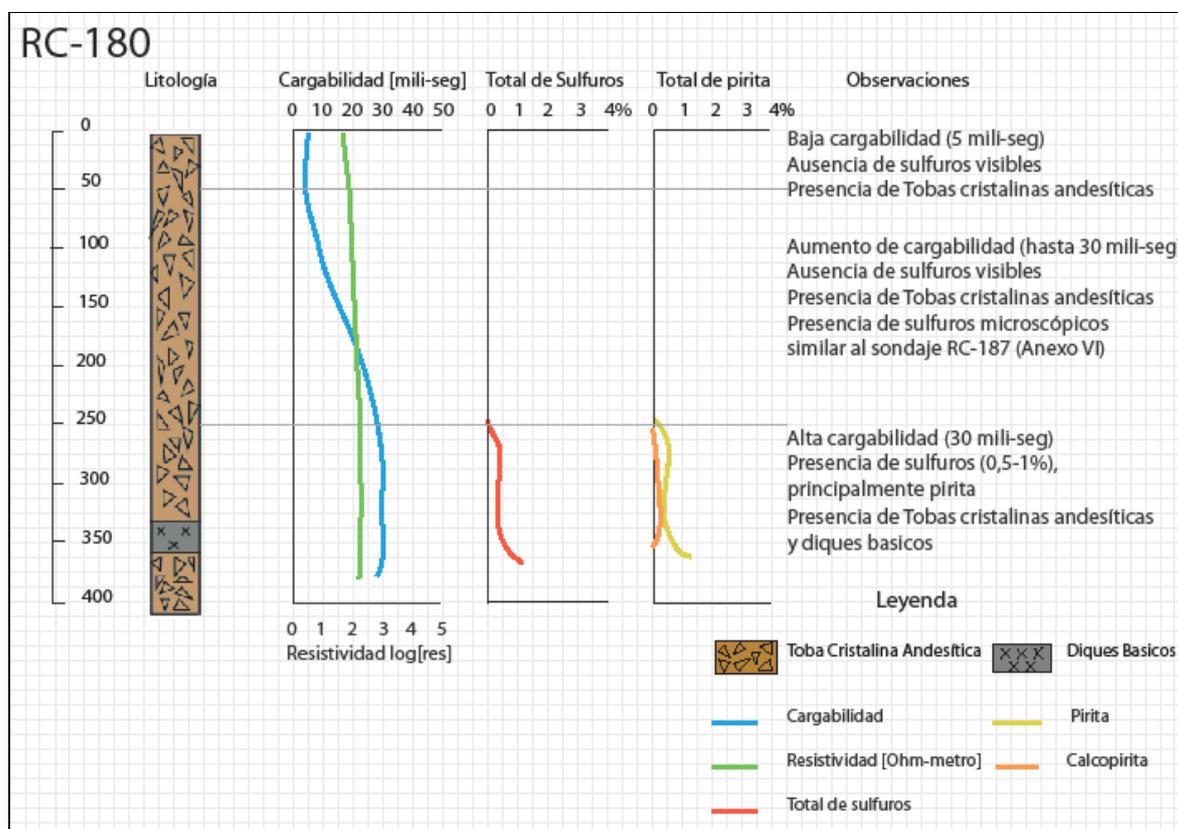


Figura III-33 Strip-log Resumen, RC-180.

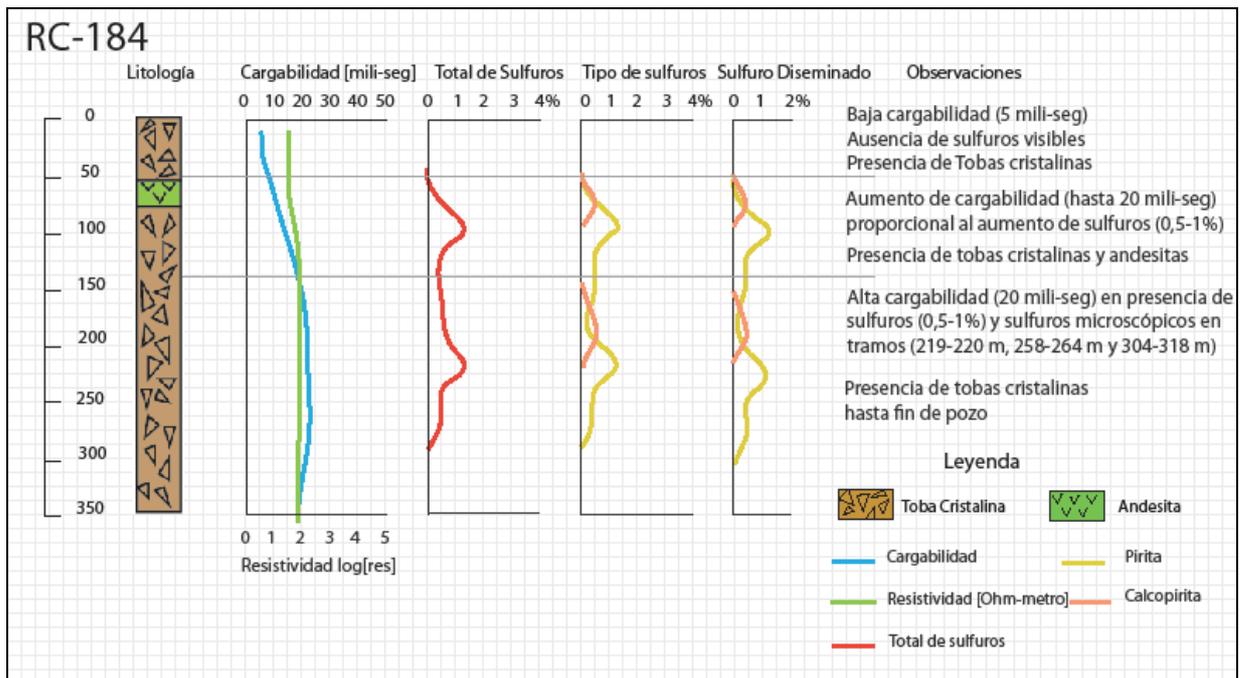


Figura III-34 Strip-log Resumen, RC-184.

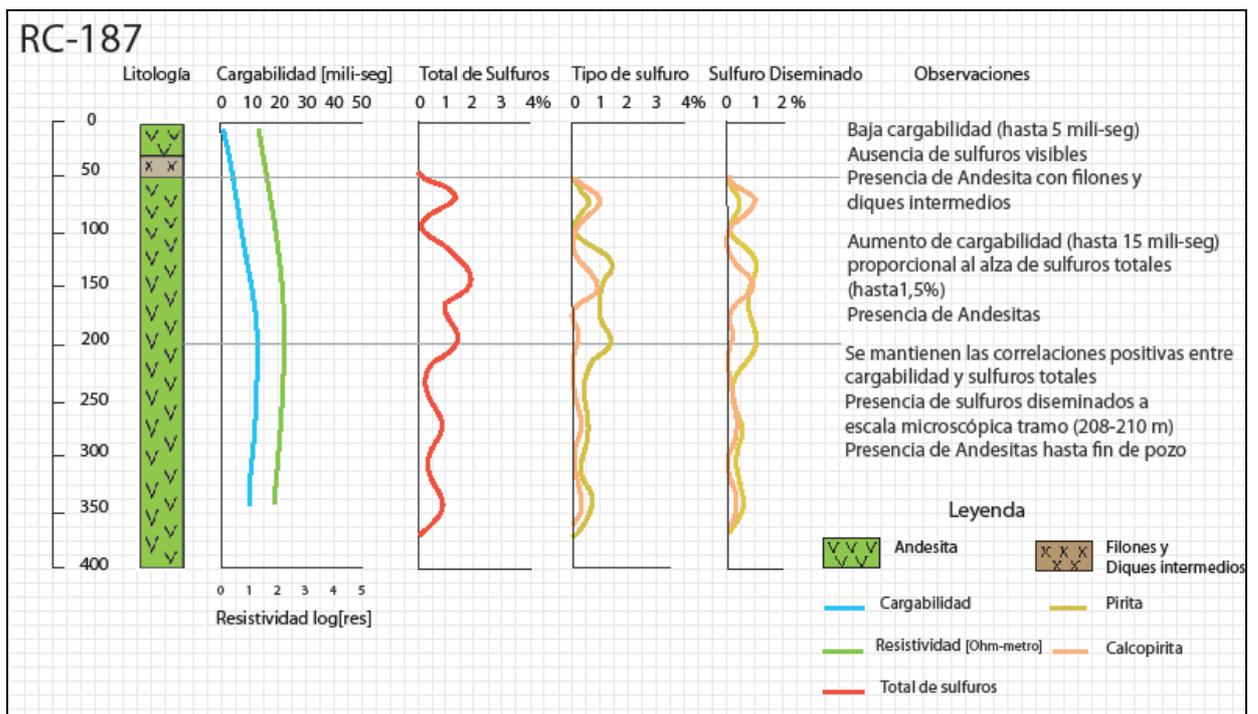


Figura III-35 Strip-log Resumen, RC-187.

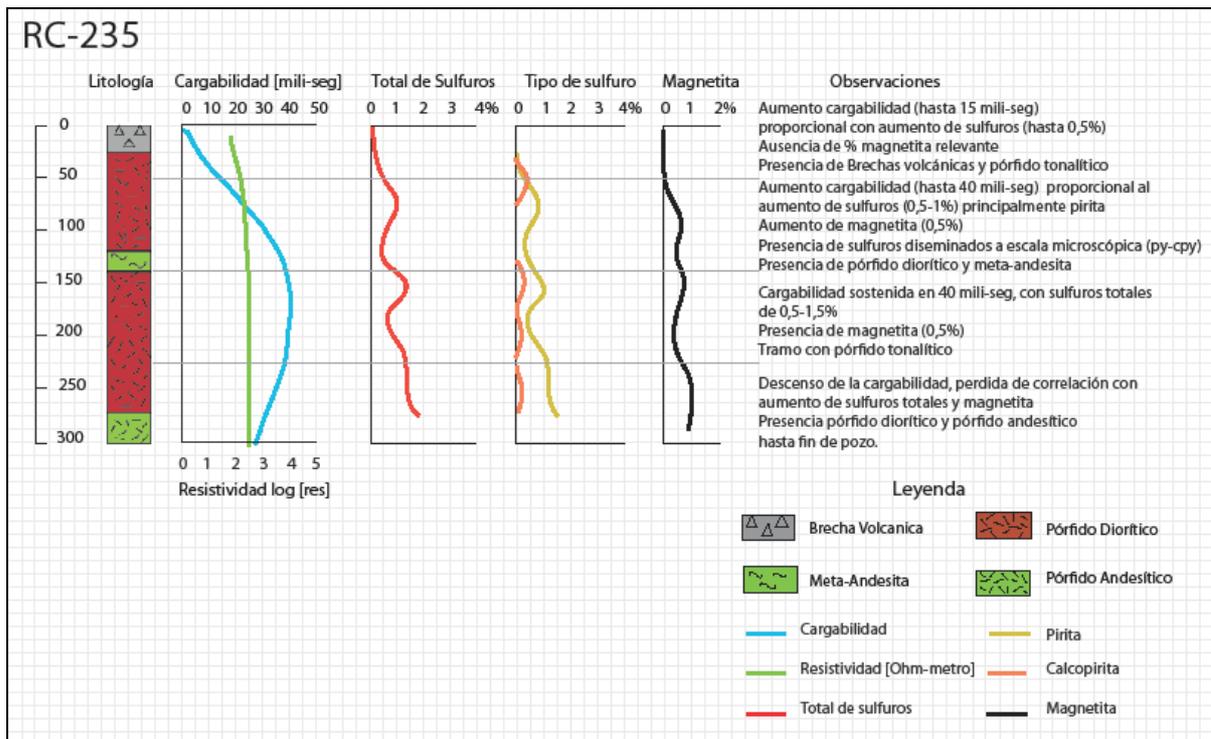


Figura III-36 Strip-log Resumen, RC-235.

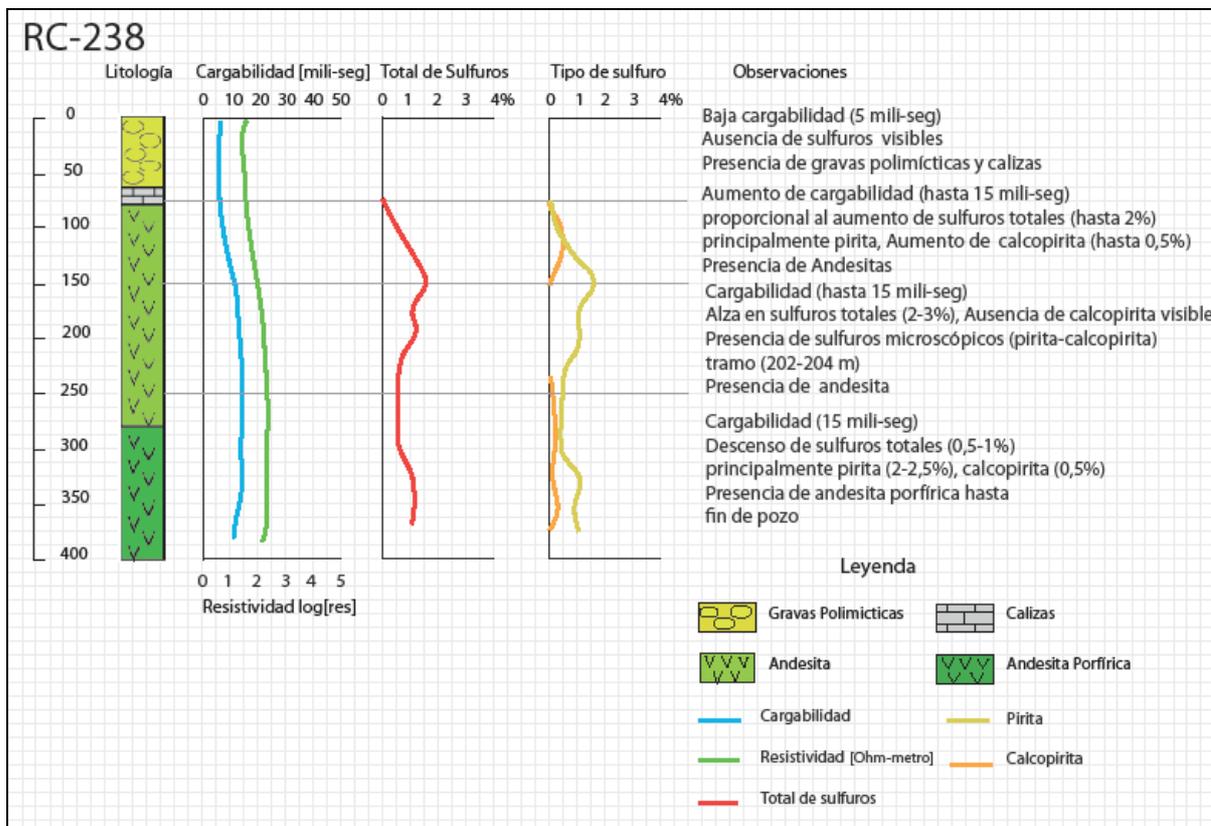


Figura III-37 Strip-log Resumen, RC-238.

### 3.3.6 Análisis

Existe una correlación positiva entre el contenido de sulfuros totales y cargabilidad, en efecto los valores de cargabilidad tienden a aumentar con un alza en el porcentaje de sulfuros totales (Figura III-38).

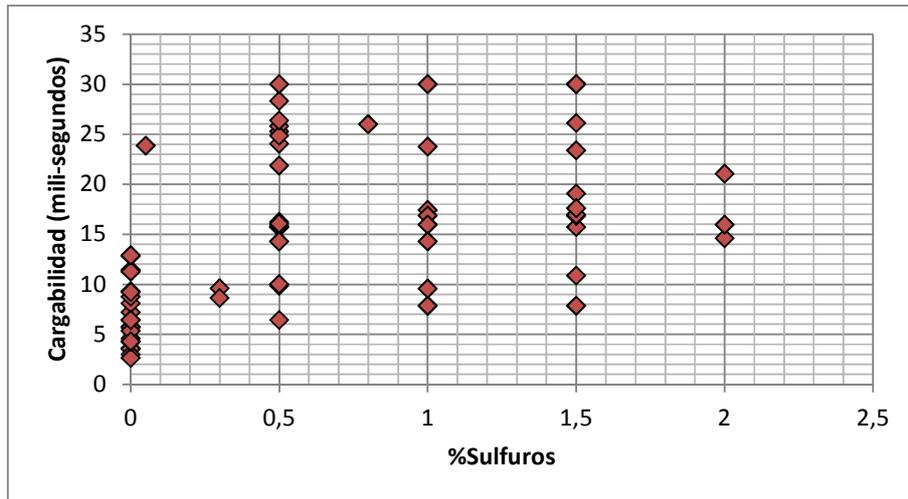


Figura III-38 Gráfico %sulfuros –cargabilidad, Ventanas.

En relación al tipo de sulfuro, se puede observar una relación positiva entre un alza en cargabilidad y un aumento en el contenido de pirita, cuya correlación es más evidente que para la calcopirita, probablemente debido a que la pirita representa sobre un 50% del total de sulfuros estimados y a menudo representando en torno a un 80% del volumen total de sulfuros en los 5 sondajes mapeados (Figura III-39).

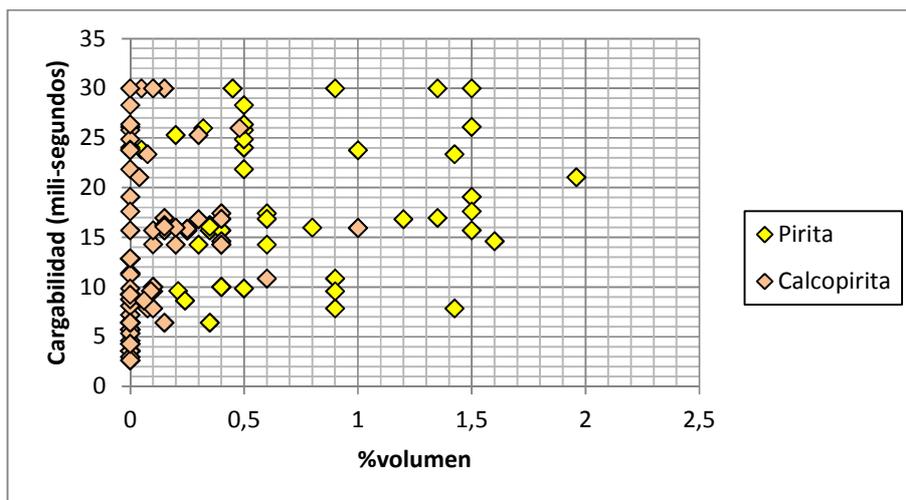
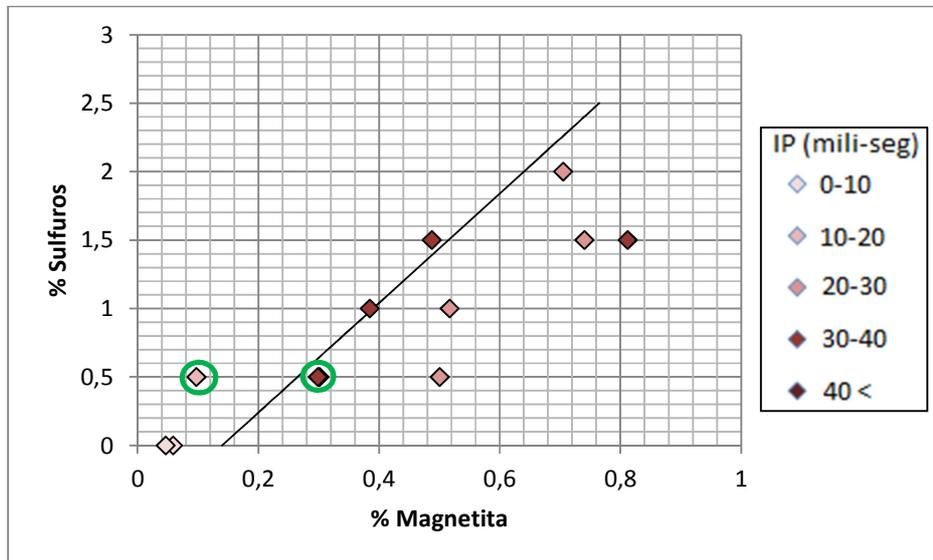


Figura III-39 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro-Cargabilidad, Ventanas.

Para RC-235, único sondaje del prospecto con datos de susceptibilidad magnética, se graficó la relación existente entre el porcentaje en sulfuros-magnetita y su cargabilidad (Figura III-40).



**Figura III-40** Relación entre % de sulfuros y magnetita estimada con su cargabilidad medida, para RC-235. Datos en círculos verdes exhiben diferentes cargabilidades para un mismo porcentaje de sulfuros estimados; recta negra representa proporción magnetita: sulfuros 1:4.

En el gráfico es directo ver la relación existente entre el porcentaje de sulfuros totales y la cargabilidad medida, en particular para valores en torno a 10 mili-seg se tienen porcentajes en sulfuros metálicos estimados de 0%, mientras que valores por sobre 20 mili-seg se asocian a contenidos en sulfuros que sobrepasan el 0,5% en volumen.

Por otra parte, se puede observar que para igual contenido de sulfuros estimados en torno al 0,5% existen cargabilidades entre 10-20 mili-seg (círculo verde, Figura III-40) y otras entre 30-40 mili-seg (círculos verdes, Figura III-40), cuya única diferencia aparente radica en el contenido de magnetita presente. Mientras que para bajas cargabilidades se tienen contenidos de 0,1% en magnetita, para los de cargabilidad más alta se tienen contenidos de magnetita estimado entre 0,3-0,8%. También se aprecia una tendencia lineal para datos de alta cargabilidad (30-40 mili-seg) coincidente con una proporción magnetita: sulfuro de 1:4. Esta es la única evidencia probable que de algún modo ratifique lo observado por otros estudios previos (Pittard y Bourne, 2007) que postulan el tipo de proporción 1:4 entre magnetita y piritita para dar con altas cargabilidades (>40 mili-seg). Esto considerando que un alto porcentaje del total de sulfuros estimados corresponde a piritita (ver Capítulo 4: Discusiones).

## 3.4 Inca de Oro

### 3.4.1 Ubicación y Accesos

El yacimiento de Cu-Au-Mo Inca de Oro se encuentra en la Región de Atacama, aledaño al pueblo del mismo nombre y 100 km al norte de la ciudad de Copiapó. El acceso es a través de Copiapó, o bien desde el poblado de Diego de Almagro a través de carreteras pavimentadas (Figura I-1).

### 3.4.2 Geología Local

El prospecto Inca de Oro corresponde a un yacimiento del tipo Pórfido Cuprífero de Cu-Au-Mo totalmente cubierto por gravas. En las inmediaciones en un radio aproximado de 5 km afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas, representadas por lavas, brechas y tobas de composición andesítica de edad Jurásica relacionados a la Fm. La Negra. El depósito consiste en un complejo de pórfidos tonalíticos encajado en rocas de la formación Punta del Cobre de edad Jurásico Superior- Cretácico Inferior (Pérez *et al.*, 2009).

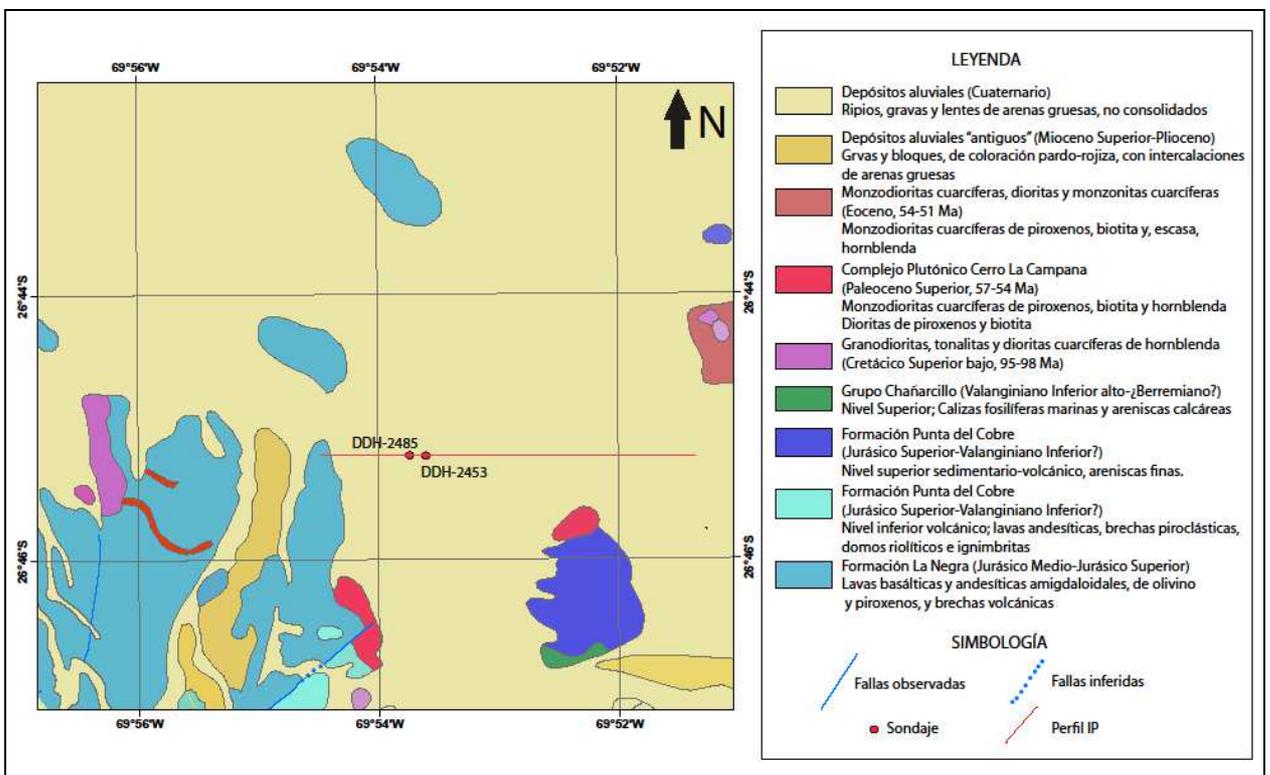


Figura III-41 Ubicación de sondajes y geología del prospecto Inca de Oro (Matthews *et al.*, 2005).

Hacia el extremo sur aflora una secuencia sedimentaria relacionada al Grupo Chañarcillo, intruidas por cuerpos intrusivos de dimensión y composición variable, representados por diques andesíticos, pórfidos tonalíticos, pórfidos dioríticos y tonalitas (Matthews *et al.*, 2005).

Las estructuras tienen una dirección general NE, particularmente intensa en la parte occidental (Rivera *et al.*, 1991). Existe solo una falla de rumbo NO, aunque los lineamientos mayores a nivel distrital indican una notoria tendencia NO y NS.

### **3.4.3 Alteración y Mineralización**

Existe evidencia de alteración hidrotermal, principalmente alteración argílica, producto de procesos de lixiviación de pirita. Al respecto, se ha constatado la presencia de piritización la cual afecta principalmente rocas volcánicas (andesitas tobáceas) y en menor medida a intrusivos andesíticos y dioríticos, los cuales no presentan alteración supérgena (Cepeda, 2005).

La mineralización del sector consiste en vetas (Rivera *et al.*, 1991) ocasionalmente agrupadas en forma paralela o anastomosada dentro de estructuras mayores que alcanzan metros de potencia, y con mineralización menor en forma de stockwork.

### **3.4.4 Datos IP**

Los estudios IP en el sector fueron realizados por la empresa Zonge Ingeniería y Geofísica (Chile) S.A. para EMSA el año 2008. Las mediciones fueron realizadas en el dominio del tiempo, arreglo Dipolo-Dipolo, longitud dipolar de 150 m y con lecturas hasta el nivel n=6, lo que permitió una profundidad máxima de investigación de 260 m. El estudio detectó zonas anómalamente altas en efecto IP.

La sección IP/Resistividad (Figura III-42), es coincidente con los 2 testigos de sondajes estudiados en este yacimiento (DDH-2485 y DDH-2453), los cuales cortan un halo pirítico y un núcleo de cuerpo mineralizado respectivamente.

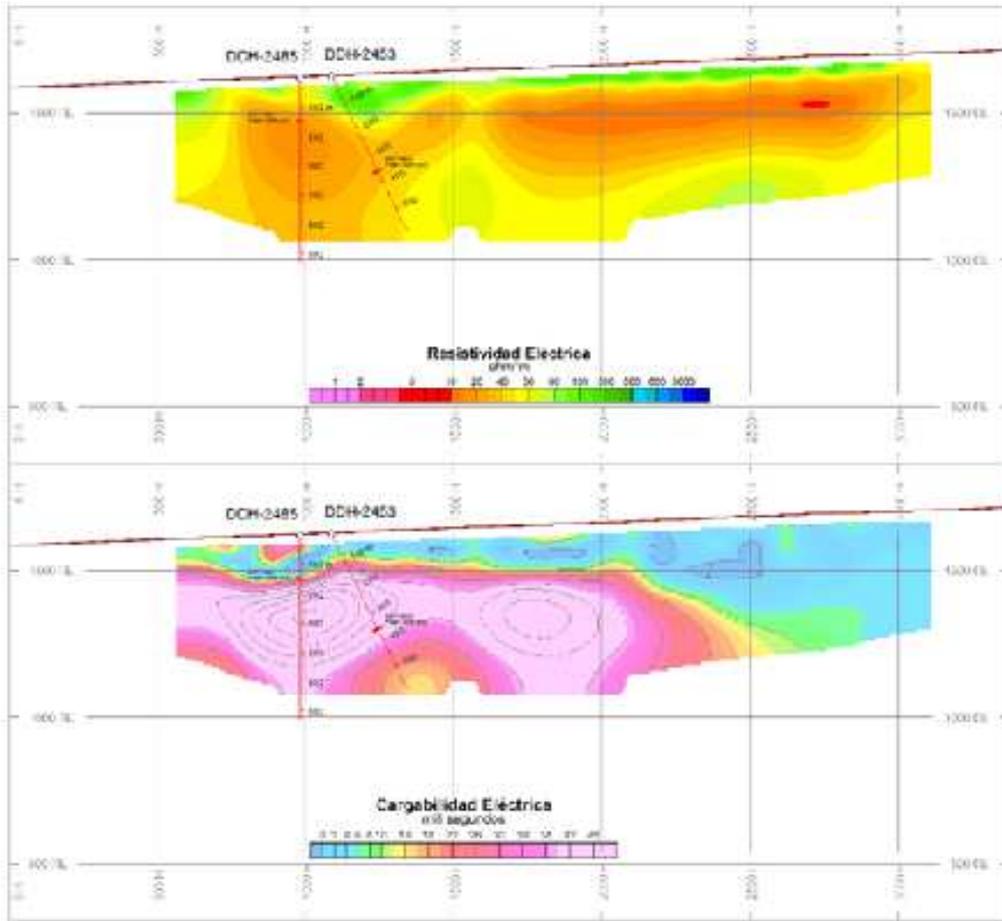


Figura III-42 Sección IP/Resistividad, DDH-2453 y DDH-2485.

### 3.4.5 Caracterización geológica

Para el prospecto Inca de Oro se re-mapearon 2 sondajes tipo diamantino (DDH-2453 y DDH-2485) de 580 y 630 metros de profundidad respectivamente. La presencia de magnetita y/o especularita reconocidos en ambos sondajes fue inferior a un 0,1% en volumen.

#### Sondajes:

Los primeros 50 m de sondaje están constituidos por gravas polimícticas sin presencia de sulfuros, arcillas u otro tipo mineral relevante para el efecto IP, más en profundidad bajo los 100 m se corta una secuencia compuesta por andesitas y pórfidos tonalíticos, con presencia de brecha hidrotermal en DDH-2453. El porcentaje de sulfuros estimados oscila entre 1,5-3,5%, con pirita dominante en

DDH-2485 donde representa sobre el 85% del total de sulfuros, mientras que en DDH-2453 representa entre 40-85%.

Las zonas de alta cargabilidad en DDH-2453 y DDH-2485 se relacionan con valores de 2-2,5% en sulfuros totales. La variación de la ocurrencia mineral a lo largo de los sondajes es notoria y visible, pasando desde diseminación fina y microvetillas en zonas de alta cargabilidad (Figura III-43) a cúmulos y sulfuros masivos en tramos más profundos coincidentes con zonas de cargabilidad comparativamente más bajas.



Figura III-43 Fotografía zonas de alta cargabilidad, en DDH-2453 y DDH-2485.

A continuación se muestran Strip-log resumen de ambos testigos de sondajes, considerando las variables más relevantes para su análisis (ver más detalle en Anexo I y II).

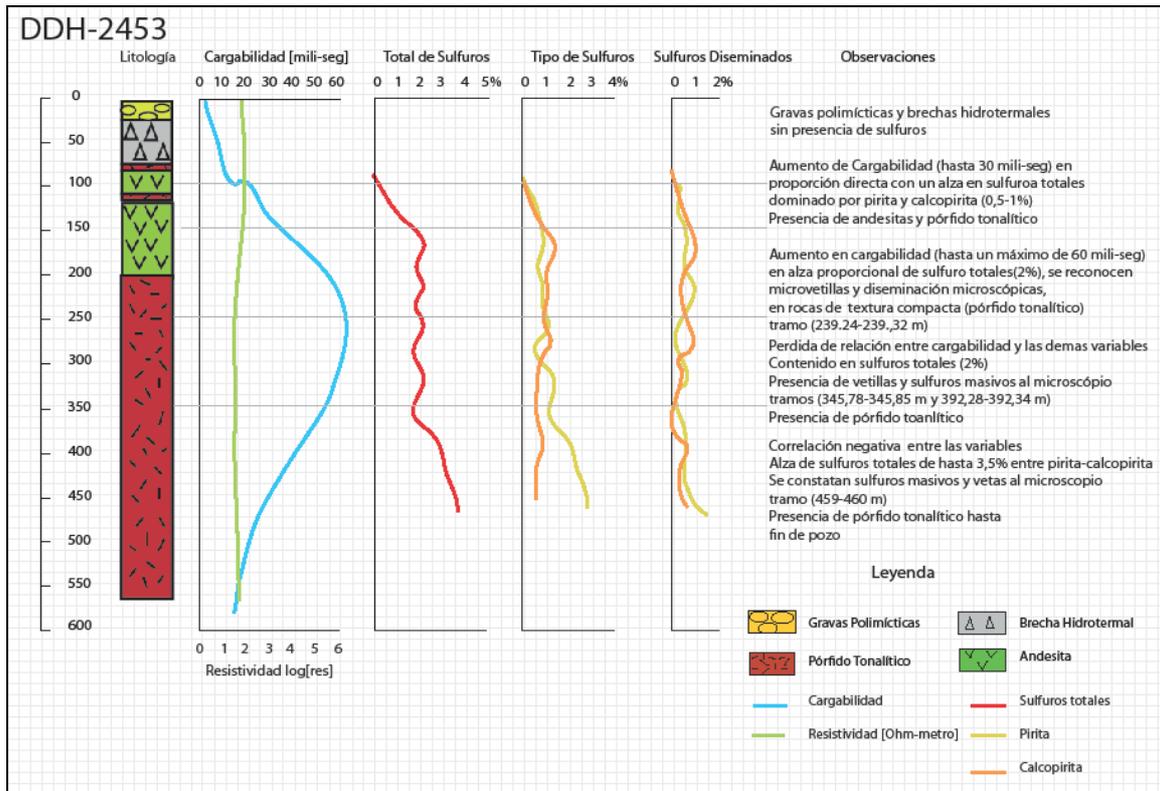


Figura III-44 Strip-log Resumen, DDH-2453.

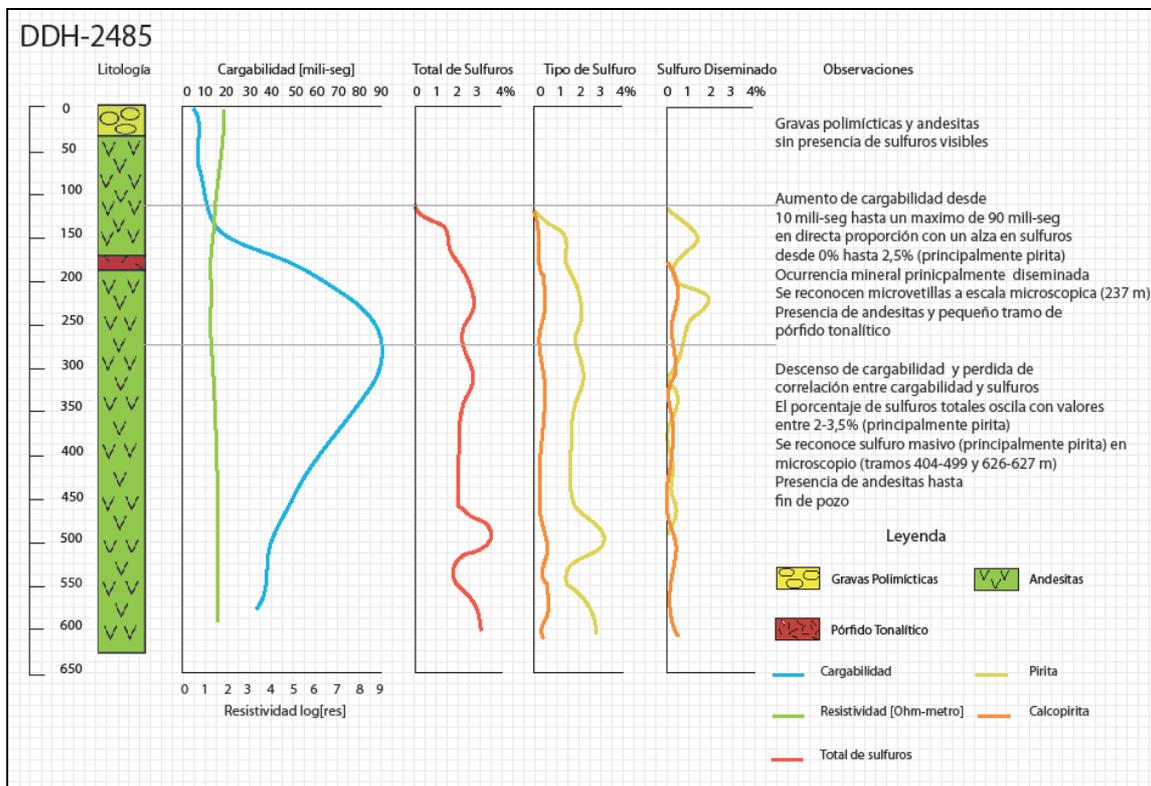
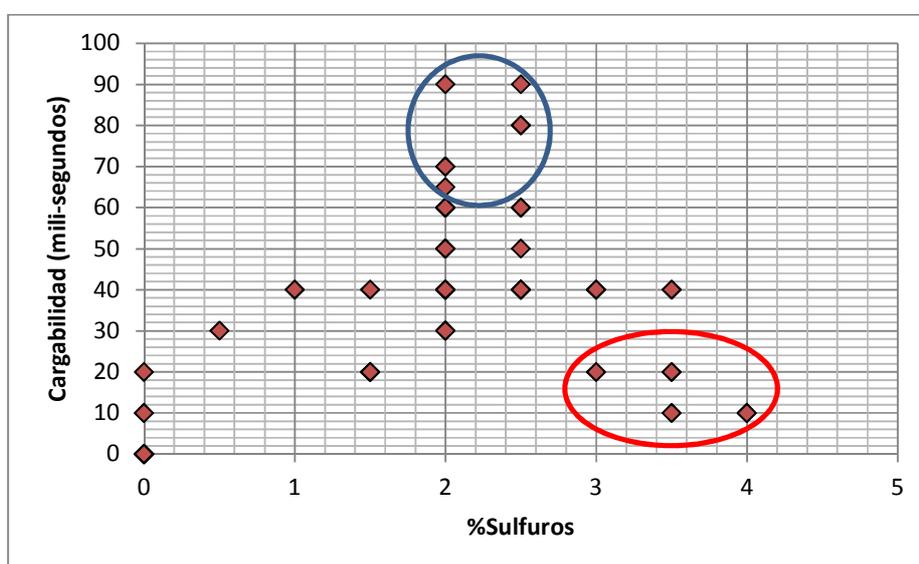


Figura III-45 Strip-log Resumen, DDH-2485.

### 3.4.6 Análisis

La relación positiva existente entre la cargabilidad y el porcentaje de sulfuros totales, para ambos sondajes (DDH-2453 y DDH-2485) es notoria y evidente hasta una profundidad donde se detecta la máxima cargabilidad, por tanto, es conveniente separar el análisis entre un antes y después de la anomalía principal, aproximadamente a unos ~300 m de profundidad como punto de quiebre (ver Anexo III). La relación gráfica entre Sulfuros totales y cargabilidad queda representada por la Figura III-46.



**Figura III-46** Gráfico %Sulfuros –Cargabilidad, Inca de Oro. Donde: datos en elipse roja corresponden a tramos con sulfuros en cúmulos en DDH-2453; datos en elipse azul corresponde a tramos en DDH-2485 con presencia de microvetillas y sulfuros diseminados a nivel microscópico.

En la figura II-46 se aprecia una correlación positiva entre el aumento de sulfuros totales y un aumento en cargabilidad, excepto para 4 valores encerrados en elipse roja, los cuales corresponden a tramos de DDH-2453 con presencia de sulfuros en cúmulos, principalmente pirita. De igual forma, la familia de datos en elipse azul corresponde a tramos de DDH-2485 con presencia de sulfuros diseminados y microvetillas (ver Subcapítulo 4.1.1 Sulfuros, Capítulo 4. Discusiones).

En cuanto al tipo de sulfuros, la pirita es dominante en DDH-2485 y en menor medida en DDH-2453. La relación de los dos tipos minerales con la cargabilidad queda reflejada en la Figura III-47.

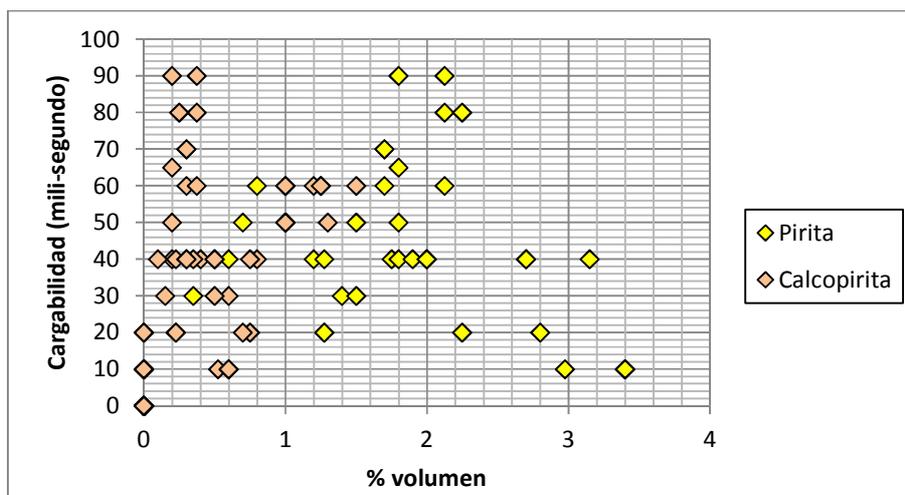


Figura III-47 Gráfico %volumen según tipo de sulfuro y cargabilidad, Inca de Oro.

Gráficamente se puede apreciar, una tendencia lineal similar a la de los sulfuros totales con una menor dispersión de los datos en pirita que en calcopirita.

En cuanto a la variación de ocurrencia mineral a lo largo de los sondajes, ésta es notoriamente marcada pasando desde diseminación fina y microvetillas en sectores de alta cargabilidad a sulfuros en cúmulos en zonas de baja cargabilidad en los tramos más profundos del sondaje. Esta variación fue observada a escala visual de mapeo (Figura III-48) y a escala microscópica (Figura III-49).



Figura III-48 Variación de ocurrencia en sulfuros a lo largo del sondaje DDH-2453.

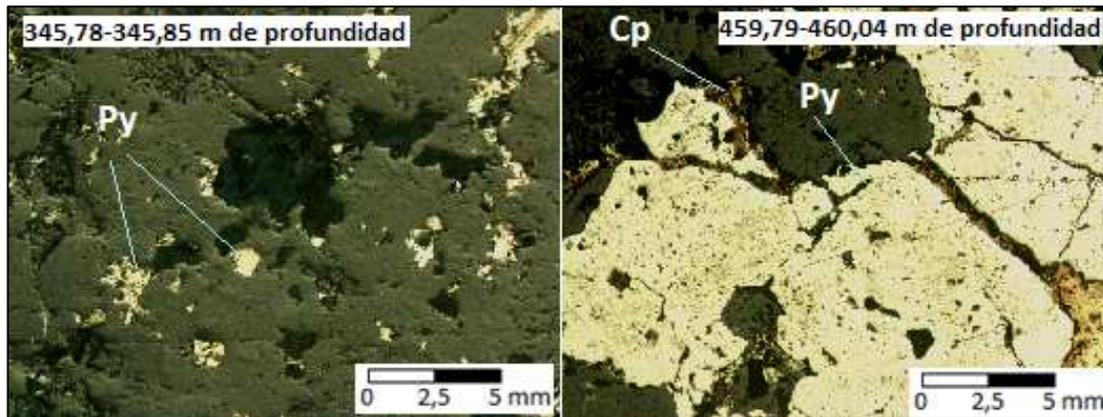


Figura III-49 Microfotografía 4X10, sondaje DDH-2453.

En cuanto a las diferencias litológicas de ambos sondajes, éstas tienen directa relación con los valores detectados en resistividad. Se detectaron valores promedios de 50 ohm\*m para el pórfido tonalítico en DDH-2453 y de 20-30 ohm\*m para andesitas presentes en DDH-2485, lo cual es coherente con un tipo de litología menos compacta (más porosa) y por ende menos resistiva versus al de un pórfido tonalítico.

Para tramos por sobre los 300 m de profundidad, posteriores a las anomalías principales (máximas cargabilidades), se observa escasa correlación entre las variables analizadas y cargabilidad, en específico se tiene una correlación negativa entre valores de cargabilidad y el total de sulfuros en ambos sondajes (Anexo III). Para DDH-2453 se tiene una correlación negativa alta principalmente para pirita donde se obtiene un valor de -0,9, es decir a medida que disminuye la cargabilidad el porcentaje total de pirita crece. Por lo tanto la sola presencia total de sulfuros y/o pirita-calcopirita no explican del todo la cargabilidad detectada para éste segundo tramo analizado. Es notorio el hecho que mientras el porcentaje de pirita diseminada se mantiene relativamente constante a lo largo del sondaje, la presencia de pirita en cúmulos, totalmente ausente en el primer tramo, comienza a aparecer y a incrementarse en contraposición casi perfecta con la disminución en cargabilidad. (ver Subcapítulo 4.1.2 Ocurrencia de Sulfuros).

Para la calcopirita la relación es menos evidente, aunque bien su efecto puede verse enmascarado ante la presencia dominante de pirita en el sector (ver Tabla II-1).

A pesar de lo anterior, no se puede descartar el hecho que bajo los 300 m de profundidad, el método IP pierda sensibilidad, lo que también es una opción válida para explicar la escasa correlación existente entre las variables, a profundidades mayores a 300 m (ver Subcapítulo 4.3.1 Limitaciones del Análisis).

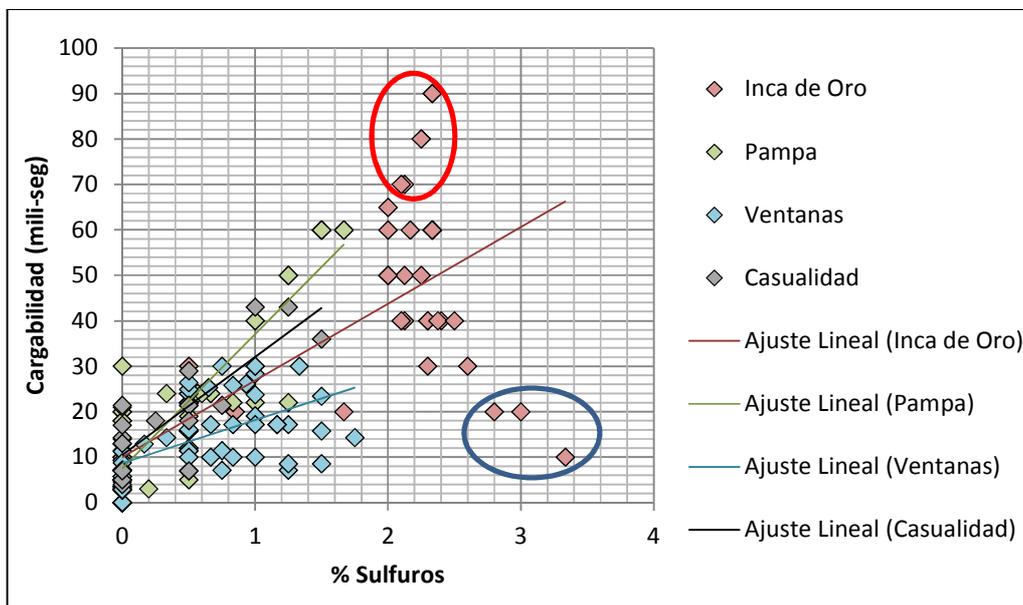
## 4. DISCUSIONES

### 4.1. Influencia de aspectos geológicos en resultados IP

Las variables geológicas analizadas en este trabajo son a priori factores que podrían influir en las anomalías detectadas por el método de polarización inducida (IP). A continuación se revisan estos factores y su relación con las anomalías IP observadas.

#### 4.1.1 Sulfuros

Entre todos los factores geológicos considerados en este trabajo, el porcentaje de sulfuros totales estimados es el factor que mejor explica las variaciones en el efecto IP observados en los sondajes estudiados, especialmente en: Inca de Oro, Pampa y Casualidad. Esta relación queda reflejada en la figura IV-1, y en el hecho de que es la variable geológica que presenta los coeficientes de correlación más altos con la cargabilidad (0.6-0.9) (ver Anexo III).



**Figura IV-1** Gráfico relación %Sulfuros-Cargabilidad. Elipse azul indica datos que corresponden a tramos de DDH-2453 con presencia de sulfuros en cúmulos; Elipse roja indica datos que corresponden a tramos en DDH-2485 con presencia de microvetillas y sulfuros diseminados a nivel microscópico.

Del total de sulfuros reconocidos en el mapeo, la pirita y calcopirita son los dos sulfuros más relevantes en este trabajo, ya que la suma de ambos explica casi la

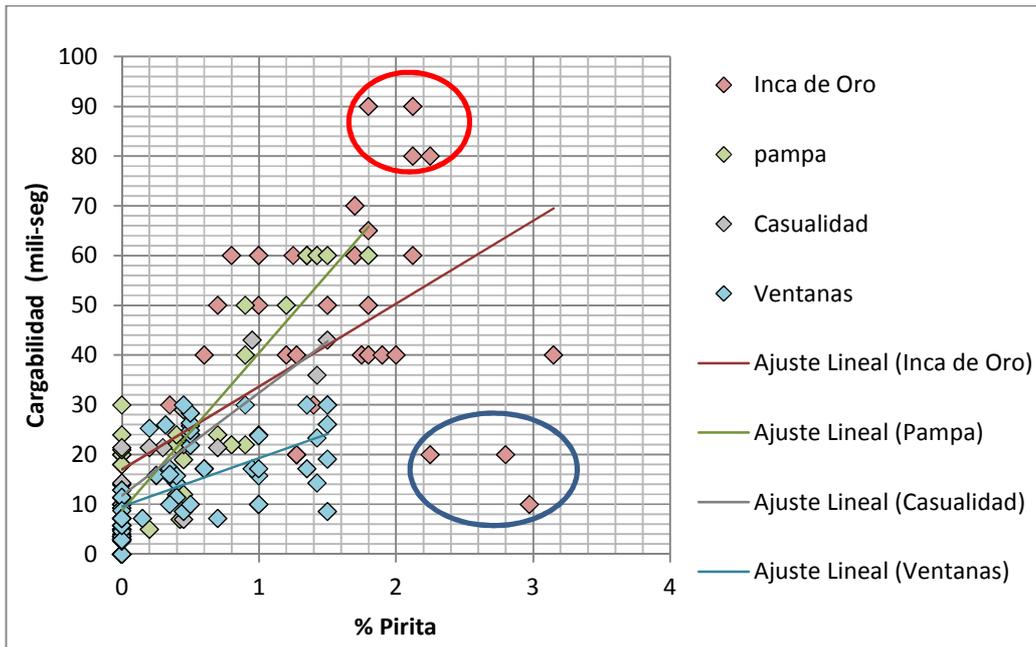
totalidad de sulfuros totales estimados (sobre un 90% del total), ésto debido al bajo porcentaje en el que se encuentran otros tipos de sulfuros.

En el caso de Inca de Oro (Pórfido Cuprífero), el porcentaje total de sulfuros y el porcentaje en pirita son las dos variables que mejor explican la curva de anomalía IP, seguida en importancia por el porcentaje en calcopirita, lo que se ve reflejado gráficamente y a través de los coeficientes de correlación obtenidos, con valores en torno a 0.9 para pirita y 0.8 para calcopirita (ver Anexo III).

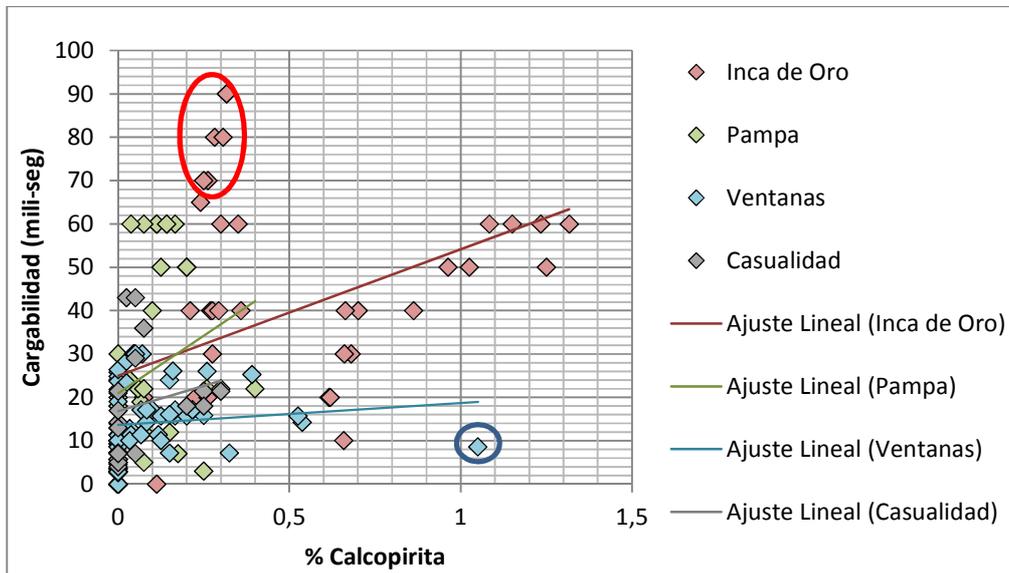
Para los prospectos tipo IOCG (Casualidad, Pampa, Ventanas), la correlación entre cargabilidad y el porcentaje total de sulfuros es alta, sin embargo, también se observa un alto grado de correlación entre el contenido de magnetita y la cargabilidad (ver Anexo III), probablemente debido a la coexistencia entre el contenido de magnetita y el contenido de sulfuros.

La diferencia entre pirita-calcopirita y su relación con la cargabilidad, se puede apreciar gráficamente en las figuras IV-2 y IV-3. En ellas se observa una menor dispersión de datos en el caso de la pirita en comparación a la calcopirita, la cual muestra una dispersión mayor. Esto es coherente con el hecho de que la pirita ofrece una respuesta mayor al efecto IP que la calcopirita (ver Tabla II-1).

Gráficamente, también es posible apreciar que los datos con las cargabilidades más bajas corresponden a sondajes del prospecto Ventanas, particularmente en tramos con contenido relativamente alto de sulfuros y bajas cargabilidades. Al respecto, existe la posibilidad de que esto tenga relación con la extensión del factor de conversión propuesto 1,4 (mrad/msec) desde el caso Inca de Oro al caso Ventanas al momento de convertir datos desde mili-radianes a mili-segundos, subestimando de esta manera los valores previos (mili-rad) de cargabilidad en Ventanas (ver Subcapítulo 4.3.1 Limitaciones del análisis).



**Figura IV-2** Gráfico relación %Pirita–Cargabilidad. Elipse azul indica datos que corresponden a tramos de DDH-2453 con presencia de pirita en cúmulos; Elipse roja indica datos que corresponden a tramos en DDH-2485 con presencia de microvetillas y pirita diseminada a nivel microscópico.



**Figura IV-3** Gráfico relación %Calcopirita- Cargabilidad; Elipse roja indica datos que corresponden a tramos con calcopirita diseminada a nivel microscopico; Elipse azul indica dato correspondiente a un tramo en RC-187 (Ventanas) de baja cargabilidad.

### 4.1.2 Ocurrencia de Sulfuros

Dentro de los tres tipos de ocurrencias considerados en este trabajo, la disseminación fina y vetillas son las que mejor se correlacionan con altas cargabilidades. Particularmente en el caso de Inca de Oro, se constató que la disseminación fina de sulfuros metálicos en DDH-2453 posee una alta correlación (0.9) con tramos de alta cargabilidad (ver Anexo III) dentro de una matriz granulométricamente compacta de pórfido tonalítico. Mientras que en DDH-2485 se tiene disseminación y microvetillas interconectadas (corroboradas en microscopio) que exhiben buenas correlaciones (0.6) con zonas de alta cargabilidad dentro de una matriz de andesitas (Figura III-23).

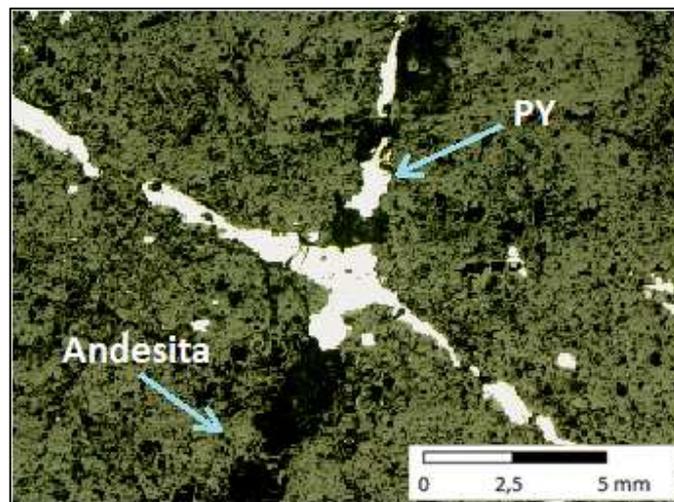


Figura IV-4 Microfotografía 4X10, sondaje DDH-2485, en tramo de alta cargabilidad.

En cuanto a la ocurrencia de sulfuros en prospectos tipo IOCG, la relación entre cargabilidad y ocurrencia, varía en función de la escala de medida. A escala de mapeo (1:500) existe una mayor dispersión de datos en prospectos tipo IOCG en comparación a lo constatado en el caso de Inca de Oro (Pórfido Cuprífero), probablemente debido a que en IOCG la estimación visual se realizó en sondajes tipo Aire Reverso (ver Subcapítulo 4.2.2 Factores de Error). No obstante, como patrón general a escala microscópica se reconocieron sulfuros disseminados en zonas de alta cargabilidad en ambos tipos de sondajes (ver Figura III-45 y Anexo V).

En base a la estimación de ocurrencias realizada en sondajes tipo diamantino, gráficamente (Figuras IV-5 y IV-6) se observa una correlación positiva entre la presencia de sulfuros disseminados en profundidad y el aumento en cargabilidad.

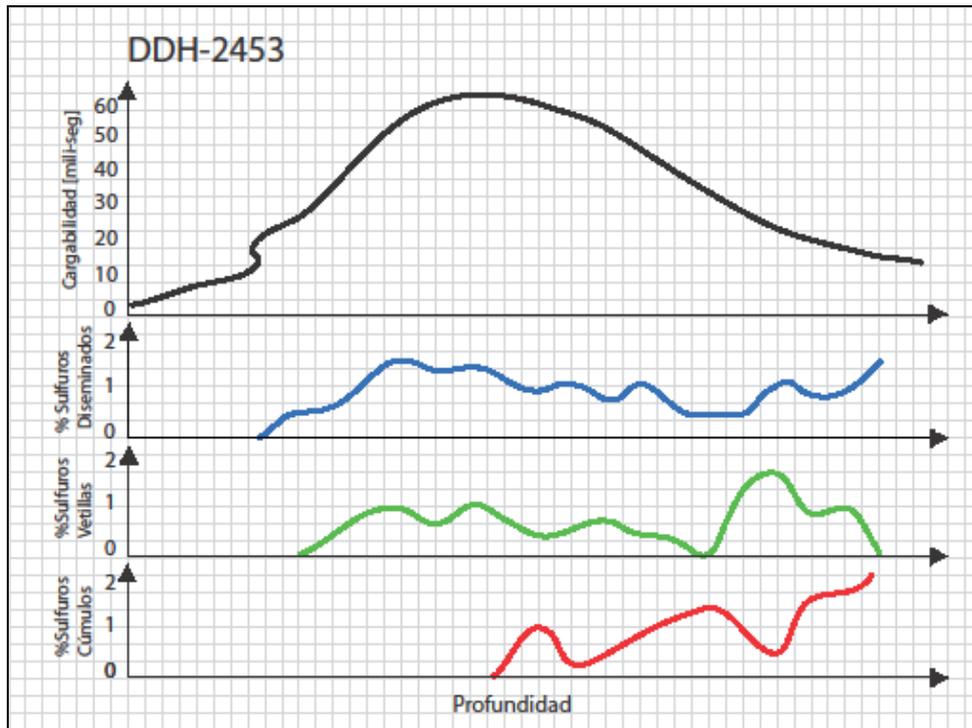


Figura IV-5 Curva de cargabilidad versus ocurrencia mineral de sulfuros, DDH-2453.

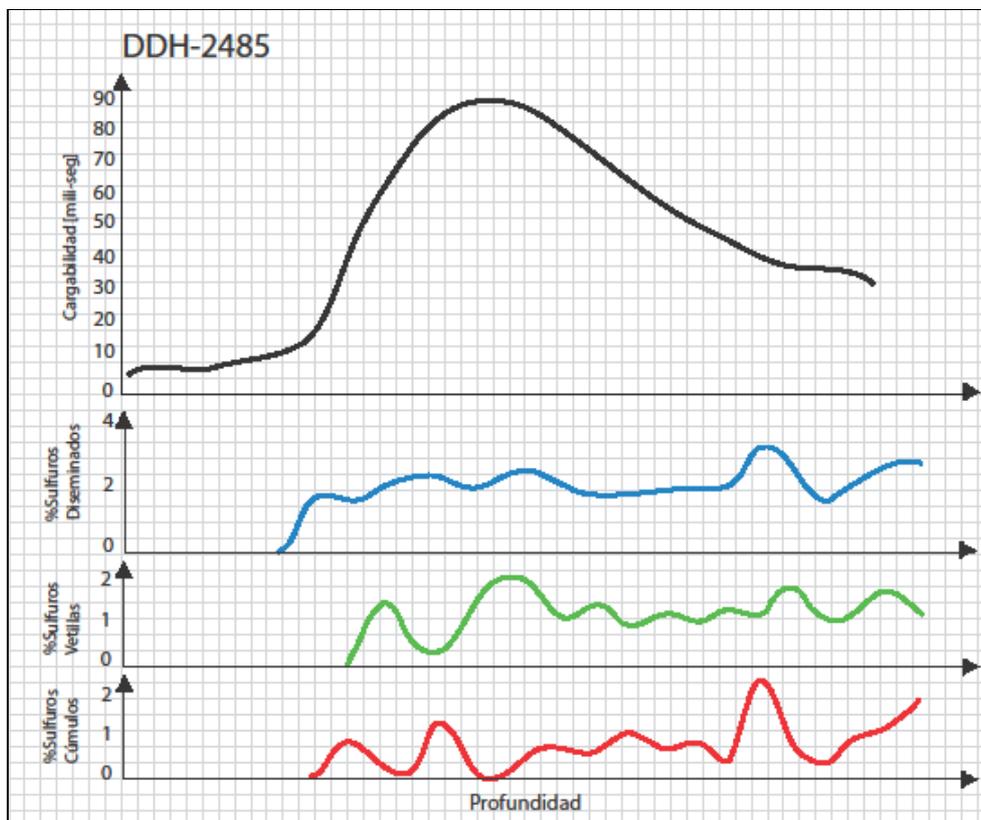


Figura IV-6 Curva de cargabilidad versus ocurrencia mineral de sulfuros, DDH-2485.

Los tramos donde se alcanzan las máximas anomalías en efecto IP, son coherentes con un alto contenido en sulfuros diseminados, seguidos en segundo orden por la presencia de sulfuros en vetillas. En cuanto a la presencia de sulfuros en cúmulos ésta tiende a aumentar a profundidades mayores mostrando una correlación negativa con la cargabilidad, mientras que el resto de ocurrencias permanece más o menos constante, ésto es notorio en DDH-2453 (Figura IV-5) y menos evidente en DDH-2485 (Figura IV-6).

Todas las observaciones previamente hechas, reafirmarían el hecho de que el tamaño de grano de los sulfuros y su distribución textural es una variable relevante para el efecto IP, puesto que, con la diseminación de sulfuros metálicos aumenta la superficie de contacto con los espacios porosos facilitando una mayor interacción electrolítica, obteniendo por lo tanto una mayor cargabilidad (Wong, 1979).

#### **4.1.3 Óxidos de Fe**

La incidencia de óxidos de Fe, en particular la magnetita, muestra correlaciones positivas con anomalías IP para todos los sondajes donde fue posible estimar su porcentaje en volumen a partir de datos de susceptibilidad magnética (ver Anexo IV). Sin embargo, no se obtuvieron muestras aisladas de magnetita (en los sistemas estudiados hay presencia de magnetita y sulfuros), a partir de las cuales se pueda afirmar categóricamente que la magnetita contribuya de manera relevante a la cargabilidad.

La relación entre el porcentaje de magnetita en volumen y la cargabilidad se encuentra reflejada en la Figura IV-7.

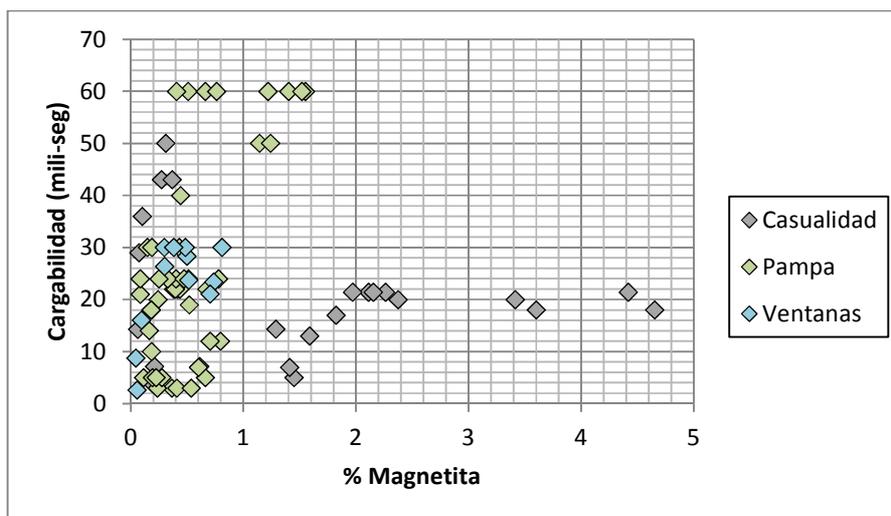


Figura IV-7 Gráfico relación %magnetita-cargabilidad.

Gráficamente no se observan correlaciones positivas entre el porcentaje de magnetita y la cargabilidad, y por lo tanto, la sola presencia de magnetita no explicaría todo el espectro de cargabilidades medidas. Al menos es posible observar que altas cargabilidades no muestran relación directa con el aumento de magnetita (Figura IV-7).

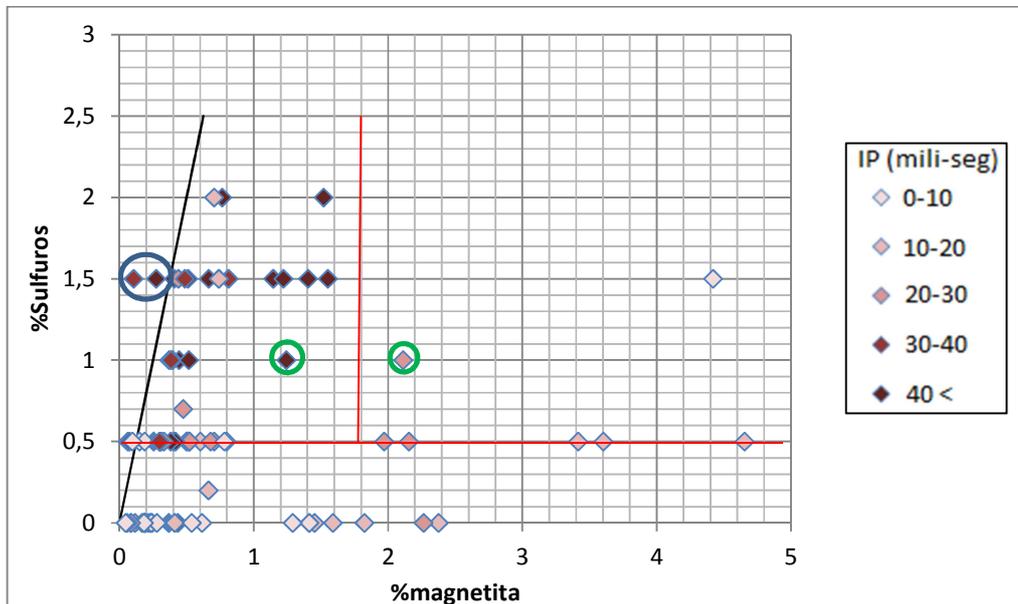
### Influencia de magnetita al efecto IP

Pittard y Bourne (2007) estudiaron la posible influencia que la magnetita tendría en el efecto IP, aplicado en el caso del yacimiento de oro Centenary (Australia). En este trabajo se obtuvo que muestras con altas cargabilidades sobre los 40 mV/V son coherentes con contenidos sobre un 5% de magnetita, 5% de pirita, y al menos un 15% de pirita-magnetita combinados, todas medidas en muestras de mano. Al respecto, se ha postulado que sería necesaria una razón empírica entre magnetita: pirita de al menos 1:4 para dar con respuestas elevadas en cargabilidad (>40 mV/V).

Un gráfico integrado con los datos de este trabajo para los tres prospectos tipo IOCG estudiados (Figura IV-9), permite analizar lo propuesto en Pittard y Bourne (2007). Según lo observado se puede establecer lo siguiente:

- Para bajas cargabilidades en torno a 10 (mili-seg), aparentemente no es necesaria la presencia de sulfuros. De hecho se puede observar en ambos tipos de depósitos (IOCG y Pórfido Cuprífero), y particularmente en DDH-2453 que estos valores bajos en cargabilidad es posible obtenerlos en rocas sin presencia de sulfuros ni de magnetita visibles.

- Para altas cargabilidades (>40 mili-seg), se observa gráficamente (Figura IV-8) que la proporción de la menos 1:4 entre magnetita: pirita, sería una condición suficiente pero no necesaria. Excepciones a ésta proporción son representadas por los datos elipse azul de la Figura.IV-8, los cuales hasta ahora son justificados en términos de su litología (RC-309, Casualidad).
- Cargabilidades en torno a ~20-30 (mili-seg) son coherentes con al menos un 0,5% en sulfuros totales y con un porcentaje en magnetita que varía ampliamente entre un 0% y un 1,8%. Es notorio el hecho que para igual porcentaje en sulfuros, un aumento en el contenido en magnetita sobre un 2% implique una baja en la cargabilidad a valores del orden de ~ 10-20 (mili-seg) (Figura IV-8, elipse verde), no obstante, dado que ambos datos corresponden a un solo prospecto, no se puede establecer que dicha relación se cumpla para otros prospectos de similar característica (IOCG).
- Datos con cargabilidad en torno a 30-40 (mili-seg) corresponden a tramos con un porcentaje total de sulfuros por sobre 0,5%, concentrándose la mayoría en torno a un 1,5% y en condiciones similares a tramos con altas cargabilidades (> 40 mili-seg).



**Figura IV-8** Gráfico %magnetita-%sulfuros-cargabilidad, prospectos IOCG. Donde: datos en elipse azul corresponden a tramos con granodioritas en RC-309; datos en círculos verdes corresponden a datos de igual contenido en sulfuros pero disitinta cargabilidad; recta roja horizontal representa contenido en sulfuros igual a 0,5%; recta roja vertical representa contenido en magnetita en torno a  $1,8 \pm 0,2\%$ ; recta negra representa razón magnetita:sulfuros igual a 1:4.

En caso de existir una zona de alta cargabilidad, esta podría estar restringida en su extremo derecho por valores en magnetita en torno a un  $1,8\% \pm 0,2$ , aún por ser corroborado (ver datos en círculos verdes, Figura IV-8). Mientras que el límite inferior, estaría restringido con un contenido de al menos 0,5% de sulfuros totales estimados.

En general, la mayoría de estos tramos de alta cargabilidad están en razón magnetita: sulfuros superior a 1:4, proporción representada por la recta negra (ver Figura IV-8). Particularmente interesante, son los datos que escapan a esta regla, (datos elipse azul, Figura IV-8) del prospecto Casualidad, siendo explicados hasta ahora por la presencia de litologías comparativamente más compactas, como es la presencia de granodioritas en el sondaje RC-309 (Anexo VI).

#### **4.1.4 Influencia de la Litología**

No se observó una correlación clara entre la litología y las variaciones de la cargabilidad eléctrica. Sin embargo, litologías granulométricamente más compactas, (dioritas en RC-606 del prospecto Pampa, y granodioritas en RC-309 del prospecto Casualidad datos en elipse azul, Figura IV-8), coinciden con tramos de cargabilidades comparativamente mayores a las de su entorno, bajo similares condiciones en contenido de sulfuros, magnetita y ocurrencias. En particular, en RC-606 se obtienen cargabilidades de hasta el doble (60 mili-seg) de los demás sondajes del prospecto Pampa (20-30 mili-seg). Del mismo modo, en Casualidad el sondaje RC-309 muestra las mayores anomalías del prospecto con cargabilidades de 40-50 mili-seg, en comparación a la cargabilidad de los otros dos sondajes con valores en torno a 15-20 mili-seg.

Algo similar a lo anterior, ocurre en RC-235 del prospecto Ventanas, donde bajo similares condiciones en el porcentaje de sulfuros totales estimados, se corta la anomalía más importante del prospecto (40 mili-seg) en tramos con presencia de pórfidos dioríticos, litología únicamente observada en éste sondaje (ver Anexo VI).

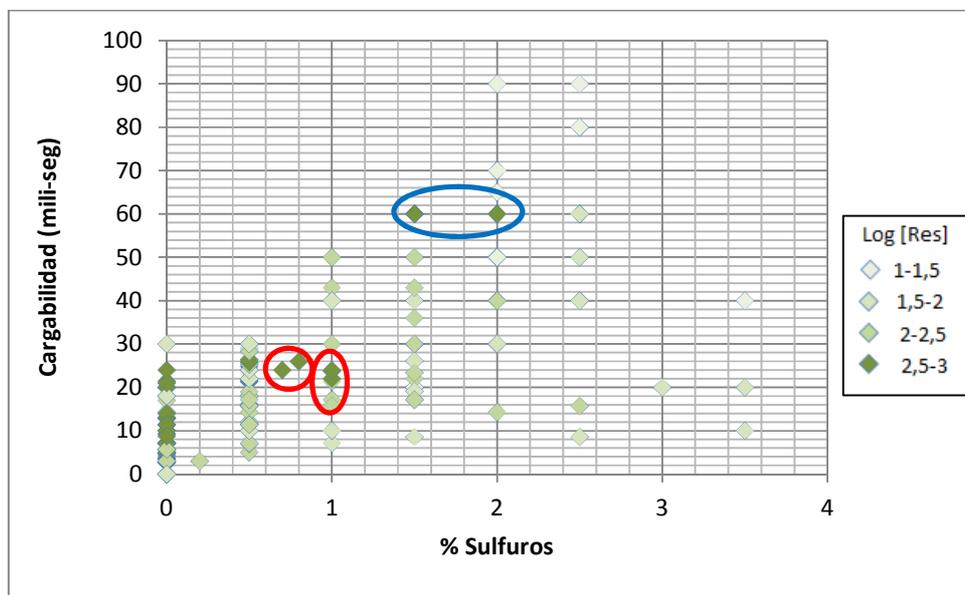
Al respecto, la conducción electródica establece que para una concentración particular de fluidos, la polarización decrece con el aumento en la porosidad de la roca debido a que se incrementa el número de vías disponibles para la conducción electrolítica. Por lo tanto, para sulfuros diseminados en rocas granulométricamente más compactas se esperaría un efecto IP mayor que en rocas porosas (Telford *et al*, 1990). Esto es consistente con la litología observada en los tres sondajes analizados (RC-606, RC-309 y RC-235) (ver Anexo VI).

## 4.2 Aspectos Geofísicos

### 4.2.1 Rol de la Resistividad

En los sondajes estudiados la resistividad tiende a presentar una relación inversa con respecto a la cargabilidad y por lo tanto también con la presencia de sulfuros. De esta manera, tramos menos resistivos (10-30 ohm\*m) se relacionan con tramos de alta cargabilidad y mayor contenido de sulfuros. Mientras que tramos más resistivos (300-1000 ohm\*m) presentan cargabilidades, por lo general, menores a 30 mili-seg (Figura IV-9) y contenido en sulfuros bajo un 1%.

Existen excepciones puntuales a esta tendencia, las cuales están representadas por dioritas (alta resistividad, 1000 ohm\*m) en tramos de alta cargabilidad, y contenido en sulfuros de 1,5-2% para el sondaje RC-606 del prospecto Pampa (datos en elipse azul, Figura IV-9). Otros tramos de alta resistividad con concentración de sulfuros y cargabilidades relativamente altas (datos en elipse roja, Figura IV-9) se encuentran asociados a tramos con intercalaciones de rocas ígneas (andesitas porfíricas) y metamórficas (hornfelds, meta-areniscas y meta-andesitas), lo cual es coherente con datos experimentales en rocas menos porosas (ver Diagrama, Figura III-3).



**Figura IV-9** Gráfico % sulfuros-cargabilidad-resistividad. Donde: datos en elipse roja corresponden a andesitas porfíricas y hornfelds en RC-607 y RC-615 (Pampa); datos en elipse azul corresponden a dioritas en RC-606 (Pampa).

En cuanto a la relación %sulfuros-%magnetita y resistividad, no se observa ningún tipo relación evidente entre la resistividad y la proporción %sulfuros–Magnetita (Figura IV-10), salvo una tendencia general de disminución de la cargabilidad con el aumento en el contenido de sulfuros totales. De igual forma, tramos con alto contenido en magnetita por sobre 3,5-4,5% coinciden con resistividades menores (100-300 ohm\*m) (ver Figura IV-10), aunque para contenidos en magnetita bajo un 2% no existe relación clara entre el contenido de magnetita y resistividad.

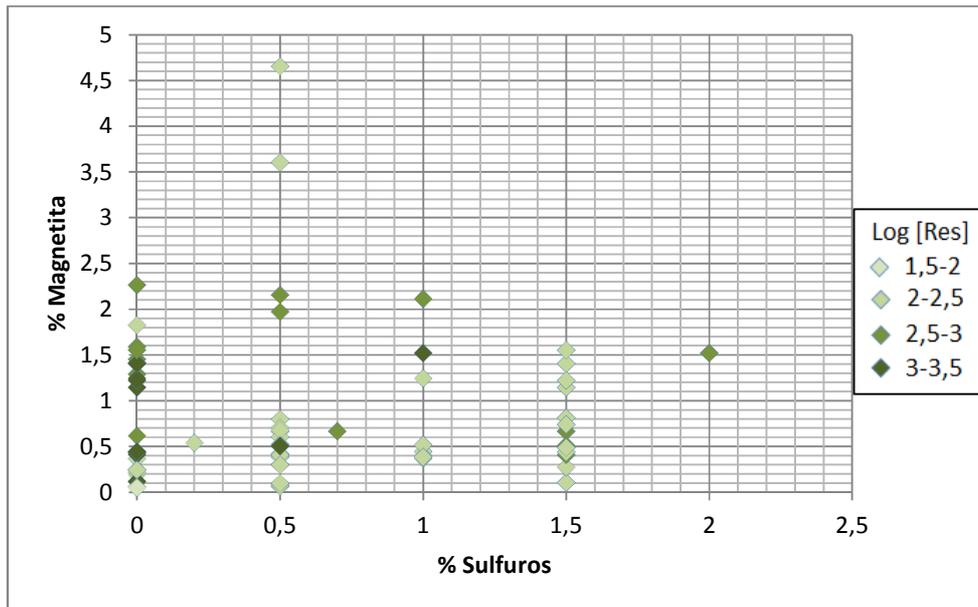


Figura IV-10 Gráfico %sulfuros-%magnetita-resistividad, para prospectos IOCG.

#### 4.2.2 IP como método integrador

Se debe considerar que en el método de polarización inducida el espectro de medición aumenta con la profundidad en razón de H/4, vale decir, para una profundidad H=100 m la ventana de integración promedio es de 25 m, para H=200 m sería de 50 m, y así sucesivamente. Por lo tanto, el volumen de roca y el número de variables representadas crece con la profundidad, lo que limita el análisis de las mediciones en profundidad dado que responden a un volumen de roca mayor y por ende a una mayor cantidad variables.

## **4.3. Discusión Metodológica**

### **4.3.1 Limitaciones del análisis**

En este trabajo no se estudiaron muestras uni-minerales donde se pueda caracterizar la influencia directa de una variable mineral o textural sobre la cargabilidad eléctrica. Por el contrario se estudiaron mediciones que reflejarían las propiedades eléctricas de volúmenes de rocas a escala hectamétrica, donde todas las variables estudiadas interactúan de manera compleja generando el fenómeno de polarización inducida. Del mismo modo, existen variables que actúan de manera diferencial debido a variaciones microscópicas difíciles de caracterizar.

Por otra parte, existen factores tales como: la presencia de fluidos salinos en espacios porosos de la roca y/o presencia de arcillas, que igualmente pueden incidir en la señal de cargabilidad detectada por un estudio IP. La influencia de estos factores no se puede descartar del todo, a pesar que el mapeo de sondajes más lo constatado en terreno permita establecer que la presencia de estas variables es prácticamente inexistente para los 4 prospectos estudiados.

### **4.3.2 Factores de Error**

#### **Sulfuros microscópicos**

El factor de error más relevante de este trabajo radica en la exactitud de las estimaciones porcentuales de sulfuros y sus ocurrencias, las cuales fueron realizadas a ojo descubierto y con lupa para la totalidad de los sondajes estudiados.

La presencia de sulfuros microscópicos, no detectados en las estimaciones previas y posteriormente observados al microscopio, es conducente a error en especial para tramos de alta cargabilidad con ausencia de sulfuros macroscópicos. Dos casos representativos son los testigos de sondaje RC-180 y RC-187 del prospecto Ventanas, que exhiben altas cargabilidades entre 15-30 mili-seg en ausencia de sulfuros visibles que justifiquen tales cargabilidades. Para el resto de los sondajes estudiados, especialmente para sondajes tipo aire reverso (AR), esto implica una subestimación del porcentaje real sulfuros y de sus ocurrencias. Del total de cortes revisados a microscopio correspondientes a tramos de alta cargabilidad, en todos se reconoció la presencia de sulfuros microscópicos diseminados (Anexo V).

## Representatividad de sondajes

La representatividad de las estimaciones junto a las características litológicas y texturales de todos los testigos de sondaje mapeados, se considera buena para sondajes tipo diamantino (DDH-2453, DDH-2485 y DDS-7) y de menor calidad para sondajes tipo aire reverso (AR). Es directo observar patrones texturales y minerales en testigos de roca frescos tipo diamantino, lo cual no sucede en testigos aire reverso donde por lo general los aspectos texturales y/o litológicos son más difíciles de estimar. Esto se debe a que en sondajes tipo diamantino se conservan patrones texturales y litológicos de la roca integra en su estado original, mientras que los fragmentos de roca en sondajes tipo aire reverso (AR), tienden a ser poco representativos de los patrones texturales originales de la roca (Figura IV-11).



Figura IV-11 Fotografía Sondajes tipo Aire Reverso y Diamantino.

A pesar, de que existe una variación general de la ocurrencia a lo largo de los sondajes, es difícil “aislar” la influencia de cada ocurrencia, ya que por lo general éstas tienden a coexistir.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio de los aspectos mineralógicos y litológicos que influirían en la respuesta de polarización inducida detectado en 4 prospectos mineralizados, 3 sistemas tipo IOCG (Causalidad, Pampa y Ventanas) y uno tipo Pórfido Cuprífero (Inca de Oro), permitió concluir lo siguiente:

1.-Para la escala de trabajo, la metodología empleada obtuvo estimaciones adecuadamente certeras de las características mineralógicas estudiadas, tal como lo corroboraron los respaldos de los estudios petrográficos. Además, de la comparación entre estas estimaciones geológicas y las variables geofísicas, se obtuvieron resultados que son coherentes con la literatura.

2.-Para todos los sectores estudiados, el contenido de sulfuros totales es el factor de primer orden que explica las variaciones en la intensidad del efecto de polarización inducida (cargabilidad eléctrica). La relación entre concentración de sulfuros y cargabilidad eléctrica presenta en general una proporcionalidad directa, pero no sigue una relación lineal.

3.-En prospectos tipo IOCG, cargabilidades sobre 20 mili-seg se relacionan con un contenido de al menos un 0,5% en sulfuros totales. A su vez datos con cargabilidades mayores son coherentes con al menos un 1% en sulfuros totales. Para el yacimiento tipo Pórfido Cuprífero (Inca de Oro) se obtiene un patrón similar, donde valores sobre 20 mili-seg se asocian con al menos un 0,5% en sulfuros totales, mientras que cargabilidades sobre 30 mili-seg son coherentes con al menos un 1% de sulfuros totales.

4.-De los sulfuros identificados, las variaciones en las concentraciones de pirita son las que mejor explican, de forma proporcional, las variaciones en el efecto de polarización.

5.-Cargabilidades eléctricas mayores a 20 mili-seg, en tramos donde el mapeo convencional no detectó sulfuros macroscópicos, se explicaron por la presencia de sulfuros microscópicos.

6.-Para depósitos tipo IOCG no es clara la influencia de la magnetita sobre el efecto IP. No se observa ningún tipo de relación directa entre el contenido de magnetita y cargabilidad. Excepto para un sondaje (RC-235) el cual exhibe una tendencia proporcional para altas cargabilidades en razón magnetita: sulfuros (1:4), pero no concluyente.

7.-En general no se observaron correlaciones claras entre los tipos litológicos y las variaciones en la cargabilidad. Sin embargo, a igual cantidad de sulfuros, se

identifico aumentos relativos en la cargabilidad en sectores donde predominan litologías granulométricamente más compactas (p.ej. intrusivos).

## 6. REFERENCIAS

AREVALO, C. GRCOTT, J. MARTIN, W. PRINCLE, M. TAYLOR, G. 2006. Structural Setting of the Candelaria Fe Oxide Cu-Au, Chilean Andes (27°30' S). *Economic Geology*, Vol.101, pp. 819-841.

AREVALO, C. GROCOTT, J. WELKNER, D. 2003. The Atacama Fault System The Huasco Province, Southern Atacama Desert, Chile. En: Congreso Geológico Chileno. 2003. Concepción, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. pp.s.p.

BARTON, M.D. 2009. IOCG Deposits: A Cordilleran Perspective. En: Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting: 2009. Townsville, Australia.pp.sp.

BENAVIDES, J. KYSER, T.K. CLARK, A.H. 2007. The Mantoverde Iron Oxide-Copper-Gold District, III Región, Chile: The Role of Regionally Derived, Nonmagmatic Fluids in Chalcopyrite Mineralization. *Economic Geology*.102: 415-440.

CANNELL, J. COOKE, D.R. 2005. Geology, Mineralization, Alteration, and Structural Evolution of the El Teniente Porphyry Cu-Mo Deposit. *Economic Geology*, Vol.100, pp. 979-1003.

CEPEDA, A. Diciembre 2005. Geología del entorno del Proyecto Inca de Oro. Exploraciones Mineras Andinas, Codelco Chile. Informe interno.

CHARRIER, R. PINTO, L. RODRIGUEZ, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En: *Geology of Chile*. London, The Geological Society, Special Publication, pp. 21-116.

DIAZ, A. VIVALLO, W. JORQUERA, R. PIZARRO, N. 2003. Depósitos de Fe, Óxidos de Fe-Cu-Au y su relación con el magmatismo del Cretácico Inferior, III Región de Atacama, Chile. En: 10° Congreso Geológico Chileno, 2003. Concepción, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. pp. s.p.

GROCOTT, J. TAYLOR, G.K. 2002. Magmatic arc fault system, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25°30'S to 27°00'S). Journal of the geological society, London, Vol.159, pp. 452-442.

GROPPER, H. Junio 2009. Bloque Desierto, Sector Sur, Informe de Resumen. Exploraciones Mineras Andinas, Codelco Chile. Informe interno.

HERRERA, V. GARMENDIA, P. PIZARRO, R. 2007. Proyecto Diego de Almagro: Geología y Mineralización Tipo IOCG, Región de Atacama, Norte de Chile. Minera Cerro Dominador. Juan Martínez 1204, Diego de Almagro, Chile.

HITZMAN, M.W. 2000. Iron Oxide-Cu-Au Deposits: What, Where, When and Why ; in Porter, T.M. (Ed), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide. pp. 9-25.

JOHN, D.A. 2010. Porphyry Copper Deposit Model. En: Mineral deposit Models for Resource Assessment. Scientific Investigations Report 2010-5070-B. U.S. Geological Survey.

LACOURLY, N. 2010. Estadística Multivariada. Centro de Modelamiento Matemático, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

LARA, L. GODOY, E. 1998. Hoja Quebrada Salitrosa, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, No 4. Mapa Escala 1:250.000.

LOKE, M.H. 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys [en línea] <https://pangea.stanford.edu/> [consulta: septiembre 2012].

MARSCHIK, R., 2001. The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au(-Zn-Ag) Deposits, Chile. Economic Geology. Vol.96. pp.1799-1826.

MARSCHIK, R. FONTBOTÉ, LI. 2001. The Punta del Cobre Formation, Punta del Cobre-Candelaria area northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 14. pp. 401-133.

MATTHEWS, S.J. CORNEJO, P. RIQUELME, R. 2006. Carta Inca de Oro. Región de Atacama, N° XIX. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Escala 1:100000.

MERCADO, W. MARGARET. 1978. Avance Geológico Hojas Chañaral y Potrerillos, Región de Atacama. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas.

MOONEY, H.M. BLEIFUSS, R. 1953. Magnetic susceptibility in Minnesota: II, Analysis of field results. *Geophysics*, Vol.18, pp.383-393.

MOSCOSO, R. NASI, C. SALINAS, P. 1982. Hoja Vallenar y parte norte de la Serena. Regiones de Atacama y Coquimbo. Carta Geológica de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Escala 1:250.000.

NARANJO, J. PUIG, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y minería. Carta Geológica de Chile. No 62-63. Mapa Escala 1:250.000.

ORELLANA, E. 1982. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. 2<sup>da</sup> ed. Madrid, Thomson Paraninfo. Vol.1.

PALACIOS, C. RAMÍREZ, L. TOWNLEY, B. SOLARI, M. GUERRA, N. 2007. The role of the Antofagasta- Calama Lineament in ore deposit deformation in the Andes of northern Chile. *Miner Deposita*. 42: 301-308.

PELTON, W.H. SMITH, P.K. 1976. Mapping Porphyry Cooper Deposits in The Philippines with IP. *Geophysics*, Vol. 41, No. 1, pp.106-122.

PÉREZ, D. BAEZA, L. CHIANG, O. 2009. Caracterización geoquímica y petrológica de los pórfidos del depósito Cu-Au-(Mo) de Inca de Oro, Tercera región

de Atacama, Chile. En: XII Congreso Geológico Chileno, 2009. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Geología. pp. s.p.

PETERS, W.C. 1978. Exploration and Mining Geology. Department of Mining and Geological Engineering. John Wiley & Sons. The University of Arizona. pp.363.

PITTARD, K. BOURNE, B. 2007. The contribution of magnetite to the induced polarization response of the Centenary orebody. CSIRO publishing, Exploration Geophysics, N° 38.pp. 200-207.

REYNOLDS, J. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. En: Electrical Methods. England. John Wiley & Sons Ltd. pp.522-552.

RICHARDS, J.P. 2004. Cumulative Factors in the Generation of Giant Calc-alkaline Porphyry Cu Deposits; in Porter T.M (Ed.). Super Porphyry Copper & Gold Deposits: A Global Perspective, PGC Publishing, Adelaide, Vol.1, pp.7-25.

RIVERA, S. CERDA, A. GARAY, B. KOVACIC, P.V. VILLEGAS, P. 2009. Descubrimiento y Geología del Yacimiento tipo IOCG Casualidad. Distrito Sierra Overa, II Región de Antofagasta, Chile. En: XII Congreso Geológico Chileno, 2009. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Geología. pp. s.p.

RIVERA, S. PERI, M.A. 1991. Geología del Pórfido de Oro-Cobre Carmen, Inca de Oro, Región de Atacama, Chile. En: Congreso Geológico Chileno, 1991. Servicio Nacional de Geología y Minería. Resúmenes Ampliados. pp.184-186.

RYAN, P.J. LAWRENCE, A.L. JENKINS, R.A. MATTHEWS, J.P. ZAMORA, J.C. MARINO, E. URQUETA, I. 1995. The Candelaria Cooper-Gold Deposit, Chile. Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera. Arizona Geological Society Digest Vol.20.pp.625-645.

SILLITOE R.H. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean View. Mineralium Deposita (2003). N° 38. pp.787-812.

SILLITOE, R.H. PERELLO, J. 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery, Economic Geology 100<sup>th</sup> Anniversary Volume, pp.845-890.

SMITH, R.J, 2002. Geophysics of Iron Oxide Copper-Gold Deposits; in Porter, T.M. (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective. PGC, Publishing, Adelaide. Vol.2. pp. 357-367.

SUMNER, J.S. 1972. A comparison of electrode arrays in IP surveying. En: AIME Annual Meeting, 20-24 de febrero, 1972. San Francisco, California. pp. s.p.

TELFORD, W.M. GELDART, L.P. SHERIFF, R.E. 1990. Induced Polarization. En: Applied Geophysics. 2<sup>a</sup> ed. United Kingdom, Cambridge University Press. pp. 578-609.

VAN BLARICOM, R. 1986. Electrical. En: Practical Geophysics for the Exploration Geologist. Northwest Mining Association. pp.39-135.

VIVALLO, W. PIZARRO, N. BENAVIDES, J. DIAZ, A. 2003. Génesis de los Yacimientos Mesotermales de Au, Cu-Au y de Óxidos de Fe-Cu-Au en la zona de Cordillera de la Costa, al sur de Caldera, Norte de Chile. En: 10° Congreso Geológico Chileno, 2003. Concepción, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. pp. s.p.

WATTS, A.H. 2002. Discovery of the Ujina Cu deposit, Collahuasi District, Chile. [en línea]. SEG Int'l Exposition and 72<sup>nd</sup> Annual Meeting, Salt lake City, Utah, USA <<http://www.internationalpbx.com/>> [consulta: Diciembre, 2011].

WONG, J. 1979. An electrochemical model of the induced-polarization phenomenon in disseminated sulfide ores. Geophysics 44 (7): 1245-1265.

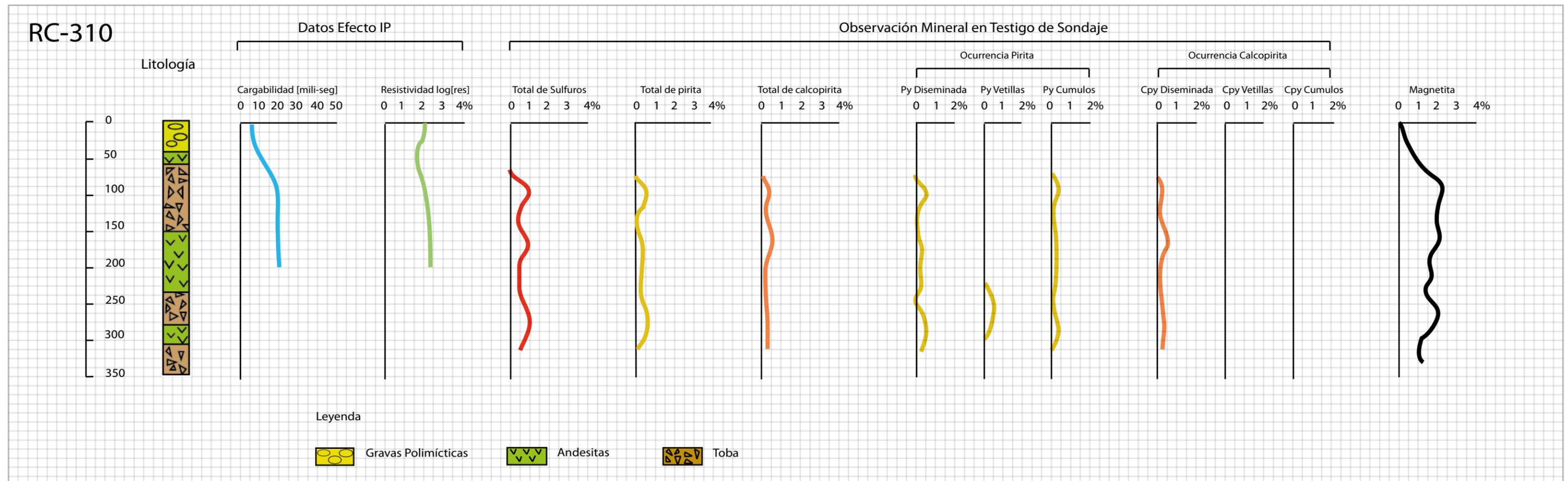
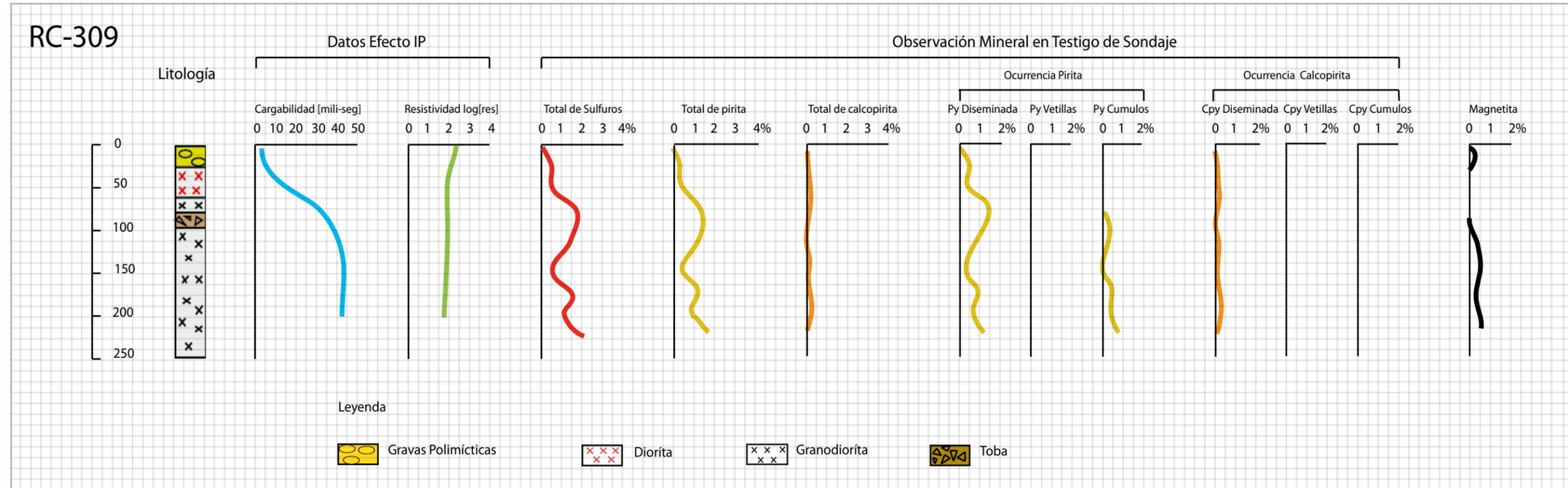
ZONGE ENGINEERING AND RESEARCH ORGANIZATION, INC. 2005. Introduction to IP. Tucson, Arizona, USA.

## **7. ANEXOS**

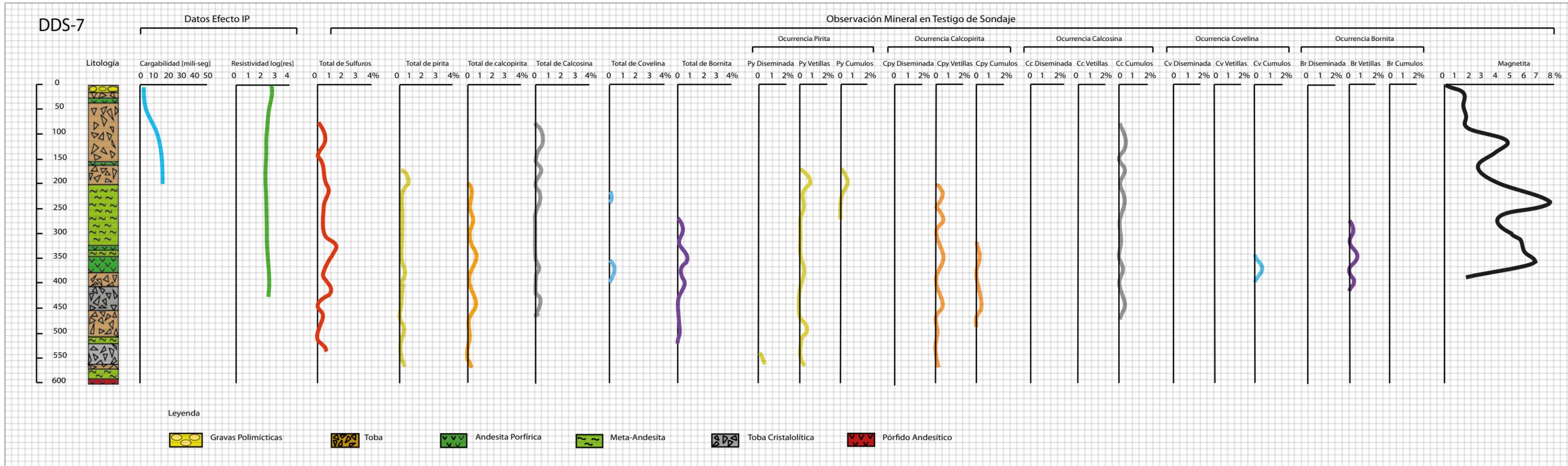
# APENDICE I

## Perfiles datos IP/Resistividad y estimaciones

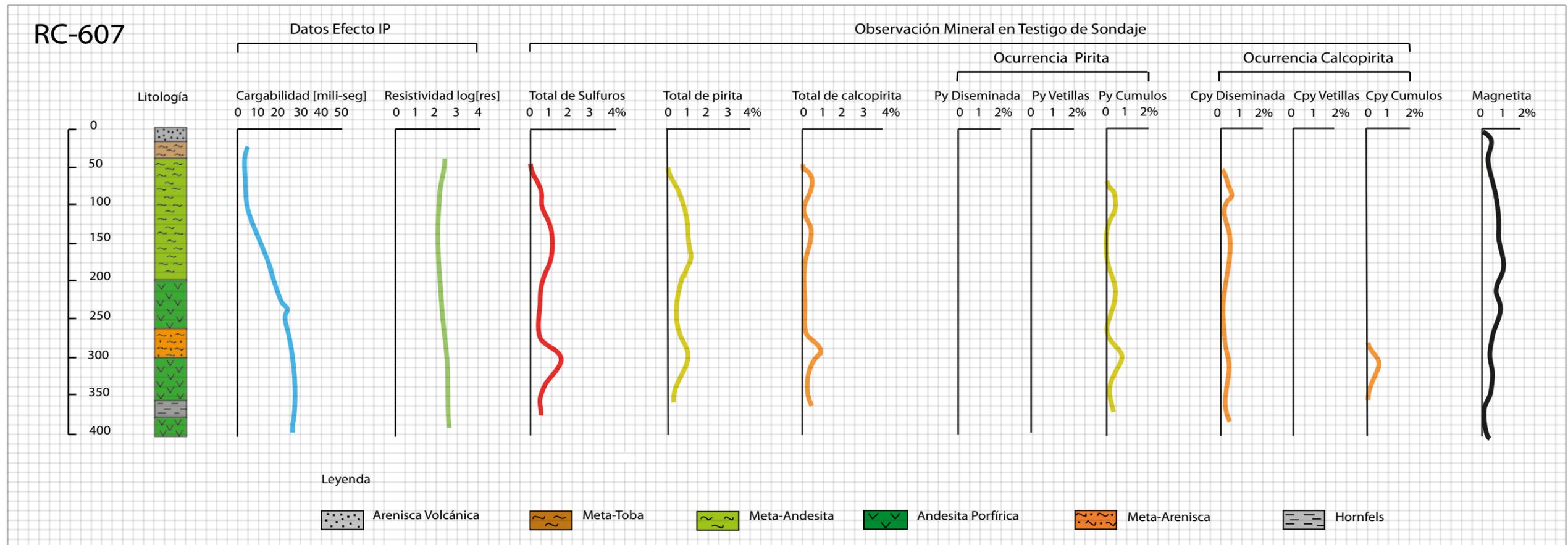
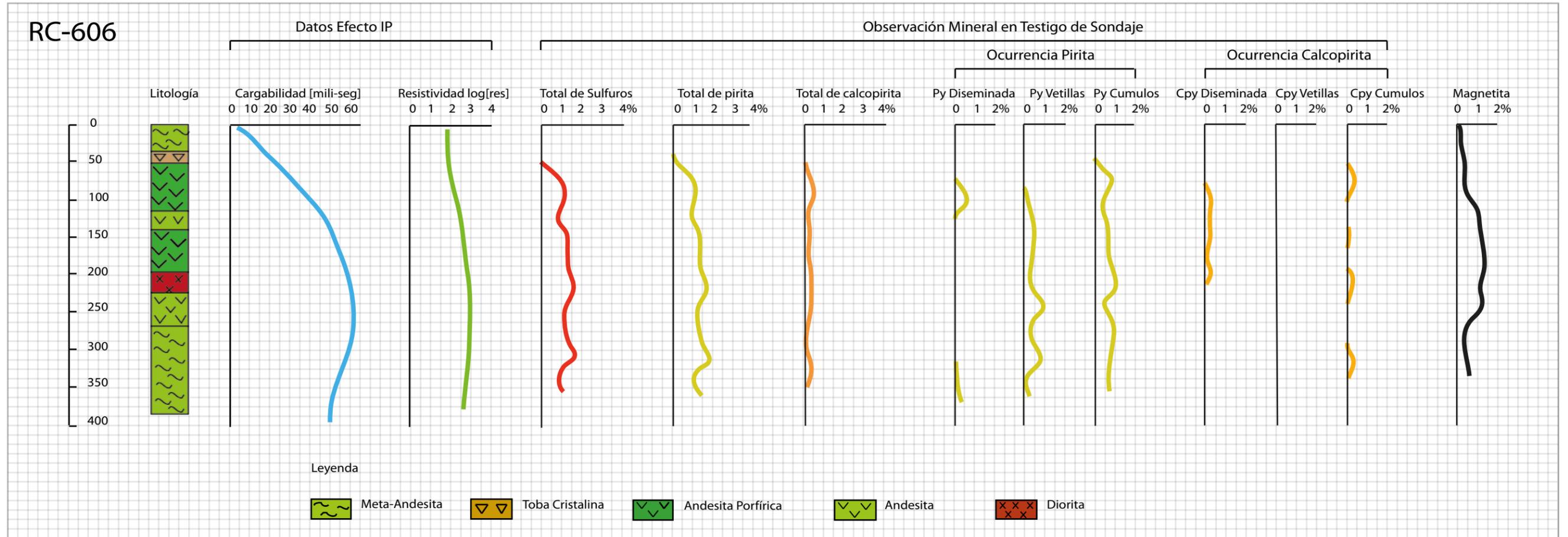
### CASUALIDAD



# CASUALIDAD



# PAMPA



# PAMPA

## RC-615

Datos Efecto IP

Observación Mineral en Testigo de Sondaje

Ocurrencia Pirita

Ocurrencia Calcopirita

Litología

Casualidad [mili-seg]

Resistividad log[res]

Total de Sulfuros

Total de pirita

Total de calcopirita

Py Diseminada

Py Vetillas

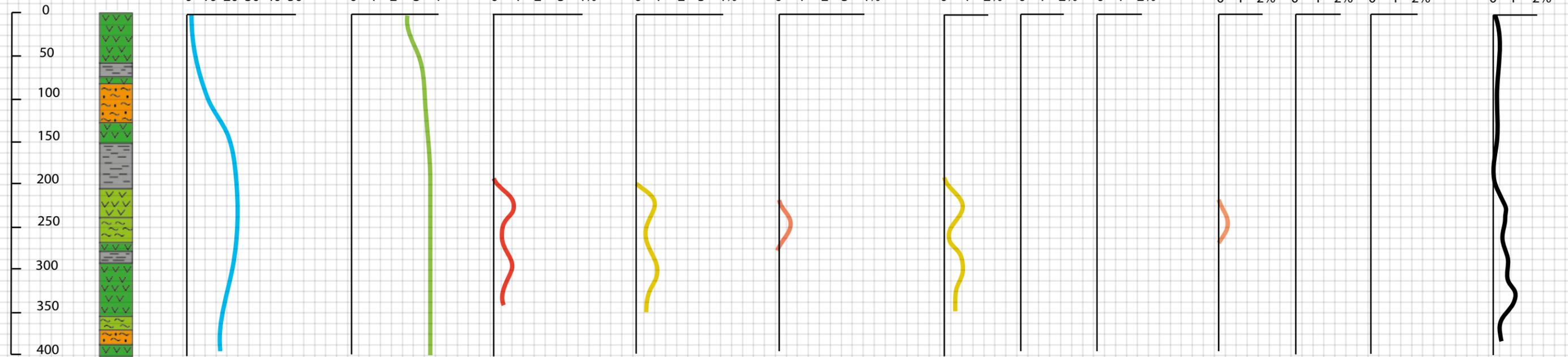
Py Cumulos

Cpy Diseminada

Cpy Vetillas

Cpy Cumulos

Magnetita



Leyenda

Andesita Porfírica

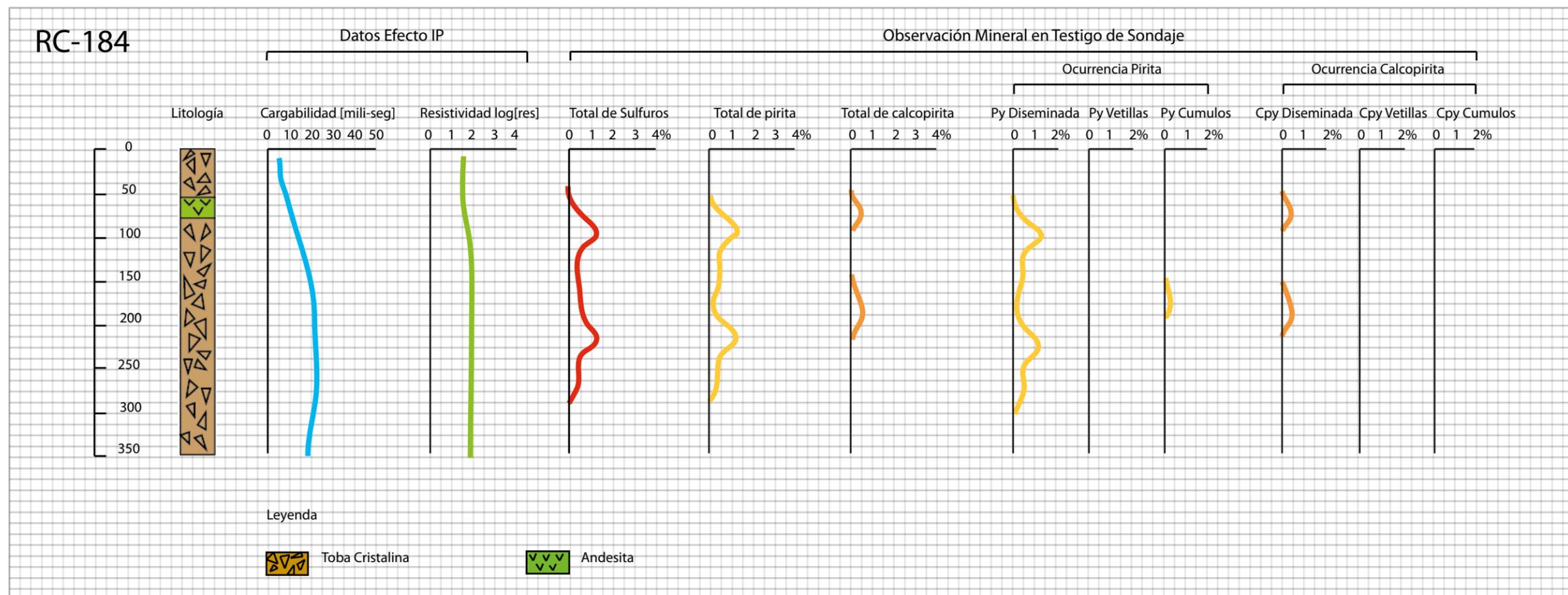
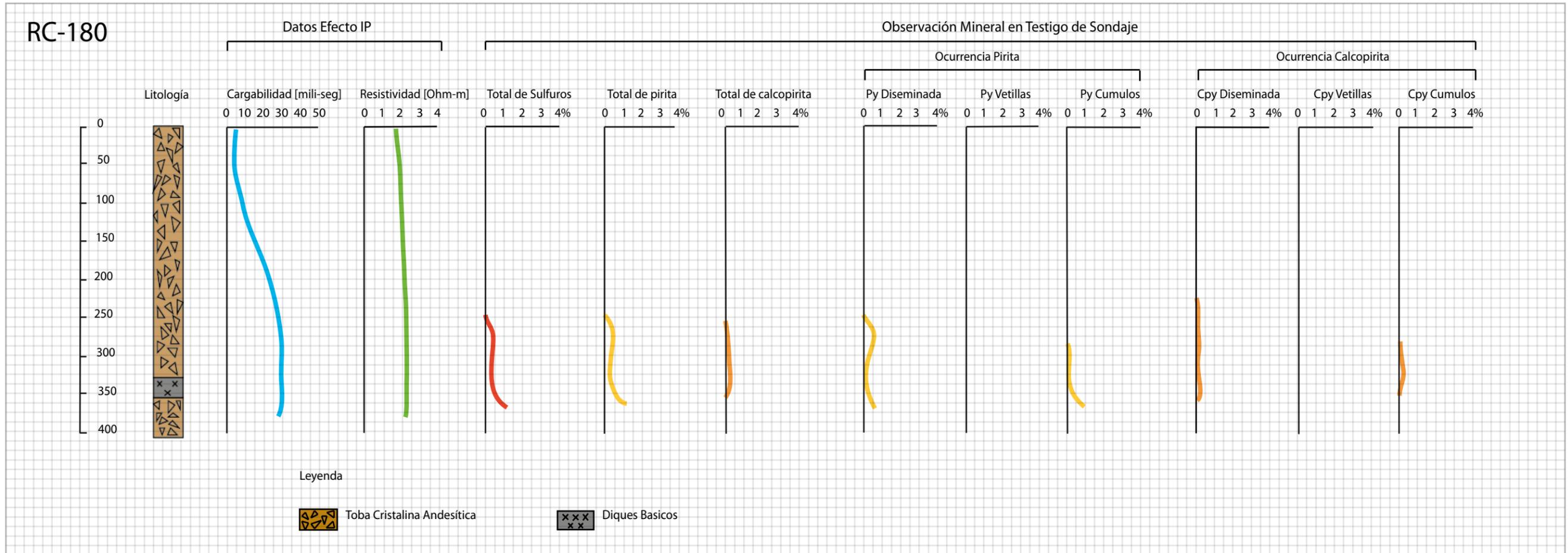
Hornfels

Meta-Arenisca

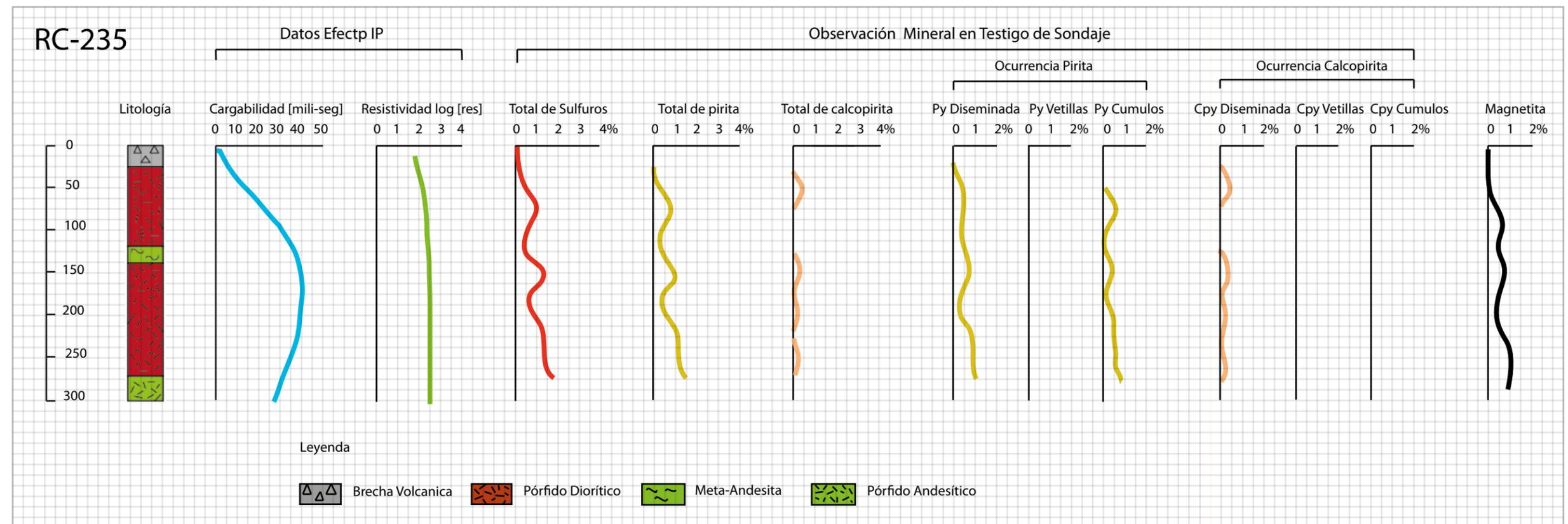
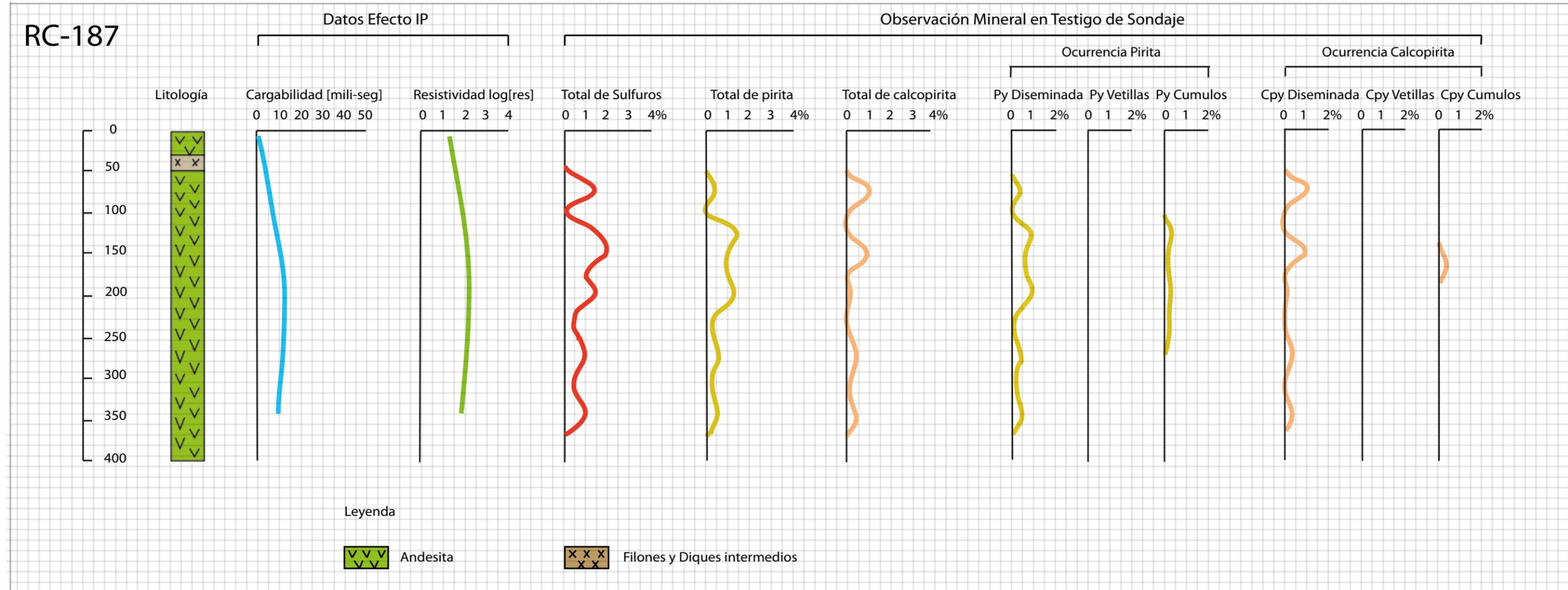
Andesita

Meta-Andesita

# VENTANAS

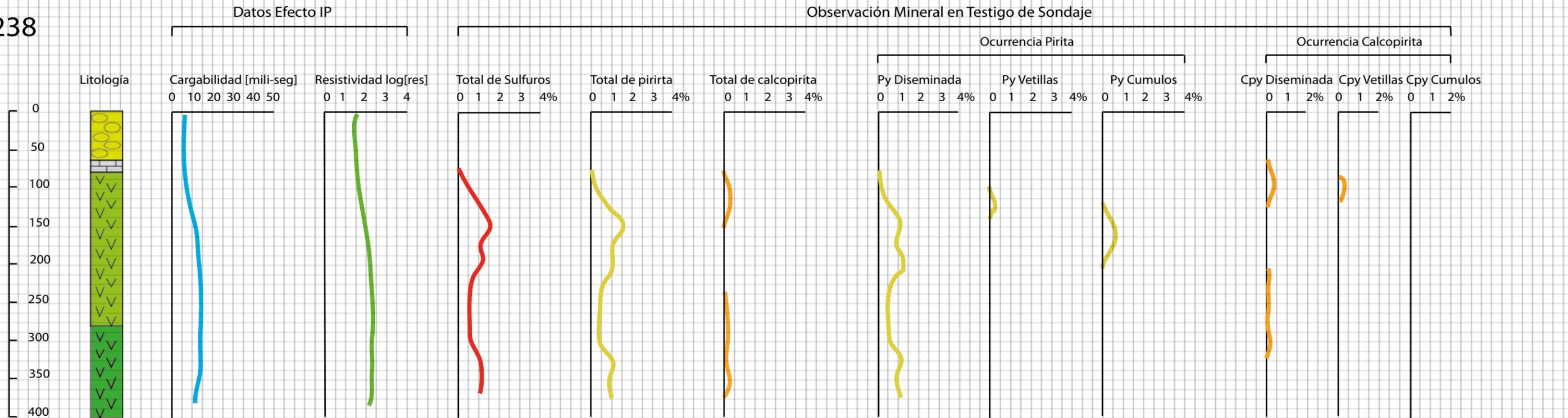


# VENTANAS



# VENTANAS

RC-238



Leyenda

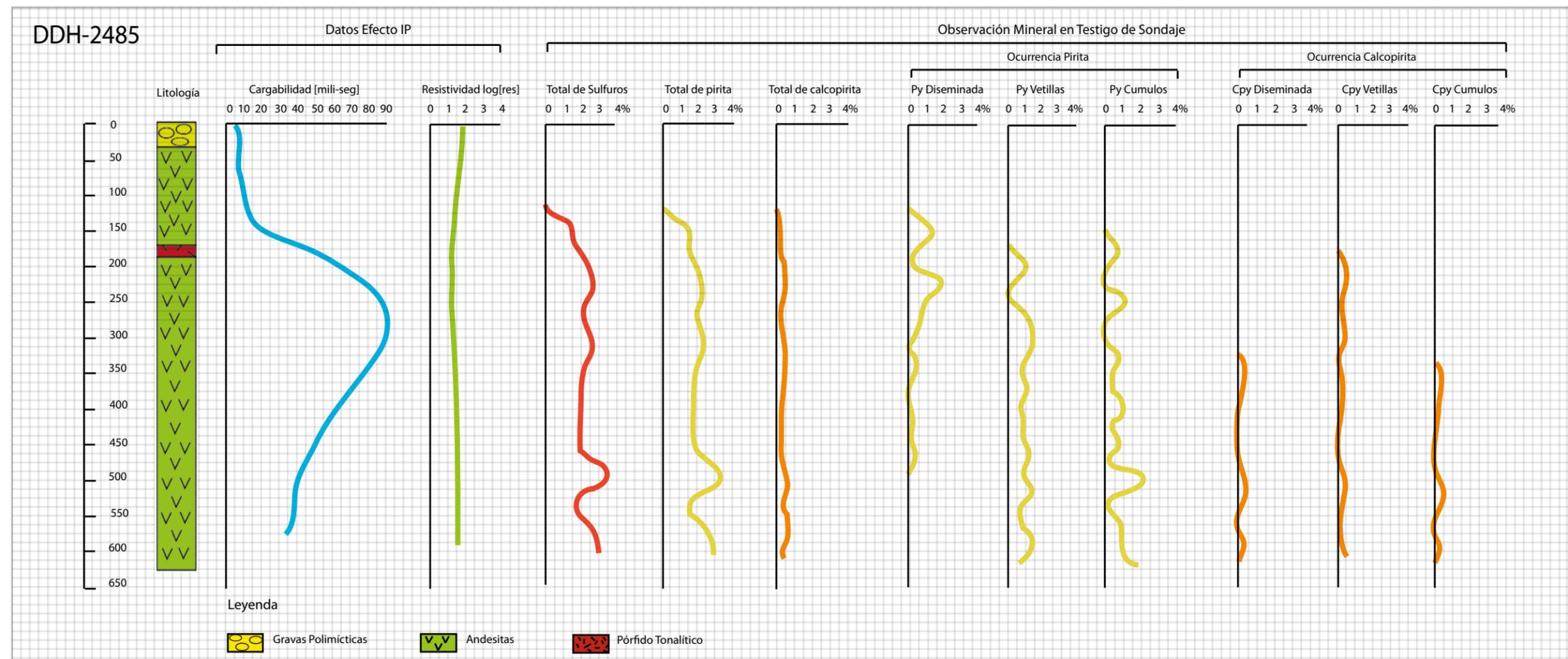
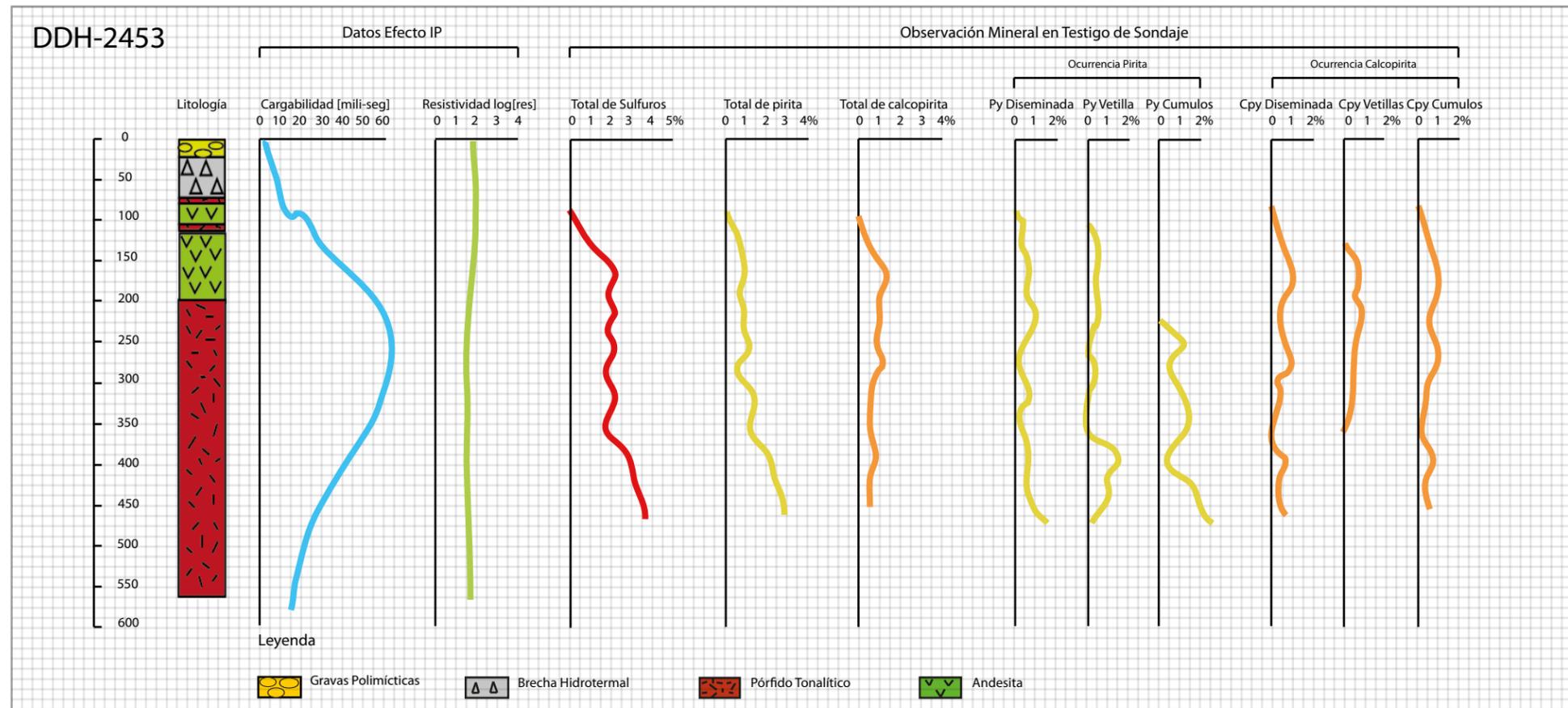
Gravas Polimicticas

Calizas

Andesita

Andesita Porfírica

# INCA DE ORO



# APENDICE II

## Estimaciones de sulfuros, ocurrencias y magnetita CASUALIDAD

### RC-309

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pr	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pr	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum	Int. Mgt
0	25	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	DIO	no se observa	0,5	0,9	0,45	0	0,45	0	0	0	0	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0,18928
50	75	GRD	no se observa	0,5	0,9	0,45	1	0,45	0	0	0	0	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0,06287
75	100	GRD	disem	1,5	0,95	1,425	1	1,425	0	0	0	0	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0	0,07577
100	125	GRD	disem y pequeños cumulos	1,5	1	1,5	0,7	1,05	0	0	0,3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10534
125	150	GRD	disem y pequeños cumulos	1	0,95	0,95	0,7	0,665	0	0	0,3	0,285	0,05	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0,27365
150	175	GRD	disem y pequeños cumulos	0,5	0,95	0,475	0,7	0,3325	0	0	0,3	0,1425	0,05	0,025	1	0,025	0	0	0	0	0,37044
175	200	GRD	disem y pequeños cumulos	1,5	0,95	1,425	0,7	0,9975	0	0	0,3	0,4275	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0	0,31293
200	225	GRD	disem y poco mas grueso	1	0,95	0,95	0,6	0,57	0	0	0,4	0,38	0,05	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0,29984
225	250	GRD	disem fina y pequeños cumulos	2	1	2	0,6	1,2	0	0	0,4	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42386

### RC-310

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pr	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pr	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum	% Mgt
0	25	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,214594
25	50	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,614978
50	75	AND/TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,290316
75	100	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,264622
100	125	TOB	disem fina y cumulos	1	0,7	0,7	0,7	0,49	0	0	0,3	0,21	0,3	0,3	1	0,3	0	0	0	0	2,112782
125	150	TOB	disem fina y cumulos	0,5	0,6	0,3	0,7	0,21	0	0	0,3	0,09	0,4	0,2	1	0,2	0	0	0	0	1,971181
150	175	AND	disem fina y cumulos	0,5	0,4	0,2	0,5	0,1	0	0	0,5	0,1	0,6	0,3	1	0,3	0	0	0	0	2,155613
175	200	AND	disem y cumulos pequeños	1	0,5	0,5	0,7	0,35	0	0	0,3	0,15	0,5	0,5	1	0,5	0	0	0	0	1,623224
200	225	AND	disem y cumulos	0,5	0,7	0,35	0,7	0,245	0	0	0,3	0,105	0,3	0,15	1	0,15	0	0	0	0	1,769936
225	250	TOB	disem y cumulos	0,5	0,7	0,35	0,7	0,245	0	0	0,3	0,105	0,3	0,15	1	0,15	0	0	0	0	1,451587
250	275	TOB	vetillas	0,5	0,6	0,3	0	0	1	0,3	0	0	0	0,4	0,2	1	0,2	0	0	0	2,097032
275	300	AND/TOB	disem gruesa y vetillas	1	0,7	0,7	0,5	0,35	0,5	0,35	0	0	0,3	0,3	1	0,3	0	0	0	0	1,836991
300	325	TOB	disem gruesa y vetillas	1	0,7	0,7	0,7	0,49	0	0	0,3	0,21	0,3	0,3	1	0,3	0	0	0	0	1,041217
325	350	TOB	ocasional	0,5	0,5	0,25	1	0,25	0	0	0	0	0,5	0,25	1	0,25	0	0	0	0	1,300546

### DDS-7

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pr	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pr	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum	Int. Mgt				
0	25	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,482193				
25	50	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,143308				
50	75	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,609202				
75	100	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,83442				
100	125	MAN	cc en vetas	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4854281				
125	150	MAN	cc	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3851728				
150	175	MAN	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,576475				
175	200	MAN	cc en vetas de qpo blanco	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,345529				
200	225	MAN	disem gruesa	0,6	1	0,6	0	0,6	0	0	0,7	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0,464871				
225	250	MAN	cc en vetillas	1	0,1	0,1	0	0,07	0,3	0,03	0,4	0,04	0	0	0,4	0,1	0,1	0	0	0	7,540392				
250	275	MAN	microvetillas y cumulos ocasionales	0,5	0,2	0,1	0	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0,447286				
275	300	MAN	vetas de magnetita	0,5	0	0	0	0	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,407023				
300	325	MAN	en fract y en vetillas	0,5	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,6	0,3	0	5,662147		
325	350	AND	qvy en vetas de qpo blanco	0,5	0,05	0,025	0	0,17	0,017	0,3	0,0075	0,6	0,3	0	0	0,15	0,075	0,025	0	0	0	0,877048			
350	375	AND	qvy asociada a vetas de magnetita	1,5	0	0	0	0	0,5	0,75	0,6	0,6	0,6	0,2	0,15	0,1	0,15	0	0	0,4	0,4	0	0,557679		
375	400	TOB	en vetillas de qvy y cumulos	1	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	0,8	0,16	0,2	0,04	0,3	0,3	0	0	0	0	1	0,3	0	1,480795	
400	425	TOB	en vetillas de qvy	0,5	0,2	0,1	0	0,1	0	0,1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,35	0	0	0	0
425	450	TOB	microvetillas y vetillas con qvy	0,5	0	0	0	0	0,7	0,35	0	0,7	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
450	475	TOB	vetillas con qvy	1	0	0	0	0	0,7	0,7	0	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
475	500	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	525	TOB	en vetas de qvy rellenas de py	0,5	0,6	0,3	0	0,15	0	0	0,1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,6	0	0
525	550	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
550	575	TOB	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
575	600	MAN	en microvetillas	0,5	0,5	0,25	0,3	0,075	0,7	0,175	0	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## PAMPA

### RC-606

Desde	Hasta	Litología	ocurrencia	sulf%	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prc	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum	%Mgt		
0	25	MAN	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11613337	
25	50	MAN	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24348626	
50	75	ANDG	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,434073	
75	100	ANDG	diseminada	1	0,9	0,9	0	0	0	0	1	0,9	0,1	0,1	0	0	0	0	0	1	0,1	0,4436314	
100	125	DIO	disem y grano grueso	1,5	0,8	1,2	0,3	0,36	0,2	0,24	0,5	0,6	0,2	0,3	1	0,3	0	0	0	0	0	1,14519718	
125	150	DIO	vetillas y cumulos en fract	1	0,9	0,9	0	0	0,6	0,54	0,4	0,36	0,1	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	1,24322896	
150	175	ANDG	cumulos y fract	1,5	0,9	1,35	0	0	0,4	0,54	0,6	0,81	0,1	0,15	1	0,15	0	0	0	0	0	1,40477642	
175	200	ANDG	cumulos y fract	1,5	0,95	1,425	0	0	0,4	0,57	0,6	0,855	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0	0	1,55225805	
200	225	DIO/MAN	en fract	1,5	0,9	1,35	0	0	0,3	0,405	0,7	0,945	0,1	0,15	1	0,15	0	0	0	0	0	1,22143617	
225	250	AND	cumulo en fract	2	0,9	1,8	0	0	0,3	0,54	0,7	1,26	0,1	0,2	0	0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	1,52013775
250	275	DIO	cumulo y disem gruesa	1,5	0,9	1,35	0	0	0,8	1,08	0,2	0,27	0,1	0,15	0,5	0,075	0,5	0,075	0	0	0	0	0,51057237
275	300	MAN	grano grueso y cumulos	1,5	0,95	1,425	0	0	0,2	0,285	0,8	1,14	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0	0	0	0,40755628
300	325	MAN	disem gruesa y cumulos	1,5	1	1,5	0	0	0,3	0,45	0,7	1,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66551212
325	350	MAN	disem gruesa	2	0,95	1,9	0	0	0,5	0,95	0,5	0,95	0,05	0,1	0	0	0	0	0	1	0,1	0,76444898	
350	375	MAN	en fract	1	0,9	0,9	0,1	0,09	0	0	0,9	0,81	0,1	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0	0
375	384	MAN	disem grueso y cumulo en fract	1,5	1	1,5	0,1	0,15	0,3	0,45	0,6	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### RC-607

Desde	Hasta	Litología	ocurrencia	sulf%	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prc	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum	%Mgt	
0	25	SAV	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3665817
25	50	MTO	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2380582
50	75	MAN	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4119356
75	100	MAN	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5384853
100	125	MAN	disem gruesa y cumulos	0,2	1	0,2	0,3	0,06	0	0	0,7	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6635773
125	150	MAN	fina	0,5	0,85	0,425	1	0,425	0	0	0	0	0,15	0,075	1	0,075	0	0	0	0	0	0,60306653
150	175	MAN	disem gruesa	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0,798006
175	200	MAN	disem	0,5	0,9	0,45	1	0,45	0	0	0	0	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0	0,7064035
200	225	ANDG	diseminada ocasional	0,5	0,9	0,45	0,3	0,135	0,2	0	0,5	0,225	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0	0,5222051
225	250	ANDG	disem , pequeños granos ocasionales	0,5	0,9	0,45	0,5	0,225	0	0	0,5	0,225	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0	0,6786398
250	275	MAR	disem y cumulos	0,5	0,85	0,425	0,9	0,3825	0	0	0,1	0,0425	0,15	0,075	0,7	0,0525	0	0	0,3	0,0225	0	0,4172015
275	300	MAR	disem y cumulos	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0,3825596
300	325	ANDG	disem y granos ocasionales	1,5	0,6	0,9	0,3	0,27	0	0	0,7	0,63	0,4	0,6	0,5	0,3	0	0	0,5	0,3	0,3	0,4391688
325	350	ANDG	disem y granos ocasionales	1	0,8	0,8	0,8	0,64	0	0	0,2	0,16	0,2	0,2	0,5	0,1	0	0	0,5	0,1	0,1	0,3971192
350	375	HON	disem y pseudomorfos pequeños	0,5	0,8	0,4	0,6	0,24	0	0	0,4	0,16	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0,1499853
375	400	ANDG	disem y pseudomorfos pequeños	0,5	0,6	0,3	0,3	0,09	0	0	0,7	0,21	0,4	0,2	1	0,2	0	0	0	0	0	0,1881825

### RC-615

Desde	Hasta	Litología	ocurrencia	sulf%	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prc	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum	Mgt	
0	25	ANDG	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1934617
25	50	ANDG	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2787256
50	75	HON	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2287358
75	100	MAR	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1858004
100	125	MAR	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1674774
125	150	ANDG	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,182274
150	175	HON	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1827889
175	200	HON	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0853247
200	225	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0869787
225	250	MAN	Disem y cumulo	1	1	1	0,7	0,7	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4035046
250	275	MAN	Disem y cumulo	0,5	0,8	0,4	0,5	0,2	0	0	0,5	0,2	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0,3313904
275	300	ANDG/HON	Disem y cumulo	0,5	1	0,5	0,6	0,3	0	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5151835
300	325	ANDG	Disem y cumulo	0,7	1	0,7	0,6	0,42	0	0	0,4	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4746406
325	350	ANDG/MAN	dis gruesa y cumulo	0,5	1	0,5	0,5	0,25	0	0	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7814618
350	375	MAN/MAR	diseminado	0,5	1	0,5	0,7	0,35	0	0	0,3	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2538469

# VENTANAS

## RC-180

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_prd	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prd	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum
0	25	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175	200	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	225	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	250	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	275	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
275	300	TOBC	pequeños granos ocasionales	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0
300	325	DIB	diseminado ocasional	0,5	0,7	0,35	0,7	0,245	0	0	0,3	0,105	0,3	0,15	0,7	0,105	0	0	0,3	0,045
325	350	TOBC	diseminado ocasional	0,5	0,5	0,25	0,5	0,125	0	0	0,5	0,125	0,5	0,25	0,5	0,125	0	0	0,5	0,125
350	375	TOBC	disem fina y granos ocasionales	0,5	0,8	0,4	0,4	0,16	0	0	0,6	0,24	0,2	0,1	0,5	0,05	0	0	0,5	0,05
375	400	TOBC	granos un poco mas grandes	1,5	1	1,5	0,4	0,6	0	0	0,6	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0

## RC-184

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_prd	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prd	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum
0	25	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	TOBC	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	TOB	disem fina ocasional	0,5	0,5	0,25	1	0,25	0	0	0,5	0,25	0,5	0,25	1	0,25	0	0	0	0
100	125	TOB	disem fina	1,5	1	1,5	1	1,5	0	0	0,5	0,1	0,6	0,3	1	0,3	0	0	0	0
125	150	TOB	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	TOB	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175	200	TOB	disem	0,5	0,4	0,2	0,5	0,1	0	0	0,5	0,1	0,6	0,3	1	0,3	0	0	0	0
200	225	TOB	disem fina	0,8	0,4	0,32	1	0,32	0	0	0	0	0,6	0,48	1	0,48	0	0	0	0
225	250	TOB	disem fina	1,5	1	1,5	1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	275	TOB	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
275	300	TOB	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	325	TOB	disem fina	0,05	1	0,05	1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## RC-187

Desde	Hasta	Litología	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_prd	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_prd	%CPY Vet	CPY_Cum_pr	%CPY Cum
0	25	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	AND	disem fina y vetillas	1,5	0,3	0,45	1	0,45	0	0	0,7	0,285	0,7	1,05	1	1,05	0	0	0	0
100	125	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	AND	disem y cumulos pequeños	1,5	0,95	1,425	0,8	1,14	0	0	0,2	0,285	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0
150	175	AND	disem y cumulos	2	0,5	1	0,8	0,8	0	0	0,2	0,2	0,5	1	1	1	0	0	0	0
175	200	AND	disem y en fract	1	0,95	0,95	0,8	0,76	0	0	0,2	0,19	0,05	0,05	0,8	0,04	0	0	0,2	0,01
200	225	AND	disem fina y cumulos	1,5	0,9	1,35	0,8	1,08	0	0	0,2	0,27	0,1	0,15	1	0,15	0	0	0	0
225	250	AND	disem fina y pequeños cumulos	0,5	1	0,5	0,6	0,3	0	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
250	275	AND	disem y cumulos	0,5	0,8	0,4	0,4	0,16	0	0	0,6	0,24	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0
275	300	AND	Pseudomorfa	1	0,6	0,6	1	0,6	0	0	0	0	0,4	0,4	1	0,4	0	0	0	0
300	325	AND	vetillas y disem	0,5	0,7	0,35	1	0,35	0	0	0	0	0,3	0,15	1	0,15	0	0	0	0
325	350	AND	disem fina	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0
350	375	AND	disem	1	0,6	0,6	1	0,6	0	0	0	0	0,4	0,4	1	0,4	0	0	0	0
375	400	AND	disem fina	0	0,6	0	1	0	0	0	0	0	0,4	0	1	0	0	0	0	0

# VENTANAS

## RC-235

Desde	Hasta	Litologia	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum
0	25	BXV	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	BXV	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	PDIO	disem fina	0,5	0,7	0,35	1	0,35	0	0	0	0	0,3	0,15	1	0,15	0	0	0	0
75	100	PDIO	disem fina	1	1	1	0,6	0,6	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	PDIO	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	AND	disem	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	PDIO	disem fina	1,5	0,9	1,35	0,6	0,81	0	0	0,4	0,54	0,1	0,15	1	0,15	0	0	0	0
175	200	PDIO	disem y cumulos pequeños	0,5	0,9	0,45	1	0,45	0	0	0	0	0,1	0,05	1	0,05	0	0	0	0
200	225	PDIO	pequeños cumulos y disem fina	1	0,9	0,9	0,5	0,45	0	0	0,5	0,45	0,1	0,1	1	0,1	0	0	0	0
225	250	PDIO	disem fina y cumulo	1,5	1	1,5	0,7	1,05	0	0	0,3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0
250	275	AND	disem pequeños cumulos	1,5	0,95	1,425	0,7	0,9975	0	0	0,3	0,4275	0,05	0,075	1	0,075	0	0	0	0
275	300	AND	disem fina y pequeños cumulos	2	0,98	1,96	0,7	1,372	0	0	0,3	0,588	0,02	0,04	0,8	0,032	0	0	0,2	0,008

## RC-238

Desde	Hasta	Litologia	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum
0	25	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	CZ	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	AND	no se observa	0	0,3	0	1	0	0	0	0	0	0,7	0	1	0	0	0	0	0
125	150	AND	diseminado y microvetillas	0,5	0,7	0,35	0,7	0,245	0,3	0,105	0	0	0,3	0,15	0,6	0,09	0,4	0,06	0	0
150	175	AND	diseminada y en cumulos	1,5	0,95	1,425	0,6	0,855	0	0	0,4	0,57	0,05	0,075	0	0	0	0	0	0
175	200	AND	diseminada fina y en cumulos	1	0,9	0,9	0,7	0,63	0	0	0,3	0,27	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
200	225	AND	disem gruesa	1	0,9	0,9	1	0,9	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
225	250	AND	disem fina	0,5	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	275	AND	disem fina	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0
275	300	ANDG	diseminada fina	0,5	0,8	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0,2	0,1	1	0,1	0	0	0	0
300	325	ANDG	diseminado	0,3	0,7	0,21	1	0,21	0	0	0	0	0,3	0,09	1	0,09	0	0	0	0
325	350	ANDG	diseminada fina	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	375	ANDG	un solo grano	0,3	0,8	0,24	1	0,24	0	0	0	0	0,2	0,06	1	0,06	0	0	0	0
375	400	ANDG	diseminada y en granos pseudomorfos	0,3	0,95	0,285	1	0,285	0	0	0	0	0,05	0,015	1	0,015	0	0	0	0

## INCA DE ORO

### DDH-2453

Desde	Hasta	Litologia	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pr	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum	
0	25	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	BXH	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	PTO	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	AND	disem	0,5	0,7	0,35	1	0,35	0	0	0	0	0	0,3	0,15	1	0,15	0	0	0	0
150	175	AND	disem	1	0,6	0,6	0,3	0,18	0,7	0,42	0	0	0,4	0,4	1	0,4	0	0	0	0	0
175	200	AND	vetilla y disem	2	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0	0	0
200	225	PTO	vetilla y disem	2,5	0,4	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0	0	0,6	1,5	0,6	0,9	0,4	0,6	0	0	0
225	250	PTO	disem fin y vetillas	2	0,4	0,8	0,7	0,56	0,3	0,24	0	0	0,6	1,2	0,6	0,72	0,4	0,48	0	0	0
250	275	PTO	disem y vetillas	2,5	0,5	1,25	0,7	0,875	0,3	0,375	0	0	0,5	1,25	0,4	0,5	0,6	0,75	0	0	0
275	300	PTO	fin disem	2	0,5	1	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0
300	325	PTO	cumulos y disem	2,5	0,6	1,5	0,2	0,3	0	0	0,8	1,2	0,4	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0	0	0
325	350	PTO	disem y en vetilla	2	0,35	0,7	0,2	0,14	0,3	0,21	0,5	0,35	0,65	1,3	0,7	0,91	0,3	0,39	0	0	0
350	375	PTO	disem gruesa y vetillas	2	0,6	1,2	0,2	0,24	0,3	0,36	0,5	0,6	0,4	0,8	0,5	0,4	0,5	0,4	0	0	0
375	400	PTO	cumulos en fract	2,5	0,7	1,75	0,4	0,7	0	0	0,6	1,05	0,3	0,75	0,5	0,375	0,5	0,375	0	0	0
400	425	PTO	cumulos en fract	2	0,7	1,4	0,1	0,14	0	0	0,9	1,26	0,3	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	0	0	0
425	450	PTO	cumulos en fract	2	0,75	1,5	0,2	0,3	0	0	0,8	1,2	0,25	0,5	0,2	0,1	0	0	0,8	0,4	0,4
450	475	PTO	vetas y cumulos	3	0,75	2,25	0,2	0,45	0,6	1,35	0,2	0,45	0,25	0,75	0	0	0	0	1	0,75	0,75
475	500	PTO	cumulo fract y vetas	3,5	0,8	2,8	0,15	0,42	0,65	1,82	0,2	0,56	0,2	0,7	1	0,7	0	0	0	0	0
500	525	PTO	cumulos y vetas	3,5	0,85	2,975	0,2	0,595	0,3	0,8925	0,5	1,4875	0,15	0,525	0,4	0,21	0	0	0,6	0,315	0,315
525	550	PTO	vetas y cumulos fract	4	0,85	3,4	0,2	0,68	0,3	1,02	0,5	1,7	0,15	0,6	0,5	0,3	0	0	0,5	0,3	0,3
550	575	PTO	vetas y cumulos	4	0,85	3,4	0,35	1,19	0	0	0,65	2,21	0,15	0,6	0,7	0,42	0	0	0,3	0,18	0,18

### DDH-2485

Desde	Hasta	Litologia	Ocurrencia	% sulf	PY_prop	%PY	PY_Diss_pro	%PY Diss	PY_Vet_pro	%PY Vet	PY_Cum_pro	%PY Cum	CPY_prop	%CPY	CPY_Diss_pr	%CPY Diss	CPY_Vet_pr	%CPY Vet	CPY_Cum_p	%CPY Cum	
0	25	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	GRP	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	AND	no se observa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	AND	primeros indicios de py - cpy disem fin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	PTO	disem fina	1,5	0,85	1,275	1	1,275	0	0	0	0	0,15	0,225	1	0,225	0	0	0	0	0
175	200	AND	disem fina	1,5	0,85	1,275	0,4	0,51	0,6	0	0	0,765	0,15	0,225	1	0,225	0	0	0	0	0
200	225	AND	disem fina y vetillas	2	0,85	1,7	0,1	0,17	0,7	1,19	0,2	0,34	0,15	0,3	0,2	0,06	0,8	0,24	0	0	0
225	250	AND	disem fina vetillas y fract	2,5	0,85	2,125	0,8	1,7	0,2	0,425	0	0	0,15	0,375	0,2	0,075	0,8	0,3	0	0	0
250	275	AND	disem fina vetillas y fract	2,5	0,85	2,125	0,4	0,85	0	0	0,6	1,275	0,15	0,375	0,3	0,1125	0,7	0,2625	0	0	0
275	300	AND	vetillas fina fract disem fina	2	0,9	1,8	0,3	0,54	0,7	1,26	0	0	0,1	0,2	0,3	0,06	0,7	0,14	0	0	0
300	325	AND	microvetillas disem fina	2,5	0,85	2,125	0,2	0,425	0,8	1,7	0	0	0,15	0,375	0,3	0,1125	0,7	0,2625	0	0	0
325	350	AND	microvetillas disem fina	2,5	0,9	2,25	0	0	0,7	1,575	0,3	0,675	0,1	0,25	0,5	0,125	0,5	0,125	0	0	0
350	375	AND	vetillas disem fina disem en fract	2	0,85	1,7	0,2	0,34	0,5	0,85	0,3	0,51	0,15	0,3	0,2	0,06	0,5	0,15	0,3	0,09	0,09
375	400	AND	vetilla ocasional y cumulos	2	0,85	1,7	0	0	0,7	1,19	0,3	0,51	0,15	0,3	0	0	0,7	0,21	0,3	0,09	0,09
400	425	AND	vetillas y cumulos	2	0,9	1,8	0	0	0,4	0,72	0,6	1,08	0,1	0,2	0	0	0,7	0,14	0,3	0,06	0,06
425	450	AND	disem gruesa y en fract	2	0,9	1,8	0,1	0,18	0,6	1,08	0,3	0,54	0,1	0,2	0,6	0,12	0,4	0,08	0	0	0
450	475	AND	disem gruesa y en fract	2	0,9	1,8	0	0	0,5	0,9	0,5	0,9	0,1	0,2	0,6	0,12	0,4	0,08	0	0	0
475	500	AND	disem gruesa y fina	2	0,95	1,9	0,1	0,19	0,7	1,33	0,2	0,38	0,05	0,1	0,8	0,08	0,2	0,02	0	0	0
500	525	AND	vetas y cumulos	3,5	0,9	3,15	0	0	0,3	0,945	0,7	2,205	0,1	0,35	0,2	0,07	0,5	0,175	0,3	0,105	0,105
525	550	AND	vetilla y fract	2,5	0,8	2	0	0	0,8	1,6	0,2	0,4	0,2	0,5	0	0	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25
550	575	AND	vetillas y cumulos	1,5	0,85	1,275	0	0	0,7	0,8925	0,3	0,3825	0,15	0,225	0,4	0,09	0,6	0,135	0	0	0
575	600	AND	cumulos y vetillas	2,5	0,8	2	0	0	0,5	1	0,5	1	0,2	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0	0	0
600	625	AND	vetas y cumulos en fract	3	0,9	2,7	0	0	0,6	1,62	0,4	1,08	0,1	0,3	0	0	0,6	0,18	0,4	0,12	0,12
625	650	AND	vetas y vetillas	3	0,9	2,7	0	0	0,3	0,81	0,7	1,89	0,1	0,3	0	0	1	0,3	0	0	0

## APENDICE III

### Coefficientes de Correlación entre variables

#### Correlación Numérica

En estadística, el coeficiente de correlación lineal es el índice de asociación más usual entre dos variables numéricas. Dada una muestra aleatoria bivariada del par  $(X, Y)$  de variables. Se denota  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$  y  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$  a las medias empíricas de  $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  e  $y_i = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  respectivamente, y sus varianzas empíricas como (Lacourly, 2005):

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad s_y^2 = \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2$$

A partir de ellas, se define la covarianza empírica entre X e Y como:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

El cual es sensible a cambios de escala entre las variables. Tal efecto es corregido con el coeficiente de correlación lineal " $r_{x,y}$ " que considera las varianzas  $s_x^2$ ,  $s_y^2$  de X e Y, y viene dado por:

$$r_{x,y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{s_x s_y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

El coeficiente de correlación lineal  $r_{x,y}$  varía entre 1 y -1, y su valor mide la relación tipo lineal entre X e Y, de tal manera que:

$r_{x,y} = -1$ , Existe correlación negativa perfecta. Indica una dependencia total entre las dos variables, cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

$-1 < r_{x,y} < 0$ , Existe correlación negativa.

$r_{x,y} = 0$ , No existe relación lineal.

$0 < r_{x,y} < 1$ , Existe una correlación positiva entre las variables.

$r_{x,y} = 1$ , Existe una correlación positiva perfecta. Indica una dependencia total entre las dos variables, cuando una de ellas aumenta la otra también lo hace en igual proporción.

## CASUALIDAD

<b>DDS-7</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cc</i>	<i>%mg</i>
cargabilidad	1				
%sulf	0,55447819	1			
%cpy	0,73995105	0,7357886	1		
%cc	0,55447819	1	0,7357886	1	
%mg	0,6748454	0,92320895	0,757385	0,92320895	1

<b>RC-309</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>% sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%mg</i>
cargabilidad	1							
% sulf	0,67702869	1						
%py	0,67790789	0,99890408	1					
%py diss	0,543833	0,95499893	0,94849051	1				
%py cum	0,68897809	0,65788874	0,67618247	0,40795119	1			
%cpy	0,26595009	0,43879187	0,39625312	0,52390612	-0,07638429	1		
%cpy diss	0,26595009	0,43879187	0,39625312	0,52390612	-0,07638429	1	1	
%mg	0,63470467	0,20095225	0,18990647	0,03744965	0,46020308	0,29601413	0,29601413	1

<b>RC-310</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%PY</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%mg</i>
cargabilidad	1							
%sulf	0,659699246	1						
%py	0,614572032	0,97144856	1					
%py diss	0,591428274	0,95887803	0,99721255	1				
%py cum	0,654953146	0,97967765	0,98496283	0,96932663	1			
%cpy	0,658990653	0,94304192	0,83718974	0,81212055	0,87724477	1		
%cpy diss	0,658990653	0,94304192	0,83718974	0,81212055	0,87724477	1	1	
%mg	0,9587941	0,50826939	0,49199552	0,46532015	0,5431884	0,48179011	0,48179011	1

PAMPA

<b>RC-606</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>% sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py vet</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy vet</i>	<i>%cpy cum</i>	<i>%mg</i>
cargabilidad	1										
% sulf	0,92074082	1									
%py	0,92471158	0,99451602	1								
%py diss	0,02866141	0,13285671	0,05421544	1							
%py vet	0,72679292	0,73161476	0,7427408	-0,13406232	1						
%py cum	0,77183203	0,84665324	0,86300138	-0,03416464	0,33280172	1					
%cpy	0,51678994	0,63373561	0,54935905	0,66047105	0,35168187	0,3812948	1				
%cpy diss	0,33628927	0,31033205	0,23356475	0,76477528	0,10905781	0,08875365	0,75188417	1			
%cpy vet	0,27518707	0,36507018	0,34331461	-0,11190336	0,45273963	0,17193787	0,37746345	-0,1613625	1		
%cpy cum	0,15470729	0,37987397	0,38231573	-0,14484136	0,15251039	0,46711612	0,20727098	-0,4067244	0,35117842	1	
%mg	0,65184872	0,6345627	0,6032574	0,18003461	0,41800081	0,51196993	0,60795311	0,48411528	0,21335783	0,08235069	1

<b>RC-607</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy cum</i>
cargabilidad	1							
%sulf	0,35187371	1						
%py	0,31302467	0,95450751	1					
%py diss	0,07736461	0,71328374	0,82976279	1				
%py cum	0,40960994	0,47304659	0,3461256	-0,23197469	1			
%cpy	0,32227304	0,77951726	0,55727654	0,24317391	0,59015647	1		
%cpy diss	0,2963588	0,71554465	0,52034651	0,35843429	0,32573226	0,89943918	1	
%cpy cum	0,26511269	0,64282686	0,44885238	0,0361297	0,74928393	0,84713308	0,52970686	1

<b>RC-615</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>
cargabilidad	1						
%sulf	0,63314635	1					
%py	0,62336574	0,99761009	1				
%py diss	0,59769994	0,98470577	0,99106611	1			
%py cum	0,64130675	0,97796145	0,97343507	0,93420132	1		
%cpy	0,22781331	0,17370208	0,10524234	0,0468507	0,20107528	1	
%cpy diss	0,22781331	0,17370208	0,10524234	0,0468507	0,20107528	1	1

## VENTANAS

<b>RC-180</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>% sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy cum</i>
cargabilidad	1							
% sulf	0,646163527	1						
%py	0,565893718	0,98393881	1					
%py diss	0,626486591	0,9485043	0,93653405	1				
%py cum	0,468765483	0,92513554	0,96170116	0,80457279	1			
%cpy	0,60417273	0,37274191	0,2011132	0,33658066	0,07751538	1		
%cpy diss	0,617539786	0,39066457	0,22814768	0,44319379	0,03995403	0,95781773	1	
%cpy cum	0,507034182	0,29997934	0,13882347	0,15093902	0,1171455	0,92451198	0,77597961	1

<b>RC-184 (hasta 250m)</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>% sulf</i>	<i>% py</i>	<i>% py diss</i>	<i>% py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>
cargabilidad	1						
% sulf	0,671078344	1					
% py	0,523565911	0,95182961	1				
% py diss	0,500740019	0,94431216	0,99853967	1			
% py cum	0,313065216	-0,05061264	-0,17059002	-0,2235724	1		
%cpy	0,421884743	0,07027164	-0,23898281	-0,25803819	0,39468815	1	
%cpy diss	0,421884743	0,07027164	-0,23898281	-0,25803819	0,39468815	1	1

<b>RC-187 (hasta 250 m)</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy cum</i>
cargabilidad	1							
%sulf	0,63474188	1						
%py	0,74161696	0,85507697	1					
%py diss	0,67901924	0,89353755	0,80150736	1				
%py cum	0,76787682	0,40191533	0,61097157	0,53645384	1			
%cpy	0,17450577	0,70403419	0,23378154	0,57776838	-0,08315	1		
%cpy diss	0,28480707	0,81181708	0,41170018	0,65016858	0,03330018	0,95842698	1	
%cpy cum	0,31100895	0,08908708	0,23326613	0,16786501	0,12424065	-0,15243805	-0,04922209	1

VENTANAS

<b>RC-235 (hasta 175m)</b>	<b>cargabilidad</b>	<b>%sulf</b>	<b>%py</b>	<b>%py diss</b>	<b>%py cum</b>	<b>%cpy</b>	<b>%cpy diss</b>
cargabilidad	1						
%sulf	0,77260722	1					
%py	0,79658711	0,99241729	1				
%py diss	0,9322296	0,93979531	0,94675206	1			
%py cum	0,49180474	0,90093105	0,90810594	0,72493198	1		
%cpy	0,22006898	0,54772256	0,4407319	0,41888652	0,39812081	1	
%cpy diss	0,22006898	0,54772256	0,4407319	0,41888652	0,39812081	1	1

<b>RC-238 (hasta 275m)</b>	<b>cargabilidad</b>	<b>% sulf</b>	<b>%Py</b>	<b>%Py Diss</b>	<b>%Py Vet</b>	<b>%Py Cum</b>	<b>%Cpy</b>	<b>%Cpy Diss</b>	<b>%Cpy Vet</b>
cargabilidad	1								
% sulf	0,806009682	1							
%Py	0,78403143	0,99379113	1						
%Py Diss	0,78651834	0,96022415	0,96657213	1					
%Py Vet	0,038867268	-0,01336306	-0,07939236	-0,10553782	1				
%Py Cum	0,308470597	0,52402523	0,53946596	0,31171993	-0,14897649	1			
%Cpy	0,008786389	-0,1754386	-0,28388549	-0,27738334	0,58733314	-0,2573495	1		
%Cpy Diss	-0,002256251	-0,19808667	-0,30211759	-0,28628341	0,35863184	-0,24932933	0,96614326	1	
%Cpy Vet	0,038867268	-0,01336306	-0,07939236	-0,10553782	1	-0,14897649	0,58733314	0,35863184	1

## INCA DE ORO

<b>DDH-2453 (hasta 250m)</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py vet</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy vet</i>	<i>%cpy cum</i>
cargabilidad	1									
%sulf	0,958182403	1								
%py	0,95301539	0,98189138	1							
%py diss	0,922189464	0,94919651	0,956657929	1						
%py vet	0,823241798	0,86126786	0,887296222	0,72085158	1					
%py cum	0,335658557	0,26657643	0,306944926	0,28224873	0,15658971	1				
%cpy	0,936589587	0,98788254	0,940590883	0,91749999	0,81673024	0,22631933	1			
%cpy diss	0,92046485	0,94380687	0,890862435	0,82453153	0,84969493	0,15880919	0,96174337	1		
%cpy vet	0,870985616	0,94856479	0,911724328	0,93842053	0,70761199	0,28068719	0,9531798	0,83387013	1	

<b>DDH-2453 (desde 250m)</b>	<i>cargabilidad</i>	<i>%sulf</i>	<i>%py</i>	<i>%py diss</i>	<i>%py vet</i>	<i>%py cum</i>	<i>%cpy</i>	<i>%cpy diss</i>	<i>%cpy vet</i>	<i>%cpy cum</i>
cargabilidad	1									
%sulf	-0,82534069	1								
%py	-0,903057997	0,97531628	1							
%py diss	-0,468691159	0,71204538	0,701138771	1						
%py vet	-0,489416614	0,53736556	0,507612761	0,01837833	1					
%py cum	-0,658538706	0,60337201	0,676188934	0,56926655	-0,24152653	1				
%cpy	0,777593782	-0,46590546	-0,649787676	-0,35847095	-0,18428874	-0,63258529	1			
%cpy diss	0,483696964	-0,14076936	-0,30496309	-0,17859217	-0,07809604	-0,30036012	0,7374622	1		
%cpy vet	0,913965082	-0,73803384	-0,812312969	-0,37555769	-0,55223592	-0,50178624	0,71450395	0,48849431	1	
%cpy cum	-0,549936315	0,33895194	0,397039734	0,16617362	0,38682369	0,13596816	-0,42421399	-0,76276585	-0,69293385	1

INCA DE ORO

<b>DDH-2485 (hasta 275m)</b>	<b>cargabilidad</b>	<b>%sulf</b>	<b>%py</b>	<b>%py diss</b>	<b>%py vet</b>	<b>%py cum</b>	<b>%cpy</b>	<b>%cpy diss</b>	<b>%cpy vet</b>	<b>%cpy cum</b>
cargabilidad	1									
%sulf	0,82212155	1								
%py	0,91568563	0,96151797	1							
%py diss	0,56039069	0,751746	0,77746719	1						
%py vet	0,67576464	0,54173999	0,55785029	0,13052614	1					
%py cum	0,50510485	0,49449538	0,52691338	0,2028207	-0,07698352	1				
%cpy	0,84383963	0,93572484	0,97878379	0,80034871	0,43853927	0,58480821	1			
%cpy diss	0,32923362	0,77012699	0,61212575	0,64585814	-0,00588002	0,4855003	0,643703664	1		
%cpy vet	0,86274833	0,67406594	0,84006054	0,58551211	0,5718579	0,4183552	0,845494034	0,135602419	1	

## APENDICE IV

### Susceptibilidad Magnética

La Susceptibilidad magnética “k” de un material corresponde a la variable más significativa para caracterizar el magnetismo, y por lo general no es constante para un cuerpo magnético. En presencia de un campo magnético externo  $\vec{H}$ , la susceptibilidad “k” crece rápidamente en la medida que el campo  $\vec{H}$  crezca, hasta alcanzar un máximo para luego caer a cero. En presencia de campos magnéticos débiles (p.ej. Campo magnético de la Tierra), la magnetización inducida  $\vec{M}$  es proporcional en magnitud y dirección con el campo magnético externo, esto es:

$$\vec{M}_{inducida} = k\vec{H}$$

La susceptibilidad de igual modo se puede expresar en el sistema cgs, a través de la siguiente igualdad:

$$k_{SI} = 4\pi k_{cgs}$$

Los materiales pueden presentar tres tipos de magnetización, en presencia de un campo magnético (Lanza y Meloni, 2006):

**-Diamagnéticos** ( $k < 0$ ): (p.ej. grafito, mármol, cuarzo) presentan una susceptibilidad negativa, aunque muy pequeña. En ausencia de campo magnético tienen momento magnético nulo.

**-Paramagnéticos** ( $k > 0$ ): (p.ej. silicatos principales, piroxenos, anfíboles, micas, minerales arcillosos) presentan anomalías magnéticas positivas, puesto que la magnetización va en la misma dirección y sentido que el campo externo.

**-Ferromagnéticos** (óxidos y sulfuros de Fe): son materiales donde se produce una magnetización espontánea de intensidades mucho mayores a las de los materiales Diamagnéticos y Paramagnéticos.

La susceptibilidad en estos materiales es muy variable, así por ejemplo en el caso de la hematita ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) por lo general se obtienen valores en torno a los  $1000 \mu SI$ , mientras que en la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) presenta valores que alcanzan los  $10^7 \mu SI$ , por lo tanto el grado de oxidación es un factor muy importante a considerar en estos materiales.

Los minerales ferromagnéticos no se encuentran en abundancia, sino más bien en pequeñas cantidades (<5%) formando parte de los minerales accesorios de la roca. Sin embargo, basta un pequeño porcentaje ( $\sim 1\%$ ) para que sus altas susceptibilidades enmascaren el efecto de los demás minerales presentes en la roca.

Dentro de los materiales ferromagnéticos existen tres categorías, según la alineación de sus momentos atómicos respecto al momento magnético resultante:

**-Ferromagnéticos:** corresponde al caso de ferromagnetismo puro, donde los momentos atómicos se alinean paralelamente al momento magnético (p.ej. hierro)

**-Anti-Ferromagnéticos:** el momento magnético neto es nulo, ya que los momentos atómicos se encuentran en posición fase (p.ej. hematita)

**-Ferrimagnéticos:** los momentos atómicos se encuentran en oposición de fase, generando un momento magnético neto mayor a cero (p.ej. óxidos de hierro, titanomagnetita).

Estudios de susceptibilidad, han demostrado que los minerales ferromagnéticos, en particular la magnetita, son la fuente principal de las anomalías medidas en terreno. Al respecto existen numerosos intentos por establecer algún tipo de relación entre la susceptibilidad de las rocas y el contenido de magnetita, de lo cual hoy se cuenta con una relación de tipo lineal aun provisoria en vista de la dispersión de datos y la diferencia entre las mediciones para distintos terrenos.

La Tabla de Lanza y Meloni (2006) muestra la susceptibilidad en una variedad de rocas. A pesar de que existe un amplio rango de susceptibilidad incluso dentro de un mismo tipo de roca, por lo general las rocas sedimentarias son las que presentan las susceptibilidades más bajas, mientras que las rocas ígneas básicas las más altas. Lo que sí parece claro es que la susceptibilidad varía en función de la cantidad de minerales ferromagnéticos presentes, principalmente magnetita, titano-magnetita y pirrotina. Por otra parte, minerales como la calcopirita y pirita forman parte de una variedad de minerales sulfurosos no-magnéticos, al igual que muchos otros minerales de Fe débilmente magnéticos (Telford *et al*, 1990).

La datos de susceptibilidad magnetica disponible, fue obtenida mediante el empleo de susceptibilimetro marca KT-9, y mediones dentro de pozo wellfield en el sondaje DDS-7 del prospecto Casualidad.

Mineral	$k(\mu SI)$
<b><i>Diamagnéticos</i></b>	
Dolomita	-40
Calcita	-15
Cuarzo	-15
Feldespato-k	-15
Yeso	-15
<b><i>Paramagnéticos</i></b>	
Clinopiroxenos	20-600
Ortopiroxenos	1000-3000
Anfíboles	100-1000
Biotita	800-3000
Muscovita	40-700
Clorita	70-1550
Olivino	-13-5000
Granate	500-6000
Ilmenita	300-3500
<b><i>Ferromagnéticos</i></b>	
Goethita	2000
Hematita	1000-5x10 <sup>4</sup>
Pirrotina	5x10 <sup>4</sup> -3x10 <sup>4</sup>
Magnetita	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>

**Susceptibilidad magnética de minerales comunes  
(Modificado de Lanza y Meloni, 2006).**

### **Estimación de magnetita en prospectos IOCG**

Para efectos de este estudio es interesante obtener una estimación del contenido en magnetita de los tres prospectos tipo IOCG estudiados en este trabajo (Pampa, Casualidad y Ventanas). Trabajos de años anteriores, han establecido algún tipo de relación entre el contenido de magnetita-sulfuros y su contribución al efecto de Polarización Inducida (Pittard & Bourne, 2007). Por lo tanto, se realizó una estimación del porcentaje en volumen de magnetita presente en cada sondaje a través del diagrama de Mooney y Bleifuss, 1953, donde se obtiene el contenido de magnetita estimado a partir de datos de susceptibilidad medidos en la roca. Para esto se trabajó con datos de susceptibilidad magnética para los tres prospectos tipo IOCG, los cuales fueron ploteados en el diagrama y posteriormente validados con intensidades magnéticas medidas en terreno en cada uno de los sondajes.

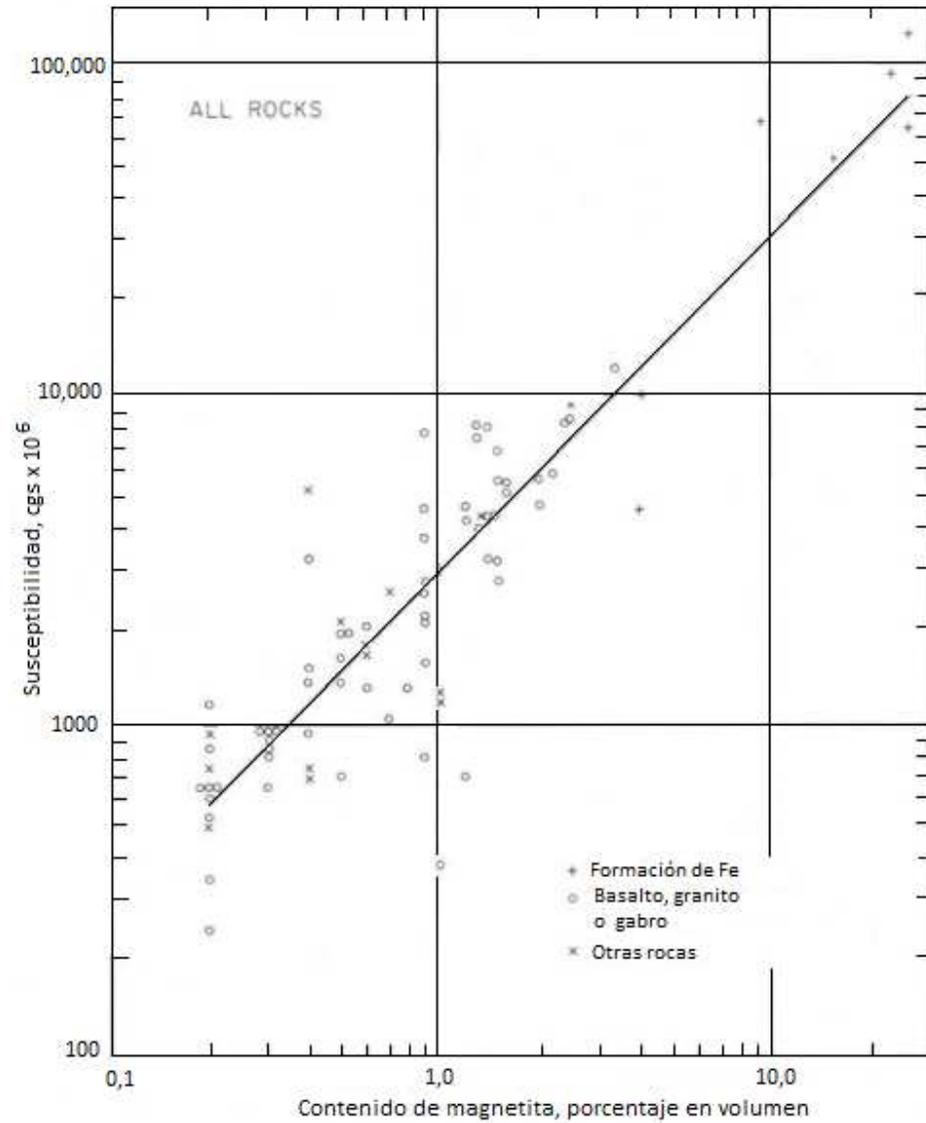


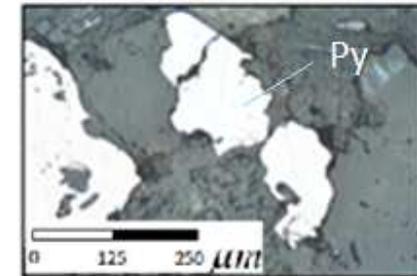
Diagrama Magnetita vs Susceptibilidad (modificado de Mooney & Bleifuss, 1953)

## APENDICE V

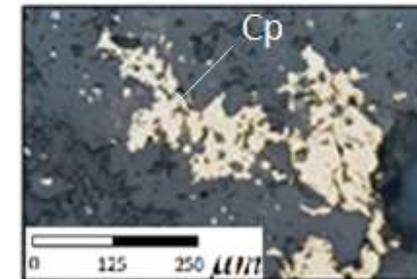
### Conteo detallado de Sulfuros

El conteo de sulfuros se utilizó un contador de Swift, un espaciado entre líneas: 1/5 mm, 1/6 mm entre puntos; Aumento 40x10 y 10x10

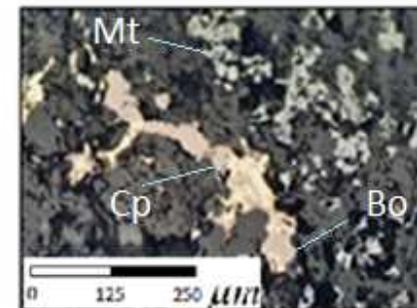
RC-309	Metraje: (172-174 m).		Litología: Granodiorita			
Mineral	Py	Cpy	Mo	Mg	Hm	Total Puntos
Conteo	117	15	5	15	12	<b>5000</b>
%Vol.	2,34%	0,30%	0,10%	0,30%	0,24%	



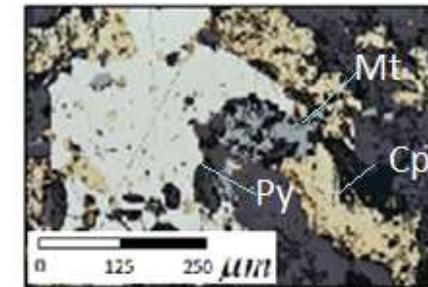
RC-310	Metraje: (177-178 m)		Litología: Andesita porfírica			
Mineral	Py	Cpy	Mg	Hm	Total Puntos	
Conteo	78	105	221	12	<b>5000</b>	
%Vol.	1,56%	2,10%	4,42%	0,24%		



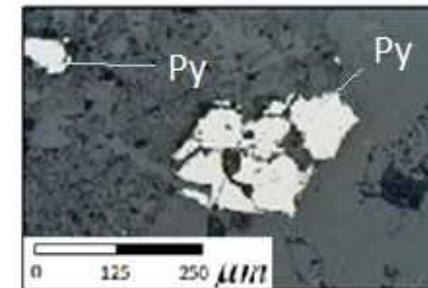
DDS-7	Metraje: (227,32-227,43)		Litología: Meta-andesita			
Mineral	Bn	Cpy	Mg	Hm	Total Puntos	
Conteo	197	331	366	35	<b>10000</b>	
%Vol.	1,97%	3,31%	3,66%	0,35%		



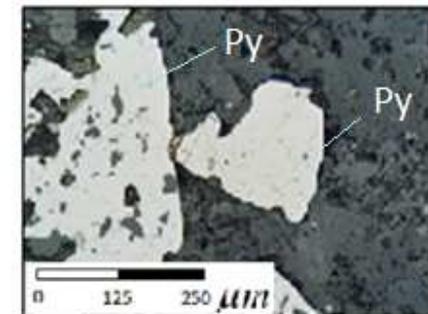
RC-607		Metraje: (300-301 m)		Litología: Meta-areniscas			
Mineral	Py	Cpy	Cc	Mg	Hm	Total Puntos	
Conteo	74	145	18	210	8	5000	
%Vol.	1,48%	2,90%	0,36%	4,20%	0,16%		



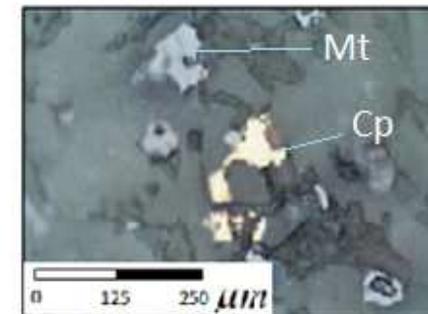
RC-606		Metraje: (262-267 m)		Litología: Diorita			
Mineral	Py	Cpy	Mg	Hm	Total Puntos		
Conteo	75	38	102	12	5000		
%Vol.	1,50%	0,76%	2,04%	0,24%			



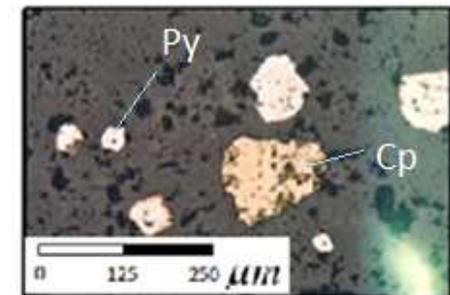
RC-615		Metraje: (244-246 m)		Litología: Meta-andesita			
Mineral	Py	Mg	Hm	Goe/Lim	Total Puntos		
Conteo	87	63	125	12	4000		
%Vol.	2,18%	1,58%	3,13%	0,30%			



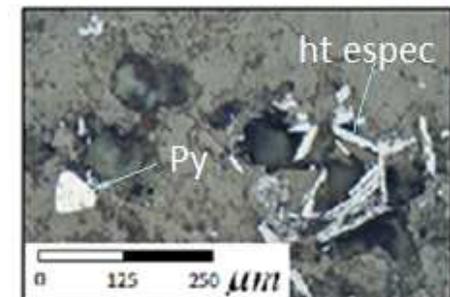
RC-180		Metraje: (337-339 m)		Litología: Toba andesítica			
Mineral	Py	Cpy	Mg	Total Puntos			
Conteo	42	58	139	5000			
%Vol.	0,84%	1,16%	2,78%				



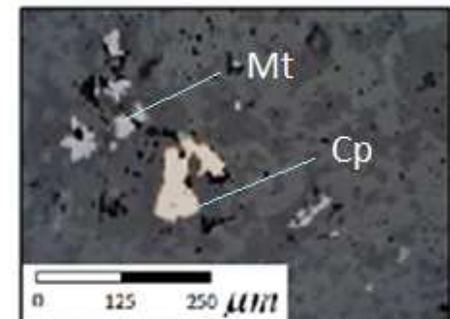
RC-184	Metraje: (264-268 m)		Litología: Tobas		
Mineral	Py	Cpy	Mg	Hm	Total Puntos
Conteo	287	131	63	125	<b>5000</b>
%Vol.	5,74%	2,62%	1,26%	2,50%	



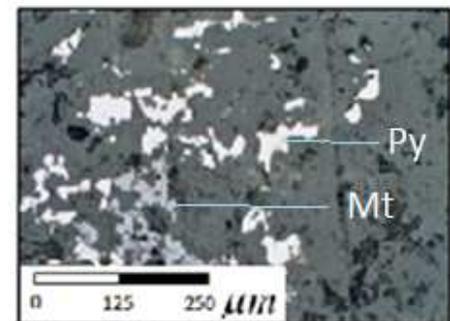
RC-187	Metraje: (208-210 m)		Litología: Andesitas		
Mineral	Py	Mg	Hm	Total Puntos	
Conteo	83	39	93	<b>5000</b>	
%Vol.	1,66%	0,78%	1,86%		



RC-235	Metraje: (207-208 m)		Litología: Pórfido diorítico		
Mineral	Py	Cpy	Mg	Hm	Total Puntos
Conteo	35	18	79	6	<b>5000</b>
%Vol.	0,70%	0,36%	1,58%	0,12%	



RC-238	Metraje: (202-204 m)		Litología: Andesitas		
Mineral	Py	Cpy	Mg	Total Puntos	
Conteo	101	22	192	<b>5000</b>	
%Vol.	2,02%	0,44%	3,84%		

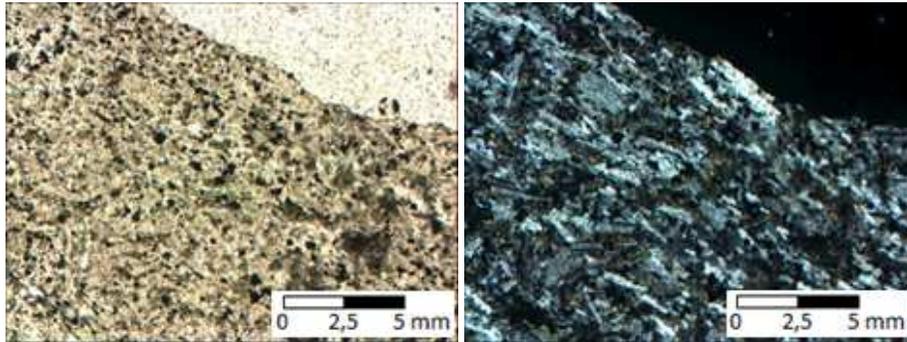


## APENDICE VI

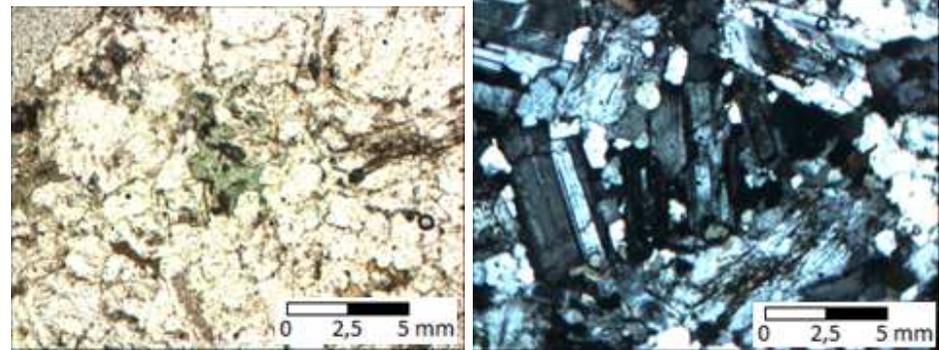
### Cortes Transparentes y Pulidos (Más relevantes)

#### *Casualidad*

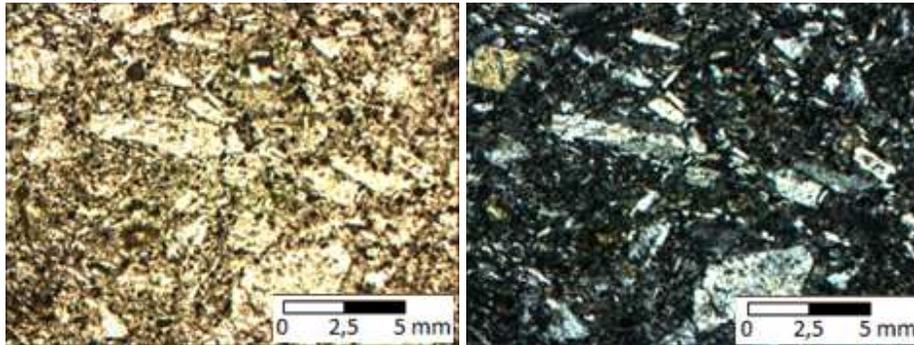
*RC-310 (177-178 m) Andesita Porfírica*



*RC-309 (216-217 m) Granodiorita*

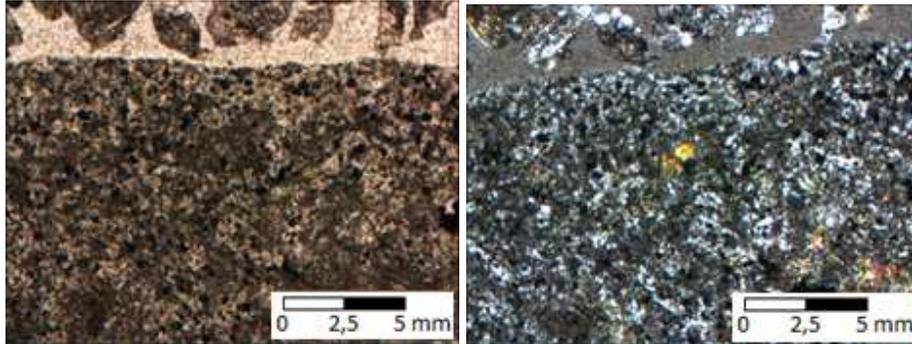


*DDS-7 (95.85-95.93 m) Toba Cristalina*

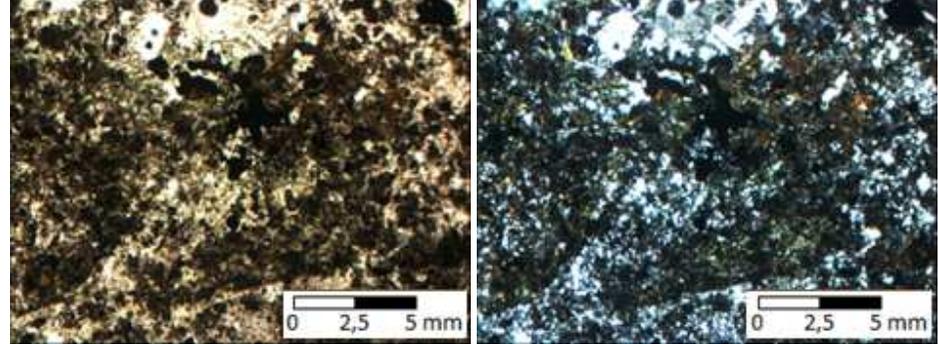


## ***Pampa***

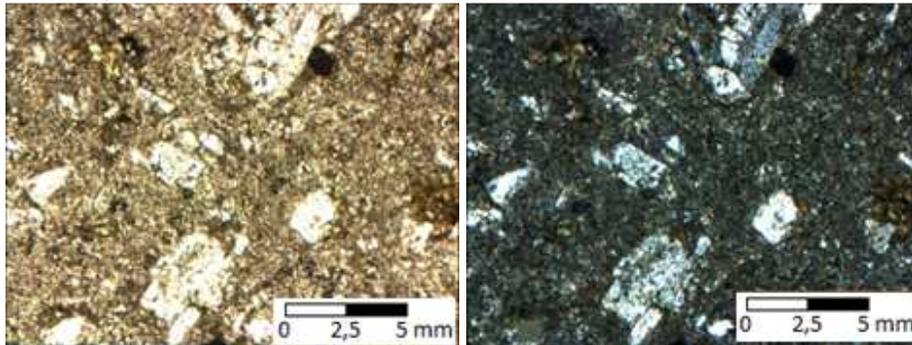
***RC-606 (262-267 m) Diorita***



***RC-607 (310-315 m) Andesita Porfírica***

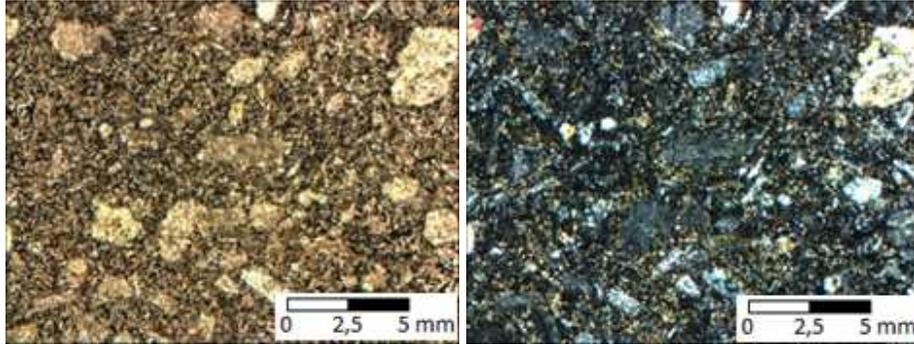


***RC-615 (258-259 m) Meta andesita***

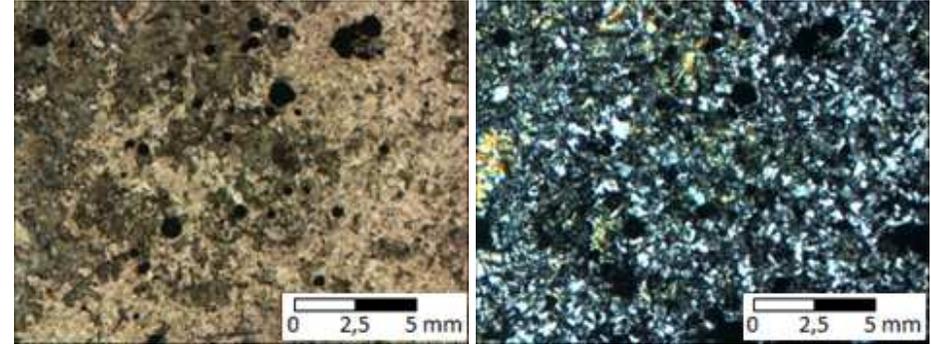


## Ventanas

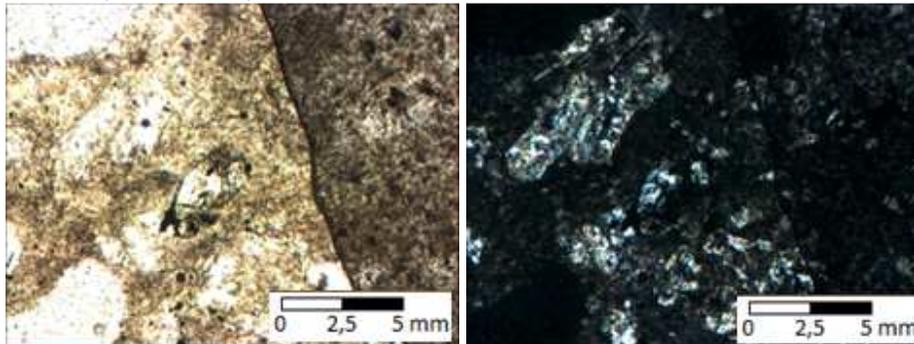
**RC-180 (337-339 m) Toba Andesítica**



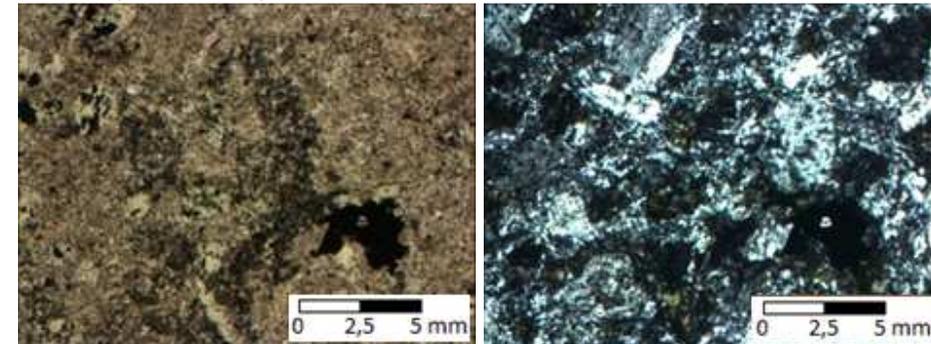
**RC-184 (264-268 m) Tobas**



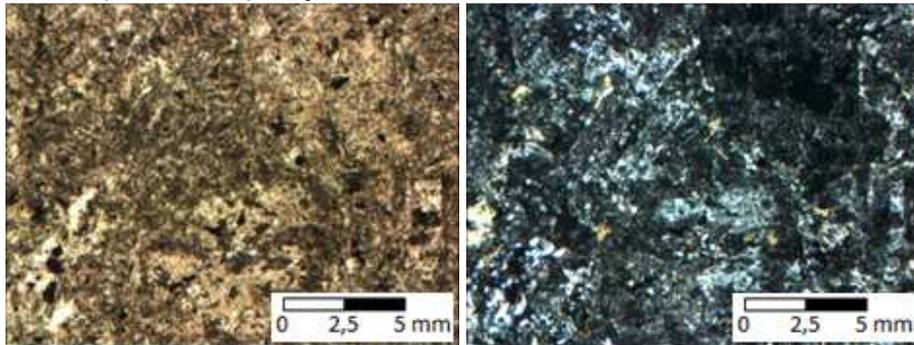
**RC-187 (208-210 m) Andesitas**



**RC-238 (268-270 m) Andesitas**

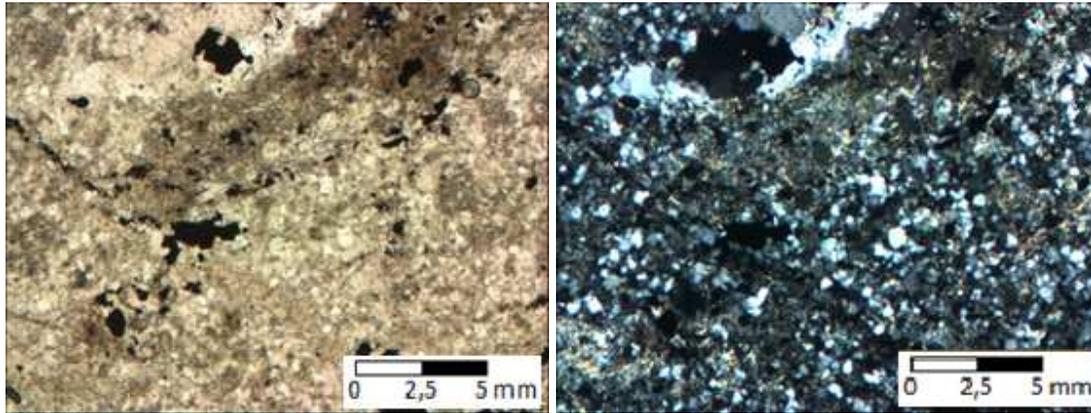


**RC-235 (114-115 m) Pórfido Diorítico**



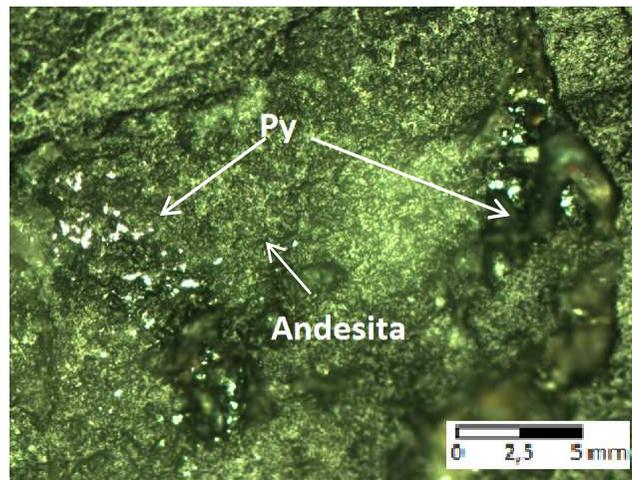
## ***Inca de Oro***

***DDH-2453 (239.24-239.32 m) Pórfido Tonalítico***



## ***Ventanas***

***RC-187 (145-147 m) 10 x 10***



***RC-180 (88-90 m) 4 X 10***

