



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

# **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL PROYECTO COYOTE, VALLENAR, REGIÓN DE ATACAMA.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
GEÓLOGA

**JAVIERA SOLEDAD VIDAL URIBE**

PROFESOR GUÍA:  
KATJA DECKART

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS  
LUIS LÁRRAGA BENAVENTE

SANTIAGO DE CHILE  
JULIO 2014

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
GEÓLOGA  
POR: JAVIERA SOLEDAD VIDAL  
URIBE  
FECHA: JULIO 2014  
PROF. GUÍA: KATJA DECKART

## **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL PROYECTO COYOTE, VALLENAR, REGIÓN DE ATACAMA.**

Para la comprensión de cualquier tipo de yacimiento de origen hidrotermal, se hace necesario un entendimiento de las asociaciones de minerales de alteración y mineralización producto de la interacción agua-roca durante los procesos hidrotermales. En ocasiones, la identificación óptica de los minerales puede volverse compleja, incluso con microscopios potentes. Es en este sentido donde la espectrometría de reflectancia juega un rol fundamental, ya que además de contribuir a la identificación de minerales, amplía su utilidad al definir parámetros espectrales adicionales.

El proyecto Coyote, propiedad de la empresa minera Teck, está ubicado a unos 75 km de la comuna de Vallenar, en la Región de Atacama, y corresponde a un sistema de alteración hidrotermal de  $4.1 \times 1.6 \text{ km}^2$  dispuesto en dirección NO-SE. Los resultados de espectrometría ayudaron a definir asociaciones de minerales de alteración en el área de estudio (clorita - esmectita, esmectita > caolinita, caolinita > esmectita, illita - caolinita), además de diferenciar zonas de illitas y sericitas. Estos resultados son coherentes con la información geológica y geofísica disponible.

Adicionalmente, se verificó la cristalinidad de la illita como un parámetro espectral que permitió estimar el grado de ordenamiento estructural de las illitas y sericitas en el proyecto Coyote, y a su vez, validó la interpretación espectral que se hizo de las mismas. Por otro lado, el parámetro 2200 nm (posición de la longitud de onda en el rasgo de absorción de los 2200 nm), que se considera como un indicador del contenido de Al, mostró resultados consistentes con los valores obtenidos a partir del cálculo de la cristalinidad de la illita. Ambos presentan una relación inversa: a mayores valores de cristalinidad, longitudes de onda más pequeñas en el rasgo de absorción de los 2200 nm.

A partir de la cristalinidad de la illita y el parámetro 2200 nm se determinaron zonas o centros de posible interés económico dentro del sistema de tipo pórfido, las cuales se asocian a sectores de mayor temperatura. Un primer centro de interés (A), presenta las características espectrales más interesantes (mayor cristalinidad, valores del parámetro 2200 nm más bajos), se ubica en una zona de bajo magnético y está dentro del área de mayor actividad de intrusivos. En esta zona se centra la primera recomendación con interés prospectivo, sobre la que se intentaría cortar un cuerpo de pórfido mineralizado que no aflora en superficie, además de buscar una mineralización asociada a una mayor temperatura (alteración potásica). Un segundo centro de interés (B), que gracias a los parámetros espectrales se definió como de menor temperatura que (A), también reúne características geológicas especiales que llevan a recomendar sondajes en el área con el fin de buscar una relación entre el brechamiento y un pórfido mineralizado en profundidad, además de cortar el centro de alteración cuarzo - illita.

# Tabla de Contenido

Introducción .....	1
1.1. Estado del arte y motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivos generales.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Hipótesis de trabajo.....	5
1.4. Ubicación y acceso .....	6
1.5. Metodología.....	8
1.5.1. Terreno.....	8
1.5.2. Medición de espectros .....	10
1.5.3. Procesamiento de datos espectrales y caracterización mineralógica .....	12
1.5.4. Estudios adicionales .....	13
Marco Geológico .....	15
2.1. Marco geológico regional.....	15
2.2. Marco geológico local .....	19
2.2.1. Unidades.....	19
2.2.2. Alteración, mineralización y estructuras.....	26
2.2.3. Geofísica .....	29
Marco Teórico .....	35
3.1. Alteración en pórfidos cupríferos.....	35
3.2. Interacciones de la energía electromagnética con la materia .....	39
3.3. Espectrometría y mineralogía espectral identificable.....	41
3.3.1. Illitas, moscovitas y esmectitas.....	44
3.3.2. Grupo de la caolinita. ....	46
3.3.3. Sulfatos.....	47
3.3.4. Cloritas .....	48
3.4. Cristalinidad de la illita y parámetro 2200 nm.....	49
3.4.1. Cristalinidad en el grupo de las micas y esmectitas.....	49

Resultados .....	51
4.1. Minerales identificados por espectrometría.....	51
4.2. Asociaciones minerales .....	54
4.3. Cristalinidad y variación composicional en illitas y sericitas .....	56
4.3.1. Cristalinidad de las illitas.....	56
4.3.2. Parámetro 2200 nm .....	58
4.3.3. Cristalinidad vs. Parámetro 2200 nm.....	60
4.3.4. Análisis petrográfico. ....	61
Discusiones .....	62
5.1. Comparación entre el mapeo geológico y análisis espectral.....	62
5.2. Vínculo entre la geofísica y espectrometría .....	64
5.3. Definición de un vector de temperatura.....	66
Conclusiones.....	70
Recomendaciones.....	72
Bibliografía .....	77
Interpretación Espectros.....	81
Estudio Petrográfico .....	86

# Índice de Figuras

Figura 1.1: Uso en terreno del espectrómetro Terraspec .....	2
Figura 1.2: Ubicación del proyecto Coyote. En rojo se muestra el área de estudio..	7
Figura 1.3: Ubicación de las muestras para análisis espectrométrico..	9
Figura 1.4: (A) Ilustración esquemática del instrumento ASD Terraspec y sus accesorios. (B) Espectrómetro ASD TerraSpec..	10
Figura 1.5: Distribución de las muestras para análisis petrográfico..	14
Figura 2.1: Depósitos de la franja Paleoceno – Eoceno inferior del norte de Chile y sur de Perú. Modificado de Sillitoe y Perelló (2005) .....	15
Figura 2.2: Geología regional del proyecto Coyote y sus alrededores, escala 1:150.000. Rectángulo en rojo encierra la zona de estudio. Adaptado de Moscoso et al. (2010).....	17
Figura 2.3: Leyenda geología regional del proyecto Coyote (Figura 2.2). Adaptado de Moscoso et al. (2010) .....	18
Figura 2.4: Mapa geológico-litológico de afloramientos. ....	24
Figura 2.5: (A) Brecha ígnea con fragmentos de DB y matriz de GRD. (B) GRD con cúmulos de turmalina-cuarzo. ....	25
Figura 2.6: (A) Contacto irregular en pórfidos PFQg y PFQ. (B) Brecha hidrotermal matriz y cemento soportante, clastos redondeados.....	25
Figura 2.7: Mapa de alteración hidrotermal en el proyecto Coyote.....	28
Figura 2.8: Mapa regional RTP (reducción al polo) en área del proyecto Coyote. ...	30
Figura 2.9: Mapa TMI, Intensidad Magnética total, luego de la remoción del campo geomagnético de referencia (IGRF) .....	31
Figura 2.10: Mapa RTP, Reducción al Polo .....	32
Figura 2.11: Mapa SA, Señal Analítica .....	33
Figura 3.1: Esquema de la zonificación de alteración hidrotermal, mineralización y régimen estructural del modelo porfido cuprífero según Lowell y Guilbert (1970) ..	35
Figura 3.2: Patrón de alteración – mineralización en depósitos tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).....	38
Figura 3.3: Procesos de interacción entre la energía electromagnética y la materia (Pérez y Muñoz, 2002).....	39
Figura 3.4: Espectro electromagnético, muestra las regiones de interés en el contexto de la espectroscopía infrarroja/visible. Región visible (390 a 750 nm), infrarroja cercana (NIR; 750 a 1300 nm) e infrarroja de onda corta (SWIR; 1300 a 2500 nm) (Kerr et al., 2011).....	40

Figura 3.5: Principales zonas de absorción en SWIR, y los enlaces iónicos que representan (Hermann et al., 2001).....	42
Figura 3.6: Principales rasgos de absorción que pueden observarse en un espectro. La forma y profundidad de cada uno de ellos está en función de las características químicas de la molécula del mineral analizado (Páez, 2008).. ..	43
Figura 3.7: Espectro de reflectancia típico de una caolinita muestra la envolvente o perímetro exterior (Thompson, 1999).....	44
Figura 3.8: Espectros típicos de montmorillonita, illita, moscovita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN .....	45
Figura 3.9: Espectros típicos de halloysita, caolinita, dickita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN .....	46
Figura 3.10: Espectros típicos de alunita, jarosita y yeso. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.....	47
Figura 3.11: Espectro típico de clorita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.....	48
Figura 4.1: Minerales identificados por espectrometría de reflectancia.....	53
Figura 4.2: Asociaciones minerales definidas a partir de interpretación espectral. .	55
Figura 4.3: Valores de la cristalinidad de la illita en el área de estudio.....	57
Figura 4.4: Valores del Parámetro 2200 nm en en proyecto Coyote .....	59
Figura 4.5: Gráfico que relaciona la Cristalinidad de la Illita y el Parámetro 2200 nm .....	61
Figura 5.1: Comparación entre mapeo de alteración hidrotermal y asociaciones minerales definidas por espectrometría.....	63
Figura 5.2: Minerales identificados por espectrometría sobre mapa de anomalía magnética en el proyecto Coyote.....	65
Figura 5.3: Valores del Parámetro 2220 nm sobre mapa de anomalía magnética en el proyecto Coyote.....	66
Figura 5.4: Centros de interés en el proyecto Coyote.....	68
Figura 5.5: Centros de interés en el modelo de alteración en depósitos tipo pórfido cuprífero (Sillitoe,2010).....	69
Figura 7.1: Sondajes propuestos en el proyecto Coyote.....	74
Figura 7.2: Sección geológica A - B mostrando litología y sondajes propuestos.....	75
Figura 7.3: Sección geológica A- B mostrando alteración hidrotermal y sondajes propuestos.....	76

# Índice de Tablas

Tabla 1.1: Especificaciones espectrómetro ASD TerraSpec.....11

Tabla 3.1: Descripción de la asociación mineral, condiciones de pH, temperatura y régimen estructural del modelo pórvido cuprífero según Lowell y Gilbert (1970).....36

Tabla 4.1: Minerales y número de muestras en las que fueron identificados. ....51

Tabla 7.1: Detalle de los sondajes propuestos para el proyecto Coyote. ....73

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Estado del arte y motivación

La gran mayoría de los depósitos minerales metálicos están de una u otra forma ligados a procesos hidrotermales. La composición, fuente y características termodinámicas de un fluido hidrotermal pueden variar y dependen de las características de su fuente, de la distancia de transporte (además de su modificación durante este), y de las propiedades de la roca huésped.

Las asociaciones de minerales de alteración y de mena, representan la evidencia de los efectos que produce el hidrotermalismo. Dentro de parámetros termodinámicos restringidos, se pueden interpretar las condiciones de un fluido hidrotermal en el pasado. Para una interpretación de este tipo es necesaria una clara identificación de asociaciones de minerales de alteración y mena, y la secuencia paragenética entre ellas. La evolución termodinámica de un fluido hidrotermal influye directamente sobre la capacidad de transporte/precipitación de metales, por ende, juega un rol fundamental en la formación de un yacimiento.

Para una comprensión básica de cualquier tipo de yacimiento de origen hidrotermal, se hace necesario un entendimiento de los procesos de hidrotermalismo, tanto en términos de condiciones termodinámicas asociadas, como en términos de asociaciones de minerales de alteración y mineralización producto de una interacción agua-roca (Townley, 2006).

En ocasiones, la identificación óptica de los minerales puede volverse compleja, incluso con microscopios potentes, y muchos minerales de alteración simplemente carecen de propiedades ópticas diagnósticas. El estudio de la alteración hidrotermal está lleno de interpretaciones subjetivas, minerales mal identificados y relaciones paragenéticas incomprendidas.

Técnicas como la geoquímica de roca total, la difracción de rayos X, ablación láser acoplada a la espectrometría, y la emisión de rayos X inducida por partículas, proporcionan valiosa información sobre los minerales, que se pueden complementar con los datos petrográficos o de campo.

Sin embargo, tales métodos requieren de mucho tiempo, trabajo, y no se pueden utilizar directamente en el campo. El método VIRS (visible/infrared reflectance spectroscopy) es capaz de asumir este papel en la exploración, y también puede proporcionar datos valiosos sobre la alteración y otros temas (Kerr et al., 2011). El instrumento utilizado en el método VIRS es el espectrómetro, que se encarga básicamente de iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda. Actualmente, es posible encontrar espectrómetros de campo (portátiles) tales como: GER-IRIS de Geophysical Environmental Research Inc, ASD-FieldSpec de Analytical Spectral Devices, PIMA y Terraspec de Integrated Spectronics. Tanto ASD, como GER utilizan una fuente de iluminación solar, mientras que los espectrómetros PIMA y Terraspec disponen de una fuente de luz interna que incide sobre la muestra, lo que les permite obtener datos de muy buena calidad estando en campo o en cualquier lugar (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Uso en terreno del espectrómetro TerraSpec.

El método VIRS se basa en los principios fundamentales de la energía de vibración molecular y la teoría de que las moléculas adoptan niveles discretos y predecibles de energía (Burns, 1993). Los espectrómetros más actuales emiten luz con longitudes de onda entre 350 y 2500 nm, abarcando la luz visible, infrarrojo cercano, e infrarrojo de onda corta (short-wave infrared, SWIR). Cuando esta luz se dirige a una superficie mineral, los

enlaces moleculares absorberán preferentemente longitudes de onda específicas de la misma frecuencia vibratoria. Los minerales apropiados para análisis VIRS muestran patrones de absorción distintivos que pueden ser utilizados para su identificación. Minerales con similares composiciones y estructuras cristalinas, como las micas blancas illita y sericita, generarán espectros similares, pero en algunos casos pueden ser distinguidos por cambios sutiles en las posiciones, profundidades, o formas de las características de absorción (Thompson, 1999).

Otros parámetros espectrales de interés (Cristalinidad de la Illita, Parámetro 2200 nm), que generalmente agregan mayor información a los resultados mineralógicos, son producto de mediciones precisas o cálculos obtenidos de mediciones de reflectancias o longitudes de onda particulares, los cuales interpretados en un contexto geológico adecuado, se convierten en ayuda para interpretar temporalidad y evolución de los eventos de alteración.

En el caso de la cristalinidad de la Illita, los cambios del ordenamiento estructural, al ser analizados usando espectrometría infrarroja, se reflejan en variaciones de forma y magnitud de algunas absorciones características. En general, valores de menor grado de cristalinidad corresponden a menores temperaturas o gradientes de temperaturas de formación, indicando cada vez procesos de alteración más tardíos o superficiales. Por el contrario, altos índices de cristalinidad corresponderán a mayores temperaturas de formación, más asociados a los procesos tempranos de alteración hidrotermal o mayor profundidad relativa (Kerr et al., 2011).

El parámetro espectral 2200 nm permite estimar la composición aproximada de la illita y moscovita respecto a su contenido de aluminio presente en las capas octaédricas. Las variaciones de la posición de longitud de onda 2200 nm son las que indicarán variaciones en el contenido de aluminio.

Los parámetros descritos anteriormente entregan nueva información con la cual intervenir en los procesos de modelamiento e interpretación geológica. Si estos análisis y cálculos de parámetros espectrales son realizados de manera sistemática, pueden contribuir significativamente a la comprensión del sistema mineralizado y su manejo desde el punto de vista de la operación minera.

Una herramienta fundamental usada en yacimientos tipo pórfidos de cobre es mapear en superficie los tipos de alteración hidrotermal con el objetivo de identificar un vector espacial que indique la ubicación del depósito de mena. En este informe, el estudio se realiza en el proyecto Coyote, propiedad de la empresa minera Teck, ubicado a unos 75 km de la comuna de Vallenar, en la Región de Atacama (Figura 1.2). El proyecto Coyote es un sistema de alteración hidrotermal de 4.1 x 1.6 km<sup>2</sup> dispuesto en dirección NO – SE. Se

asocia a un modelo tipo pórfido cuprífero y a brechas de turmalina, que está fuertemente lixiviado y alterado. Representa la continuidad de la franja de los pórfidos Paleoceno-Eoceno en la zona precordillerana de la III Región.

En general, Coyote era un área de alteración que no contaba con trabajos de exploración previa. BHP Billiton, quien controlaba originalmente la propiedad minera, realizó los primeros muestreos geoquímicos. Posteriormente, Minera Nittetsu tomó el control de la propiedad y en base a estudios de imágenes satelitales y análisis espectrales, realizó algunos trabajos básicos de exploración como reconocimiento, muestreos geoquímicos orientativos y una datación radiométrica que entregó una edad de  $50.4 \pm 2$  Ma (Eoceno inferior) para un pórfido del sistema. Luego, Aur Resources entra en acuerdo con los dueños de la propiedad (Minera Nittetsu Chile) y desarrolla trabajos desde Noviembre 2004 hasta fines de 2007. Los trabajos realizados por Aur consistieron en mapeos geológicos, de alteración, geoquímica de rocas y una geofísica consistente en perfiles de IP-Resistividad, magnetometría y radiometría. Adicionalmente, se realizó un estudio de sulfuros relictos para chequear la mineralogía primaria.

Al respecto de esta primera etapa de exploración, se debe mencionar que la geología levantada fue bastante compleja y difícil de entender, y la alteración estuvo muy enfocada en reconocer las zonas lixiviadas para definir un blanco de enriquecimiento de cobre. Lo resaltante son los resultados del estudio de sulfuros relictos, que en 4 muestras (de un total de 21) define la presencia de calcosina indicando proceso de enriquecimiento, además de la presencia de pirita, calcopirita y bornita como sulfuros primarios (Rodríguez y Alvarado, 2013).

El interés por llevar a cabo un análisis y caracterización espectral en el área, surge de la necesidad de reducir la ambigüedad que significa interpretar sólo con mapeo de superficie, además de obtener información que ayude a comprender la evolución y temporalidad de los eventos de alteración hidrotermal. Aún donde el mapeo de campo de la alteración de minerales es efectivo, la espectrometría de reflectancia permite su reconocimiento mineralógico y las variaciones sutiles de sus composiciones, que pueden ser importantes para ubicar cuerpos mineralizados. El espectrómetro portátil se transforma en una herramienta muy útil, permitiendo la adquisición de datos de una manera simple y rápida, aumentando la eficiencia de la exploración minera.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos generales**

Validar y caracterizar los distintos tipos de alteración hidrotermal en el proyecto Coyote, usando la espectrometría infrarroja, para luego establecer un vector de alteración.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- i. Delinear la distribución de las asociaciones minerales.
- ii. Identificar la cristalinidad y las variaciones composicionales en las micas blancas mediante espectrometría infrarroja.
- iii. Ilustrar, mediante diagramas y mapas, las variaciones de temperatura asociadas a las alteraciones hidrotermales.

## **1.3. Hipótesis de trabajo**

La zonificación mineralógica de alteración de las rocas responde en forma consistente, dentro del número de muestras representativas de las distintas unidades, a la composición litológica de las mismas. La interpretación de los resultados entregados por los parámetros espectrales, es consecuente y complementaria a la información geológica disponible hasta ahora en el área de estudio.

## **1.4. Ubicación y acceso**

Coyote está ubicado a 70 km de la comuna de Vallenar, Provincia de Huasco, Región de Atacama, a una altura que varía entre los 2.300 y 2.900 metros sobre el nivel del mar.

Desde Vallenar, el acceso más expedito y mejor mantenido es por la ruta C-495 que conduce hacia las localidades interiores del Valle del Huasco. En el kilómetro 1.7 se debe tomar el camino de Los Morteros (C-479) hasta la variante que conduce al proyecto Relincho (kilómetro 25.6). Desde allí, se debe continuar hasta la Quebrada Algarrobal y pasar por la hacienda La Jarilla. Luego, el acceso es por el camino que sube la cuesta y conduce a la antigua mina La Jarilla. Desde la zona del portezuelo, se desvía hacia el este por el nuevo camino al sector Llano del Cobre y posteriormente al área del proyecto Coyote (Figura 1.2).

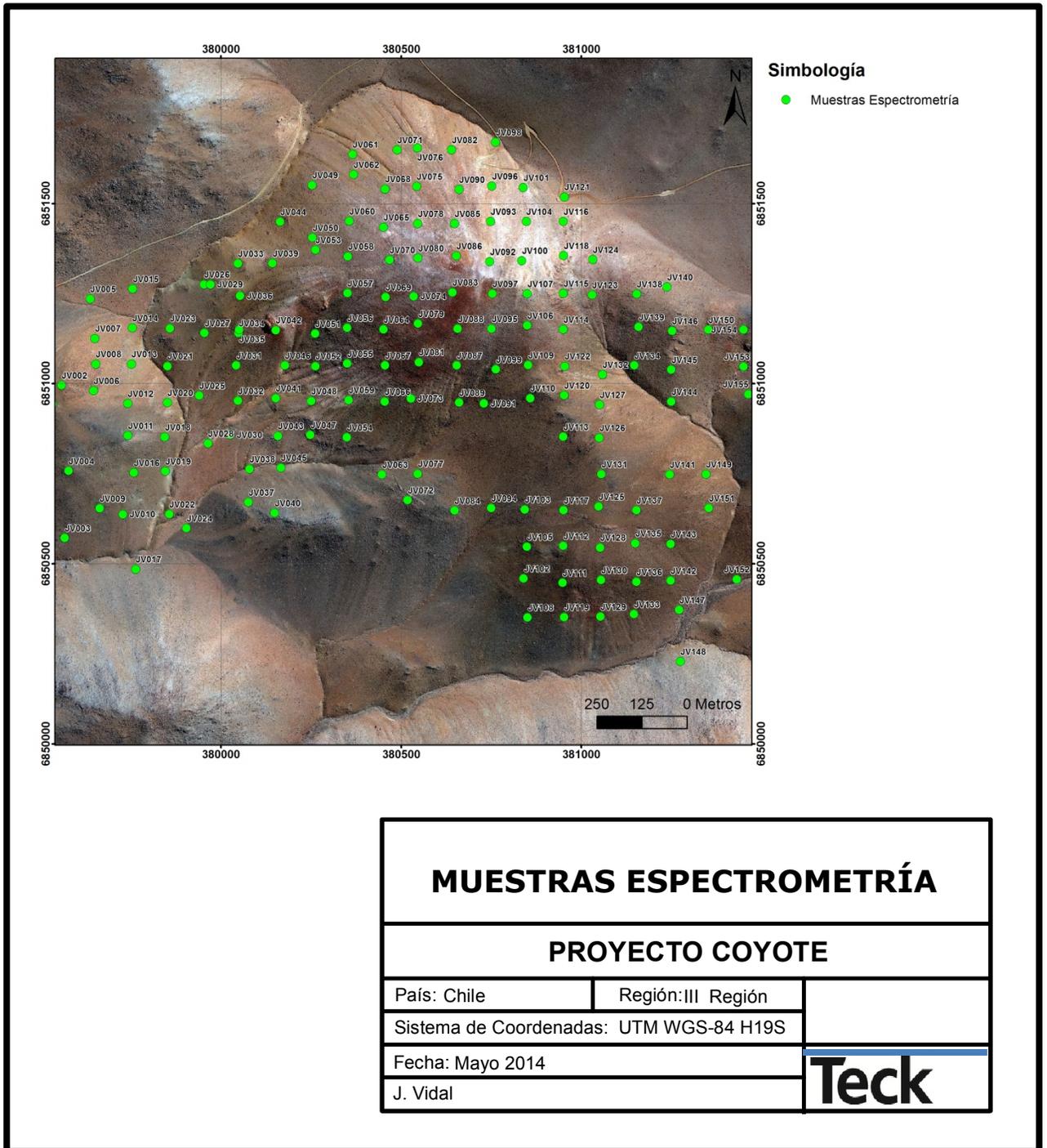


**Figura 1.2:** Ubicación del proyecto Coyote. En rojo se muestra el área de estudio.

## **1.5. Metodología**

### **1.5.1. Terreno**

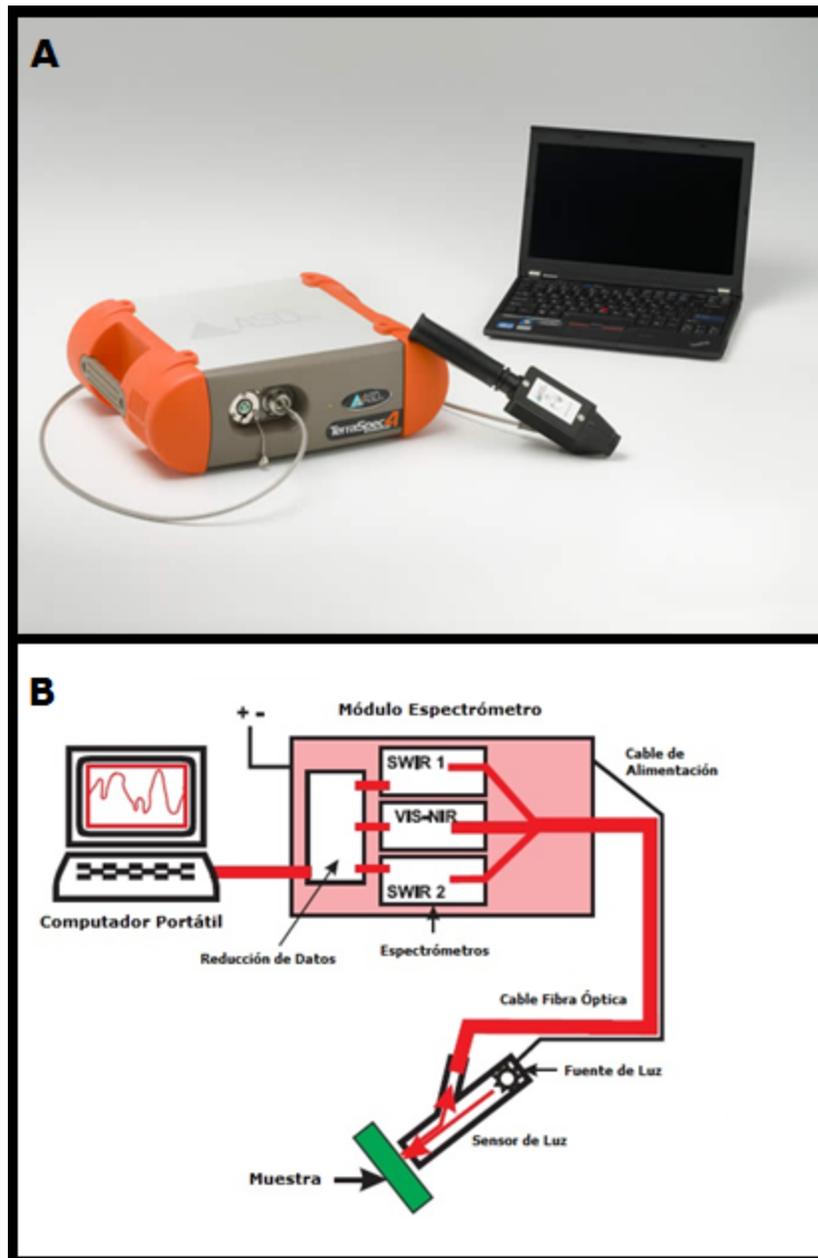
Se realizó un muestreo sistemático de rocas durante dos campañas de terreno. Un total de 154 muestras fueron recolectadas en puntos definidos a partir de una malla inicial de muestreo de 100 x 100 m en el área de interés. Las muestras se obtuvieron directamente de los afloramientos más cercanos a cada punto de la malla. Por problemas de logística no se pudo abarcar la malla completa previamente definida. La ubicación de las muestras se aprecia en la Figura 1.3.



**Figura 1.3:** Ubicación de las muestras para análisis espectrométrico.

### 1.5.2. Medición de espectros

La medición espectral de las muestras se realizó en dependencias de Teck Santiago, utilizando el espectrómetro ASD TerraSpec (Figura 1.4 A), cuyas especificaciones se pueden ver en la Tabla 1.1.



**Figura 1.4:** (A) Espectrómetro ASD TerraSpec. (B) Ilustración esquemática del instrumento ASD Terraspec y sus accesorios.

**Tabla 1.1:** Especificaciones espectrómetro ASD TerraSpec.

<b>Rango de Longitud de Onda</b>	350-2500 nm
<b>Resolución</b>	3 nm @ 700 nm 10 nm @ 1400/2100 nm
<b>Tiempo de Escaneo</b>	100 milisegundos
<b>Ruido Fotométrico</b>	VNIR: 48 $\mu$ AU @ 700 nm
	SWIR 1: 48 $\mu$ AU @ 1400 nm
	SWIR 2: 110 $\mu$ AU @ 2100 nm
<b>Exactitud</b>	0.5 nm

Para la adquisición de datos se preparan 3 componentes esenciales: el módulo del espectrómetro, el computador para el registro de los datos, y el sensor de luz (Figura 1.4 B). La fuente de luz está diseñada para emitir equitativamente en toda la región espectral de interés, y el área analizada por el sensor es de aproximadamente 2 cm de diámetro. El cable de fibra óptica de 1 – 2 m (el componente más frágil del sistema) trae la luz reflejada al módulo del espectrómetro, donde 3 espectrómetros internos utilizan redes de difracción y grandes matrices fotosensibles para decodificar la señal en la región visible/NIR (near infrared) y las dos regiones SWIR (short – wave infrared), respectivamente. Antes de su primer uso, y a intervalos regulares durante su funcionamiento, el instrumento es calibrado utilizando un disco de cerámica especializado que refleja de manera uniforme en todo el espectro.

Luego de elegida la superficie a registrar, la muestra y el sensor se mantienen inmóviles hasta que se termine la medición. Para cada muestra se tomaron al menos dos mediciones.

Con el propósito de obtener una correcta interpretación de los datos espectrales, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos (Páez, 2008):

- **Humedad:** El agua meteórica posee características espectrales bien definidas que pueden enmascarar los rasgos diagnósticos de algunos

minerales; generando una mala lectura y por lo tanto una interpretación imprecisa de los minerales presentes en la muestra.

- Superficie: Evitar muestras de superficie irregular, como rocas muy porosas, fracturadas o de grano grueso. La superficie de la muestra a analizar debe ser lo más regular o plana posible, de lo contrario se obtiene un espectro deformado (a este fenómeno se le conoce como ruido).
- Color: En minerales de alta reflexión como los sulfuros, las características del espectro se ven afectadas por ruido. Por otro lado, aquellos minerales con un alto nivel de absorción, de color oscuro, por ejemplo turmalina, y también aquellos minerales traslúcidos como calcita pura, yeso y otros, generan pobres rasgos de absorción.
- Otros: Contaminantes externos como grasa, aceites, tintas, materia orgánica, etc., provocan alteraciones importantes en los rasgos espectrales de la muestra.

### **1.5.3. Procesamiento de datos espectrales y caracterización mineralógica**

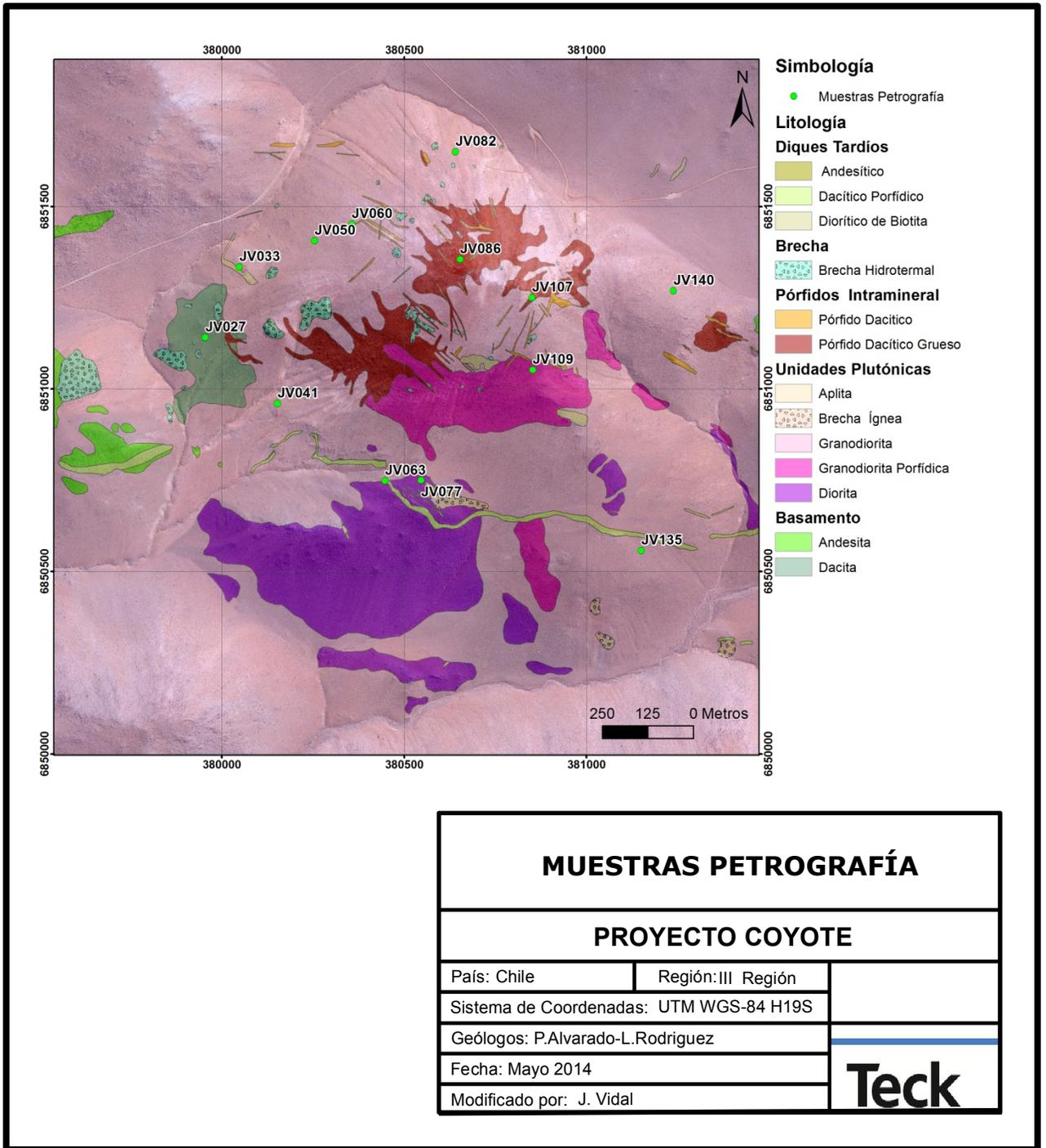
En la interpretación de los espectros y el cálculo de parámetros asociados se usó identificación manual y automatizada con el apoyo de distintos programas computacionales: ViewSpecPro, Specmin, y TheSpectralGeologist.

La identificación de los minerales se basa en la observación y medición de los diferentes rasgos espectrales. Estos rasgos son comparados ante un registro de imágenes espectrales de referencia para cada mineral o grupo mineral que han sido previamente compiladas. El criterio principal para discriminar minerales es la magnitud y posición espectral de cada absorción. Las formas o envolventes de cada espectro son también características y se clasifican de acuerdo a sus patrones generales.

Es posible encontrar asociaciones de minerales en distintas proporciones, las cuales producen por separado sus propios espectros característicos. Esto significa que los espectros registrados por el instrumento corresponden a la superposición geométrica de cada uno de los minerales individuales. Por tal motivo, la inspección visual fue el principal criterio aplicado antes de cualquier proceso basado en tablas o softwares.

#### **1.5.4. Estudios adicionales**

Con el fin de caracterizar la geología del área de estudio, se enviaron 13 muestras de roca (ya analizadas por espectrometría) a análisis petrográfico. En el Anexo B se encuentra el estudio realizado por Tidy (2013) para las muestras mencionadas, y en la Figura 1.5 se puede ver la ubicación de las mismas.



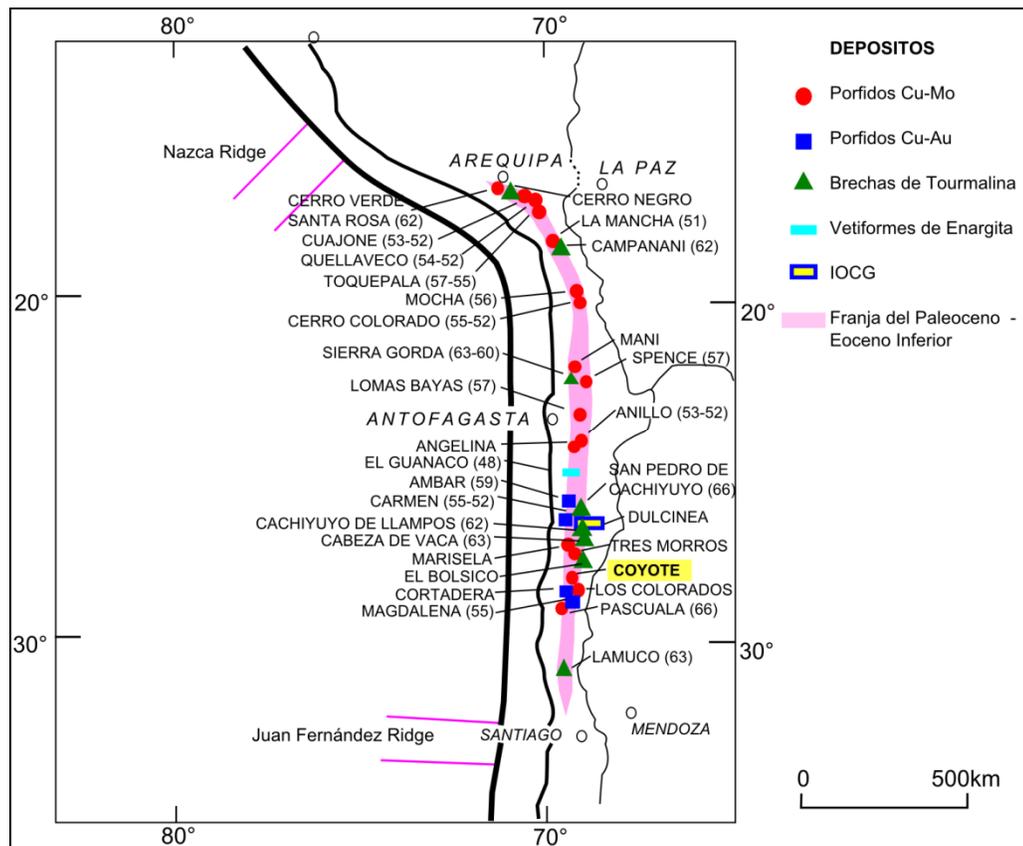
**Figura 1.5:** Distribución de las muestras para análisis petrográfico.

# Capítulo 2

## Marco Geológico

### 2.1. Marco geológico regional

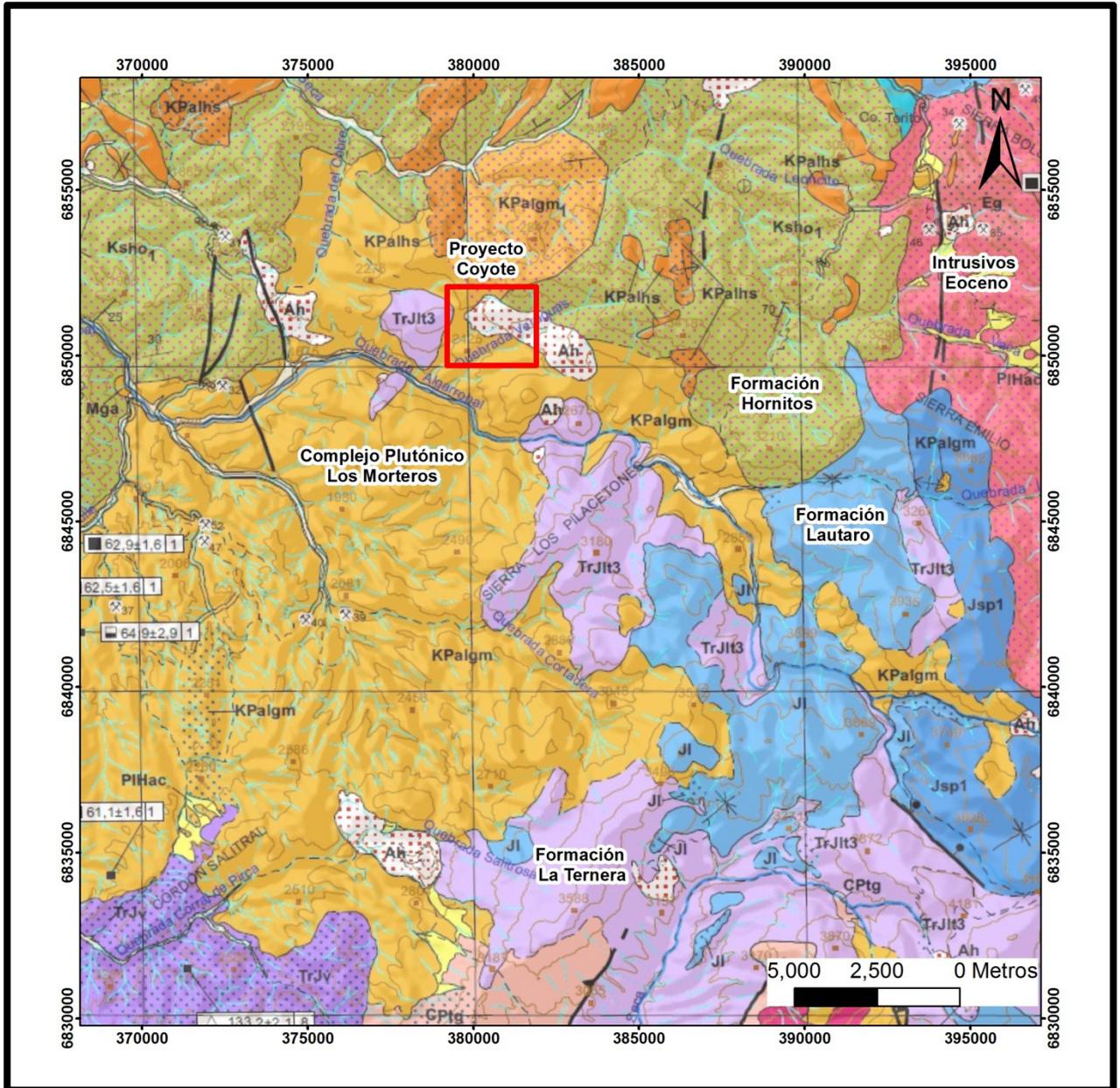
El sistema hidrotermal Coyote se enmarca dentro de la franja de los pórfidos Paleoceno – Eoceno en la zona precordillerana de la III Región de Atacama (Figura 2.1). Esta franja se extiende por aproximadamente 1500 km desde el sur de Perú hasta Chile central (17° a 29°30'S), tiene un ancho de 30 a 50 km y se localiza a lo largo de Chile inmediatamente al este del valle central. La mayoría de los depósitos de la franja Paleoceno - Eoceno inferior están alojados en rocas volcánicas, calcoalcalinas del Cretácico superior - Paleoceno, intruídas por batolitos que dan paso al desarrollo de stocks porfídicos (Sillitoe y Perelló, 2005).



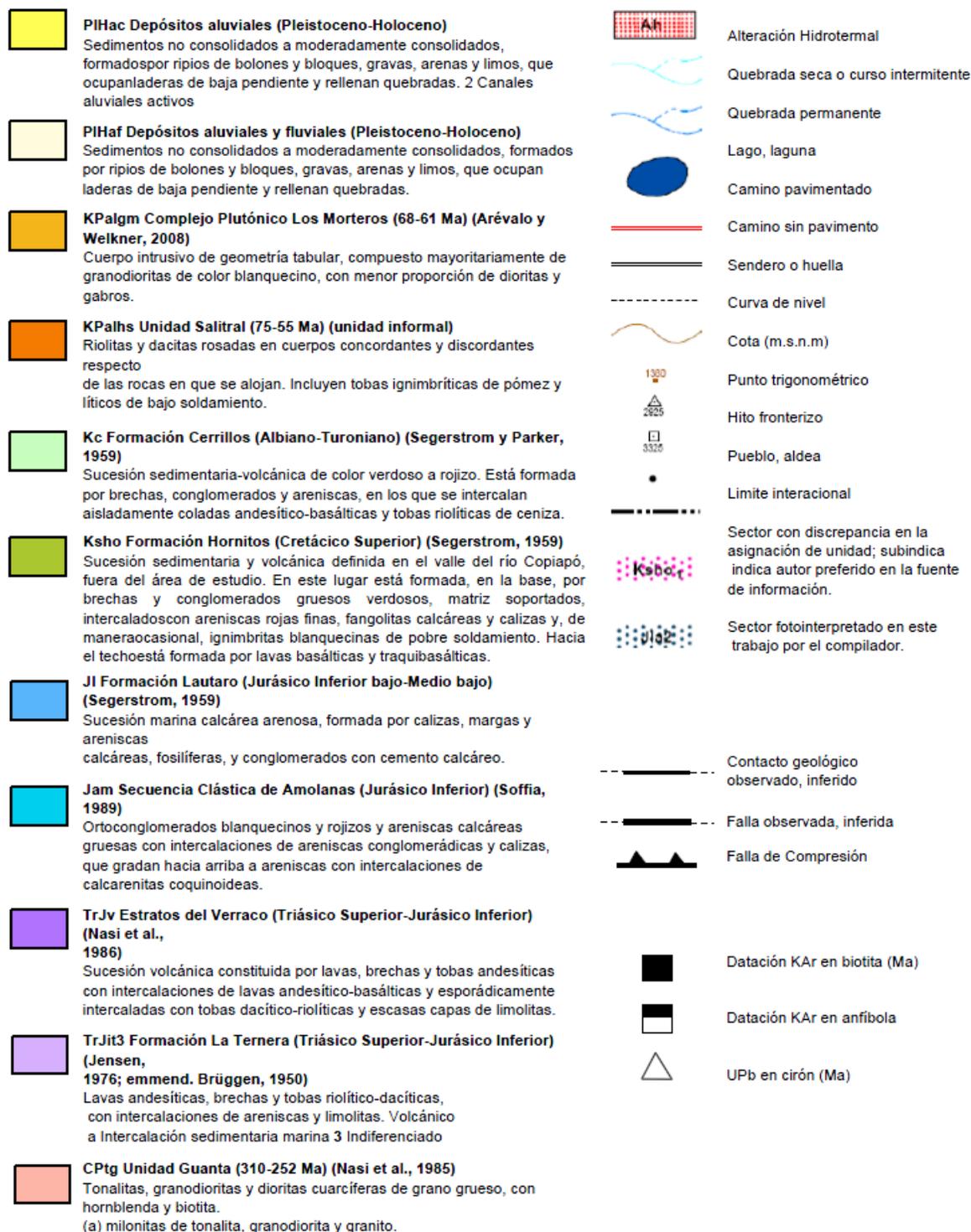
**Figura 2.1:** Depósitos de la franja Paleoceno-Eoceno inferior del norte de Chile y sur de Perú. Modificado de Sillitoe y Perelló (2005).

Para el área donde se sitúa Coyote, y desde un punto de vista regional, el ambiente volcánico corresponde a la secuencia volcanosedimentaria Formación Hornitos. El Complejo Plutónico Los Morteros es el intrusivo que da lugar a una serie de eventos hidrotermales originando cuerpos porfídicos con mineralización de Cu - Mo (Figura 2.2, Figura 2.3) (Moscoso et al., 2010).

La Formación Hornitos está constituida en la base por brechas y conglomerados gruesos verdosos, matriz soportados, con intercalaciones de areniscas rojas finas, fangolitas calcáreas y calizas. Hacia el techo ocurren lavas basálticas y traquibasálticas. El Complejo Plutónico Los Morteros corresponde a un cuerpo intrusivo de geometría tabular, formado por un apilamiento de subunidades plutónicas tabulares que, de abajo hacia arriba, corresponden a monzodioritas, granodioritas, dioritas y gabros bandeados y aplitas (Moscoso et al., 2010).



**Figura 2.2:** Geología regional del proyecto Coyote y sus alrededores, escala 1:150.000. Rectángulo en rojo encierra la zona de estudio. Tomado y adaptado de Moscoso et al. (2010).



**Figura 2.3:** Leyenda geología regional del proyecto Coyote (Figura 2.2). Adaptado de Moscoso et al. (2010).

## **2.2. Marco geológico local**

### **2.2.1. Unidades**

Se describen las unidades presentes en el área de estudio (Figura 2.4), desde la más antigua a la más reciente, comenzando con un basamento de origen volcánico, seguido por una unidad plutónica principal, unidades hipabisales intraminerales y brechas hidrotermales, finalizando con cuerpos hipabisales tardíos y cobertura cuaternaria. Las descripciones fueron extraídas del informe interno elaborado en Teck por Rodríguez y Alvarado (2013).

#### **2.2.1.1. Basamento (Cretácico superior)**

Unidad volcánica compuesta por andesitas y dacitas (metadacitas) emplazada en los alrededores del área, principalmente en altos topográficos y fondos de quebradas. Se encuentra en contacto con un cuerpo intrusivo principal denominado Los Morteros.

Los cuerpos andesíticos varían de afaníticos a levemente porfídicos. Presentan fenocristales de plagioclasa y biotita, y una masa fundamental afanítica de color verde grisáceo. Exhiben alteración escasa, con clorita en alteración de biotitas y epidota en fracturas.

Las dacitas (metadacitas) tienen textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y biotita, y una masa fundamental de feldespato potásico con cantidades menores de plagioclasas y biotita. Presenta leve alteración de sericita en las plagioclasas.

Esta unidad se puede correlacionar con la Formación Hornitos de edad Cretácico superior (Moscoso et al., 2010).

### 2.2.1.2. Unidades plutónicas (Paleocoeno)

Se definen tres unidades intrusivas que representan la roca caja. Un cuerpo diorítico (DB) ubicado en el sector sur del área, es intruído por un intrusivo principal granodiorítico, que se divide en dos sub cuerpos: Granodiorita (GRD) y Granodiorita Porfídica (GRDp), entre los que no se tienen claras sus relaciones de contacto. También se identifican cuerpos aplíticos menores que cortan estas unidades (Figura 2.4).

**Diorita (DB):** Cuerpo intrusivo de color gris oscuro que presenta una textura equigranular a levemente porfídica. Está compuesta por plagioclasas, biotitas, anfíboles, y cantidades menores de cuarzo. Presenta una alteración leve, principalmente de biotita en pseudomorfos de anfíbol, además de leve clorita en biotitas. En el contacto con la Granodiorita (GRD) se forma una brecha intrusiva, que posee fragmentos subredondeados de DB con una matriz de GRD, que evidencia la temporalidad relativa de estas dos unidades (Figura 2.5 A).

**Granodiorita Porfídica (GRDp):** Unidad que presenta una textura equigranular a levemente porfídica dada por el mayor tamaño de las plagioclasas en comparación con los otros minerales. Está compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y biotita. Se distribuye en el sector central y este del área de estudio, en contactos poco claros con la GRD. En sectores en contacto directo sólo se observa un cambio de textura, sin presencia de una zona brechosa. En otras áreas se aprecia cortada por la GRD. También existen xenolitos subredondeados de DB.

Presenta alteración débil a moderada, principalmente de sericita alterando a feldespatos y clorita leve alterando a biotita. También es posible observar agregados de turmalina con cuarzo.

**Granodiorita (GRD):** Unidad de mayor desarrollo en el sector. Se caracteriza por variaciones texturales en las cercanías de los contactos con otras unidades, donde además aumenta la alteración y la presencia de vetillas. Compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y biotita. En el sector este del área, se observa con abundantes cúmulos de turmalina-cuarzo de hasta 5 cm (Figura 2.5 B), los cuales tienen inclusiones de minerales opacos, y se atribuyen a un origen hidrotermal, posiblemente

tardío-magmático. Presenta vetillas de cuarzo con limonitas, algunas con halo de sericita; vetillas de turmalina y vetillas con alunita-limonitas. Exhibe alteración que varía de moderada a fuerte; en el sector central hay presencia de arcillas y sericita, y en el sector sureste se aprecia un aumento del cuarzo de alteración en coexistencia con illita.

Todas las unidades intrusivas descritas (DB, GRD y GRDp) se pueden correlacionar con el Complejo Plutónico Los Morteros de edad Cretácico superior-Paleoceno (68-61Ma) (Moscoso et al., 2010).

**Diques Aplíticos:** Corresponden a diques locales que cortan a las unidades intrusivas descritas anteriormente. Tienen textura fina tipo "azucarada", y están compuestos principalmente de cuarzo, con menores cantidades de feldespato y biotita. En sectores asociados a la alteración del sistema, estos presentan vetilleo y alteración con presencia de óxidos de Fe.

### **2.2.1.3. Intrusivos Intramineral (Paleoceno)**

En el área se identifican dos intrusivos intramineral, de composición similar, pero cuya diferencia está marcada por la textura que poseen (Figura 2.4).

**Pórfido Dacítico Grueso (PFQg):** Cuerpo de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo subredondeado y biotitas alteradas completamente. Posee una masa fundamental afanítica microgranular de cuarzo-feldespato. Se emplaza en el sector central del área, en cotas topográficas altas, cortando a la unidad GRD. Presenta fuerte alteración a sericita y arcillas. Vetillas principalmente de cuarzo-limonitas, ocasionalmente con halo de sericita; además se observa fuerte lixiviación con abundante hematita, goethita y jarosita.

**Pórfido Dacítico (PFQ):** Cuerpo de textura porfídica, pero más fina en comparación con el PFQg. Se desarrolla en forma de diques en el sector central del área, principalmente en una dirección NW, con menores cuerpos hacia el NE. La composición es similar al Pórfido Dacítico Grueso (PFQg).

El contacto entre las dos unidades intrusivas intramineral descritas es algo difusa e irregular (Figura 2.6 A). Aparentemente, diques de PFQ cortan al cuerpo PFQg.

La edad de esta unidad es de  $50.4 \pm 2$  Ma, Eoceno inferior; determinada por datación realizada por Nittetsu (Rodríguez y Alvarado, 2013).

#### **2.2.1.4. Brecha Hidrotermal (Paleoceno)**

En el sector de estudio, se identifican cuerpos de brecha hidrotermal polimícticos. Al este del área descrita en este trabajo se desarrolla un cuerpo de Brecha de Turmalina.

**Brecha Hidrotermal (BXH):** Corresponde a una serie de conductos que se desarrollan con mayor diámetro ( $150 \times 100 \text{ m}^2$ ) en la parte oeste del sistema con una tendencia OSO-NE (Figura 2.4). Estas brechas se caracterizan por ser polimícticos con fragmentos pertenecientes a las unidades intrusivas (GRD, GRDp y PFQg), de diámetros menores a 50 cm, sub-redondeados a redondeados, evidenciando así mucho trabajo en su formación. Los de mayor diámetro son caóticos en su formación, con varios centros dentro del cuerpo de brecha que son matriz y cemento soportante (Figura 2.6 B); este último compuesto de sílice y cúmulos de jarosita-limonita-goethita. Hacia los bordes de la brecha, esta se hace fragmento-soportada, con los espacios rellenos con sílice-jarosita-limonita-goethita y drusas de cuarzo en algunos sectores.

En estos cuerpos de brecha los fragmentos se encuentran alterados, algunos presentan vetillas de cuarzo, otros se presentan con halo sericítico (vetillas D) y diseminación de limonita, que indican una mineralización previa a la formación de las brechas.

#### **2.2.1.5. Intrusivos Postmineral**

**Dique Diorítico de Biotita (DDB):** Intrusivo de textura fanerítica, equigranular, de grado medio rico en biotita; formada principalmente por minerales máficos, cuarzo, plagioclasas, biotita y moderada magnetita. Roca oscura (melanocrática), fresca, con leve y puntual cloritización de los máficos. Aflora de forma restringida y como pequeños diques cortando a la unidad GRD.

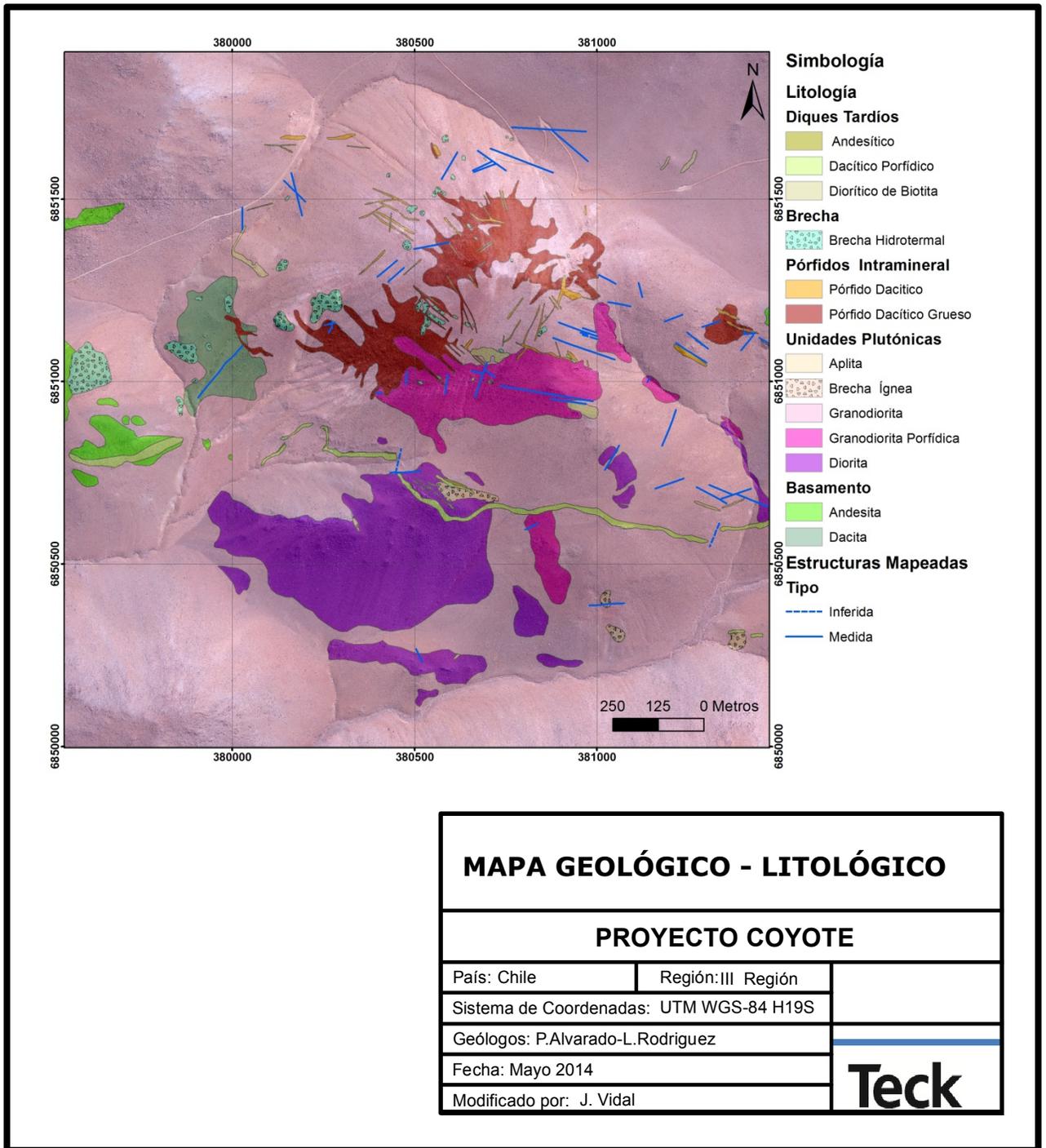
**Dique Dacítico Porfídico (DDP):** Roca de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y cuarzo; escasa biotita. Masa fundamental microgranular compuesta por cuarzo, plagioclasa y biotita en cantidades

menores. Aflora en el sector centro-sur, cortando a la unidad plutónica (DB, GRD y GRDp).

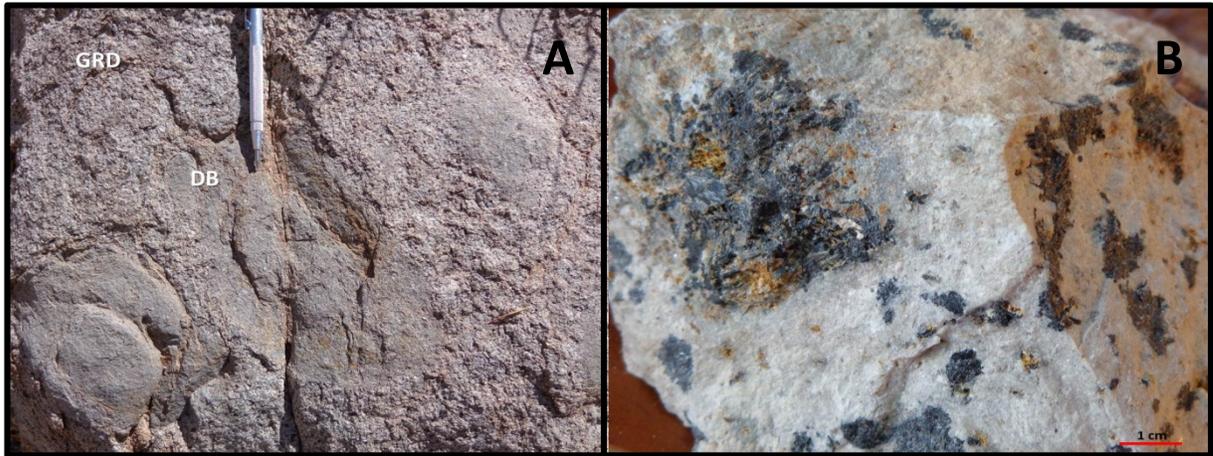
**Dique Andesítico (DDA):** Dique de escaso desarrollo, de textura porfídica fina, con fenocristales de plagioclasa y biotita. Masa fundamental afanítica. Se identifican en el sector sur, en contacto con dique DDP.

#### **2.2.1.6. Cuaternario (Pleistoceno - Holoceno)**

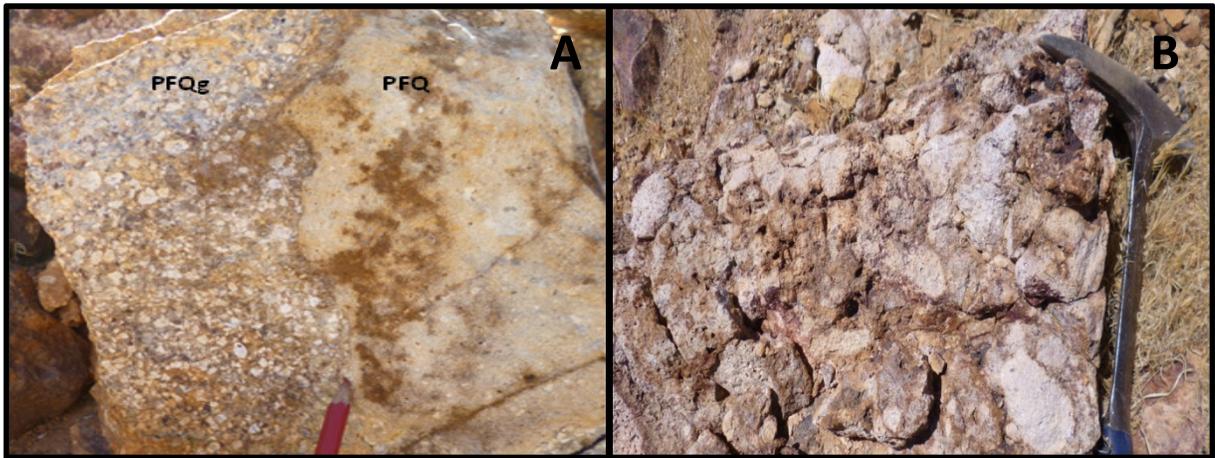
De acuerdo a la abrupta topografía de Coyote, caracterizada por fuertes taludes, existe un gran desarrollo de procesos erosivos modernos cuaternarios que han generado sedimentos no consolidados tipo coluvios. Estos cubren gran parte del área y poseen una litología variable dependiendo de las rocas erosionadas del sector. En las partes más planas existe un material erosionado o fracturado "in situ" que casi no ha sufrido transporte; este material conforma una especie de subafloramiento y es muy común en la brecha de turmalina y las unidades porfíricas.



**Figura 2.4:** Mapa geológico-litológico de afloramientos.



**Figura 2.5:** (A) Brecha ígnea con fragmentos de DB y matriz de GRD. (B) GRD con cúmulos de turmalina-cuarzo.



**Figura 2.6:** (A) Contacto irregular en pórfidos PFQg y PFQ. (B) Brecha hidrotermal matriz y cemento soportante, clastos redondeados.

## 2.2.2. Alteración, mineralización y estructuras

El sistema se caracteriza por presentar una lixiviación fuerte. La alteración y dirección preferencial del vetilleo está dispuesta con una orientación NO-SE. Además, este sistema se encuentra limitado por estructuras en esa dirección.

La alteración presenta un centro con alteración argílica moderada a fuerte, con presencia de caolinita, y menores cantidades de illita y sericita. Se desarrolla principalmente en las unidades intrusivas (PFQ y PFQg) y en los sectores aledaños en la roca caja GRD. Presenta alunita secundaria en fracturas y vetillas.

Rodeando esta alteración, se distingue un halo de alteración fílica, donde la sericita es mayor que el cuarzo (Figura 2.7); que varía en intensidad de moderada a débil. Se considera como alteración moderada los sectores donde se presenta sericita diseminada y en halos de vetillas de cuarzo tipo D. Los sectores de sericita débil se caracterizan por presentar sólo sericita diseminada. En ambas intensidades, la sericita diseminada es pervasiva, obliterando la textura original de la roca. Se desarrolla principalmente en la GRD y en menor medida en los pórfidos intramineral.

En el sector SE del área, se aprecia un aumento de cuarzo en las rocas, con menor cantidad de illita, lo que se diferencia de la alteración fílica denominándola cuarzo-illita (Figura 2.7).

Hacia los extremos del sector de estudio se aprecia alteración clorítica y en menor grado propilítica, caracterizadas por clorita-magnetita y por clorita-epidota-magnetita respectivamente. En ambos casos se presenta de manera débil, donde la clorita altera a los minerales máficos (biotita); la epidota se presenta principalmente en fracturas. Esta alteración se distingue en las rocas del basamento (andesitas y dacitas) como también en las unidades plutónicas (DB, GRD y GRDp).

En las unidades tardías, se aprecia una leve argilización, producto de meteorización.

Además de las alteraciones descritas, se observa turmalina, que varía de débil a fuerte, presentándose como agregados, junto con cuarzo, y ocasionalmente en vetillas. Se distribuye principalmente en sector este del área, observándose principalmente en la GRD.

En estudio de sulfuros relictos (Tidy, 2013) se aprecian pequeños cristales de piritita encapsulados en ganga, diseminada, y en agregados de turmalina. Además, se observa una mayor cantidad de goethita con respecto a las otras limonitas.

El vetilleo principal es de cuarzo-limonitas. La dirección principal de este vetilleo es NO-SE; con una dirección secundaria NE-SO. En menor cantidad, y alrededor de los pórfidos, en la unidad GRD, se desarrollan vetillas de cuarzo-limonitas con halo de sericita, las cuales tienen la misma dirección principal que las vetillas de cuarzo; y NS como dirección secundaria.

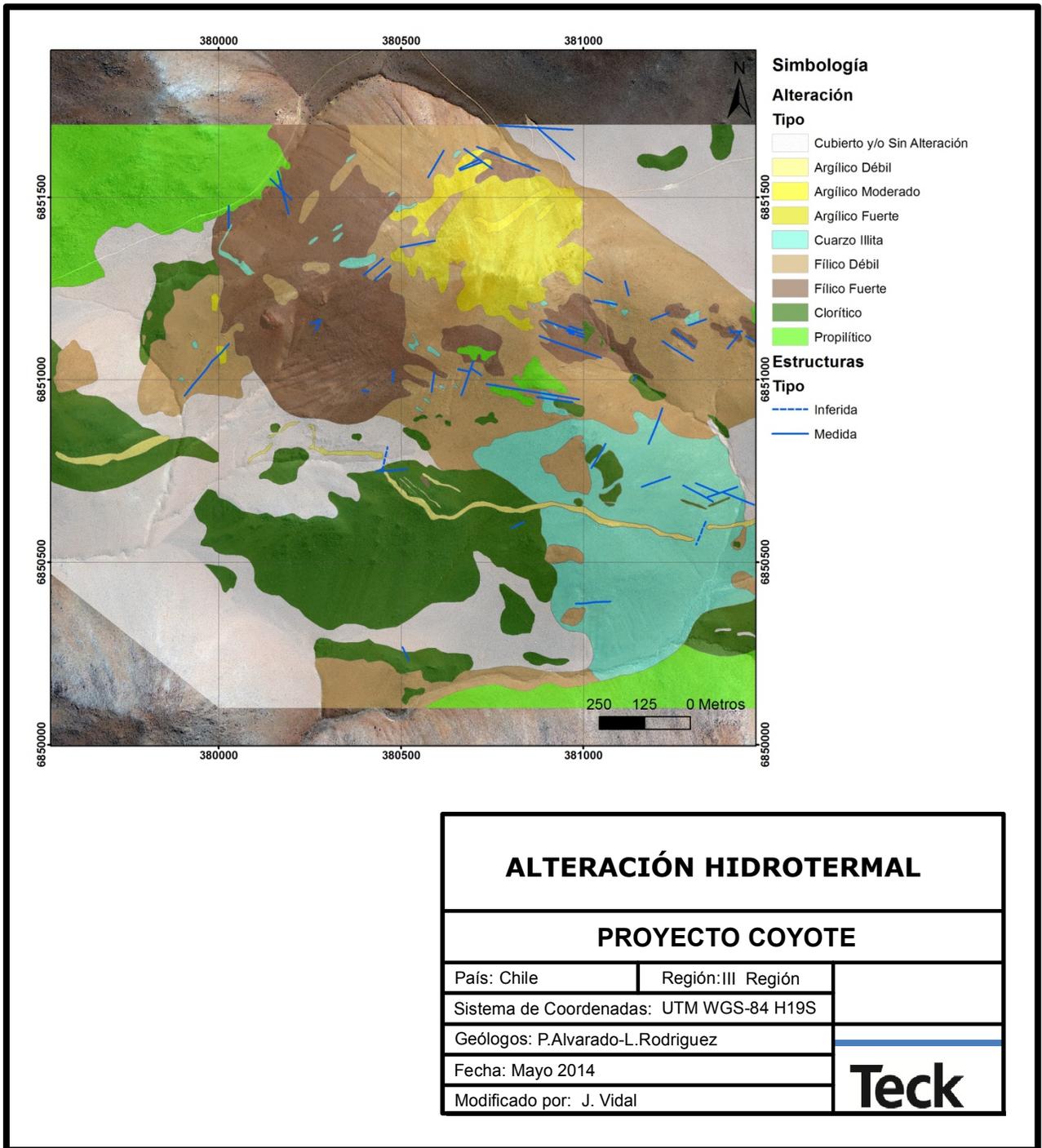
Estos dos tipos de vetillas se desarrollan en el centro del sistema y aledañas a los cuerpos porfídicos. Hacia el SE del sistema, se desarrolla vetilleo de turmalina (cuarzo) con una dirección principal NE-SO y secundaria NO-SE.

Los manteos de las vetillas de cuarzo y de cuarzo con halo sericítico son sub-verticales (80-90°) hacia el N en la dirección principal.

En la dirección secundaria, para las vetillas de cuarzo el manteo también se presenta sub-vertical (80-90°) pero hacia el SE; en cambio, en la dirección secundaria NS de las vetillas con halo sericítico, se aprecia un manteo intermedio (50-65°) hacia el oeste.

Las vetillas de turmalina presenta un manteo sub-vertical hacia el NO, la dirección secundaria posee alto manteo (70-80°) hacia el sur, además, se presenta una tercera dirección EO con manteo hacia el norte.

En menor cantidad, se desarrollan vetillas de alunita; localmente, en el basamento (Metadacita) se aprecian vetillas con biotita.

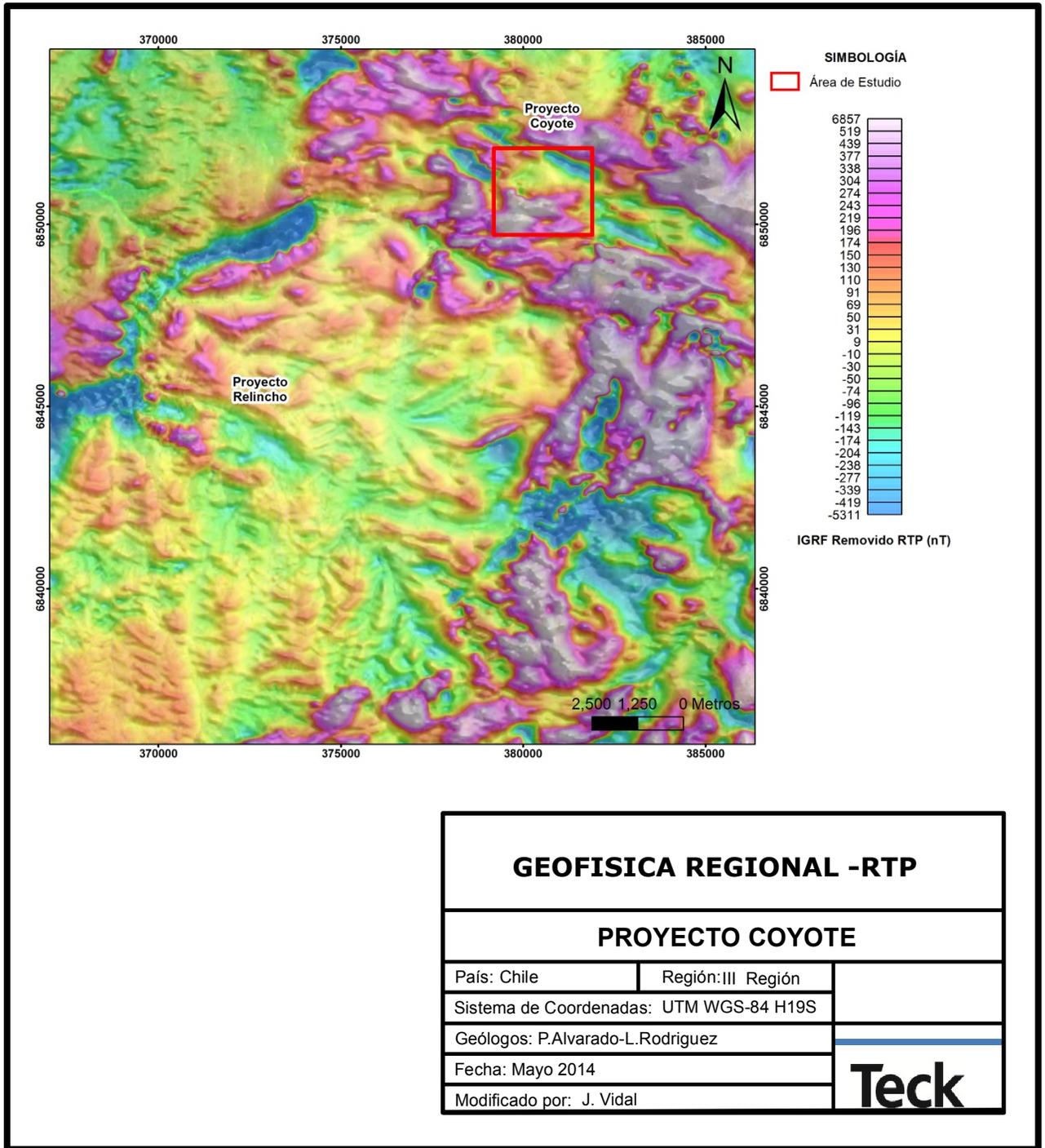


**Figura 2.7:** Mapa de alteración hidrotermal en el proyecto Coyote.

### **2.2.3. Geofísica**

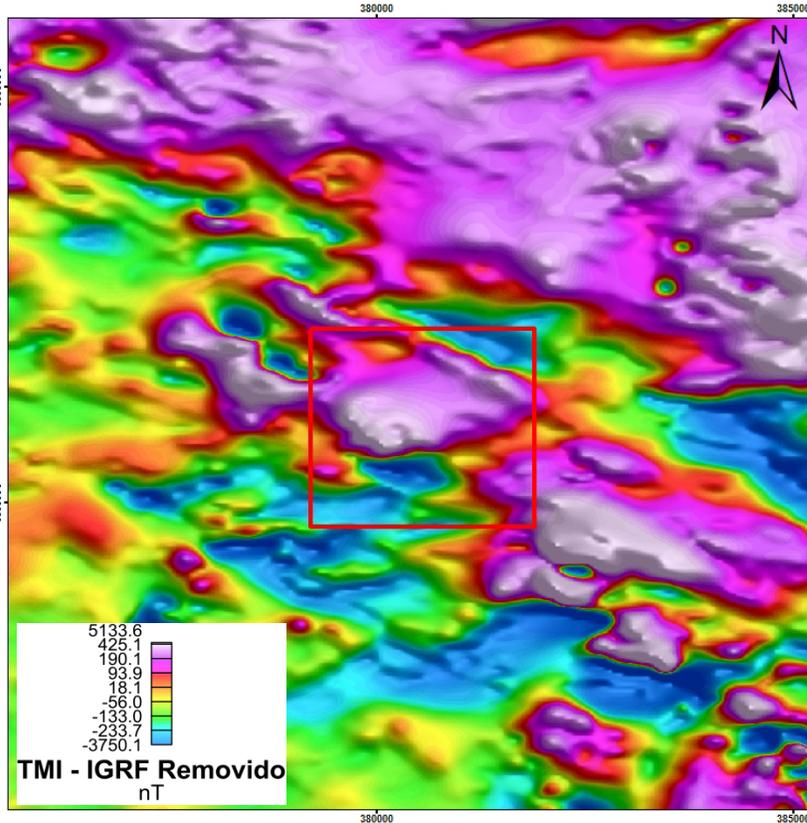
La información geofísica del proyecto Coyote, contempla un vuelo aeromagnético a escala regional, llevado a cabo en el año 2011, con una separación de líneas de vuelo cada 200 m. Los datos del levantamiento fueron reprocesados por Teck en el año 2013 y se presentan en la Figura 2.8.

La zona donde se emplaza Coyote está asociada a un área con lineamientos de bajos magnéticos que es concordante con la zona de alteración hidrotermal de dirección preferente NO-SE. La zona central - oeste del sistema, que se caracteriza por estar en una zona de moderadamente bajo magnético, estaría asociado a la alteración fílica y argílica que afecta principalmente a las granodioritas.



**Figura 2.8:** Mapa regional RTP (reducción al polo) en área del proyecto Coyote.

A continuación se describirán y revisarán los mapas de Intensidad Magnética Total (TMI), Reducción al Polo (RTP), y Señal Analítica (AS) con el objetivo de inspeccionar las anomalías en la zona de estudio (Figura).



**Figura 2.9. Mapa TMI, Intensidad Magnética total, luego de la remoción del campo geomagnético de referencia (IGRF):** Contiene información directa de las lecturas magnéticas, donde las anomalías magnéticas se observan con un efecto dipolar debido al efecto de la inclinación y declinación del campo magnético terrestre. Este efecto dipolar modifica la ubicación horizontal y de intensidad de las anomalías, entregando dipolos sobre los cuerpos.

## GEOFÍSICA REGIONAL - TMI

### PROYECTO COYOTE

País: Chile

Región: III Región

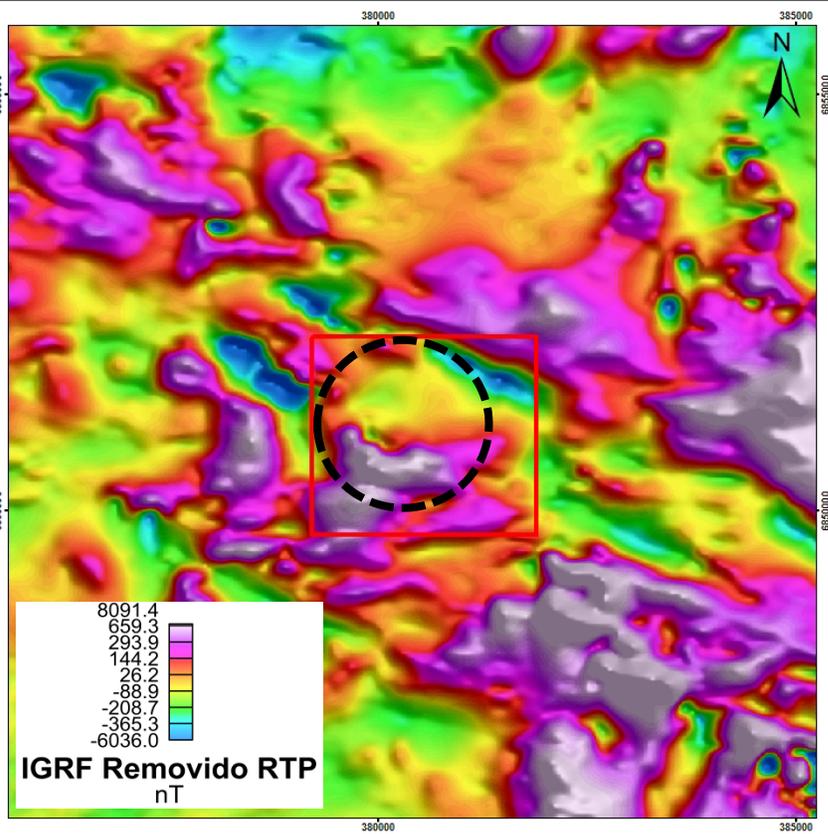
Sistema de Coordenadas: UTM WGS-84 H19S

Geólogos: P.Alvarado-L.Rodriguez

Fecha: Mayo 2014

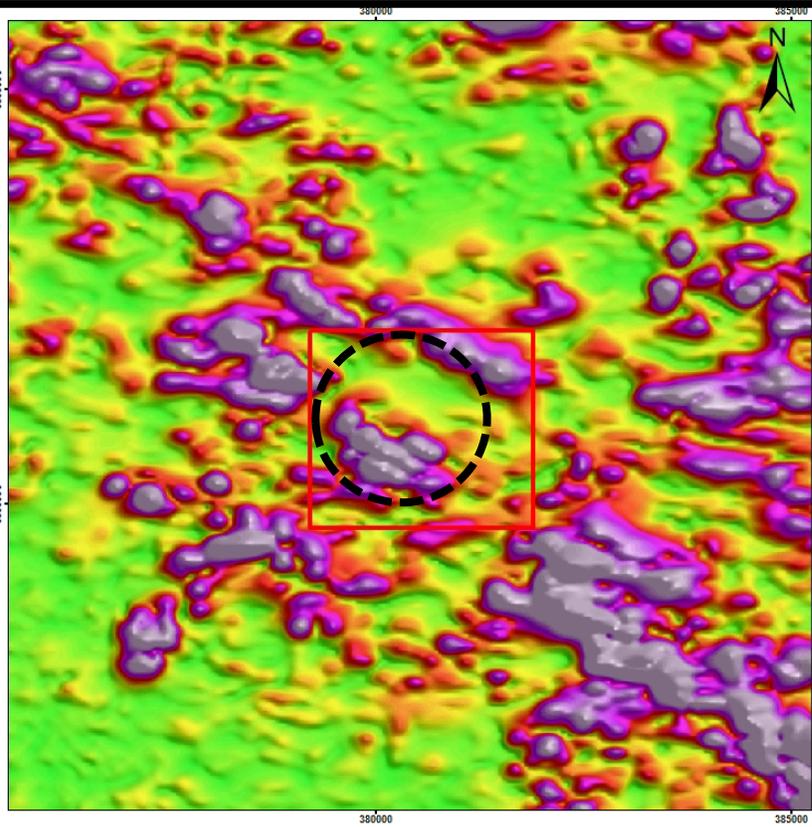
Modificado por: J. Vidal

**Teck**



**Figura 2.10. Mapa RTP, Reducción al Polo:** Entrega un mapa de anomalías magnéticas visto desde el polo, donde las anomalías se centran sobre los cuerpos causativos, los que debiesen estar localizados sobre las anomalías eliminando los efectos dipolares. La transformación RTP asume sólo magnetización por inducción del campo magnético terrestre, luego, las zonas del mapa en que se sospecha la presencia de zonas de magnetización remanente, como la zona del bajo magnético del norte del mapa, serán analizadas con

<b>GEOFISICA REGIONAL - RTP</b>		
<b>PROYECTO COYOTE</b>		
Pais: Chile	Región: III Región	
Sistema de Coordenadas: UTM WGS-84 H19S		
Geólogos: P.Alvarado-L.Rodriguez		
Fecha: Mayo 2014		
Modificado por: J. Vidal		
		<b>Teck</b>



**Fig. 2.11 Mapa SA, Señal Analítica:** Transformación directa desde el mapa de TMI (Figura 2.9), que considera todos los tipos de magnetización (inducida por el campo de la tierra, remanente, etc), señalando o potenciando los límites o bordes de los cuerpos, generando un efecto similar a cúmulos. Todos los cuerpos que presenten anomalías positivas o negativas en el TMI, se traducirán en una señal analítica positiva.

<b>GEOFÍSICA - SEÑAL ANALÍTICA</b>	
<b>PROYECTO COYOTE</b>	
Pais: Chile	Región: III Región
Sistema de Coordenadas: UTM WGS-84 H19S	
Geólogos: P.Alvarado-L.Rodriguez	
Fecha: Mayo 2014	
Modificado por: J. Vidal	
<b>Teck</b>	

El marcado bajo de la zona norte del área de interés (cuadro rojo en la Figura 2.8), aparentemente sospechoso, se ha correlacionado con el mapa de la Intensidad Magnética Total y Señal Analítica (Figuras 2.9 y 2.11). Desde el TMI, no se observa un efecto de remanencia considerable en alguna dirección diferente a la inducción del campo terrestre. De igual modo, la señal analítica presenta una señal importante justo en el borde inferior del amplio alto magnético localizado al norte, fuera del área de interés, por lo que es difícil identificar algún tipo de magnetización no convencional.

La zona de señal magnética moderada donde se localiza la zona de interés de este trabajo (círculo en Figura 2.10 y 2.11), se puede tratar como un bajo magnético local que es consistente con una zona de calma en la señal analítica. Hacia el sur de esta zona, se localiza un alto magnético, cuyo borde se manifiesta consistente con una señal analítica notoria, donde además la intensidad magnética total (TMI) presenta un dipolo orientado de buena manera (que en primera aproximación, no sugiere la manifestación de magnetizaciones remanentes).

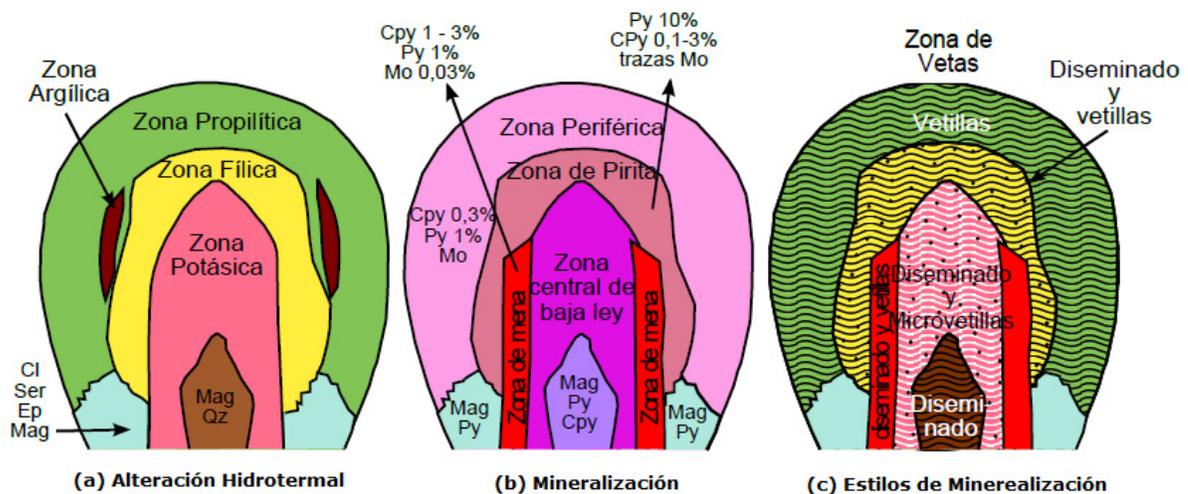
# Capítulo 3

## Marco Teórico

### 3.1. Alteración en pórfidos cupríferos

Los pórfidos cupríferos son depósitos minerales de baja ley (0.2% Cu a más de 1% Cu) y gran tamaño o tonelaje (10 km<sup>3</sup> a 100 km<sup>3</sup>). Aportan entre un 60% - 70% de la producción anual de Cu en el mundo y más de un 95% de la producción mundial de molibdeno (Sinclair, 2007).

Tienen un origen magmático hidrotermal, y están relacionados genética y espacialmente con intrusiones ígneas de composición intermedia (félsicas) en rocas de caja de cualquier tipo, donde el plutón intrusivo precursor da paso a varias fases de alteración. La denominación de pórfidos se debe a que, comúnmente, poseen una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, biotita y hornblenda. La mineralización de mena puede presentarse diseminada, en vetillas, enjambre de vetillas y en brechas. En general surgen en la presencia de magmas calco-alcalinos, sin embargo el origen de estos depósitos no es resultado de un proceso único, sino de la conjunción de una serie de eventos (Cline y Bodnar, 1991).



**Figura 3.1:** Esquema de la zonificación de alteración hidrotermal, mineralización y régimen estructural del modelo pórfido cuprífero según Lowell y Guilbert (1970).

Luego del emplazamiento de los cuerpos intrusivos, la separación de un magma entre una fase hidrotermal y una fase vapor permite que la fase hidrotermal ascienda por medio del sistema, primero transportando los metales y posteriormente dando lugar a la precipitación de ellos bajo ciertas condiciones específicas. Lowell y Guilbert (1970) zonificaron los pórfidos cupríferos vertical y lateralmente según su alteración hidrotermal, mediante la reconstrucción del pórfido de San Manuel – Kalamazoo y otros 27 pórfidos de diferentes lugares del mundo. Las alteraciones hidrotermales se clasifican según asociaciones minerales que son respuesta a cambios en el ambiente de la roca, por ejemplo acidez y temperatura de los fluidos hidrotermales (Tabla 3.1). El resultado del trabajo de Lowell y Guilbert (1970) corresponde a un modelo de sucesivas capas de alteraciones hidrotermales, mineralización y regímenes estructurales, en torno a un núcleo o fuente del depósito (Figura 3.1 y Tabla 3.1).

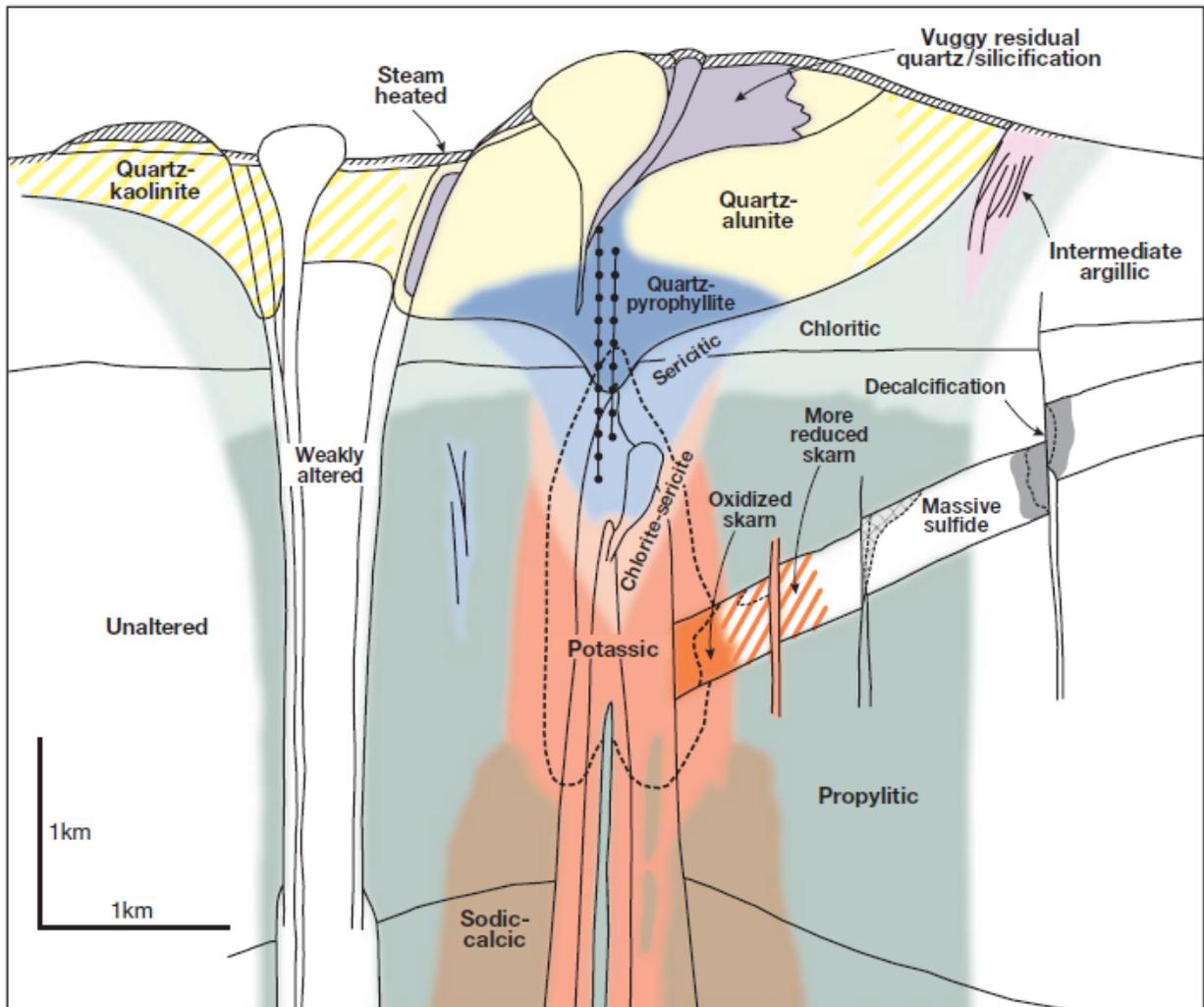
**Tabla 3.1:** Descripción de la asociación mineral, condiciones de pH, temperatura y régimen estructural del modelo pórfido cuprífero según Lowell y Guilbert (1970).

<b>Alteración</b>	<b>Asociación Mineral</b>	<b>T [°C]</b>	<b>pH</b>	<b>Régimen Estructural</b>
Potásica	Feldespatos Potásicos, Biotita y Cuarzo	400 - 800	Neutro a Alcalino	Dúctil
Fílica	Cuarzo, Sericita	> 250	5 - 6	Frágil - Dúctil
Propilítica	Clorita, Epidota ± Albita ± Calcita ± Pirita	> 250	Neutro a Alcalino	Frágil
Argílica	Caolín y Cuarzo	Amplio Rango	4 - 5	Frágil

El núcleo del sistema aloja una Alteración Potásica de alta temperatura y régimen dúctil. Desde el núcleo potásico el modelo gradada hacia una zona de Alteración Fílica de mayor acidez y menor temperatura en un régimen transicional entre dúctil y frágil. Envolviendo a estas capas, como un halo gradacional más distal, se halla la Alteración Propilítica, con pH neutro a alcalino y un régimen frágil asociado a menores temperaturas. Entre las alteraciones Fílica y Propilítica en ocasiones se da la presencia de Alteración Argílica (Figura 3.1a, Figura 3.1c ).

En los pórfidos cupríferos la mineralización de mena se halla asociada principalmente a sulfuros de Cu, tales como calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) y en menor grado bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y covelina ( $\text{CuS}$ ). En los pórfidos de Cu-Mo la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) está presente. La mineralización sin interés económico de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) es la más abundante en estos sistemas. La forma de mineralización tiene relación con los regímenes estructurales de las alteraciones (Tabla 3.1, Figura 3.1 b y c). La alteración potásica profunda de alta temperatura presenta mineralización diseminada en un régimen dúctil y al hacerse más distal al núcleo, presenta mineralización en vetillas diseminada de baja ley y abundante pirita. Es en el límite entre las alteraciones Potásica y Fílica donde se encuentra la mayor mineralización de mena de los pórfidos. En el régimen frágil de las alteraciones Propilítica y Argílica, la mineralización se presenta en vetillas y con poco interés económico.

Un modelo más actualizado de depósito tipo pórfido de Cu propuesto por Sillitoe (2010) muestra una zonificación de alteración – mineralización que comprende, desde la parte inferior hacia arriba, alteración calco sódica, potásica, clorita – sericita, sericítica, y argílica avanzada (Figura 3.2). La alteración clorítica y propilítica se desarrollan distalmente tanto a niveles superficiales como profundos. La alteración fílica (Lowell y Guilbert, 1970) y sericítica son básicamente la misma.

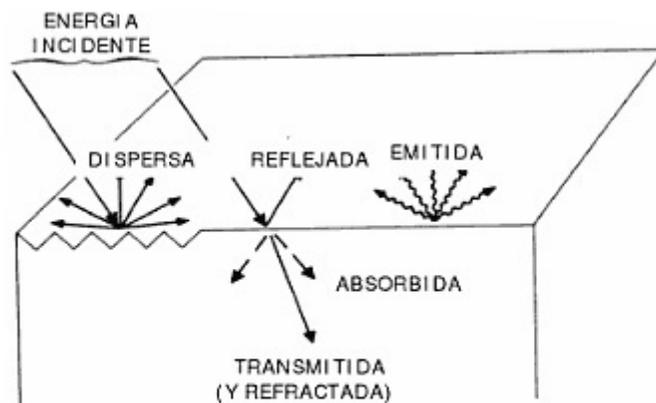


**Figura 3.2:** Patrón de alteración – mineralización en depósitos tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Por esta razón, la unificación de criterios en la clasificación de los tipos de alteración hidrotermal se vuelve compleja. Para términos prácticos, se clasifican las alteraciones hidrotermales por la asociación de minerales presentes en las rocas. Una asociación de minerales refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico (entre la roca y el fluido).

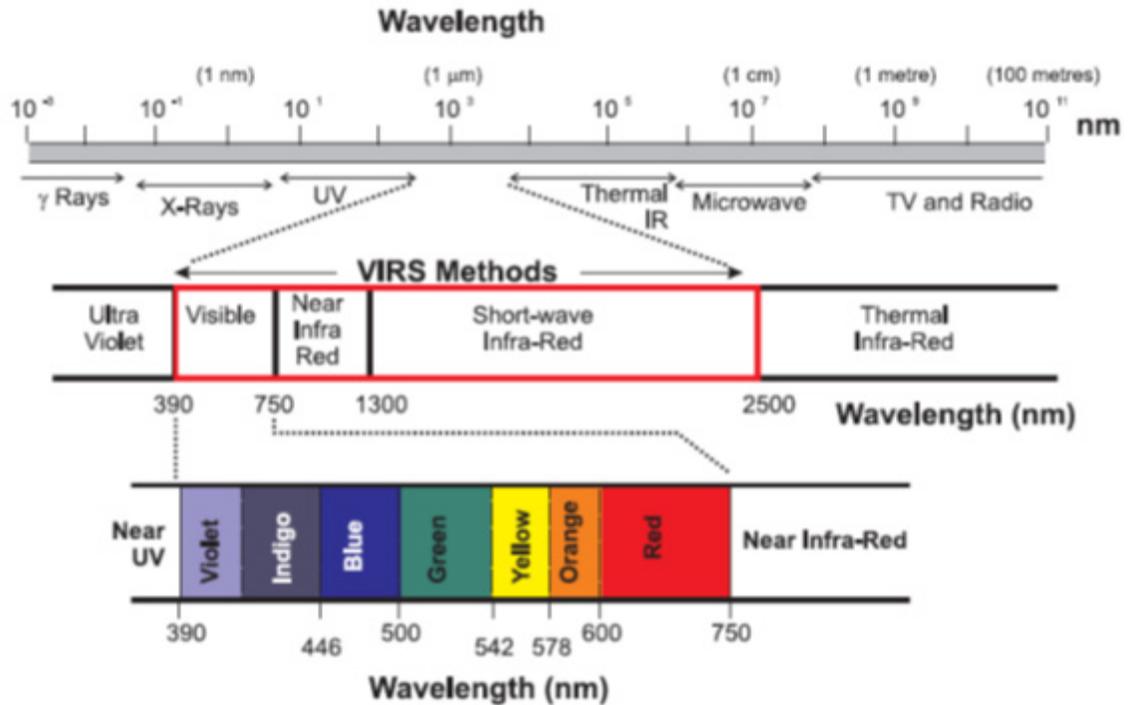
## 3.2. Interacciones de la energía electromagnética con la materia

Cualquier cuerpo sometido a efectos de radiación experimenta un fenómeno de absorción y reflexión de energía. Las características químicas y físicas de las moléculas son las que controlan ambos fenómenos. Es por esta razón que cada material diferente presenta un espectro de emisión y absorción de energía específico (Ostrooumov, 2006). En la Figura 3.3 se ilustran las interacciones entre la energía electromagnética y la materia. La radiación incidente puede ser absorbida, transmitida o reflejada por el material. La radiación también puede ser emitida por la materia (normalmente en longitudes de ondas más largas) y dispersada en todas las direcciones. Hay que agregar que existen dos tipos de reflexión: la reflexión especular (energía reflejada en una dirección única) y la reflexión difusa (energía reflejada uniformemente en todas las direcciones).



**Figura 3.3:** Procesos de interacción entre la energía electromagnética y la materia (Pérez y Muñoz, 2002).

El espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles (Hewitt, 2004). En la Figura 3.4, se muestra en forma gráfica las zonas de energía, separadas por tipo y longitud de onda.



**Figura 3.4:** Espectro electromagnético, muestra las regiones de interés en el contexto de la espectroscopía infrarroja/visible. Región visible (390 a 750 nm), infrarroja cercana (NIR; 750 a 1300 nm) e infrarroja de onda corta (SWIR; 1300 a 2500 nm) (Kerr et al., 2011).

El estudio de la interacción entre la energía electromagnética y la materia, es la espectroscopía. La espectrometría, en cambio, corresponde a la técnica espectroscópica que permite la medición de la concentración o especies moleculares determinadas. El instrumento capaz de realizar tales mediciones es el espectrómetro.

Entre los fenómenos que se producen por la interacción entre la luz incidente y un cuerpo, se tiene una relación de balance energético:

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

Esto es, que la energía reflejada ( $E_R$ ) es igual a la energía incidente ( $E_I$ ), pero restando a esta tanto la energía que es absorbida ( $E_A$ ) como transmitida ( $E_T$ ). Las características de la energía reflejada se pueden cuantificar midiendo la porción de energía incidente que es reflejada, siendo función de la longitud de onda y denominándose reflectancia espectral  $\rho_\lambda$ . Esta última se define matemáticamente como:

$$\rho_{\lambda} = E_R(\lambda)/E_I(\lambda)$$

Así, la reflectancia espectral ( $\rho_{\lambda}$ ) se puede definir como la relación entre la cantidad de energía reflejada por un cuerpo y la cantidad de energía incidente sobre el mismo. La reflectancia de un cuerpo tendrá valores entre 0 y 1, que normalmente se expresan en términos de porcentaje.

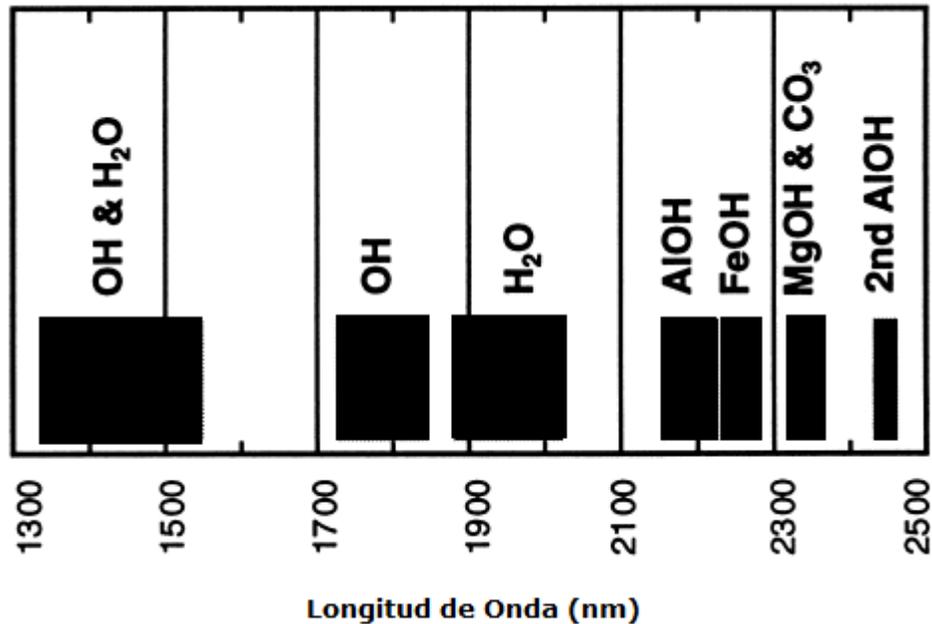
El espectro de reflectancia corresponde a una gráfica en dos dimensiones, cuyo eje horizontal muestra los valores de la longitud de onda (expresada en micrómetros o nanómetros), y su eje vertical los valores porcentuales de reflectancia respecto a algún material de referencia que posea una alta reflectancia, como el Spectralon (Paez, 2008).

Los estudios de reflectancia espectral de minerales y rocas se han centrado fundamentalmente en los análisis correspondientes a rocas ígneas y metamórficas, ocasionalmente en suelos y más raramente en materiales sedimentarios.

### **3. 3. Espectrometría y mineralogía espectral identificable**

El estudio de la alteración hidrotermal asociada a un depósito mineral es el comienzo para el entendimiento de la historia genética de los eventos que han afectado un sistema mineralizado. Las reacciones químicas y los procesos metasomáticos que tienen lugar en la interacción entre la roca huésped y los fluidos hidrotermales, y el nuevo ensamble mineral formado que define el tipo de alteración, permite la estimación del ambiente físico y químico de formación, así como los cambios espaciales-temporales en las condiciones genéticas del sistema (Meyer y Hemley, 1967; Pirajno, 1992).

Muchos de los minerales de alteración pueden ser analizados usando espectrometría infrarroja, ya que presentan propiedades espectrales características. La estructura cristalina de un mineral está definida por la existencia de niveles de energía en los iones que la forman. Estos iones producen absorciones de energía electromagnética en longitudes de onda definidas que se denominan rasgos de absorción en las curvas espectrales de reflectancia. En la (Figura 3.5) se muestran las principales zonas de absorción y el enlace iónico que representan.

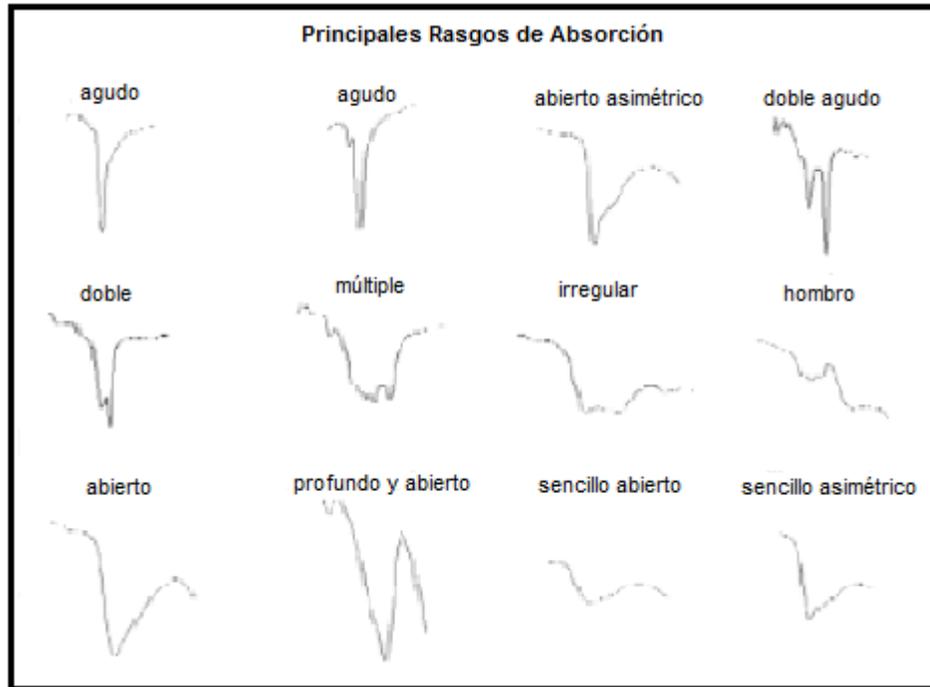


**Figura 3.5:** Principales zonas de absorción en SWIR, y los enlaces iónicos que representan (Hermann et al., 2001)

Los metales transicionales son los responsables de procesos electrónicos que generan absorciones en el espectro visible e infrarrojo cercano (VNIR) entre 0.3-1.0  $\mu\text{m}$ , mientras que el H<sub>2</sub>O y moléculas de OH producen procesos vibracionales que causan energía de absorción en el espectro infrarrojo de onda corta (SWIR) entre 1.0-2.5  $\mu\text{m}$ . Particularmente, los rasgos de absorción en la región del espectro SWIR tienen especial importancia en la exploración mineral, ya que permiten la determinación de la mineralogía de alteración hidrotermal y puede ayudar a la identificación de filosilicatos, arcillas, carbonatos y algunos sulfatos, especialmente cuando se estudian las características de absorción cercanas al 2.2  $\mu\text{m}$  (Hunt y Ashley, 1979).

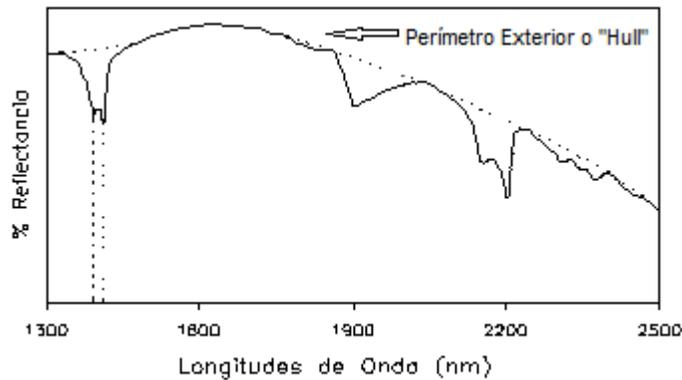
Como los minerales poseen una composición química y una estructura atómica determinada, sus rasgos de absorción serán propios y característicos y, en algunos casos, claramente discriminatorios. Características de absorción como la posición, forma, profundidad, ancho y asimetría ayudan entonces a la identificación mineral.

Los rasgos de absorción según su forma y profundidad pueden ser agudos, dobles y agudos, simple abierto, dobles y abiertos, en forma de hombro, múltiples, etc., como se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.6:** Principales rasgos de absorción que pueden observarse en un espectro. La forma y profundidad de cada uno de ellos está en función de las características químicas de la molécula del mineral analizado (Páez, 2008).

A la forma general de la gráfica, se le conoce como: perímetro exterior, envolvente, continuum o hull, y es importante porque ayuda a identificar variaciones químicas de un mismo compuesto, entre otras características que se tocarán posteriormente (Figura 3.7).



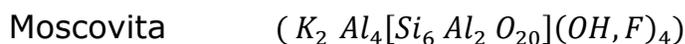
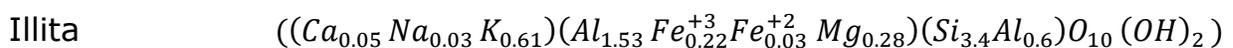
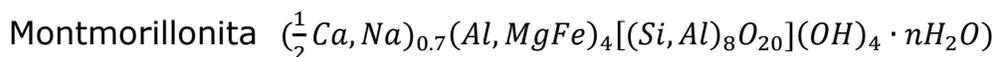
**Figura 3.7:** Espectro de reflectancia típico de una caolinita muestra la envolvente o perímetro exterior (Thompson, 1999).

Variaciones espectrales, como cambios en la posición de la longitud de onda de los rasgos de absorción o cambios en la forma de la envolvente (hull) han demostrado la sensibilidad de la región SWIR a las variaciones de composición química y grado de cristalinidad de los minerales de alteración hidrotermal (Hunt y Ashley, 1979). La presencia de agua (H<sub>2</sub>O) e hidroxilo (OH) en la composición del mineral juega un rol particular en la generación de vibraciones fundamentales en el infrarrojo termal (TIR) y en el infrarrojo cercano. Los rasgos de absorción en los 1.4 μm y 1.9 μm son diagnósticos de minerales hidratados, y rasgos en los 2.2 μm y 2.3 μm lo son para los enlaces Al-OH y (Fe, Mg)-OH, respectivamente (Clark et al., 1990).

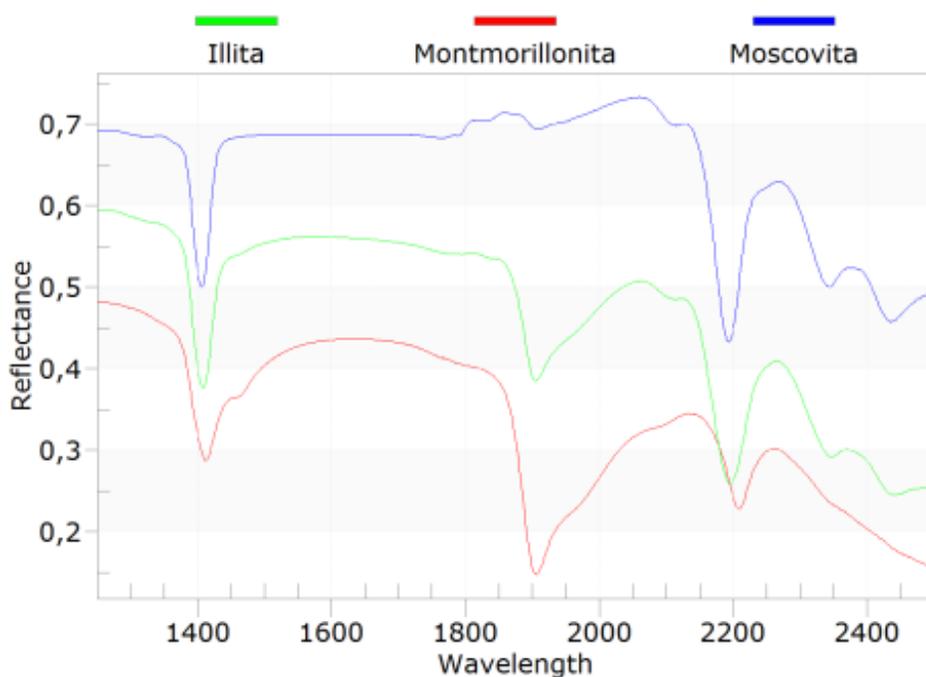
Dependiendo del grupo mineralógico al que pertenecen, rasgos de absorción específicos son usados en la descripción e identificación (Pontual et al., 1997).

### 3.3.1. Illitas, moscovitas y esmectitas

Las fórmulas químicas para la montmorillonita, illita y moscovita son:



Los rasgos más distintivo que caracterizan a los minerales del grupo de las esmectitas y al grupo de las micas se producen por las vibraciones de la molécula de H<sub>2</sub>O y el ión OH<sup>-</sup>. Primeramente, la profundidad del rasgo de absorción a los 1400 nm y 1900 nm es indicativa del contenido de agua y su ubicación en la estructura del mineral; en ese sentido, las esmectitas que tienen mayores cantidades de agua muestran rasgos más profundos y amplios que la illita y moscovita, en las cuales estos rasgos son incluso inexistentes en los 1900 nm y más angostos a los 1400 nm (Hauff, 1991; Post y Noble, 1993). En segundo lugar, las sustituciones iónicas como el intercambio catiónico de Tschermak que involucra al Mg, Fe y Al, modifica las características de los rasgos de absorción en el rango 2000-2500 nm. El rasgo más importante es el de los 2200 nm que se relaciona con el contenido de Al, mientras que el segundo rasgo se ubica entre los 2350 nm y los 2450 nm y corresponde a la sustitución de Fe y Mg (Clark et al., 1990; Duke, 1994). Los espectros típicos de la esmectita, illita y sericita se muestran en la Figura 3.8.



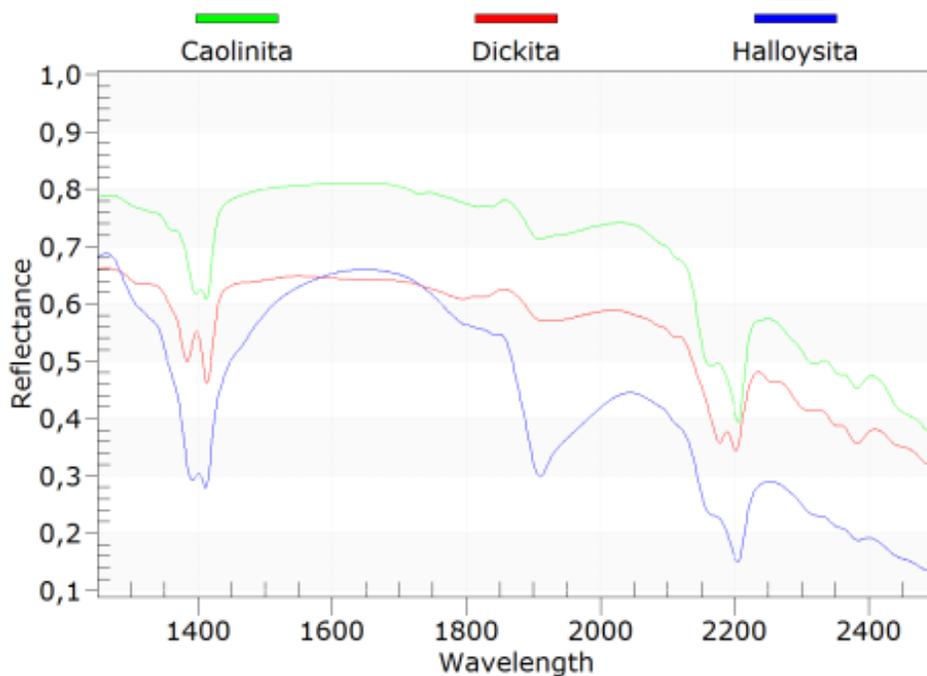
**Figura 3.8:** Espectros típicos de montmorillonita, illita, moscovita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.

### 3.3.2. Grupo de la caolinita.

Las fórmulas químicas para la caolinita, halloysita y dickita son:



Como otros minerales de arcilla, las características de absorción de los minerales en el grupo de las caolinitas son controladas por las bandas de hidroxilo cercanas al 1400 nm y 2200 nm. La ubicación del hidroxilo en la estructura mineral produce cambios en su energía vibracional, la que es reflejada en el desarrollo de dobletes en el rasgo de absorción del mismo, siendo débil en la halloysita poco cristalina y llegando a estar bien definida en la caolinita y dickita. La presencia de agua molecular especialmente en halloysitas y caolinitas poco cristalinas se refleja en la presencia del rasgo en los 1900 nm (Crowley y Vergo, 1988). En la Figura 3.9 se muestran los espectros de los minerales descritos.



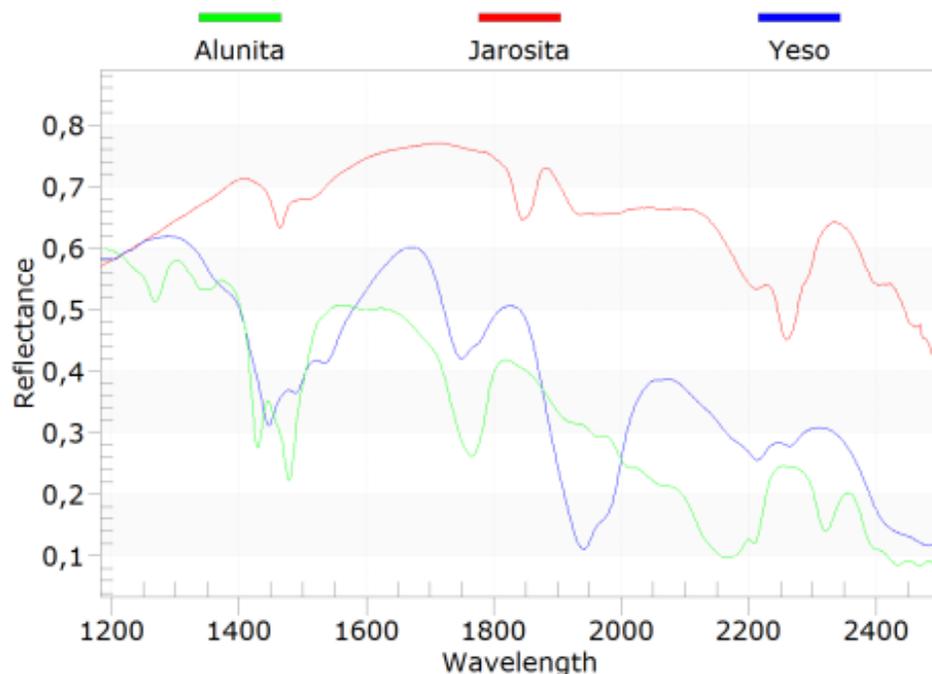
**Figura 3.9:** Espectros típicos de halloysita, caolinita, dickita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.

### 3.3.3. Sulfatos.

Las fórmulas químicas para la alunita, jarosita y yeso son:



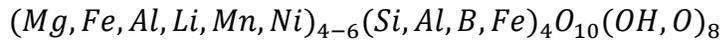
Los minerales que contienen sulfato se caracterizan por: rasgos anchos en los 1400 nm debido al contenido de agua y estiramientos en la banda de absorción del OH; la forma del rasgo es característica para cada especie. Otro rasgo característico de absorción de sulfato que varía entre los 1700 nm y 1800 nm y está relacionado con la absorción de OH. La región espectral 1900-2500 nm es bastante diferente para cada mineral. En el caso de la alunita, se presenta un rasgo ancho con doblete debido al estiramiento en la banda OH y a la inclinación en la zona de Al-OH y varía en posición dependiendo de la composición mineral (Na, K o  $NH_4$ ), mientras en la jarosita el rasgo ocurre a longitudes de onda mayores y se asocia con la banda Fe-OH. El yeso no posee absorciones realmente claras en esta región (Clark et al., 1990). Las características espectrales de los sulfatos más comunes (alunita, jarosita y yeso) se muestran en la Figura 3.10.



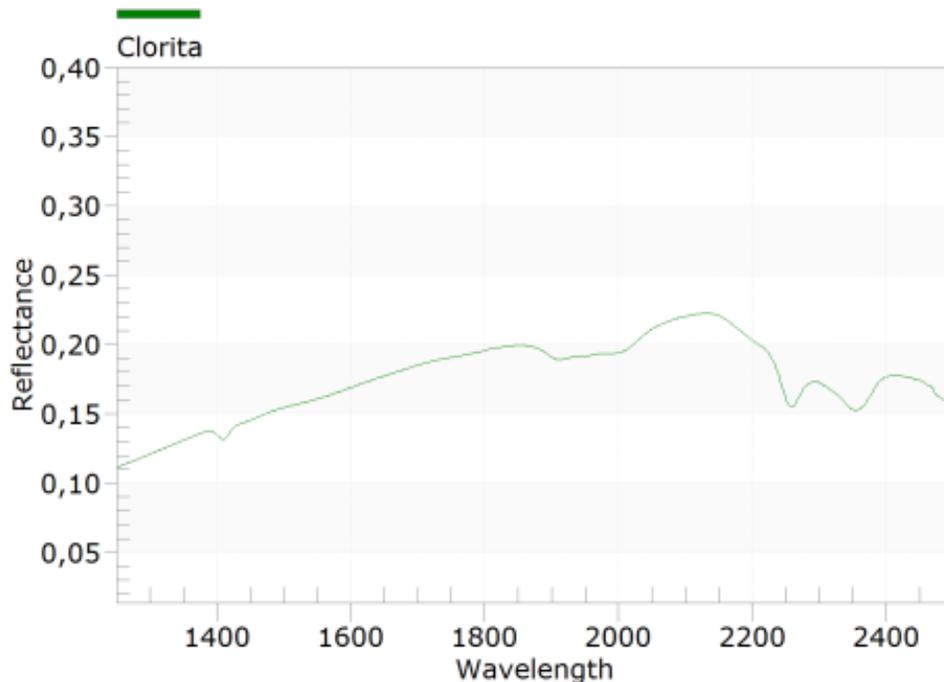
**Figura 3.10:** Espectros típicos de alunita, jarosita y yeso. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.

### 3.3.4. Cloritas

La fórmula química de las cloritas es:



El grupo de las cloritas es grande y complejo. Existen varios aspectos diagnósticos para espectros de clorita. El primero de ellos está relacionado con la pendiente del espectro, indicando la presencia de Fe con aumento gradual de pendiente hacia longitudes de onda mayores y Mg, donde hay un efecto de onda con altos de reflectancia en el rango alrededor de los 1800 a 2000 nm. El desplazamiento del rasgo 2300 nm indica sustitución de Fe y Mg en las capas octaédricas. El rasgo 2250 nm corresponde a Al en la capa tetraédrica. El rasgo 1400 nm parece aumentar su intensidad con el contenido de Mg. El Mg además agudiza los rasgos y produce inflexiones reconocibles, indicando potencialmente una estructura más ordenada. Usualmente las cloritas no son buenos reflectores, especialmente cuando su contenido en Fe es alto, y por lo tanto, su presencia puede ser difícil de detectar (Spectral International Inc). En la Figura 3.11 se puede observar un espectro típico de clorita.



**Figura 3.11:** Espectro típico de clorita. Tomados de la base de datos del programa SPECMIN.

### **3. 4. Cristalinidad de la illita y parámetro 2200 nm.**

Aunque el término "cristalinidad de la illita" ha sido ampliamente utilizado, no ha estado exento de cuestionamientos debido a definiciones imprecisas y que dependen de las técnicas de medición (Guggenheim et al., 2002). Debido a lo anterior, es común referirse al "grado de ordenamiento" en la estructura cristalina para los filosilicatos; aquí es usado en ese sentido.

#### **3.4.1. Cristalinidad en el grupo de las micas y esmectitas**

Desde esmectitas a micas, ambas con capas silicatadas dioctaédricas 2:1, se puede describir una secuencia mineralógica genética, que va desde una esmectita hidratada, pasando por la serie de las illitas, hasta moscovita (verdadera moscovita) (Rieder et al., 1998). Cambios en las condiciones de formación causan variaciones graduales en la disposición de la estructura cristalina y composición, generando diferentes especies minerales o polimorfos (Yoder y Eugster, 1995). Con respecto a las esmectitas y micas, el aumento en la presión y temperatura resulta en una sucesión desde la especie montmorillonita de las esmectitas, pasando por capas mixtas montmorillonita-illita con montmorillonita dominante, montmorillonita-illita con illita dominante, illita, hasta finalmente moscovita (Velde, 1977). La transición desde montmorillonita a moscovita (pasando por una fase de capas mixtas de illita) comienza con la pérdida de agua estructural y el reemplazo de  $\text{Ca}^{2+}$  por  $\text{K}^+$  en los espacios interlaminares de la montmorillonita. El desarrollo subsecuente de la fase de capas mixtas de illita involucra un ordenamiento gradual en la estructura cristalina, generando diferentes polimorfos, desde el tipo  $1M_d$  "desordenada" hasta la variedad  $2M$  "muy bien ordenada" (Duba y Williams-Jones, 1983). Luego, en fases de illita más cristalina y moscovita, el intercambio octaedral-tetraedral de Tschermak produce un enriquecimiento en Al, mientras hay un descenso en Si, Fe y Mg, causando una estructura más homogénea o cristalina (Duke, 1994).

Diferentes técnicas analíticas comúnmente usan el término "cristalinidad de la illita" como una medida del orden estructural de las illitas. A pesar de esto, la ambigua definición de illita en la literatura antigua y la naturaleza de capas mixtas de esmectita e illita, el término puede ser utilizado para la descripción de la estructura cristalina desde montmorillonita hasta la illita bien ordenada. Probablemente la técnica más usada para la detección de cambios en la cristalinidad es la difracción de rayos X (XRD), que mide el espacio interlaminar, aunque es altamente dependiente del tamaño de las partículas medidas. Sin embargo, Hauff et al. (1991) ha indicado que la

espectrometría SWIR es incluso una mejor técnica en la medición del ordenamiento estructural de la illita. Este método usa la profundidad de absorciones en las bandas de Al-OH y H<sub>2</sub>O como medida del grado de cristalinidad en la red cristalina.

Los parámetros de absorción usados en este estudio son los siguientes:

- 1900D: Profundidad del rasgo de absorción en los 1900 nm (H<sub>2</sub>O)
- 2200D: Profundidad del rasgo de absorción en los 2200 nm (AlOH)
- 2200W: Posición de la longitud de onda en el rasgo de absorción de los 2200 nm (AlOH). En adelante se le llamará "parámetro 2200 nm".

El parámetro 2200D/1900D es ampliamente conocido como la cristalinidad en las illitas, y por lo tanto aquí es considerado como el principal indicador de cristalinidad del grupo de las micas blancas. La razón 2200D/1900D es comparada con el parámetro 2200W, que se considera como un indicador del contenido de aluminio (Duke, 1994); longitudes de onda más pequeñas se relacionan con minerales ricos en aluminio, que a su vez tienen una estructura reticular bien ordenada, por lo que se espera que illitas bien ordenadas tengan longitudes de onda pequeñas en el rasgo de absorción de 2200 nm y por lo tanto, sean ricas en aluminio.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1. Minerales identificados por espectrometría

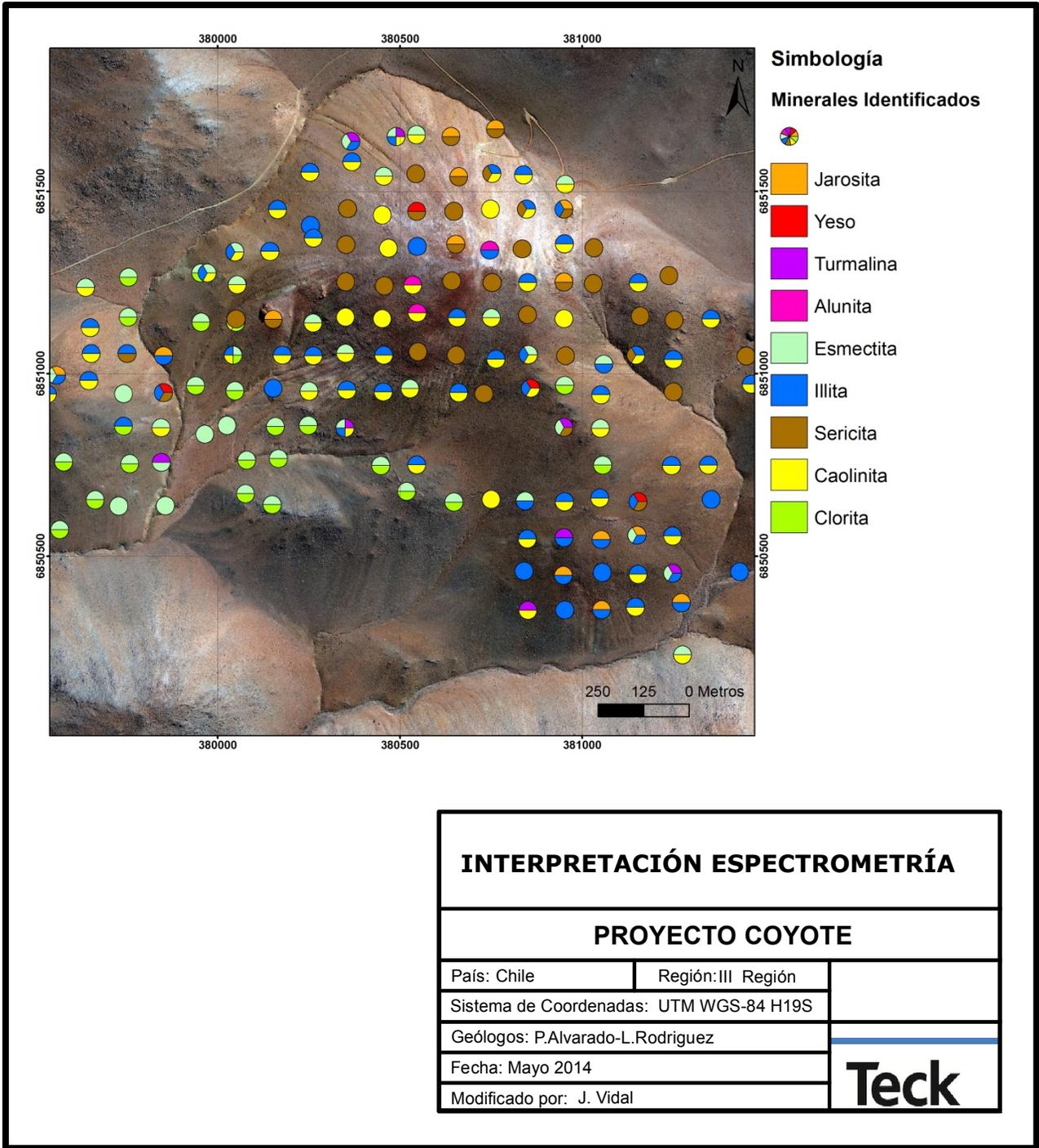
Los resultados obtenidos del análisis espectral de las muestras recolectadas, arrojan la identificación de 9 minerales (jarosita, yeso, turmalina, alunita, illita, esmectita, sericita, caolinita y clorita), cuya presencia en las muestras analizadas se detalla en la Tabla 4.1. En el anexo A, además, se encuentra la interpretación espectral para cada muestra, y los valores de los parámetros calculados con el programa The Spectral Geologist.

**Tabla 4.1:** Minerales y número de muestras en las que fueron identificados.

<b>Mineral</b>	<b>Número de Muestras</b>
Alunita	3
Caolinita	68
Clorita	24
Esmectita	55
Illita	70
Jarosita	14
Sericita	37
Turmalina	8
Yeso	4

En la Figura 4.1 se observa la distribución espacial de la mineralogía identificada a través del análisis espectral. En la parte central del área se concentran las muestras en las que se identificaron sericita y caolinita, además de presentarse algunas con jarosita y alunita aisladas. Hacia la parte sureste se sigue observando la presencia de caolinita, pero aumenta la concentración de illitas; también aparecen turmalinas. En el sector oeste hay una mayor concentración de cloritas y esmectitas.

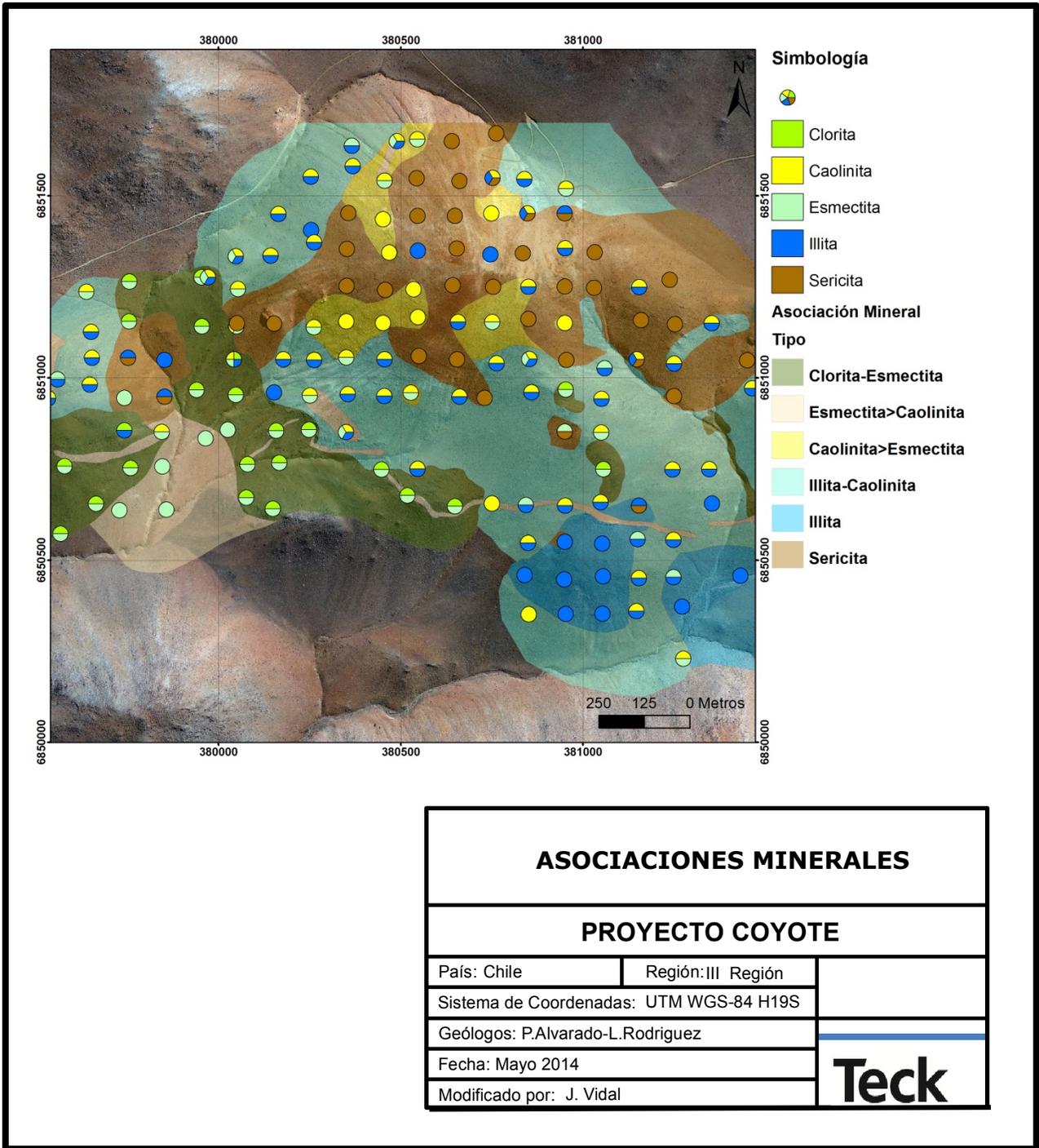
Es necesario notar que en una muestra puede identificarse más de un mineral, por lo que en casi la totalidad de los casos se presenta una "asociación mineral" y no minerales individuales.



**Figura 4.1:** Minerales identificados por espectrometría de reflectancia.

## 4.2. Asociaciones minerales

Se definieron 4 asociaciones minerales (clorita - esmectita, esmectita > caolinitita, caolinita > esmectita, illita - caolinita) a partir de las muestras en que se identificó más de un mineral. Sericita e illita fueron graficadas también de manera individual por presentarse como minerales únicos en gran cantidad de muestras analizadas. Los minerales jarosita, alunita y yeso, fueron descartados para estas asociaciones ya que su presencia era menor. Se delinearon las asociaciones minerales en el área de estudio y el resultado se muestra en la Figura 4.2.



**Figura 4.2:** Asociaciones minerales definidas a partir de interpretación espectral.

En la parte norte se observa la presencia de una zona con sericita como mineral principal; mientras que en la parte sureste existe un grupo de illitas que coincide con la alteración cuarzo - illita descrita en el Capítulo 2.

Hacia los bordes de la zona de sericitas, se aprecia una gradación hacia la asociación mineral caolinita > esmectita, y bordeando esta, la aparición del ensamble illita - caolinita. La zona más extensa de alteración en el área de estudio corresponde a la asociación illita - caolinita.

En el sector oeste se identifica la asociación clorita - esmectita, que también aparece como pequeñas ventanas dentro del ensamble illita - caolinita.

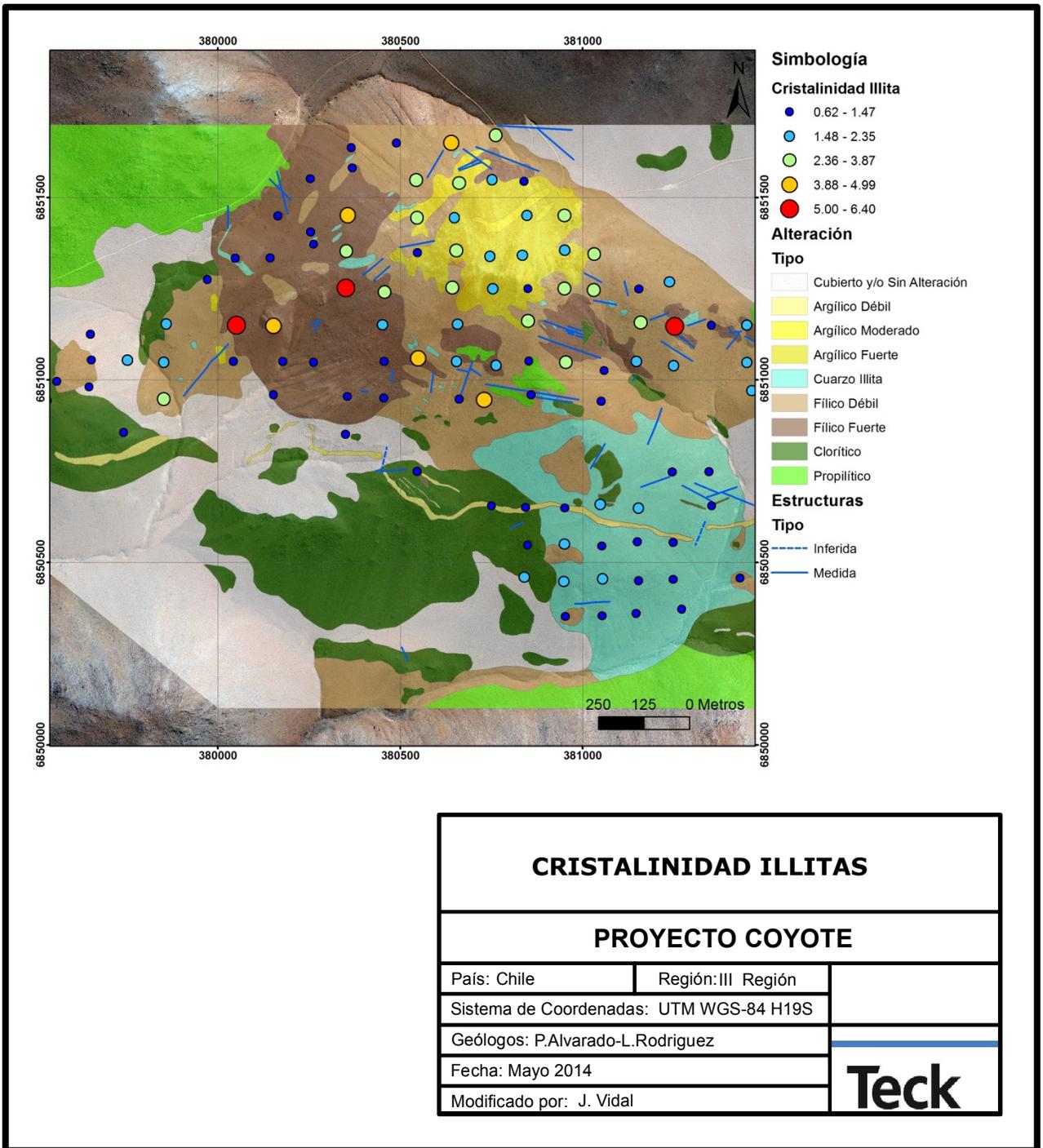
### **4.3. Cristalinidad y variación composicional en illitas y sericitas**

Las muestras identificadas como illitas o sericitas fueron apartadas para estudios específicos de la interpretación mineralógica espectral. Se profundizó en las variaciones de los parámetros espectrales de interés para las micas blancas.

#### **4.3.1. Cristalinidad de las illitas**

Para la elaboración del mapa en la Figura 4.3 se graficaron las cristalinidades de las muestras interpretadas como illitas o sericitas agrupadas en 5 rangos definidos por percentiles.

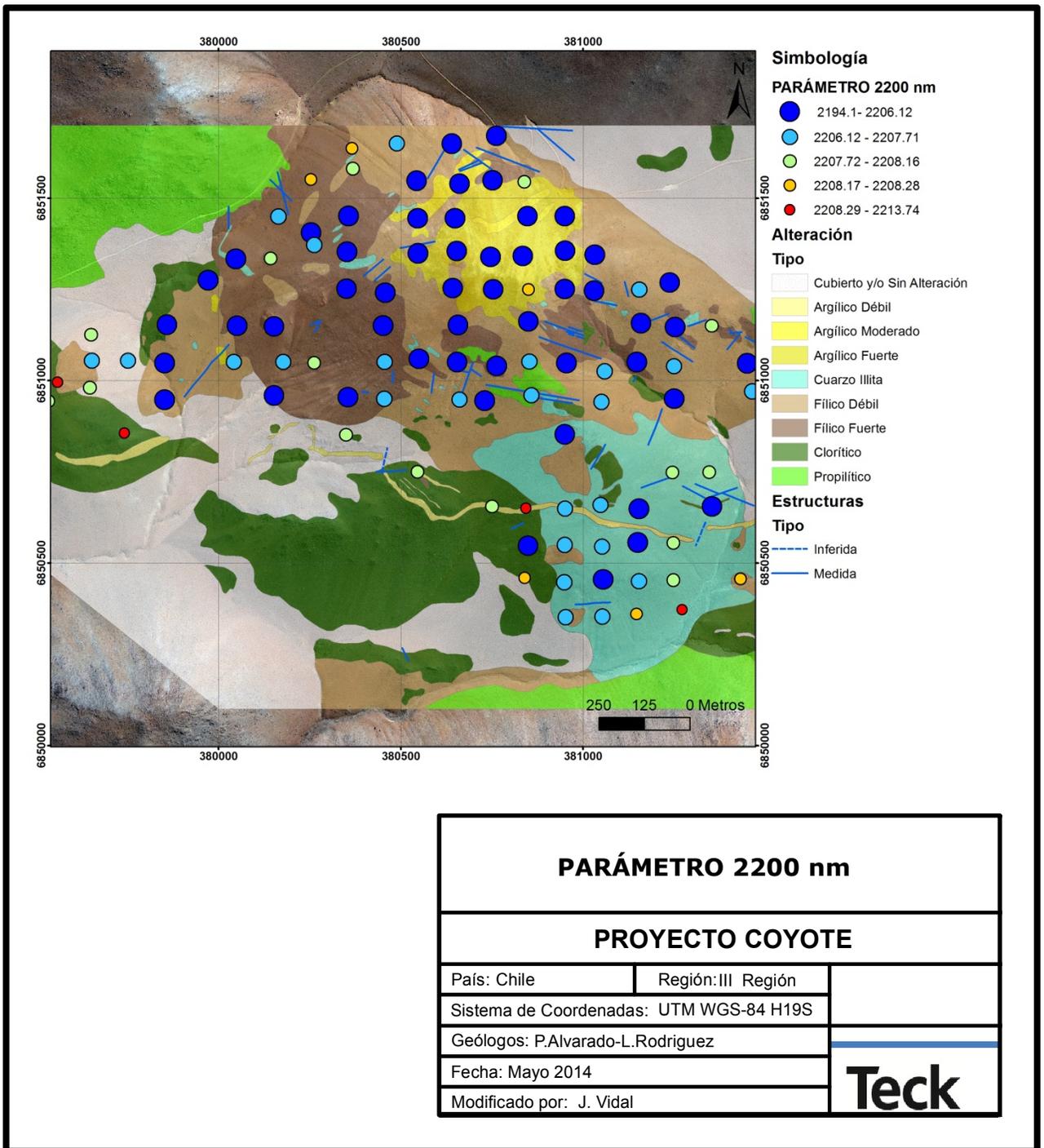
Se observa que, en su mayoría, las cristalinidades con valores más altos coinciden con la interpretación manual que se hizo de estas muestras como sericitas (Figura 4.1). Además, según el mapeo de alteración, estos valores se concentran en las zonas definidas como argílicas, y en algunos sectores de alteración fílica. El valor de las cristalinidades desciende gradualmente en las muestras que fueron interpretadas como illitas y se concentran principalmente en las zonas de alteración fílica y cuarzo - illita.



**Figura 4.3:** Valores de la cristalinidad de la illita en el área de estudio.

### **5.3.2. Parámetro 2200 nm**

Para visualizar las variaciones en los valores del Parámetro 2200 nm, se definieron 5 intervalos a partir de percentiles. En la Figura 4.4 se observa como en la parte central del sistema se concentran los valores más bajos, que coincide con la zona de valores altos de cristalinidad y con la interpretación de esas muestras como sericitas. Como se explicó en el Capítulo 3, esta disminución en los valores del Parámetro 2200 nm, define un enriquecimiento en Al, con un descenso en Si, Fe y Mg.



**PARÁMETRO 2200 nm**

**PROYECTO COYOTE**

Pais: Chile      Región: III Región

Sistema de Coordenadas: UTM WGS-84 H19S

Geólogos: P.Alvarado-L.Rodriguez

Fecha: Mayo 2014

Modificado por: J. Vidal

**Teck**

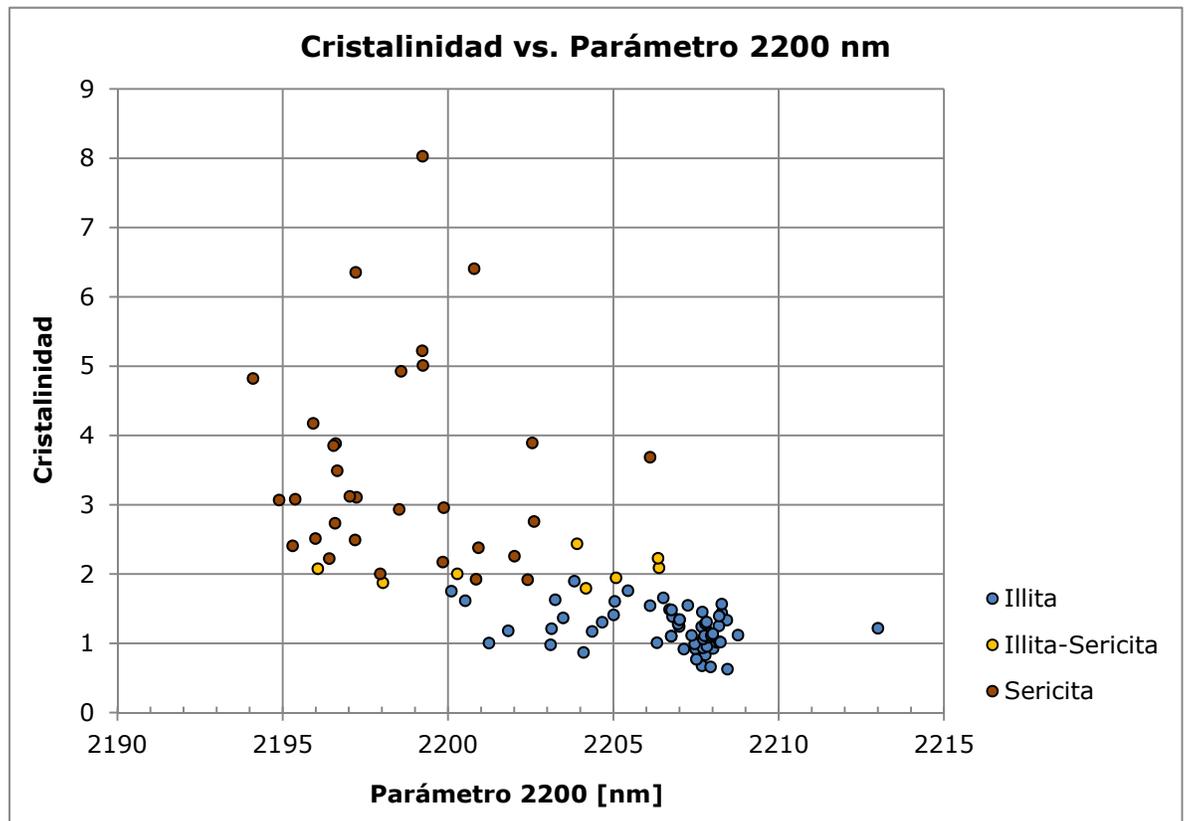
**Figura 4.4:** Valores del Parámetro 2200 nm en el proyecto Coyote

### 4.3.3. Cristalinidad vs. Parámetro 2200 nm

La cristalinidad de las illitas fue comparada con el Parámetro 2200 nm. El rango de longitudes de onda para este parámetro varía entre 2194.1 y 2213 nm. En el gráfico Cristalinidad vs. Parámetro 2200 nm (Figura 4.5) las muestras ilustradas fueron asociadas a un color específico según el mineral identificado en ellas (illita, illita – sericita, sericita) mediante espectrometría.

De la figura se observa que las muestras identificadas como sericitas poseen los valores más altos de cristalinidad (mayores a 1,92), y varían entre los 2194 nm y 2206 nm. Las muestras identificadas como illitas tienen cristalinidades más bajas (valores menores a 1,795) y un parámetro 2200 nm que oscila entre los 2200,52 nm y 2213 nm. Las muestras en las que se identificó illita y sericita, aparecen en la zona de transición o traslape entre ambos minerales. Lo expuesto anteriormente confirma lo explicado en el Capítulo 3, en relación al concepto y valor de la cristalinidad: una illita es menos cristalina que una sericita.

Además, como se esperaba, longitudes de onda más pequeñas se asocian a cristalinidades más altas, lo que confirma que las muestras con estructura interna más ordenadas son también ricas en aluminio. Para longitudes de onda con valores más grandes este patrón no es tan claro y las variaciones en los valores de cristalinidad son menos perceptibles. Sin embargo, hay una tendencia que muestra cristalinidades más bajas a longitudes de onda mayores (Figura 4.5).



**Figura 4.5:** Gráfico que relaciona la Cristalinidad de la Illita y el Parámetro 2200 nm.

#### 4.3.4. Análisis petrográfico.

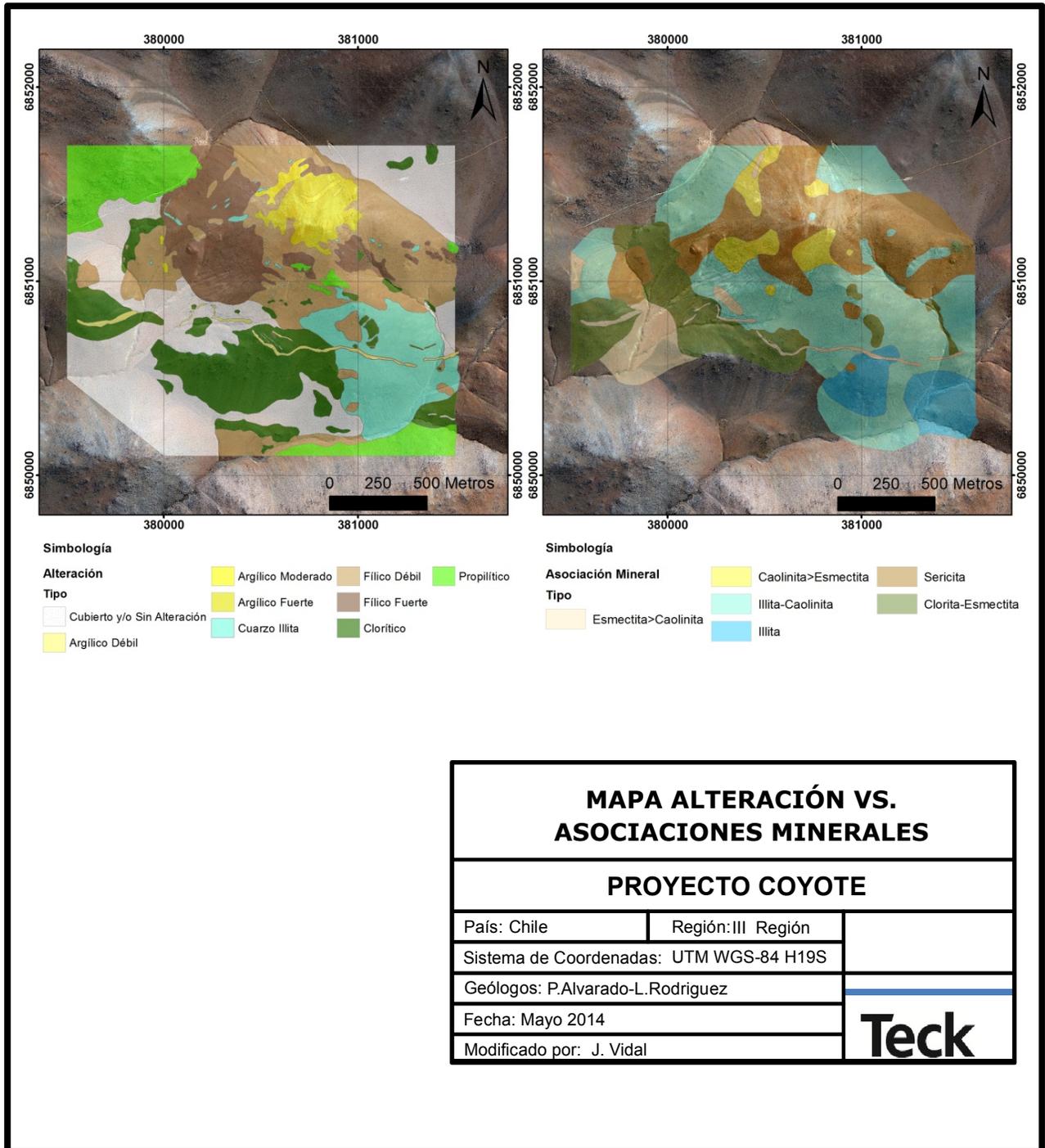
Los resultados del análisis petrográfico se encuentran en el Anexo B. Para los minerales de alteración descritos en cada muestra, la sericita aparece como el mineral más recurrente. En ocasiones, la sericita observada en petrografía, fue interpretada como illita mediante espectrometría (JV033, JV041, JV107, JV109, JV135).

# Capítulo 5

## Discusiones

### **5.1. Comparación entre el mapeo geológico y análisis espectral.**

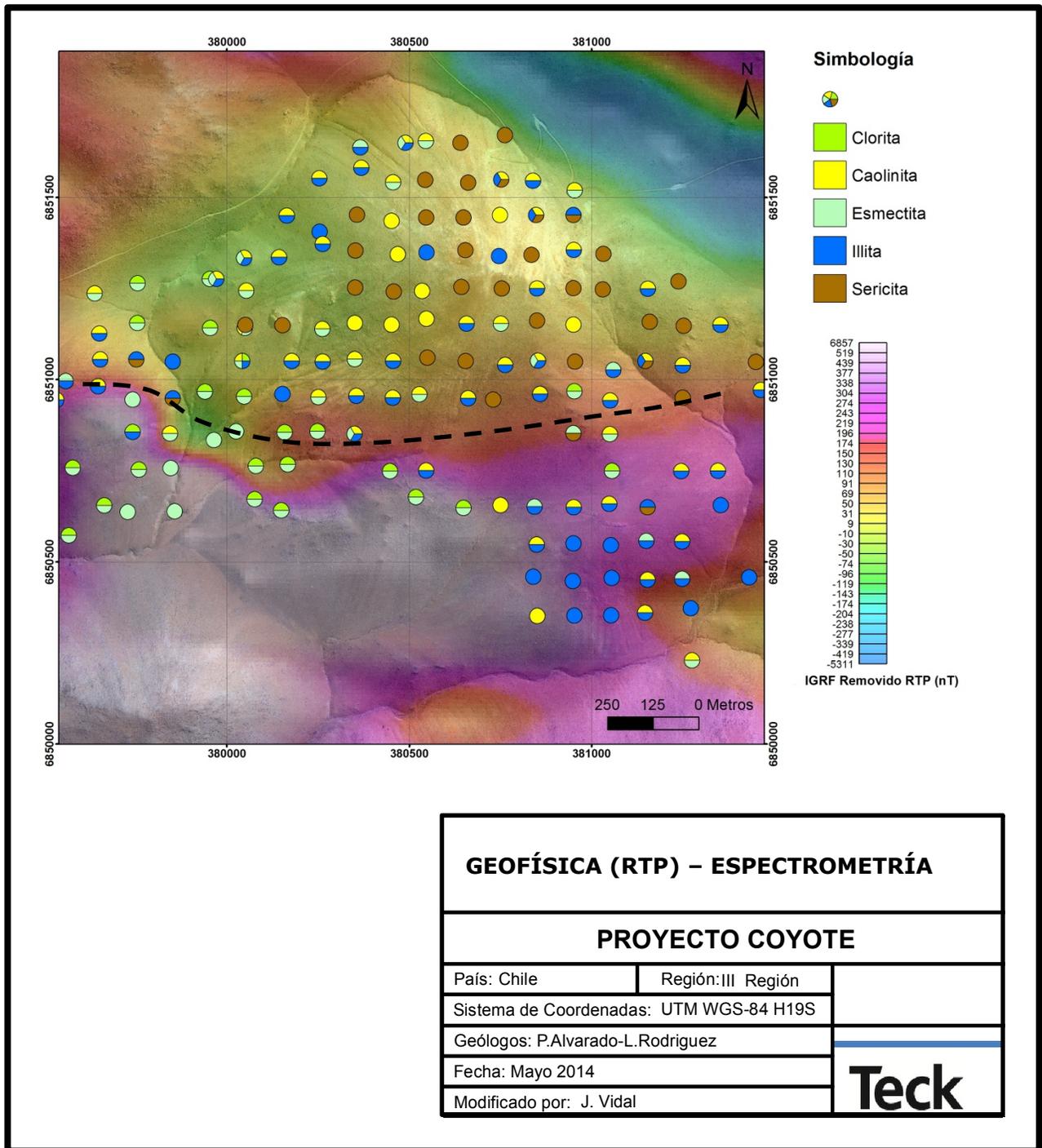
El mapeo geológico muestra un centro de alteración argílica moderada a fuerte, con presencia de caolinita y menores cantidades de illita y sericita, que se desarrolla en las unidades intrusivas PQF y PQFg, pero al observar el ensamble mineral definido por espectrometría, esta área exhibe una mayor población de muestras interpretadas como sericitas (y en menor cantidad illitas). Hacia los bordes de esta zona de alteración argílica, se define un sector fílico, que se condice con la interpretación espectral que determina la presencia de sericitas en la misma área. Por otro lado, en el sector sureste, se define una zona con cuarzo y arcillas, que coincide con la mayor población de illitas interpretadas por espectrometría. Hacia los extremos, las zonas anteriormente descritas, se aprecia alteración clorítica y en menor grado propilítica, caracterizadas por clorita-magnetita; y por clorita-epidota-magnetita respectivamente. Los datos de espectrometría obtenidos para esos sectores coinciden con el ensamble clorita-esmectita (Figura 5.1)



**Figura 5.1:** Comparación entre mapeo de alteración hidrotermal y asociaciones minerales definidas por espectrometría.

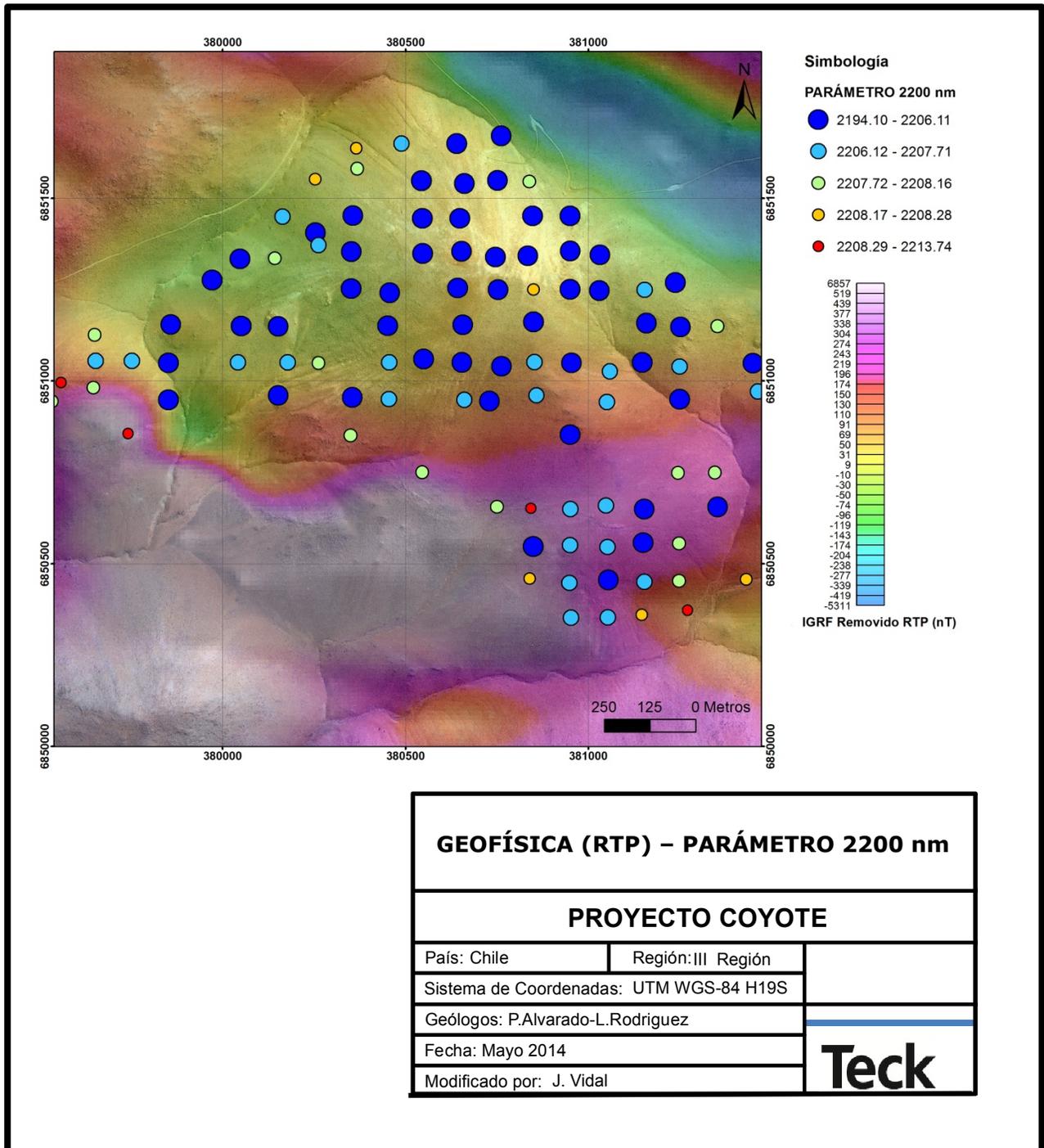
## 5.2. Vínculo entre la geofísica y espectrometría

La zona de alto magnético, en la parte inferior de la Figura 5.2, es consistente con la interpretación de clorita – esmectita dominante, ya que en Coyote, la magnetita está presente tanto en la alteración clorítica como en la propilítica. La zona de calma (amarilla en RTP), que tiene ausencia de señal magnética, estaría relacionada con la asociación interpretada como sericita – caolinita dominante, consistente con aniquilación de magnetita asociada a la alteración fílica.



**Figura 5.2:** Minerales identificados por espectrometría sobre mapa de anomalía magnética en el proyecto Coyote.

De la Figura 5.3 se puede apreciar que el Parámetro 2200nm se mantiene mínimo en las zonas del moderado bajo magnético. La longitud de onda del parámetro presenta un aumento hacia la zona del alto magnético.



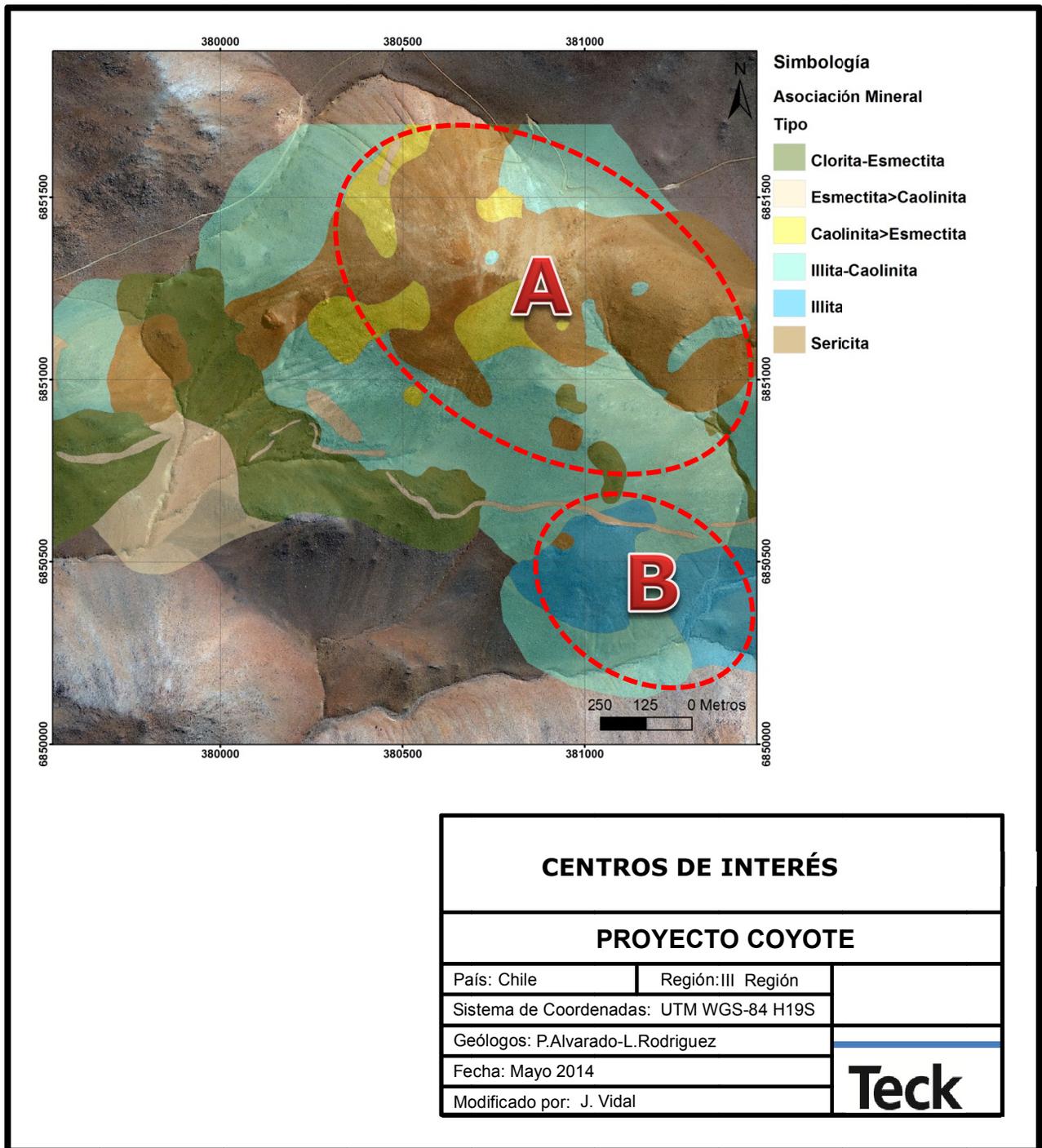
**Figura 5.3:** Valores del Parámetro 2220 nm sobre mapa de anomalía magnética en el proyecto Coyote.

### 5.3. Definición de un vector de temperatura

Dentro del proyecto Coyote se pueden definir dos centros de potencial interés (o centros mineralizados) (A y B, Figura 5.4). El primero (A), se ubica en el sector central del área, donde se presentan dos cuerpos porfídicos (PQFg y PQF) intruyendo a la roca caja GRD; cuerpos de brecha hidrotermal intruyen a estas unidades. Este centro se asocia a la presencia de sericita interpretada por espectrometría, a cristalinidades más altas, y valores menores del parámetro 2200 nm. Además, se encuentra en un sector de bajos magnéticos.

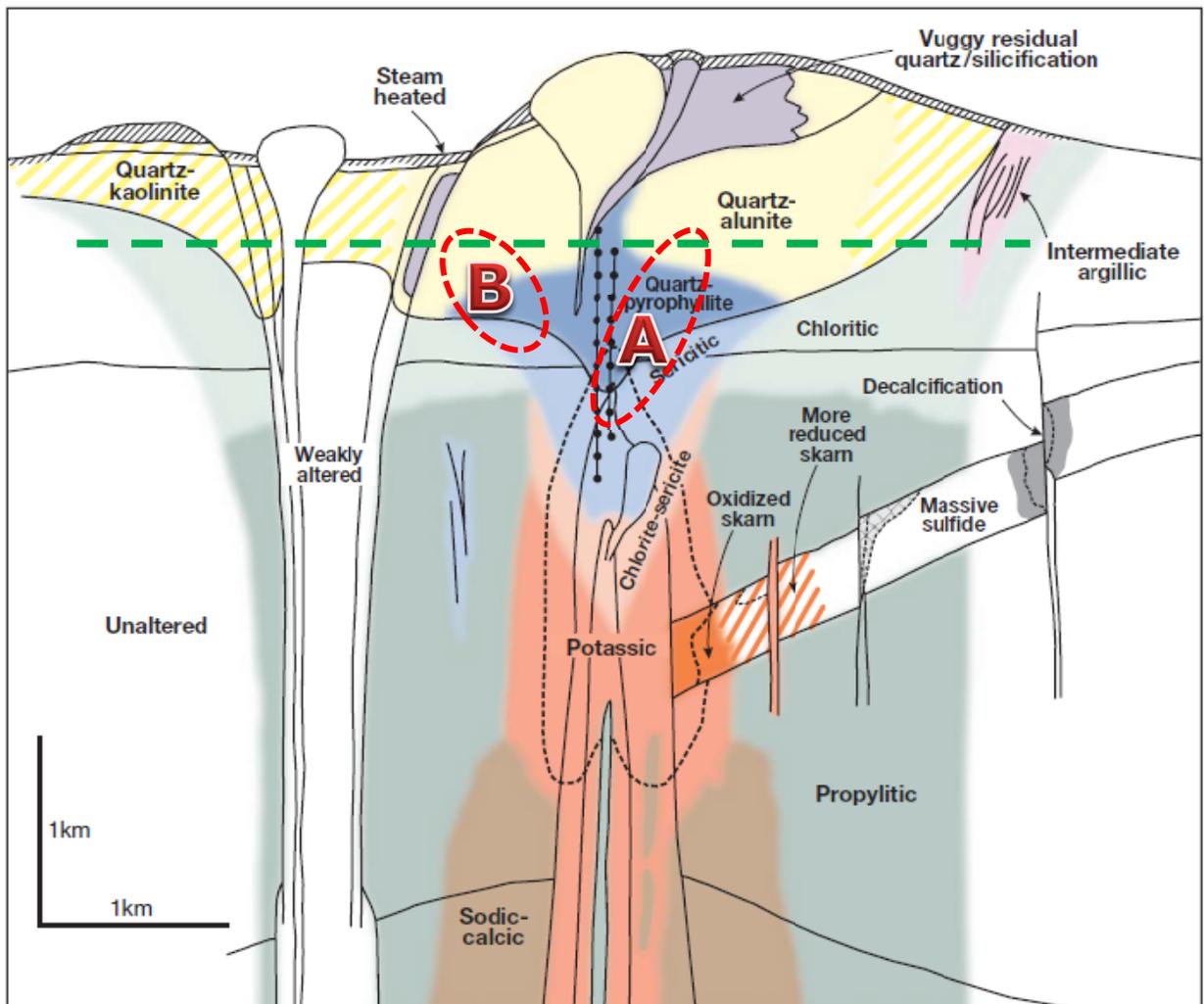
El segundo (B), se encuentra en el sector sureste del área, donde existe una extensa zona de alteración cuarzo-illita en la GRD. Se asocia a illitas y caolinitas interpretadas por espectrometría, a valores de cristalinidad más bajos, y con una longitud de onda mayor.

Se puede definir un vector de temperatura desde la zona illita e illita-caolinita (temperaturas más bajas) hacia el sector de las sericitas (temperaturas más altas), es decir desde (B) a (A) (Figura 5.4). Este vector definido, es confirmado y validado con los valores de cristalinidad y parámetro 2200 nm.



**Figura 5.4:** Centros de interés en el proyecto Coyote.

Al graficar los dos centros definidos anteriormente utilizando el modelo de Sillitoe 2010 (Figura 5.5) se observa que la zona A (con presencia de sericita, caolinita, illita, alunita) se encontraría desde la zona sericítica hasta el área de alteración cuarzo - alunita. El centro B (con presencia de illita, caolinita) se localizaría en la zona superior sericítica y en la parte baja de la zona de cuarzo - caolinita. La línea verde indica el nivel de exhumación en el proyecto Coyote debido a que existen pocas zonas de alteración argílica y ausencia de sectores con alteración argílica avanzada.



**Figura 5.5:** Centros de interés en el modelo de alteración en depósitos tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).

# Capítulo 6

## Conclusiones

La espectrometría SWIR es una herramienta efectiva que ayuda al mapeo de campo durante la exploración minera. La capacidad para diferenciar rápidamente los minerales de alteración de grano fino y para reducir la ambigüedad de criterio en el reconocimiento de estos, permite incrementar el conocimiento del proyecto que se está estudiando. Con la espectrometría, finalmente se logró delinear de manera más precisa la distribución de minerales de alteración en el proyecto Coyote.

El uso de espectrómetros SWIR llena un importante vacío en la obtención de datos de exploración, ya que contribuye al mapeo consistente de alteraciones en un sistema mineralizado. La determinación de los minerales de alteración de manera sistemática durante un programa de exploración, ayuda a la rápida evaluación de la alteración de un yacimiento y, por tanto, aumenta la eficiencia de la misma.

La cristalinidad de la illita es un parámetro espectral que indica el grado de ordenamiento estructural de las illitas y sericitas, y sirve para validar la interpretación manual que se hace de las mismas. En general, valores de menor grado de cristalinidad corresponden a menores temperaturas de formación, indicando procesos de alteración más tardíos o superficiales (muestras de roca con estos valores bajos de cristalinidad fueron interpretados por espectrometría como illitas). Por el contrario, altos índices de cristalinidad corresponden a mayores temperaturas de formación, más asociados a los procesos tempranos de alteración hidrotermal o mayor profundidad relativa (muestras interpretadas por espectrometría como sericitas).

El Parámetro 2200 nm permite estimar la composición relativa de la illita y moscovita respecto a su contenido de aluminio presente en las capas octaédricas. Como a su vez evidencia cambios en el orden interno de los minerales (estructura cristalina), se puede relacionar y comparar con el valor de la cristalinidad. Ambos parámetros, entonces, se validan respectivamente y permiten definir un vector de temperatura en el sistema. La relación entre estos parámetros es inversa: a cristalinidades más bajas, el parámetro 2200 nm presenta valores mayores, y a longitudes de onda (parámetro 2200 nm) más pequeñas se asocian cristalinidades más altas, lo que confirma que las

muestras con estructura interna más ordenadas son también ricas en aluminio.

Con ayuda de los parámetros cristalinidad y 2200 nm es posible determinar zonaciones que pueden o no reflejar un ambiente hidrotermal interesante para la exploración. Por ello es interesante notar, que toda la información con la que se contaba en la zona de estudio (geológica y geofísica), es coherente con los resultados espectrales.

Comparando los centros (A) y (B) definidos en el Capítulo 5, (A) es el que presenta las características espectrales más interesantes (mayor cristalinidad, valores del parámetro 2200 nm más bajos), se ubica en la zona de bajo magnético y está dentro del área de mayor actividad de intrusivos. Se convierte, entonces, en el área prioritaria para futuros estudios en la zona.

# Capítulo 7

## Recomendaciones

- Ampliar y completar el muestreo de rocas para espectrometría hacia las zonas norte y sureste con el fin de definir el límite del sistema.
- Si se quiere validar o verificar a través de otro método adicional la correcta identificación de illitas y sericitas, se aconseja realizar análisis con microsonda electrónica, que entregará la composición química de las micas blancas y puede ser comparada con el parámetro 2200 nm para estimar el contenido de aluminio.
- Se recomienda realizar 10 sondajes de al menos 500 m de profundidad. Su numeración y ubicación en el área es en función de la optimización de los recursos en la exploración (Figura 7.1).

7 sondajes (JV-001, JV-002, JV-003, JV-004, JV-007, JV-008, JV-010) localizados en la zona A, con el propósito de cortar los pórfidos intraminerales conocidos y buscar un pórfido con la principal mineralización en profundidad (alteración potásica). Se definió un azimut de 0°, 90° y 180° tomando en cuenta la dirección preferencial NO de los diques postminerales.

2 sondajes (JV-005 y JV-006) en la zona B, con el fin de buscar una relación entre el brechamiento y un pórfido mineralizado en profundidad, además de cortar el centro de alteración cuarzo – illita. Se definió un azimut 180° y 270° en base a la dirección preferencial NO de los diques postminerales.

1 sondaje (JV009) al oeste de la zona A, con un azimut de 45° para cortar la brecha hidrotermal en profundidad y la zona con presencia de sericita.

El detalle de los sondajes propuestos se muestra en la Tabla 7.1.

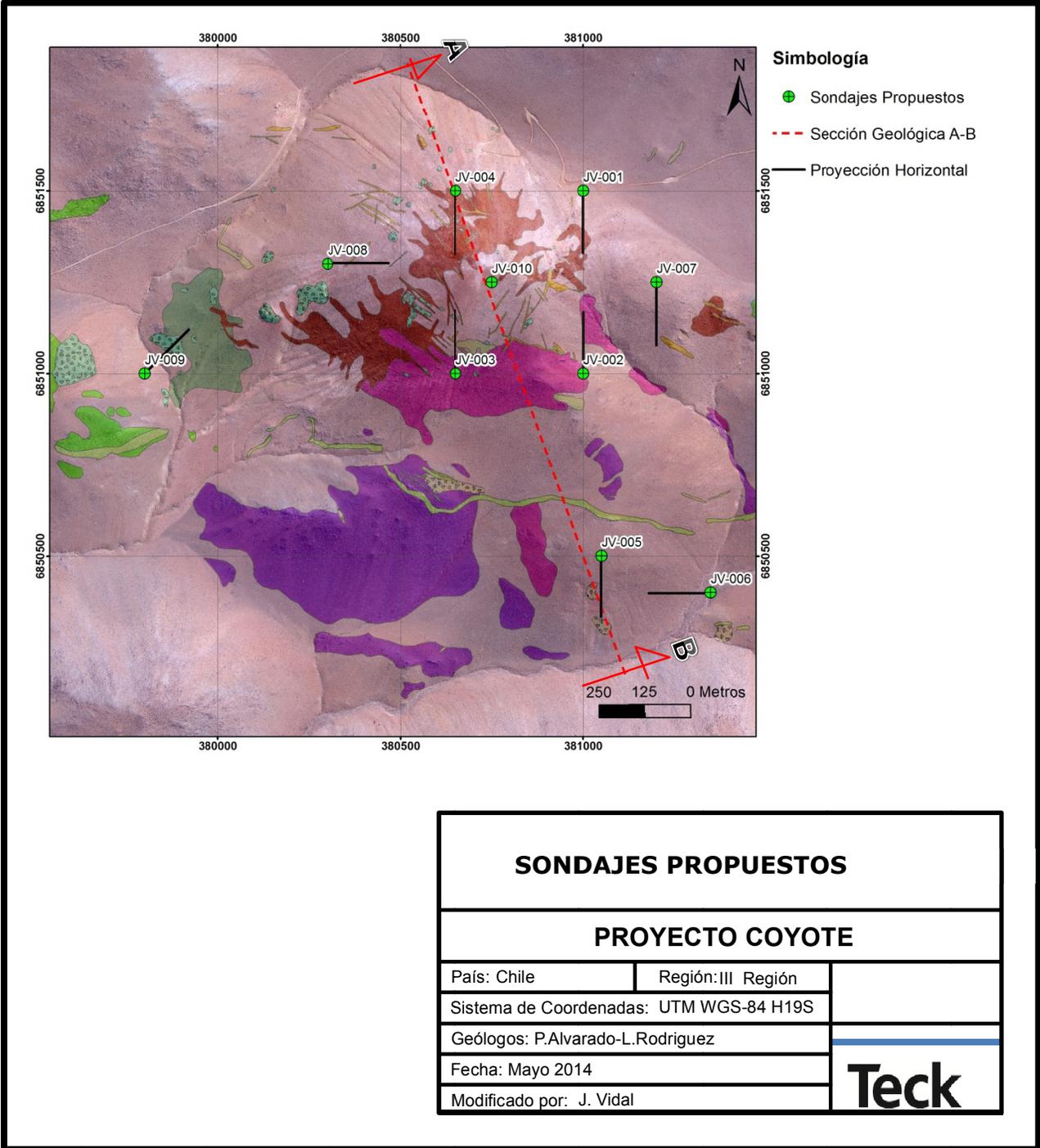
**Tabla 7.1.** Detalle de los sondajes propuestos para el proyecto Coyote.

<b>Sondaje</b>	<b>Norte</b>	<b>Eeste</b>	<b>Elevación [m]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Inclinación [°]</b>	<b>Azimut [°]</b>
JV-001	6851500	381000	2625	500	-70	180
JV-002	6851000	381000	2440	500	-70	0
JV-003	6851000	380650	2390	500	-70	0
JV-004	6851500	380650	2525	500	-70	180
JV-005	6850500	381050	2280	500	-70	180
JV-006	6850400	381350	2300	500	-70	270
JV-007	6851250	381200	2520	500	-70	180
JV-008	6851300	380300	2285	500	-70	90
JV-009	6851000	379800	2380	500	-70	45
JV-010	6851250	380750	2470	500	-90	0

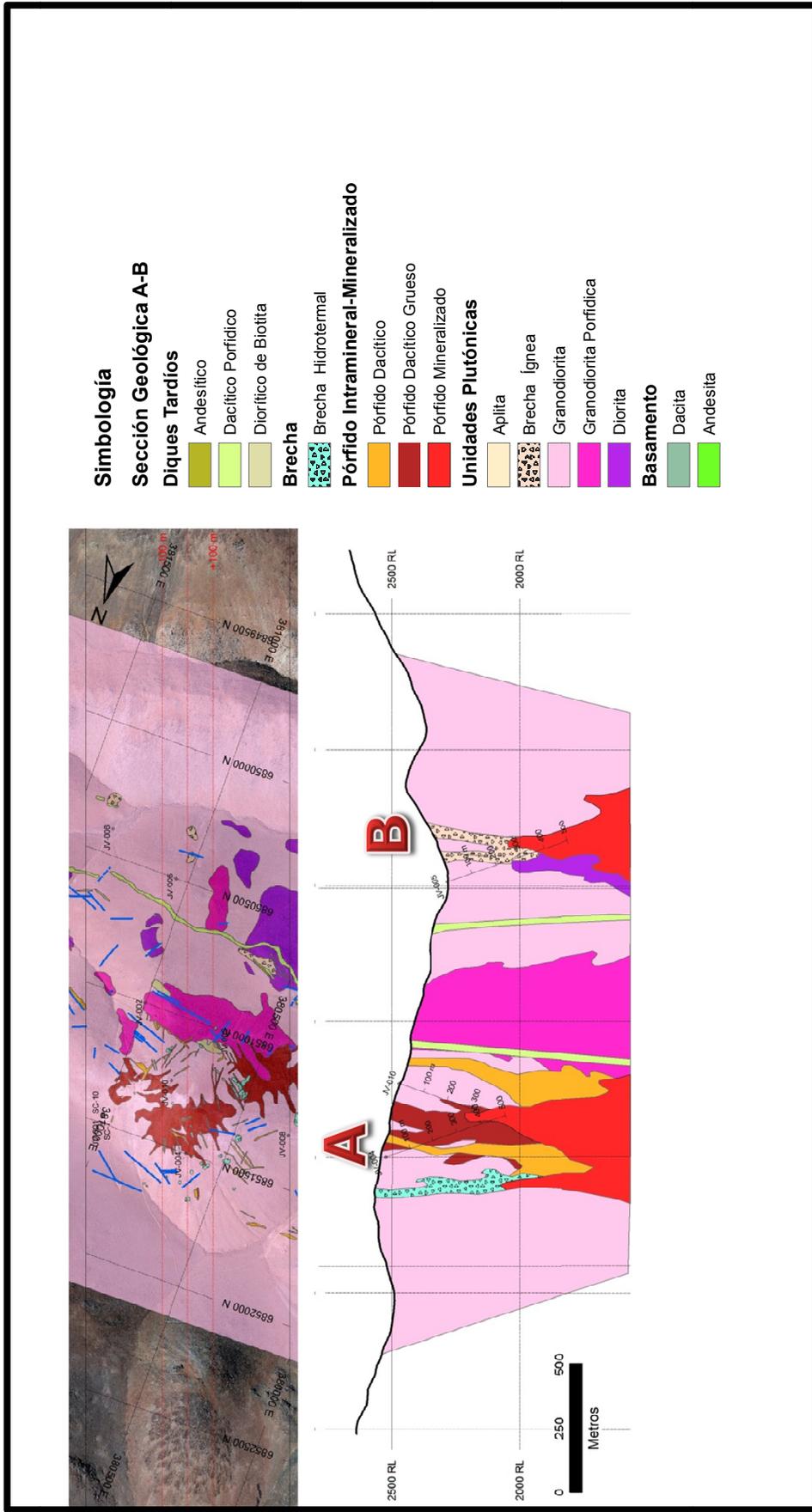
Se confeccionó una sección geológica A – B (Figura 7.1) para mostrar lo que se espera encontrar en los dos centros de interés definidos.

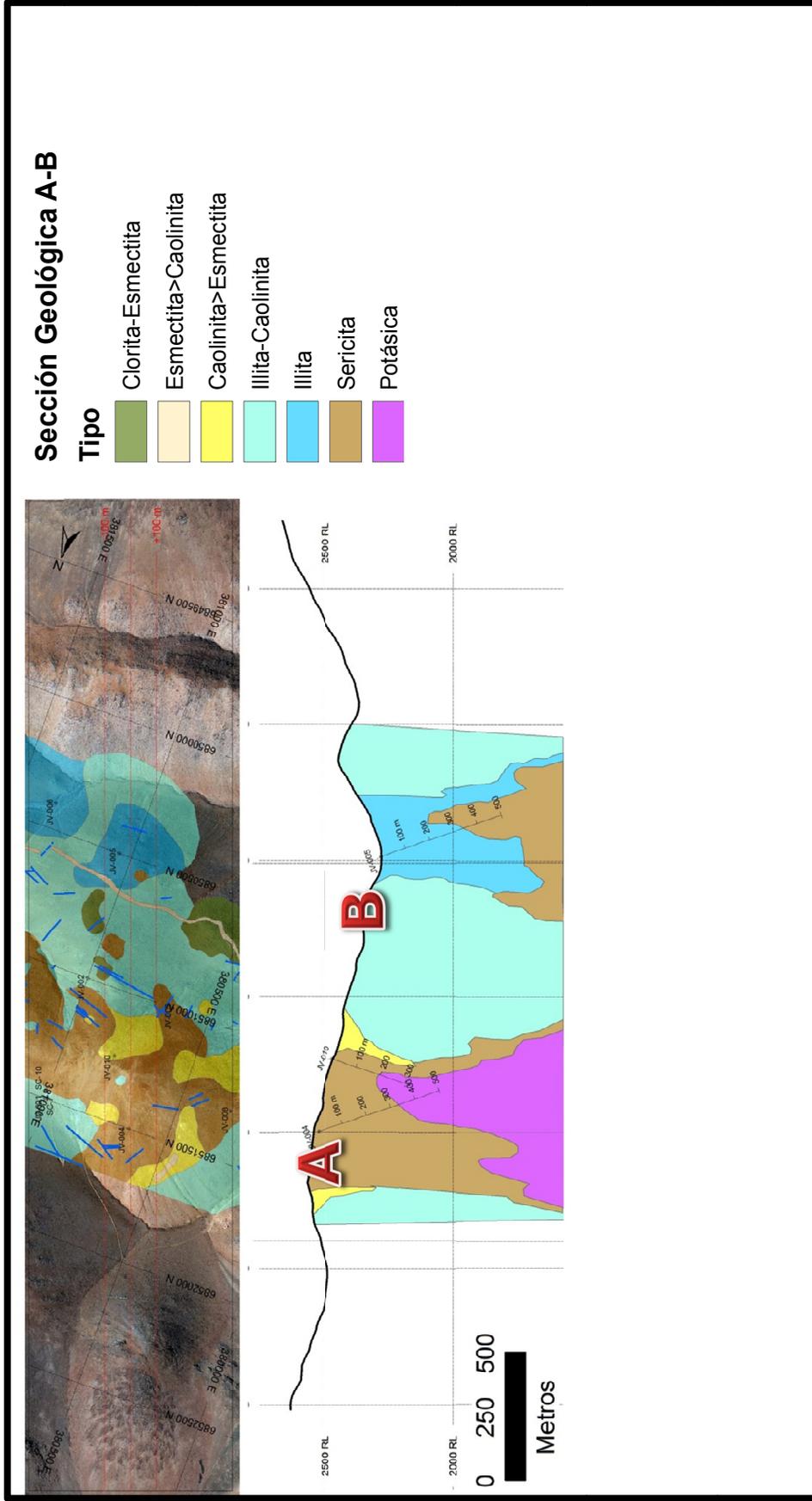
En la sección A-B de la Figura 7.2 se muestra la litología del proyecto. En la zona A se intenta cortar un cuerpo de pórfido mineralizado que no aflora en superficie, además de buscar una mineralización asociada a una mayor temperatura (calcopirita > pirita). En la Figura 7.3 en donde se muestra la sección A – B con la alteración del proyecto, se quiere cortar la alteración fílica y entrar en la zona de alteración portásica ( $\pm$  400 m de profundidad) tomando en cuenta el nivel de exhumación.

En la zona B, el interés es perforar hacia el origen o raíz de las brechas para buscar un cuerpo de pórfido (Figura 7.2). Con respecto a la alteración hidrotermal se planea profundizar en la alteración illita – caolinita hacia una alteración fílica (Figura 7.3).



**Figura 7.1:** Sondajes propuestos en el proyecto Coyote.





**Figura 7.3:** Sección geológica A - B mostrando la alteración hidrotermal y los sondeos propuestos.

# Bibliografía

Burns, R.G. (1993). Mineralogical applications of crystal field theory: New York, Cambridge University Press, 551 p.

Cline, J. S. y Bodnar, R. J. (1991). Can Economic Porphyry Copper Mineralization be Generated by A Typical Calc-Alkaline Melt? Journal of Geophysical research, 96 (B5): 8113-8126.

Clark, R.N., King, T.V.V., Klejwa, M., Swayze, G.A., y Vego, N. (1990). High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals: J. Geophys. Res.,v.95,no. B8,p.12653-12680.

Crowley, J. K. y Vergo, N. (1988). Near-infrared reflectance spectra of mixture of kaolin-group minerals; use in clay mineral studies: Clays and Clay Mineral, v. 36, no 4, p.310-316.

Duba, D., y Williams-Jones, .E. (1983). The application of illite crystallinity, organic matter reflectance, and isotopic techniques to mineral exploration; a case study in southwestern Gaspé, Quebec: Economic Geology, v.78, no 7, p.1350-1363.

Duke, E. F. (1994). Near infrared spectra of muscovite, Tschermak substitution, and metamorphic reaction progress: Implications for remote sensing. Geology, v. 22, no. 7, p. 621-624.

Guggenheim, S., Bain, D.C. Bergaya, F., Brigatti, M.F., Drits, V.A., Eberl, D.D.,Formoso, M.L.L, Galán, E., Merriman, R.J., Peacor, D.R, Stanjek, H., y Watanabe, T., 2002, Report of the Association Internationale pour l'Étude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2001: Order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "Crystallinity Index": Clay Minerals, v.37, no.2, p.389-393.

Hauff, P., Kruse, F., Madris, R., Fraser, S., Huntington, J., Jones, M., Watters, S., y Environm Res Inst, M. (1991). Illite crystallinity –case-histories using x-ray diffraction and reflectance spectroscopy to define ore host environments: Proceedings of the Eighth Thematic Conference on geologic remote Sensing: exploration, Engineering, and Environment Vols 1 and 2, p. 447-458.

Hermann, W., Blake, M., Doyle, M. (2001). Short Wavelength Infrared (SWIR) Spectral Analysis of Hydrothermal Alteration Zones Associated with Base Metal Sulfide Deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland: Economic Geology, V. 96, p. 939-955.

Hewitt, P. (2004). Conceptual Physics, Media Update with Practicing Physics and Media Worksheets, 9 ed. Addison Wesley editor. 790 p.

Hunt, G.R., y Ashley, R.P. (1979). Spectra of altered rocks in the visible and near infrared: Economic Geology, V. 74, no, 7, p. 1613-1629.

Kerr, A., Rafuse, H., Sparkes, G., Hinchey, J., y Sandeman, H. (2011). Visible/Infrared Spectroscopy (VIRS) as a research tool in Economic Geology: Background and Pilot Studies from Newfoundland and Labrador. Department of Natural Resources Geological Survey, Report 11-1, 145-166.

Lowell, J. D. y Guilbert, J. M. (1970). Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits Economic Geology. Economic Geology, 65:373-408.

Meyer, C ., y Hemley, J. J. (1967). Wall rock alteration, in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York, Reinhardt and Winston Holt,p.166-235.

Moscoso, R., Mpodozis, C., Nasia, C., Ribba, L., and Arévalo, C. (compilador). (2010). Geología de la Hoja El Tránsito, región de Atacama. Carta Geológica de Chile, Serie Preliminar, mapa escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.

Ostrooumov, M. (2006). Amazonite from Pre-Cambrian pegmatites (Kola Peninsula, Russia): crystal chemical and spectrometric study. *Schweizerische Mineralogische and Petrographische Mitteilungen*. Vol. 85, 1: 89-102.

Páez, C. (2008). Espectrometría de reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración en la zona de Viruela-La Cruz, proyecto La India: Distrito Minero Mulatos, Sahuaripa, Sonora México. Memoria de tesis. Universidad de Sonora, México.

Pérez, C., y Muñoz, N. (2002). Teledetección: nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca. 210 p.

Pirajno, F. (1992). *Hidrothermal mineral deposits: principles and fundamental concepts for the exploration geologist*, Berlin etc., Springer-Verlag, 709p.

Post, J. L., y Noble, P. N. (1993). The near-infrared combination band frequencies of dioctahedral smectites, micas, and illites: *Clays and Clay Minerals*, v. 41, no. 6, p.639-644.

Pontual, S., Merry, N., y Gamson, P. (1997). *Spectral Analysis Guides for Mineral Exploration G-MEX*, V.1-8.

Rieder, M., Cavazzini, G., D'Yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Muller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z., y Wones, D.R. (1998). Nomenclature of the micas: *American Mineralogist*, v.83, no 11-12, p. 1366-1366.

Rodríguez, L. y Alvarado, P. (2013). Relincho Generative, Coyote Project Report. Teck Resources Chile.

Sillitoe, R. H. y Perelló, J. (2005). Andean Copper Province: Tectonomagmatic Settings, Deposit Types, Metallogeny, exploration and Discovery. *Economic Geology*, 100<sup>th</sup> anniversary: 845-890.

Sillitoe, R. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 3-41.

Sinclair, W. D. (2007). Porphyry Deposits. In Goodfellow, W. D., editor, Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, chapter 6, pages 223-243. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, London.

Thompson, A.J.B., Hauff, P.L., y Robitaille, A.J. (1999). Alteration mapping in exploration: Application of Short-Wave infrared (SWIR Spectroscopy), SEG Newsletter, Volume 39, p.16-27.

Tidy, E. (2013). Estudio Petrográfico Proyecto Coyote. Teck Resources Chile: Informe Inédito.

Townley, B. (2006). Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. Apuntes y Referencias Geología Económica, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Velde B. (1977). Proposed phase-diagram for illite, expanding chlorite, corrensire and illitemontmorillonite mixed layered minerals: Clays and Clays Mineral, v.25, no.4,p.264-270.

Yoder, H.S., y Eugster, H.P. (1995). Synthetic and natural Muscovites: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 8,no. 5-6,p.225-280.

<http://www.spectral-international.com/>

# Anexo A

## Interpretación Espectros

Los valores 0 y 1 representan la ausencia y presencia del mineral en la muestra, respectivamente.

Muestra	Este	Norte	Cl	Esm	Ill	Ser	Cao	Alu	Yeso	Tur	Jar	Cristalinidad Illita	Parámetro 2200 nm
JV001	379532	6850944	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,118	2207,96
JV002	379557	6850996	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1,12	2208,77
JV003	379566	6850572	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV004	379577	6850758	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV005	379637	6851236	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV006	379646	6850981	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,111	2207,76
JV007	379650	6851126	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,093	2207,91
JV008	379652	6851055	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,242	2207,67
JV009	379663	6850654	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV010	379728	6850637	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV011	379741	6850856	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1,219	2213
JV012	379741	6850945	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV013	379751	6851055	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2,091	2206,38
JV014	379754	6851155	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV015	379755	6851264	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV016	379758	6850753	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV017	379763	6850485	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV018	379844	6850852	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV019	379845	6850757	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
JV020	379851	6850948	0	0	1	1	0	0	1	0	0	2,438	2203,9
JV021	379851	6851049	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1,544	2206,11
JV022	379856	6850638	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV023	379858	6851154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,63	2203,24
JV024	379904	6850599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV025	379939	6850967	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV026	379953	6851276	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV027	379954	6851141	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Muestra	Este	Norte	Cl	Esm	Ill	Ser	Cao	Alu	Yeso	Tur	Jar	Cristalinidad Illita	Parámetro 2200 nm
JV028	379964	6850834	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV029	379971	6851276	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1,412	2205,01
JV030	380025	6850858	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV031	380042	6851051	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1,104	2206,75
JV032	380047	6850953	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV033	380047	6851334	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0,979	2203,1
JV034	380049	6851141	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV035	380050	6851150	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5,011	2199,24
JV036	380053	6851244	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV037	380076	6850671	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV038	380079	6850763	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV039	380143	6851335	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,017	2208,12
JV040	380149	6850641	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV041	380152	6850960	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,183	2201,82
JV042	380152	6851149	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3,894	2202,55
JV043	380158	6850855	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV044	380164	6851450	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,116	2207,37
JV045	380166	6850767	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV046	380177	6851051	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,281	2206,96
JV047	380248	6850858	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV048	380250	6850952	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV049	380253	6851552	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,024	2208,2
JV050	380254	6851406	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,212	2203,13
JV051	380261	6851139	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV052	380262	6851049	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,958	2207,83
JV053	380262	6851372	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,92	2207,49
JV054	380349	6850851	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0,66	2207,94
JV055	380350	6851056	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV056	380350	6851155	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV057	380351	6851252	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5,224	2199,22
JV058	380352	6851354	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,96	2199,87
JV059	380354	6850955	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,006	2201,24
JV060	380356	6851452	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,885	2196,6
JV061	380365	6851637	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1,019	2208,24
JV062	380368	6851581	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,928	2208,02
JV063	380447	6850748	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV064	380451	6851151	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,078	2196,06

Muestra	Este	Norte	Cl	Esm	Ill	Ser	Cao	Alu	Yeso	Tur	Jar	Cristalinidad Illita	Parámetro 2200 nm
JV065	380451	6851435	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV066	380454	6850950	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,104	2206,75
JV067	380455	6851051	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,343	2207
JV068	380455	6851541	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV069	380457	6851241	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,494	2197,19
JV070	380468	6851344	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV071	380489	6851650	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0,771	2207,51
JV072	380518	6850677	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV073	380527	6850959	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV074	380535	6851243	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
JV075	380543	6851548	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,934	2198,52
JV076	380545	6851655	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV077	380546	6850750	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,168	2207,86
JV078	380546	6851445	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2,38	2200,92
JV079	380547	6851167	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
JV080	380547	6851349	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,172	2204,36
JV081	380549	6851060	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4,824	2194,1
JV082	380640	6851650	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4,176	2195,92
JV083	380642	6851254	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,491	2196,65
JV084	380648	6850648	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV085	380648	6851445	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1,92	2202,41
JV086	380653	6851355	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3,855	2196,54
JV087	380654	6851051	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,259	2202,01
JV088	380657	6851153	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,616	2200,52
JV089	380661	6850948	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,994	2207,46
JV090	380661	6851540	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3,069	2194,89
JV091	380730	6850945	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4,927	2198,58
JV092	380746	6851339	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1,76	2205,44
JV093	380748	6851451	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV094	380750	6850655	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,834	2207,78
JV095	380751	6851153	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV096	380752	6851549	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1,876	2198,03
JV097	380753	6851250	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,224	2196,41
JV098	380762	6851671	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2,734	2196,58
JV099	380763	6851040	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,754	2200,1
JV100	380835	6851342	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,003	2197,95
JV101	380839	6851545	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,089	2207,88

Muestra	Este	Norte	Cl	Esm	Ill	Ser	Cao	Alu	Yeso	Tur	Jar	Cristalinidad Illita	Parámetro 2200 nm
JV102	380840	6850459	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,568	2208,28
JV103	380843	6850651	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,628	2208,45
JV104	380847	6851451	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2,004	2200,28
JV105	380849	6850547	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,369	2203,48
JV106	380850	6851162	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,514	2195,99
JV107	380850	6851250	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,395	2208,2
JV108	380851	6850351	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
JV109	380852	6851052	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0,773	2207,52
JV110	380858	6850960	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0,677	2207,68
JV111	380948	6850447	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1,482	2206,76
JV112	380950	6850550	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2,229	2206,35
JV113	380950	6850853	0	1	0	1	0	0	0	1	0	6,407	2200,79
JV114	380950	6851151	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV115	380950	6851251	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2,408	2195,3
JV116	380950	6851451	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3,081	2195,38
JV117	380951	6850649	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,937	2207,71
JV118	380951	6851356	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,898	2203,82
JV119	380952	6850352	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,387	2206,79
JV120	380952	6850968	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV121	380953	6851519	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV122	380954	6851049	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,109	2197,23
JV123	381030	6851247	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,122	2197,03
JV124	381032	6851345	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,76	2202,6
JV125	381048	6850659	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,55	2207,25
JV126	381050	6850850	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV127	381051	6850942	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,343	2207
JV128	381052	6850545	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,917	2207,13
JV129	381053	6850353	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1,454	2207,69
JV130	381055	6850455	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,607	2205,04
JV131	381056	6850749	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JV132	381059	6851026	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1,011	2206,32
JV133	381146	6850360	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,254	2208,19
JV134	381147	6851051	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1,795	2204,17
JV135	381150	6850557	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0,871	2204,1
JV136	381153	6850450	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,244	2206,99
JV137	381153	6850649	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1,946	2205,08

<b>Muestra</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Cl</b>	<b>Esm</b>	<b>Ill</b>	<b>Ser</b>	<b>Cao</b>	<b>Alu</b>	<b>Yeso</b>	<b>Tur</b>	<b>Jar</b>	<b>Cristalinidad Illita</b>	<b>Parámetro 2200 nm</b>
JV138	381154	6851249	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,92	2207,49
JV139	381159	6851158	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3,686	2206,11
JV140	381238	6851269	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,173	2199,84
JV141	381245	6850748	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,065	2207,72
JV142	381248	6850453	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1,138	2208,01
JV143	381248	6850555	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,288	2207,78
JV144	381250	6850950	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8,031	2199,23
JV145	381250	6851039	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,489	2206,7
JV146	381252	6851147	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6,355	2197,21
JV147	381272	6850372	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1,336	2208,43
JV148	381275	6850229	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
JV149	381346	6850749	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,191	2207,76
JV150	381353	6851150	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,308	2207,82
JV151	381354	6850655	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,305	2204,66
JV152	381432	6850457	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1,439	2208,28
JV153	381450	6851048	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1,926	2200,85
JV155	381464	6850971	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1,657	2206,51

## Anexo B

# Estudio Petrográfico

Nº Muestra	JV027
------------	-------

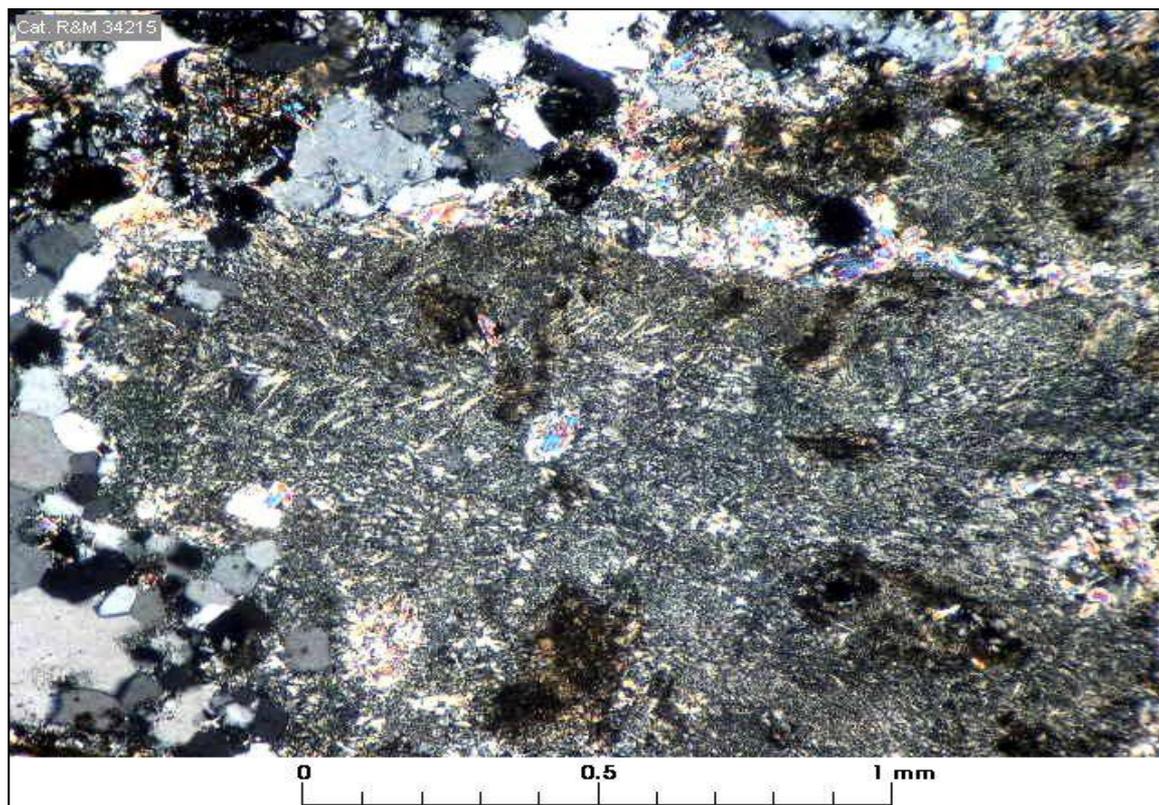
Clasificación petrográfica	Pórfido dacítico (sericitizado)
----------------------------	---------------------------------

Textura	Fxx: 22% Mf: 78%
Porfídica, masa fundamental afanítica microgranular.	

### Observaciones megascópicas/ microscópicas

La muestra corresponde a una roca subvolcánica hipabisal de composición pórfido dacítico constituido por fenocristales relativamente escasos de plagioclasa (15%) totalmente argilizada (caolinita); otros fenocristales más escasos corresponden a cuarzo magmático y biotita totalmente alterada a sericita. La masa fundamental es afanítica formada por un agregado microgranular de cuarzo entrecrecido con feldespatos (plagioclasa argilizada) y algunos granitos de biotita alterada. La masa fundamental contiene abundante sericita fina de forma muy irregulares intersticial respecto a los componentes de la masa fundamental. La roca muestra sectores brechizados en que los componentes aparecen de grano algo más grueso debido a recristalización y muy abundante sericita. La muestra se encuentra oxidada y localmente se observa escasos agregados de hematita supérgena junto a leucoxeno (TiO<sub>2</sub> amorfo).

### Microfotografía (aspecto general)



**Muestra JV027:** Parte de un fenocristal de plagioclasa totalmente alterado a caolinita y más escasa sericita. Aum.: 6,3x10; Nic.cruzados.

**Fenocristales: 22%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	15	argilización, reemplazo total por caolinita y sericita variable. Maclas totalmente obliteradas.	cristales subhedrales de 0,7-3 mm.
cuarzo	4	sin alteración.	fenocristales del tipo dipiramidal (magmático) con tamaños entre 0,5-1,4 mm.
mica (biotita)	3?	sericitización total.	cristales de 0,8-1,2 mm. En algunos cristales sericitizados se reconocen características de la biotita original; el resto de la sericita presente en la roca corresponde a agregados sin forma que permitan suponer reemplazo de biotita original.

**Masa fundamental: 78%**

Mineral	%	Alteración/ Observaciones	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	36	sin alteración.	agregados microgranulares de 0,1-0,3 mm entrecrecidos con feldespatos (plagioclasa)
plagioclasa	12	aspecto muy turbio debido a argilización.	granos anhedrales/ subhedrales de 0,2-0,8 mm.
(sericita)	30	muy abundante como componente intersticial de la masa fundamental.	agregados hojosos de grano fino (hojuelas de 0,05-0,4 mm).

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	cristalitos euhedrales de ca. 0,1 mm

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
argilización	12	alteración total de los fenocristales de plagioclasa por caolinita junto a sericita variable (en general escasa); en algunos cristales se observa esmectita amarillenta.
sericita	35	corresponde a alteración en parte de plagioclasa, biotita y agregados de forma irregular intersticiales en la masa fundamental de procedencia no comprobada.
turmalina	3	agregados de 0,5-3 mm. En muestra de mano se observó un fragmento lítico de color verde oscuro de 11 mm totalmente turmalinizado.

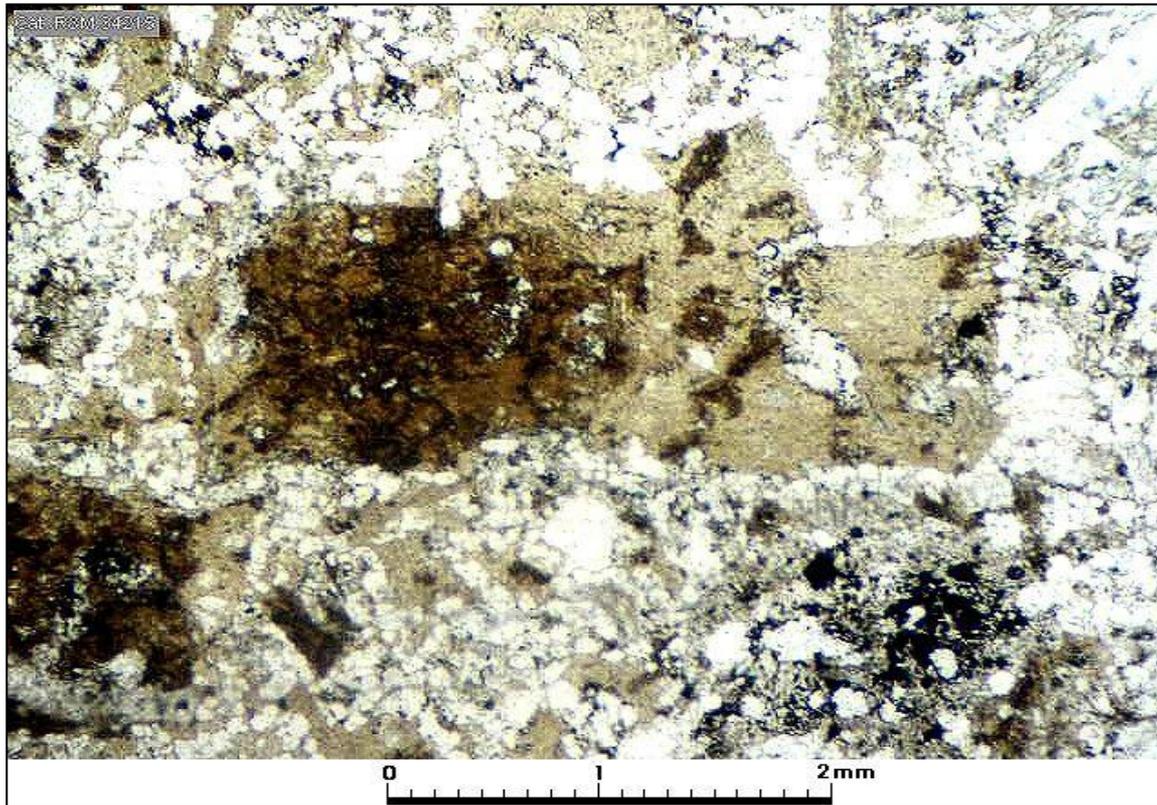
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita		agregados de 0,01-0,15 mm junto a leucoxeno amarillento correspondientes a oxidación de máficos.

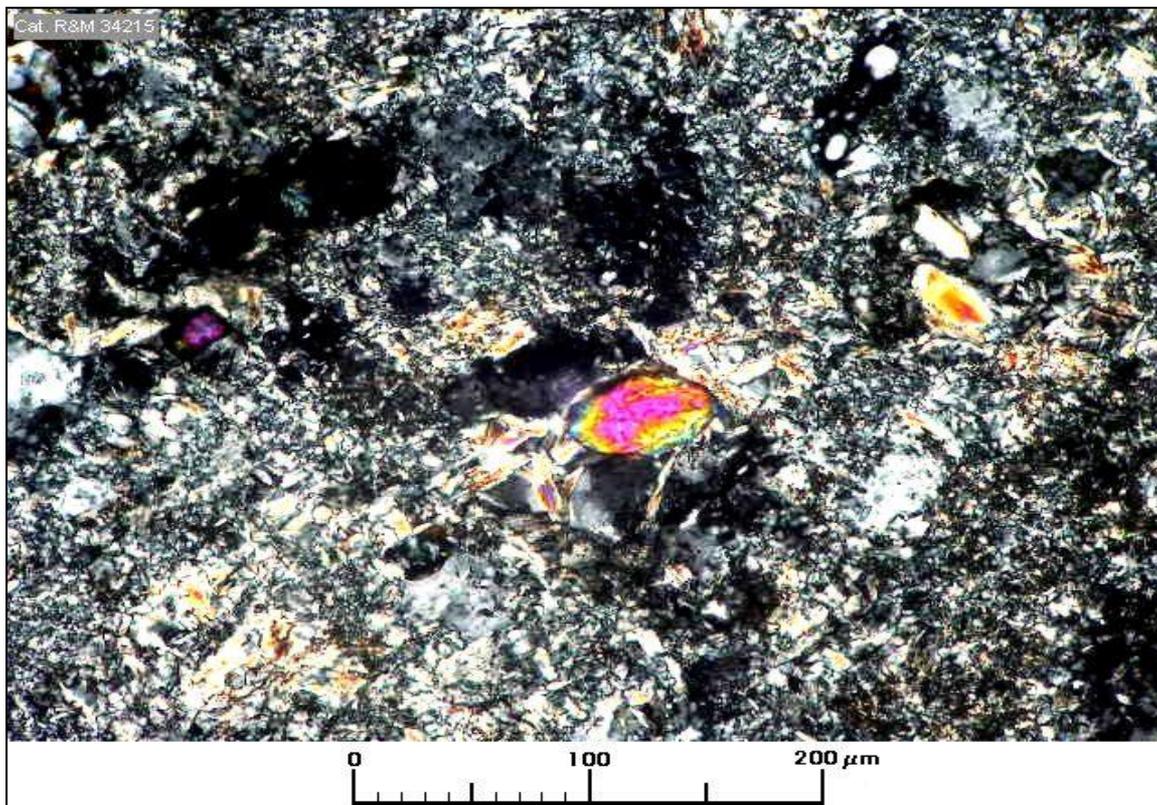
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

Selección de microfotografías

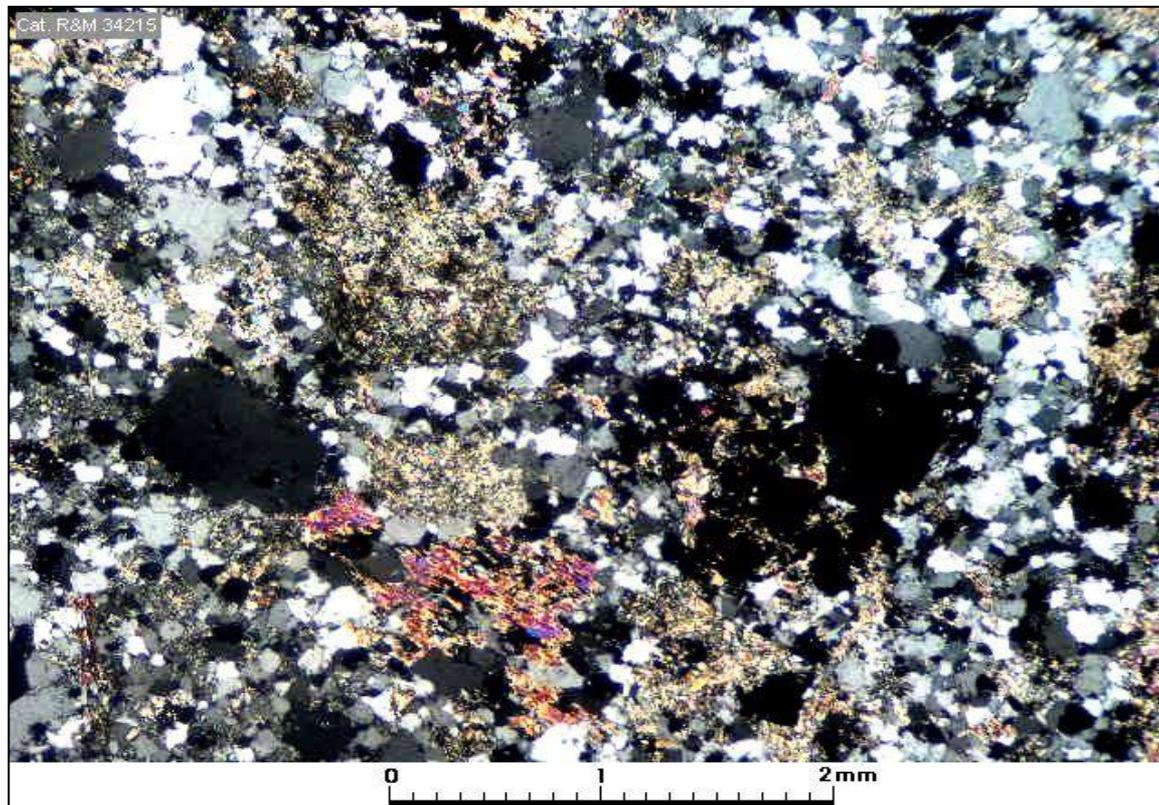


**Muestra JV027:** Fenocrystal de plagioclasa con fuerte alteración a arcilla e impregnación por limonitas. Aum.: 2,5x10; Nic.paralelos.

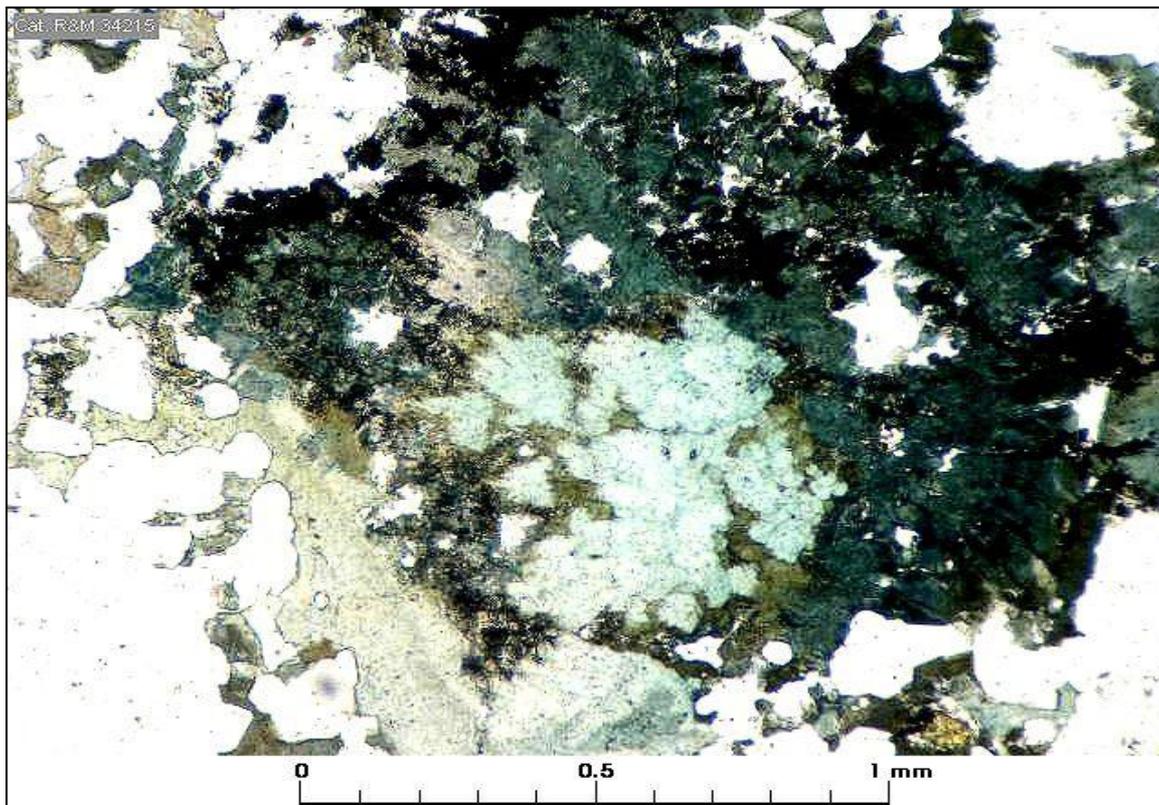


**Muestra JV027:** Masa fundamental formada por cuarzo microgranular y feldespatos totalmente sericitizados; al centro se observa un pequeño cristalito de circón. Aum.: 25x10; Nic.cruzados.

Microfotografías

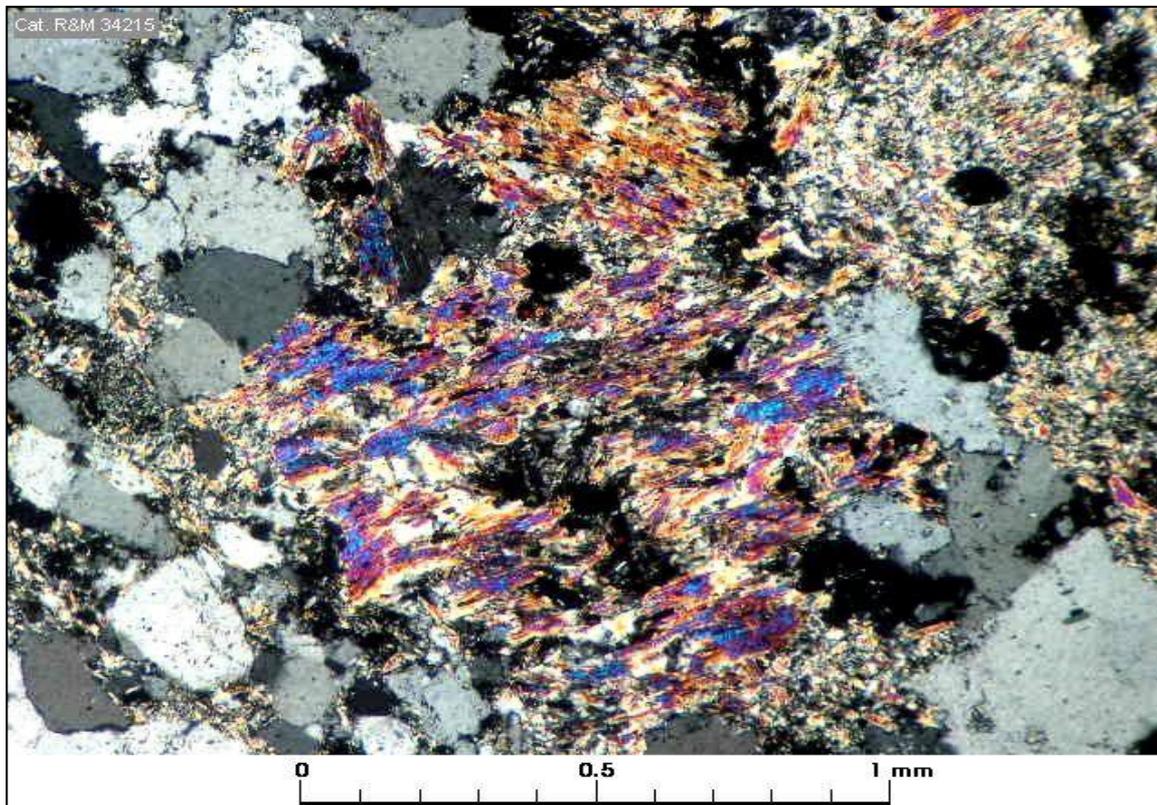


**Muestra JV027:** Aspecto general de la masa fundamental afanítica formada por un agregado microgranular de cuarzo y feldspatos sericitizados. Aum.: 2,5x10; Nic.cruzados.



**Muestra JV027:** Agregado de turmalina ferriana (schorl) en granos anhedrales de color verde, pleocroicos, negros en la muestra de mano. Aum.: 6,3x10; Nic. paralelos.

Microfotografías



**Muestra JV027:** Fenocrystal pequeño de mica alterada, probablemente una biotita totalmente reemplazada por sericita. Aum.: 6,3x10; Nic.cruzados.

**Clasificación petrográfica** Agregado granular metasomático de cuarzo, K feldespato, albita y biotita.

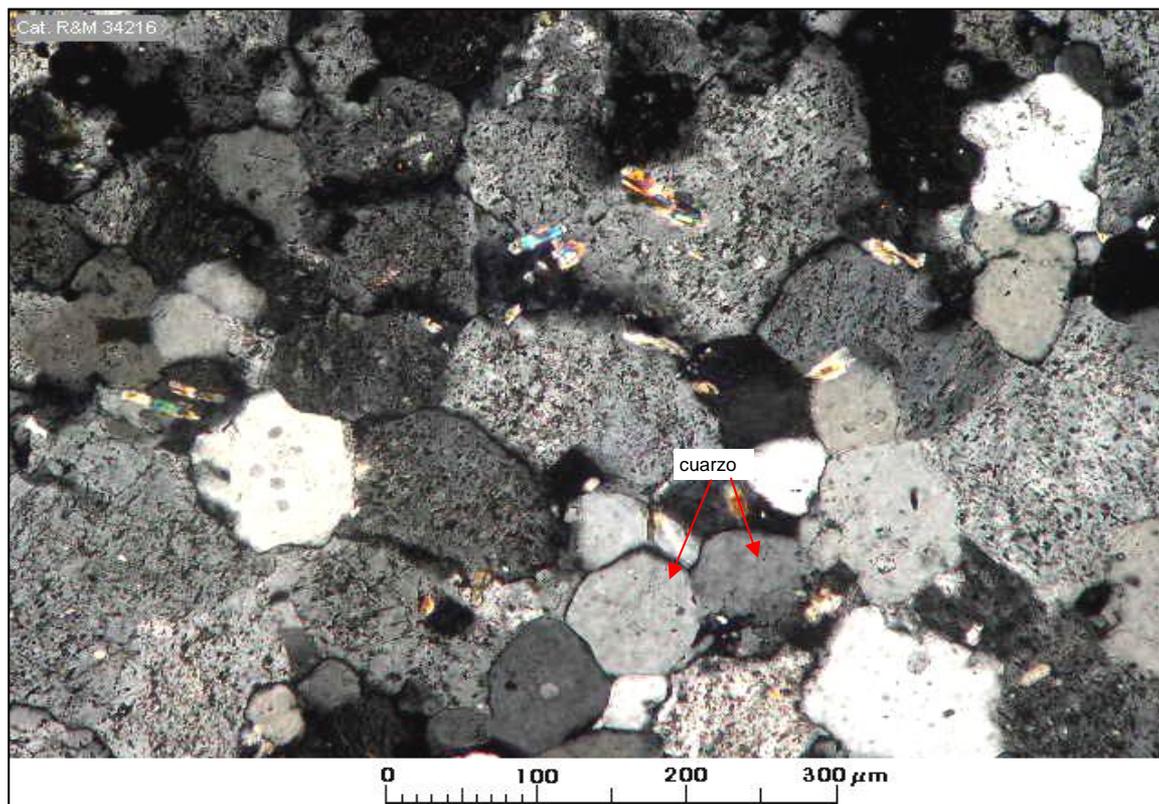
**Textura/ Estructura**

Granular, con recristalización generalizada (comparable a granoblástica, pero origen distinto).

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a una roca intensamente metasomatizada de textura granular fina constituida por componentes de reemplazo metasomático que corresponden a plagioclasa albítica, K feldespato granular y cuarzo granular. Todos estos componentes se encuentran íntimamente entrecrecidos y corresponden a una reacción potásica/ sódica que reemplazó completamente un cierto volumen de roca probablemente subvolcánica; prácticamente no se conserva rasgos de la roca original excepto por escasos cristales de formas crudamente tabulares que se interpretan como posibles remanentes de fenocristales de plagioclasa. En la muestra de mano se observaron pequeñas áreas en que se distingue formas tabulares de 1-3 mm de tamaño color blanco que corresponden posiblemente a remanentes de fenocristales. La muestra es una roca blanqueada y oxidada con algunos pequeños restos de máficos alterados a esmectita y limonitas goethíticas junto a trazas de jarosita. Agregados de turmalina en parte prismática de hasta 4 mm indican una cierta acción hidrotermal.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV033:** Agregado microgranular formado por cuarzo junto a plagioclasa albítica y k feldespato (agregado microaplítico). Aum.: 16x10; Nic.cruzados.

### Observaciones microscópicas

#### Componentes minerales

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	22	sin alteración.	granos anhedrales de 0,15-0,7 mm entrecrecidos con abundante plagioclasa y K feldespato.
K feldespato	34?	aspecto turbio debido a inclusiones y posiblemente generación incipiente de arcilla.	granos anhedrales de 0,15-0,8 mm: Localmente se observa agregados más gruesos formados por granos de K feldespato de hasta 1,2 mm
plagioclasa	40?	aspecto turbio muy similar al K feldespato.	composición albita con índices de refracción todos menores que el cuarzo y aspecto muy similar al K feldespato. Se distingue del K feldespato con seguridad en aquellos granos que muestran maclas polisintéticas, de lo contrario es muy difícil hacer la distinción entre granos de K feldespato y granos de plagioclasa albita no maclada (un recurso consiste en verificar las figuras de interferencia en que la albita aparece como ópticamente positiva y el K feldespato como negativo, pero en granos tan pequeños es difícil obtener buenas figuras de interferencia). Por lo anterior los porcentajes de plagioclasa albita y K feldespato son sólo tentativos. Una técnica que suele ser útil consiste en teñir el K feldespato. Con cobaltinitrito de sodio se tiñe de amarillo intenso y se puede distinguir fácilmente de la plagioclasa.
biotita	4	algunos presentan algo de sericitización.	granos anhedrales de 0,1-0,8 mm.

#### Componentes accesorios

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	escasos cristalitas por lo general fragmentados de hasta 0,1 mm.

#### Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

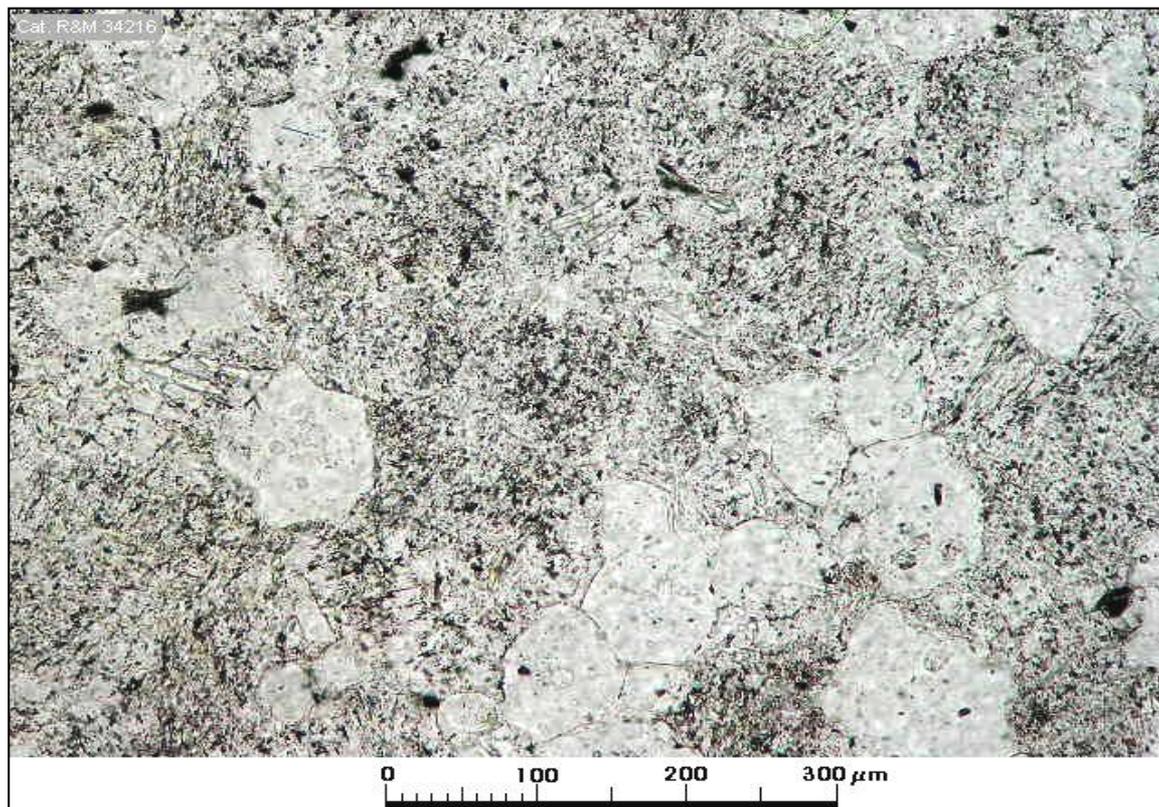
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
<p>Todos los componentes de esta muestra corresponden a reemplazo total de un cierto volumen de roca debido a metasomatismo alcalino (Na, K). Aparte de estos componentes metasomáticos se observó agregados bien cristalizados de turmalina negra (schorl) en cristales prismáticos de hasta 2 mm entrecrecidos con cuarzo hidrotermal, limonitas goethíticas y jarosita. Localmente hay agregados finos de sericita.</p>		

#### Minerales Opacos

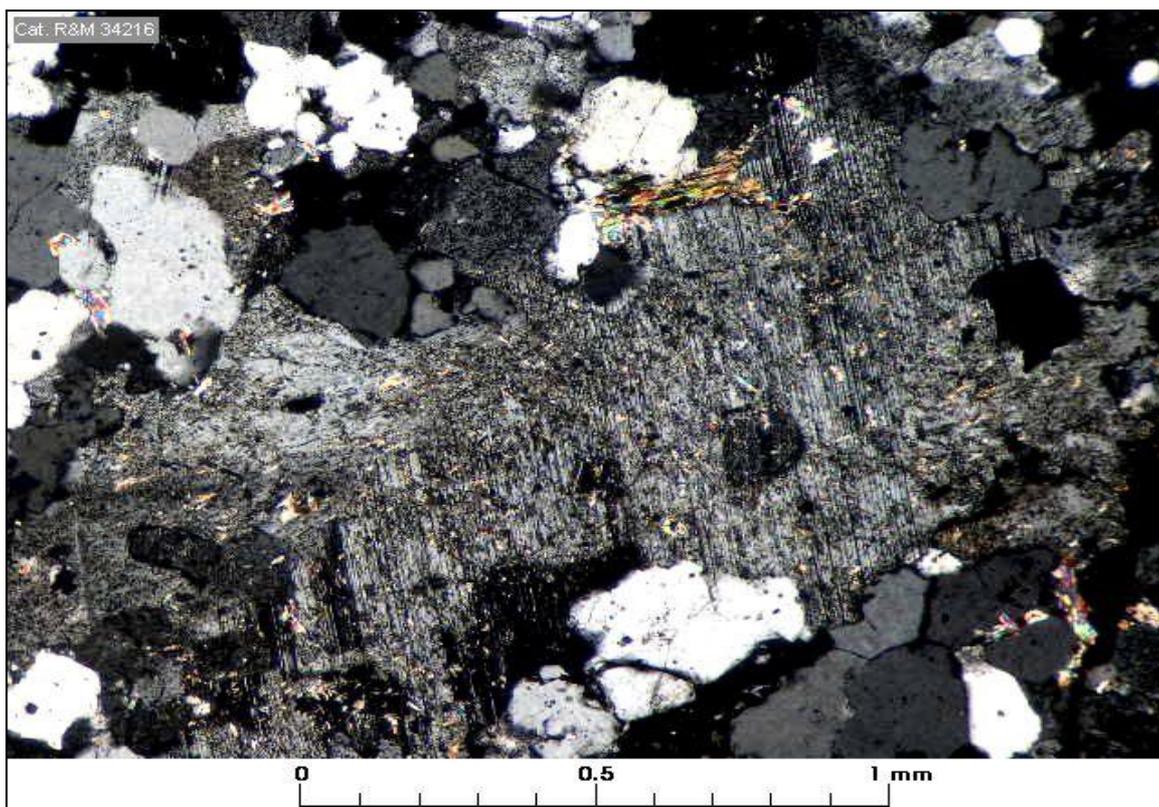
Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita	3	agregados de hematita roja de 0,05-0,2 mm entrecrecidos con leucoxeno.

#### Estructuras

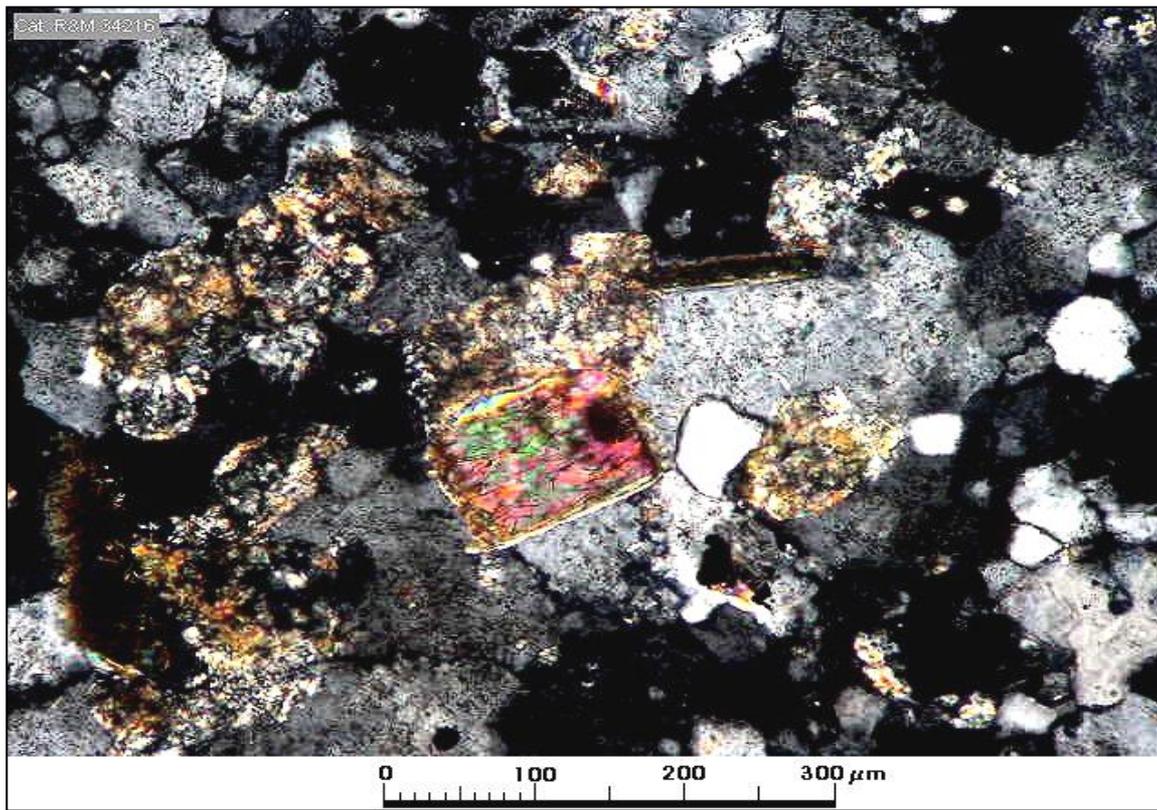
Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		



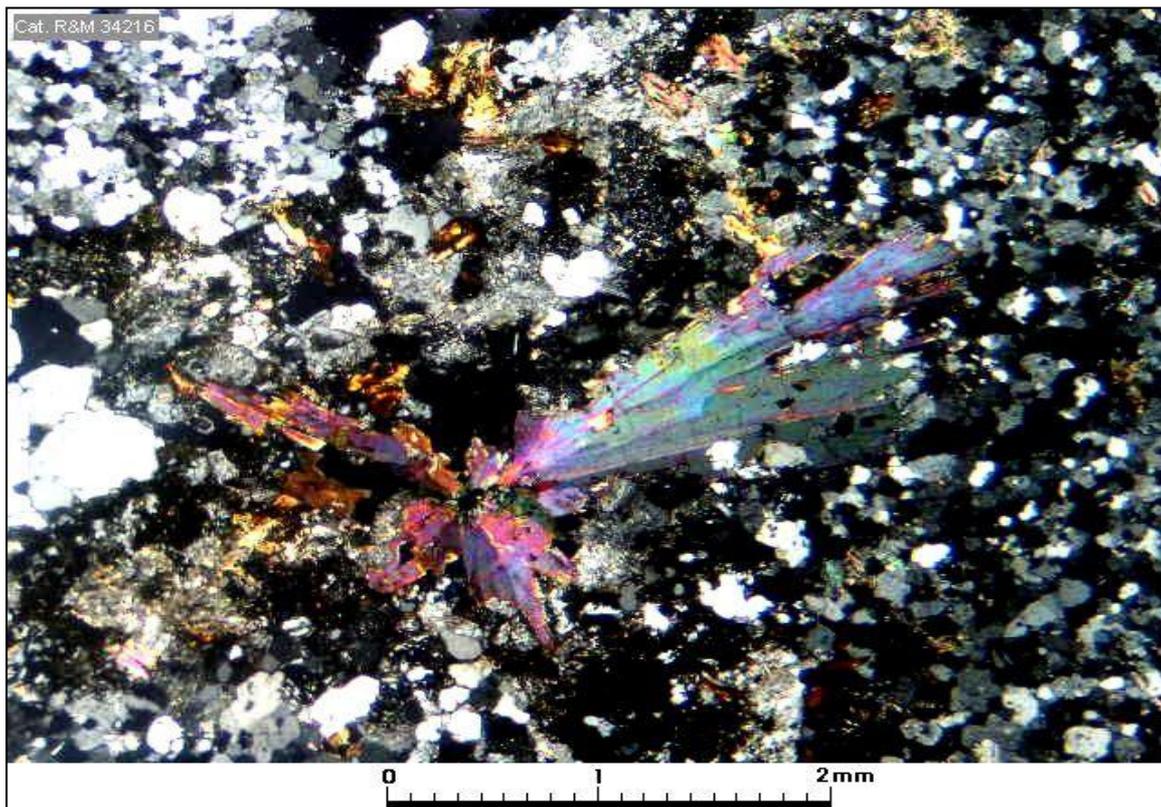
**Muestra JV033:** Misma microfotografía anterior tomada bajo nícoles paralelos; los granos de cuarzo aparecen limpios y diáfanos, en tanto que la plagioclasa albítica y el K feldespato se ven con aspecto bastante turbio debido a microinclusiones y posiblemente formación incipiente de arcilla. Aum.: 16x10; Nic. paralelos.



**Muestra JV033:** Grano de plagioclasa cercano a 2 mm con maclas polisintéticas (tipo albita) bien desarrolladas; puede corresponder a un remanente de fenocristal (?). Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV033:** Agregado microgranular de cuarzo y feldspatos alcalinos (albita/ K feldspato) junto a biotita. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV033:** Cristales prismáticos de turmalina en agregado metasomático microaplítico de cuarzo, albita y K feldspato. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Pórfido dacítico (sericitizado).

**Textura**

**Fxx: 28%**

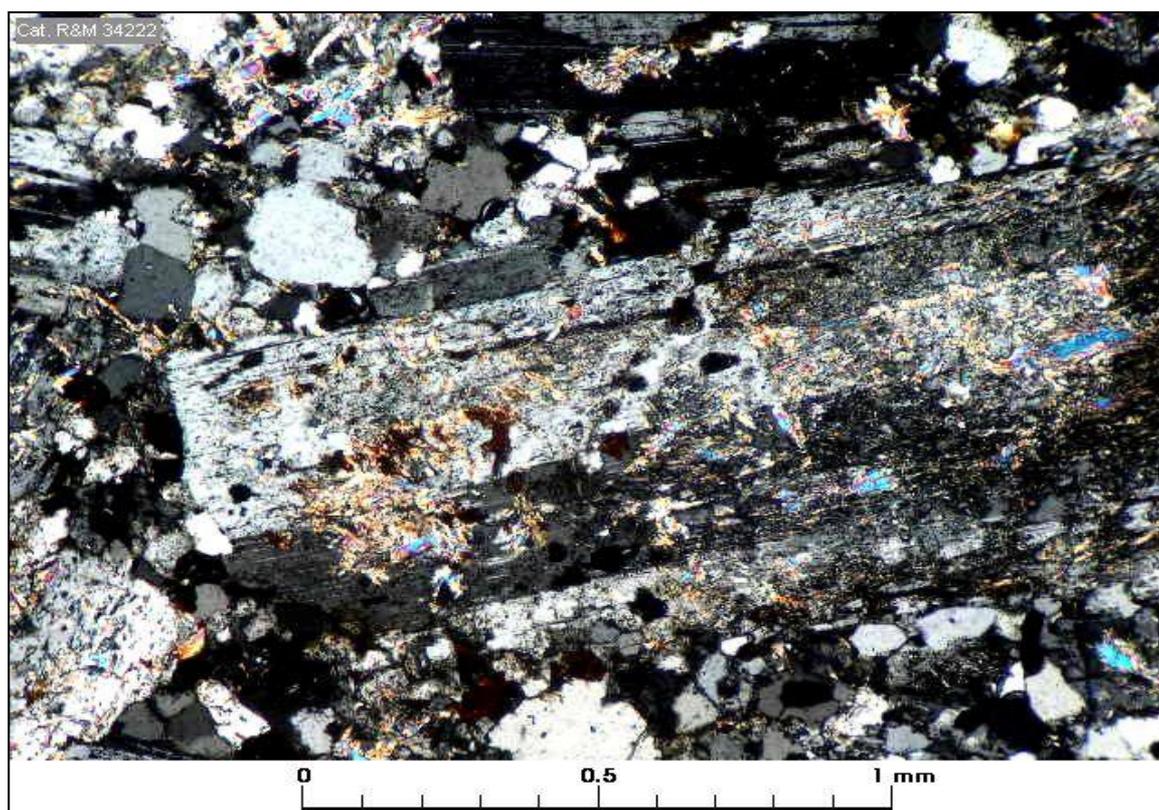
**Mf: 72%**

Porfídica, masa fundamental afanítica microgranular. Estructura algo brechosa con fragmento de roca de grano fino de más de 15 mm.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra es una roca oxidada con abundantes impregnaciones de limonitas goethíticas, color general gris pardusco, textura y naturaleza petrográfica parcialmente obliterada por la oxidación y alteración cuarzo-sericitica que la afecta. La textura es porfídica, bien desarrollada y moderadamente visible en la muestra de mano. Bajo el microscopio se puede verificar que la textura porfídica está bien desarrollada con abundantes fenocristales de plagioclasa en tamaños variables de 2-3,5 mm (25%). Otros fenocristales corresponden a cuarzo dipiramidal de 0,8-2,3 mm (3%); además se observó escasos fenocristales de biotita sericitizada en tamaños variables de 0,4-1,8 mm. La masa fundamental es afanítica formada por cuarzo microgranular de 0,1-0,3 mm junto a feldespatos en la mayor parte sericitizados.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV041:** Fenocristal de plagioclasa moderadamente bien conservado (algo albitizado, por lo que aparece con aspecto turbio; también algo sericitizado) con sus maclas múltiples conservadas, que permiten estimar su composición como andesina (An35). La masa fundamental es afanítica microgranular, típica de pórfidos dacíticos hipabisales, formada por cuarzo y feldespatos variablemente sericitizados. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.

**Fenocristales: 28%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	25	enturbiamiento por albitización acompañada de sericitización y localmente formación abundante de arcilla esmectítica.	cristales subhedrales/ euhedrales de 2-3,5 mm; varios cristales en la sección delgada muestran maclas múltiples bien conservadas que permitieron estimar la composición como andesina (An35).
cuarzo	3	sin alteración	granos anhedaes/ subhedrales de 0,8-2,3 mm.
biotita	tr	alteración total a sericita muscovítica (o sea, de grano relativamente grueso). Impregnaciones por agregados finos de goethita supérgena.	granos hojosos, micáceos, de 0,4-1,8 mm.

**Masa fundamental: 72%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	32	sin alteración.	granos anhedaes de 0,1-0,3 mm entrecrecidos con feldespatos sericitizados.
feldespato (alterado)	29	intenso reemplazo por sericita de grano muy fino (escamitas de 0,01-0,06 mm), producto de alteración hidrolítica de feldespatos.	evidenciados por agregados de sericita fina de formas irregulares o en algunos casos conservando los contornos de los cristalitas, tamaños de 0,2-0,6 mm.
(biotita)	4	alteración total a sericita muscovítica.	cristalitas hojosos de 0,02-0,06 mm dispersos entre los componentes de la masa fundamental.
opacos	7	residuo de oxidación de máficos o de sulfuros (?).	celdillas, impregnaciones y ticiones de limonitas goethíticas.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	cristalitas subhedrales de hasta 0,1 mm dispersos en la masa fundamental.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
albitización	D-M	(D-M= albitización débil a moderada); afecta a fenocristales de plagioclasa produciendo en parte obliteración de sus maclas. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa).
sericita	40	corresponde a agregados micáceos (escamosos) de grano muy fino (0,03-0,1 mm) que constituyen el residuo de la alteración hidrolítica (metasomatismo de hidrógeno o "hydrogen ion metasomatism" en inglés).
rutilo	tr	granitos anhedaes y agregados de 0,02-0,2 mm formados probablemente a partir del Ti liberado de la alteración hidrotermal de máficos titaníferos.

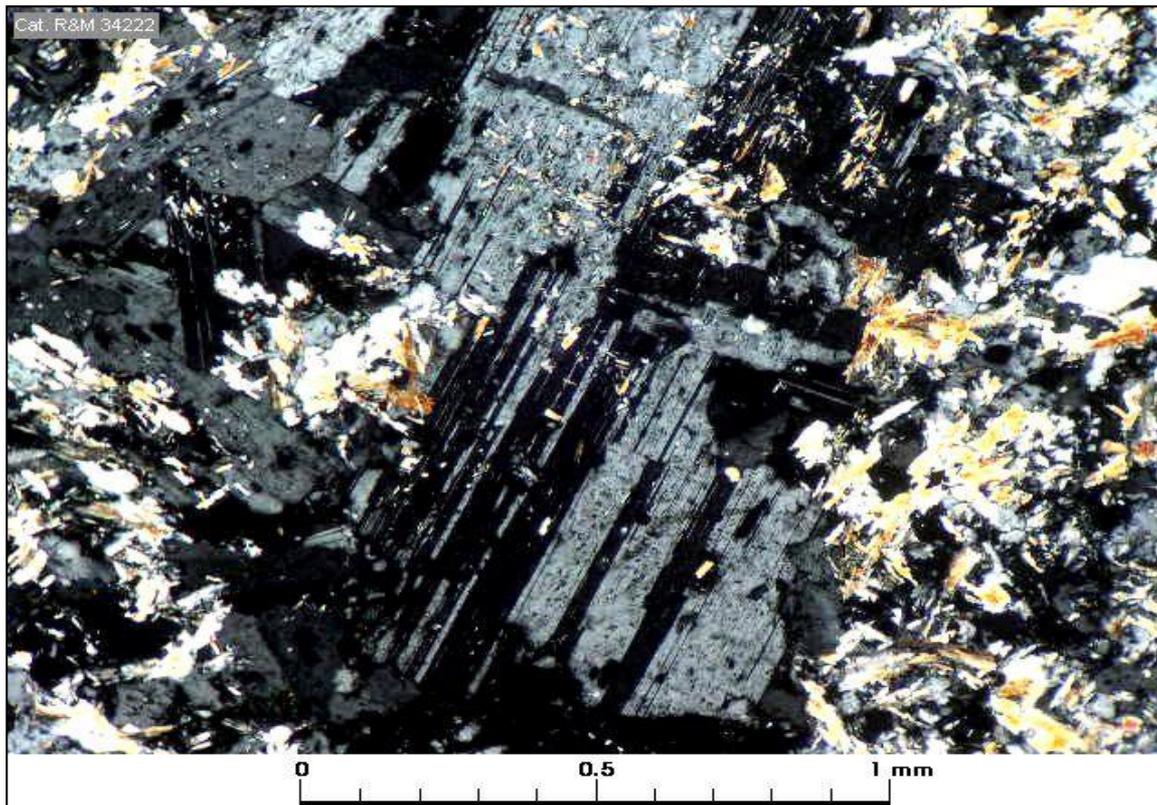
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
goethita	7	granos de 0,02-0,12 mm y agregados de 0,7 mm dispersos en la roca e impregnando principalmente a plagioclasa sericitizada.

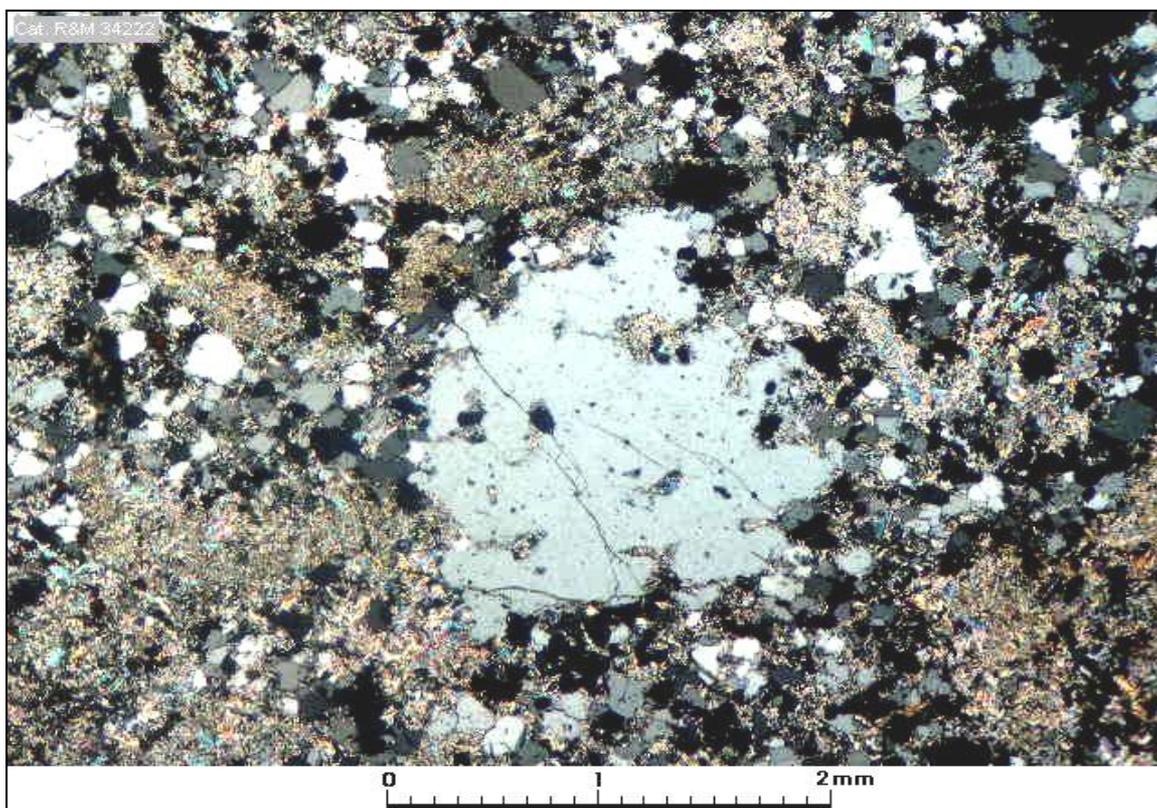
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

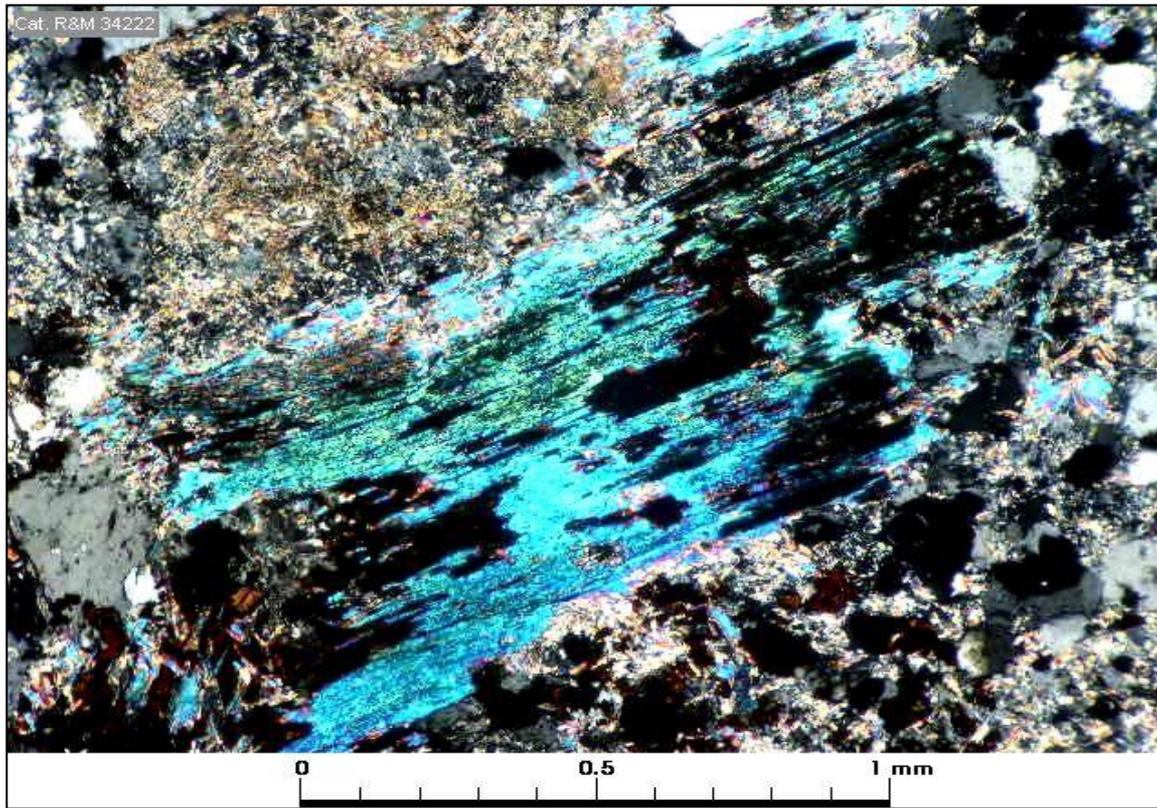
Selección de microfotografías



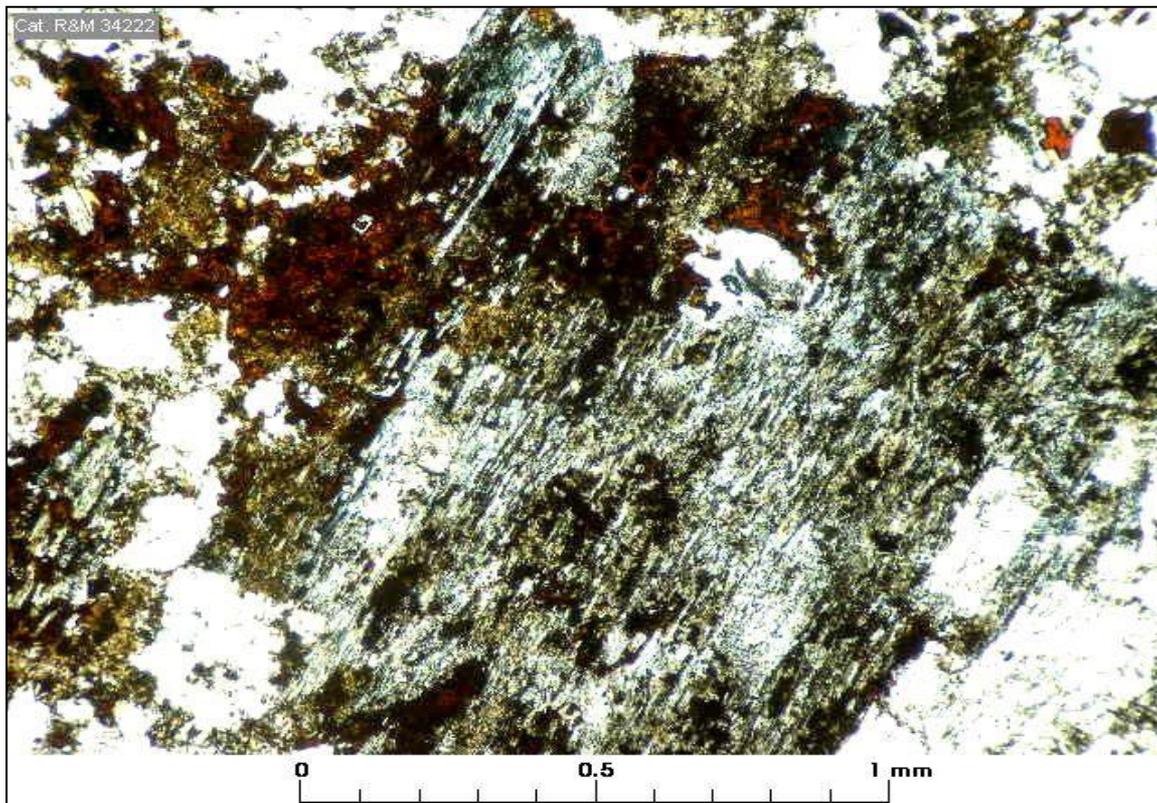
**Muestra JV041:** Fenocristal de plagioclasa con maclas múltiples (tipo albita) bien conservadas en masa fundamental afanítica de cuarzo y feldspatos con sericitización variable. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV041:** Fenocristal anhedral de cuarzo del tipo dipiramidal (cuarzo beta) en masa fundamental afanítica microgranular de cuarzo y feldspatos granulares con sericitización variable. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV041:** Fenocristal de biotita sericitizado (reemplazamiento por sericita muscovítica, esto es, por sericita de grano grueso) en masa fundamental afanítica microgranular. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV041:** Fenocristal de biotita alterado (sericitizado) con impregnaciones de goethita formada por procesos supérgenos posteriores a la alteración cuarzo-sericítica hidrotermal. Aum.: 6,3x10; Nic. paralelos.

Nº Muestra

JV050

<b>Clasificación petrográfica</b>	Pórfido dacítico.
-----------------------------------	-------------------

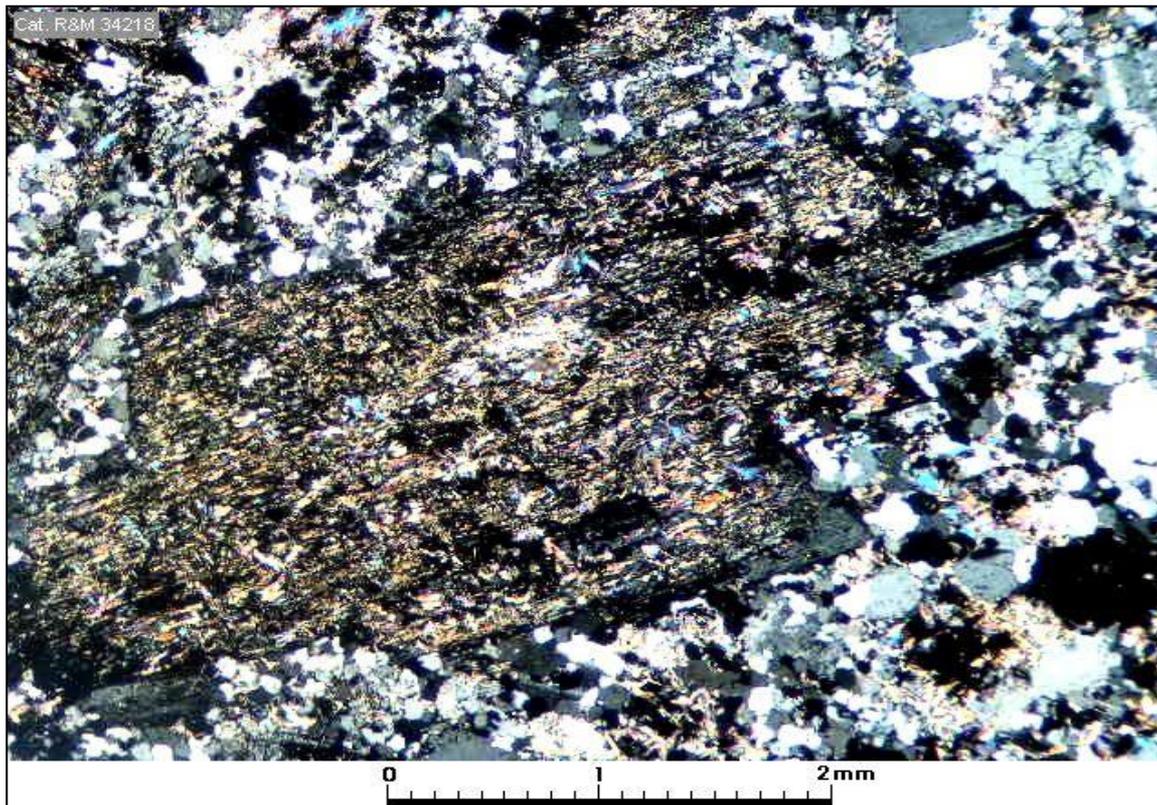
<b>Textura</b>	<b>Fxx: 37%</b> <b>Mf: 63%</b>
----------------	--------------------------------

Porfídica con abundantes fenocristales de plagioclasa; masa fundamental afanítica microgranular.	
--	--

<b>Observaciones megascópicas/ microscópicas</b>
--

<p>La muestra corresponde a una roca fuertemente oxidada con abundante impregnación de hematita roja (hidrohematita) y cantidades algo menores de goetita, ambas supérgenas. En muestra de mano (el rechazo de la preparación del corte transparente) no se distingue la textura original ni la naturaleza de la roca antes de la alteración. Pero bajo el microscopio se observa claramente la textura porfídica original, con abundantes fenocristales de plagioclasa y más escasos de cuarzo dipiramidal, además de algunos posible fenocristales de biotita totalmente alterados a sericita. La masa fundamental es afanítica y como otras muestras de este grupo está formada por un agregado afanítico de cuarzo microgranular, plagioclasa y posiblemente algo de K feldespato.</p>
--

<b>Microfotografía (aspecto general)</b>
--



<p><b>Muestra JV50:</b> Fenocristal de plagioclasa con alteración sericítica intensa (alteración sericítica implica hidrólisis del feldespato original, también denominada metasomatismo de hidrógeno, hydrogen ion metasomatism en inglés). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.</p>
---

**Fenocristales: 37%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	32	sericitización moderada a intensa; son muy comunes impregnaciones de hematita roja y goethita.	crystalitos subhedrales/ euhedrales de 1-4,5 mm; la alteración sericítica, por lo general intensa ha producido una obliteración de las maclas, por lo que no es posible estimar la composición.
cuarzo	4	sin alteración.	crystalitos anhedrales/ subhedrales de 0,5-1,2 mm.
(biotita?)	1	agregados de sericita relativamente gruesa se interpretan como posibles fenocristales de biotita alterados.	agregados de unos 3 mm y forma crudamente rectangular pueden corresponder a fenocristales de biotita sericitizados.

**Masa fundamental: 63%**

Mineral	%	Alteración/ Observaciones	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	30	sin alteración.	granos anhedrales de 0,1-0,4 mm entrecrecidos con feldespatos y huelas de sericita residual (de alteración de biotita, probablemente).
plagioclasa	20	débil enturbiamiento por albitización/ formación incipiente de arcilla.	crystalitos anhedrales/ subhedrales conformas aproximadamente tabulares de 0,2-0,8 mm; algunos muestran desarrollo de maclas polisintéticas.
K feldespato	7?	débil enturbiamiento por albitización/ formación incipiente de arcilla.	crystalitos de hasta 0,8 mm, algo turbios, con macla de Carlsbad son considerados como K feldespato; pero la distinción con plagioclasa es en la mayor parte tentativa porque el aspecto de los dos componentes puede ser casi idéntico.
(sericita)	6	probable residuo de alteración de biotita.	agregados micáceos o escamosos de 0,1-0,6 mm que se interpretan como residuo de alteración de biotita.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	crystalitos de aproximadamente 0,05 mm dispersos en la masa fundamental.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	15	agregados escamosos (micáceos) constituyen alteración avanzada de fenocristales de plagioclasa. Agregados con formas pseudomorfas se interpretan como fenocristales alterados de biotita; también se la observa en pequeña cantidad junto con los componentes de la masa fundamental.
turmalina	<1	agregados hidrotermales de turmalina/ cuarzo de hasta unos 2,5 mm.
hematita/ goethita	7	impregnaciones de hematita roja (hidrohematita) y goethita en fenocristales de plagioclasa; relleno de microfracturas de 0,3 mm con goethita.

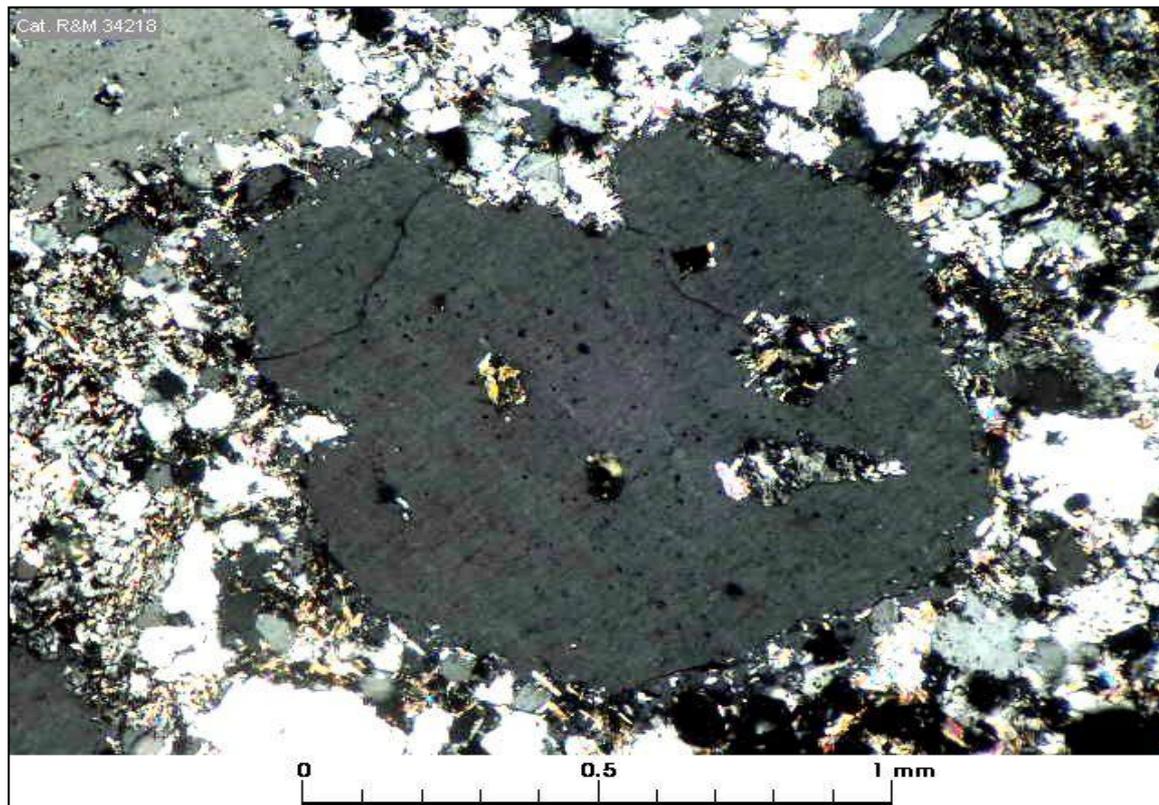
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita/ goethita	7	corresponden a hidróxidos de Fe formados supergénicamente a partir de oxidación de máficos (y tal vez de sulfuros, para lo cual habría que realizar un estudio/ recuento de sulfuros relictos).

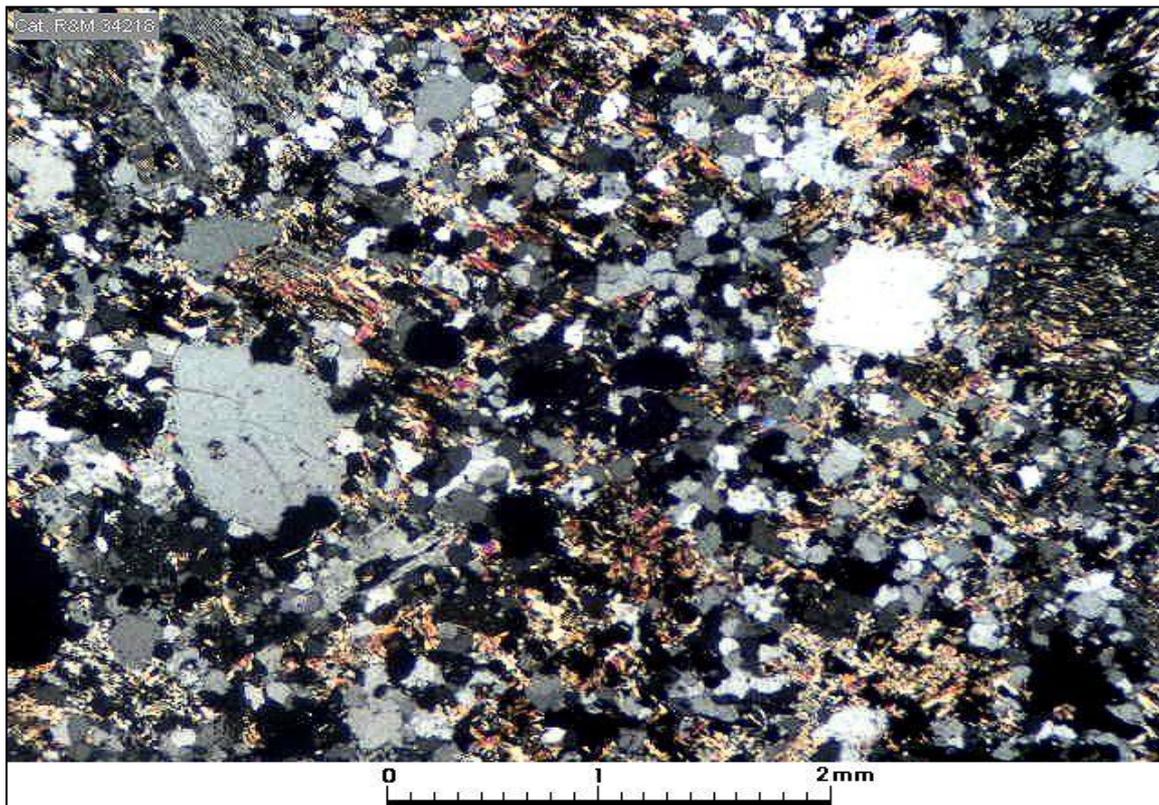
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
fracturamientos	0,3 mm	relleno de goethita.

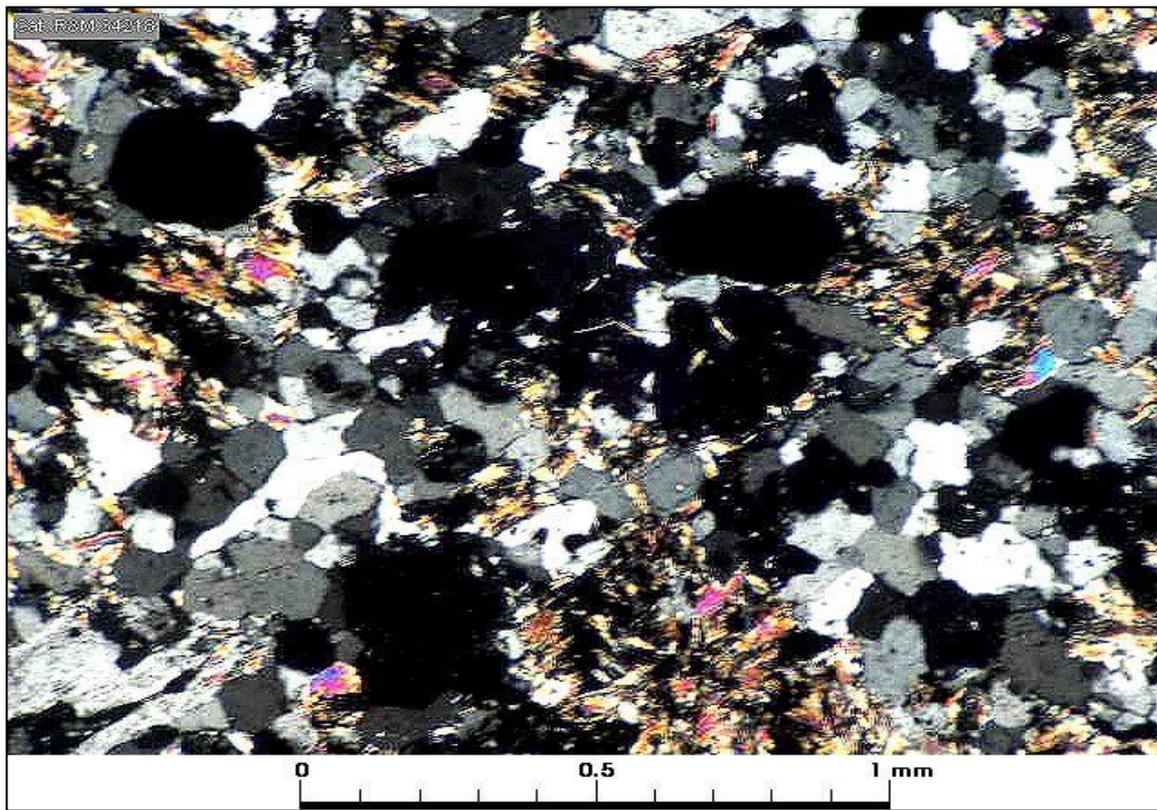
Selección de microfotografías



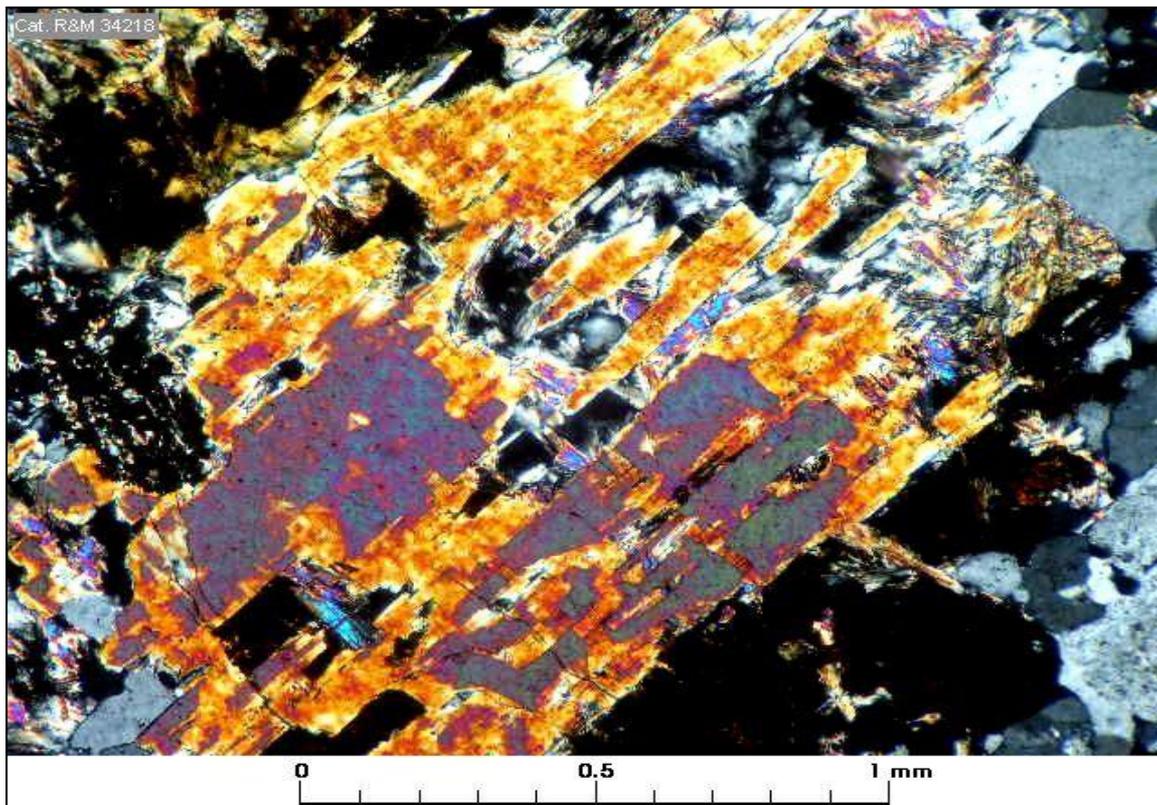
**Muestra JV050:** Fenocristal subhedral de cuarzo dipiramidal (cuarzo de alta temperatura cristalizado sobre 573°C; cristaliza como dipirámides y se denomina cuarzo beta. Bajo 573°C cristaliza como cuarzo alpha con formas prismáticas predominantes). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV050:** Microfotografía de la masa fundamental de textura afenítica formada por un agregado de cuarzo microgranulare, entrecrecido con feldspatos y escamitas de sericita anhedral posiblemente un residuo de alteración de biotita; se observa además dos pequeños microfenocristales de cuarzo. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV050:** Microfotografía de cierto detalle de la masa fundamental mostrando el agregado afanítico microgranular de cuarzo, feldspatos y escamitas de sericita. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV050:** Cristal de turmalina formando un agregado interpretado como hidrotermal junto a cuarzo y limonitas goethíticas. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Pórfido dacítico.

**Textura**

Fxx: 48%

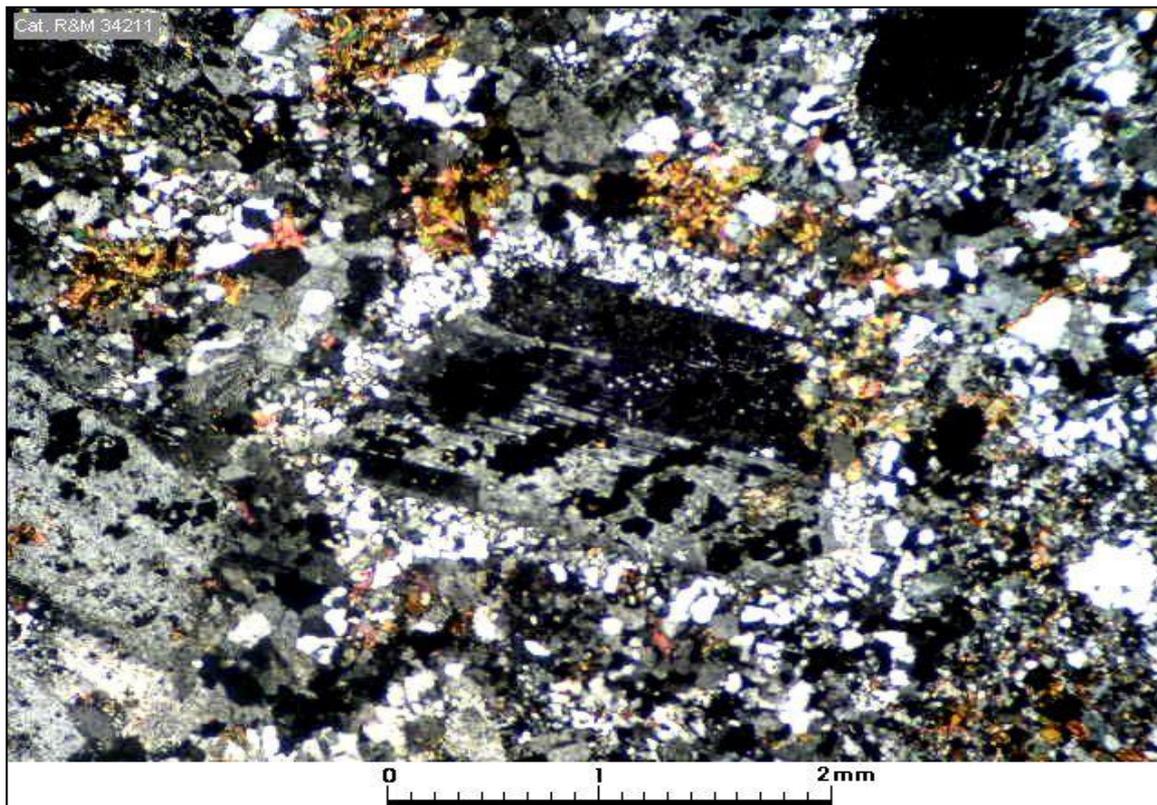
Mf: 52%

Porfídica con masa fundamental afanítica que exhibe abundantes agregados micrográficos

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a una roca subvolcánica o pórfido hipabisal de composición dacítica descolorado por oxidación y constituido por fenocristales abundantes de plagioclasa blanqueados (por albitización) de 1-4 mm y otros fenocristales de biotita de 0,8-2 mm totalmente reemplazados por biotita secundaria de cristalización fina (metasomatismo potásico biotítico). La masa fundamental forma el 52% del volumen de la roca y está formada por un agregado afanítico constituido por un entrecrecimiento de cuarzo, K feldespato y escasa plagioclasa; el cuarzo y el K feldespato forman abundantes entrecrecimientos micrográficos que indican una alta actividad potásica, junto al intenso metasomatismo potásico biotítico que afecta a la biotita magmática. Los fenocristales de plagioclasa forman entrecrecimientos mirmekíticos en contacto con granos de cuarzo y K feldespato de la masa fundamental.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV060:** Pórfido dacítico constituido por abundantes fenocristales de plagioclasa (35%) y fenocristales de biotita reemplazada por biotita secundaria. La masa fundamental es afanítica y está formada por cuarzo microgranular (20%), K feldespato (28%), plagioclasa y biotita reemplazada por biotita secundaria. Obsérvese que alrededor del fenocristal de plagioclasa al centro de la microfotografía existe una reacción con la masa fundamental para formar un agregado mirmekítico de plagioclasa y cuarzo. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Fenocristales: 48%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	40	albitización débil a moderada e impregnación de arcilla esmectítica producen enturbiamiento de los cristales.	cristales de 1,0-4,0 mm. Las maclas múltiples están en la mayor parte obliteradas por lo que no es posible estimar la composición.
biotita	8	reemplazo total por biotita secundaria.	los agregados pseudomorfos de biotita secundaria muestran tamaños de 0,8-2,5 mm correspondiente al mineral original de biotita magmática.

**Masa fundamental: 52%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	24	sin alteración.	granos anhedrales de 0,1-0,4 mm; forma entrecrecimientos mirmekíticos y micrográficos con plagioclasa y K feldespato
K feldespato	20	enturbiamiento débil por formación incipiente de arcilla.	granos anhedrales de forma irregular de 0,2-0,6 mm. NOTA: aún cuando la ortoclasa en rocas plutónicas y el K feldespato en la masa fundamental de pórfidos hipabisales son ambos la misma especie mineralógica, reservamos el nombre de ortoclasa para el KAlSi3O8 magmático y denominamos como K feldespato al KAlSi3O8 de los pórfidos debido a que se forman en ambientes diferentes y temperaturas sobre 900°C en rocas plutónicas y a unos 500-600°C (o menos) en pórfidos hipabisales. Lo anterior determina ciertas diferencias como por ejemplo que el KAlSi3O8 que ha experimentado diferenciación en un pórfido tiene mucho menos, o no tiene, Na en su composición, lo cual se traduce en características como que en pórfidos el K feldespato no presenta desmezclamientos peritéticos y también algunas diferencias en las propiedades ópticas (la ortoclasa magmática tiene un ángulo axial 2V de unos 70° mientras que el K feldespato de pórfidos hipabisales tiene un ángulo axial 2V de 30° o menos).
plagioclasa	5	enturbiamiento débil.	granos anhedrales/ subhedrales de 0,05-0,1 mm entrecrecidos con cuarzo granular u K feldespato.
biotita	3	hojuelas de biotita secundaria.	hojuelas de 0,1-0,5 mm.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	cristalitos de hasta 0,15 mm dispersos en la masa fundamental.
apatita	tr	cristalitos de hasta 0,1 mm dispersos en la masa fundamental.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
albitización	D-M	(D-M= albitización débil a moderada); afecta a fenocristales de plagioclasa produciendo en parte obliteración de sus maclas. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de
biotitización	11	agregados de grano fino formando típicos mosaicos de reemplazo en cristales magmáticos de biotita.

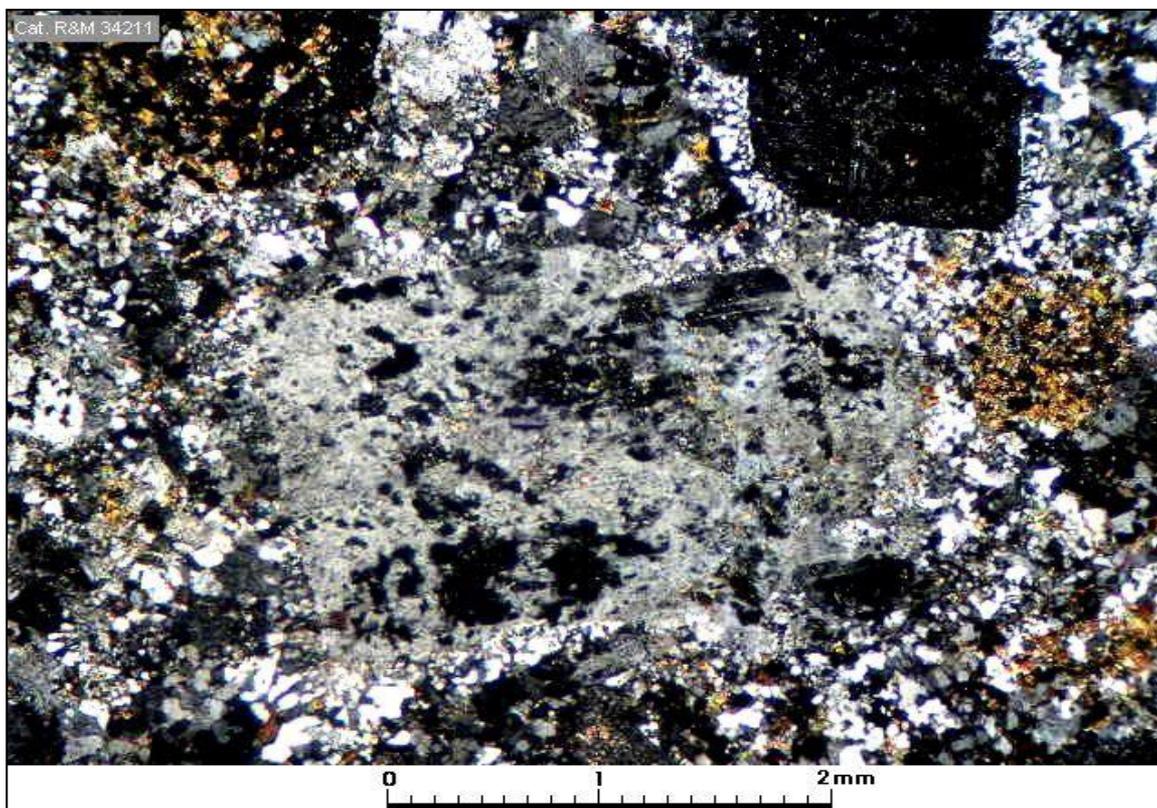
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita	>0,5	granos de 0,1-0,3 mm disseminados en la masa fundamental, posiblemente corresponden a reemplazo de magnetita.
goethita	tr	agregados de 0,15- 0,6 mm.

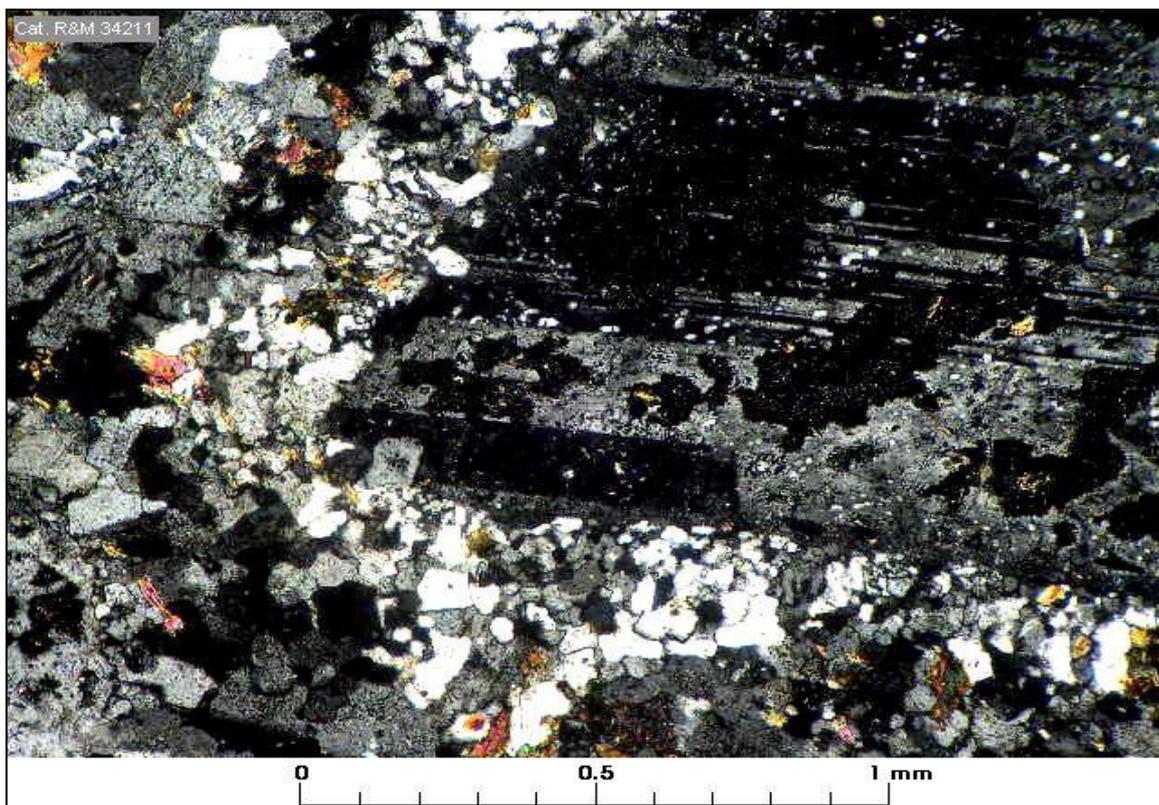
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La roca no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes		

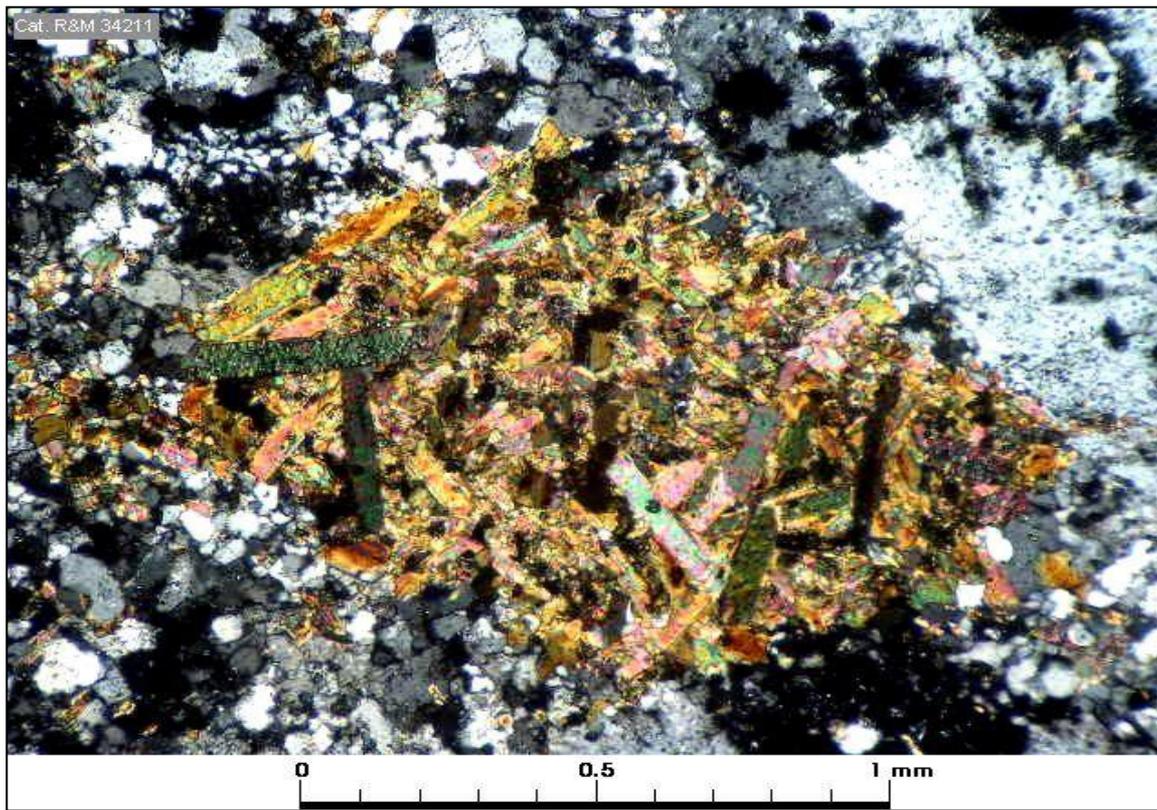
Selección de microfotografías



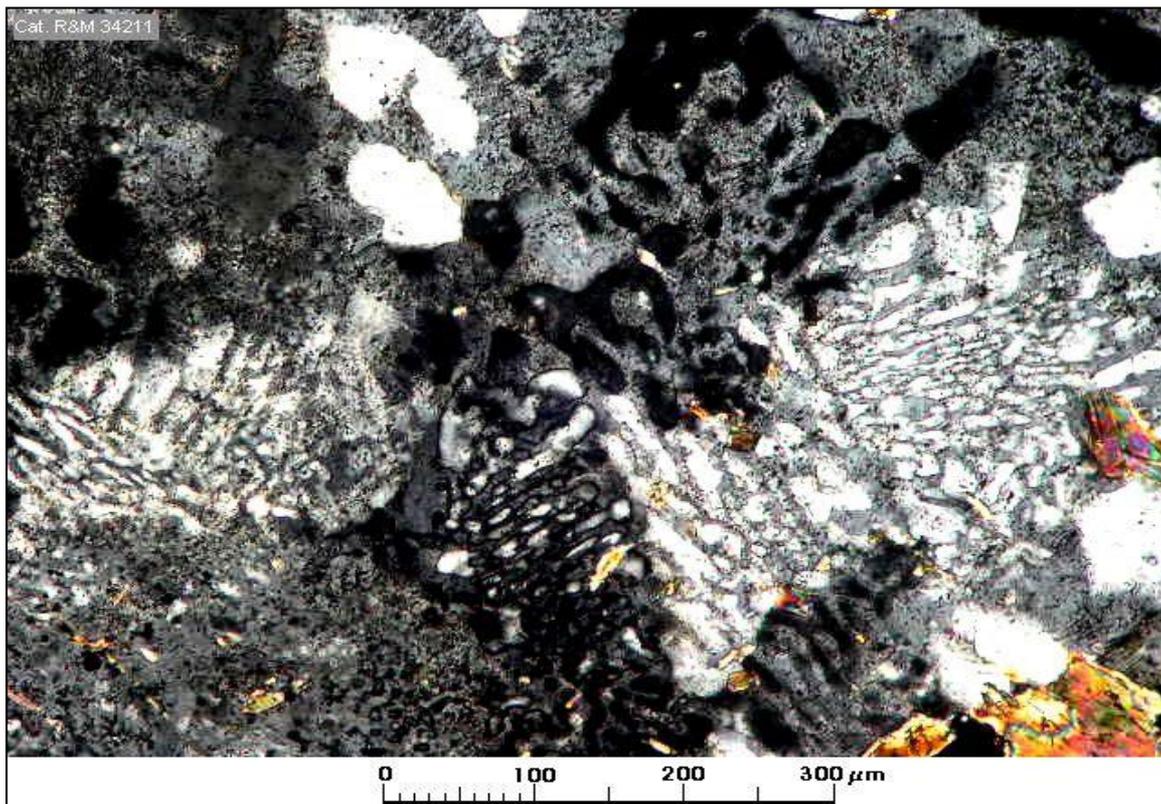
**Muestra JV060:** Fenocristal de plagioclasa con sus maclas obliteradas por albitización en masa fundamental afanítica microgranular de cuarzo, K feldespato, plagioclasa más escasa y biotita. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV060:** Detalle de la reacción en el borde de un fenocristal de plagioclasa formando un agregado de cuarzo granular y K feldespato (lo cual se interpreta como una reacción relacionada con metasomatismo potásico). Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV060:** Fenocristal de biotita totalmente reemplazado por biotita secundaria (metasomatismo potásico biotítico). Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV060:** Microfotografía de detalle mostrando reacciones en la masa fundamental que dan origen a microestructuras gráficas y mirmekíticas relacionadas con reacciones entre fenocristales de plagioclasa con cuarzo y K feldespato de la masa fundamental. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.

Nº Muestra

JV063

<b>Clasificación petrográfica</b>	Hornfels brechizado por cizallamiento.
-----------------------------------	--

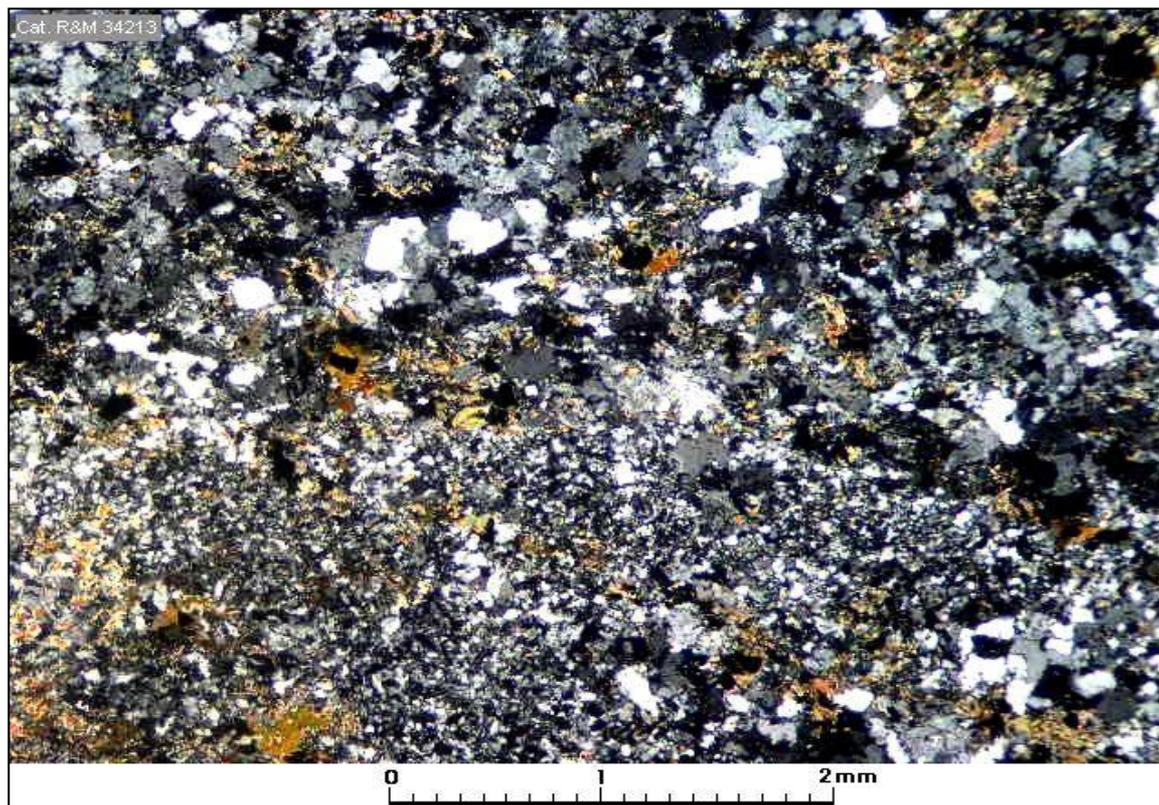
<b>Textura</b>	<b>Clast: 55%</b> <b>Mx: 45%</b>
----------------	----------------------------------

Fragmental granoblástica (recristalizada).	
--	--

<b>Observaciones megascópicas/ microscópicas</b>
--

La muestra es una roca de color gris oscuro brechizada por cizallamiento formada por clastos de color ligeramente más oscuro que la matriz que los contiene; estos clastos tienen formas angulosas, por lo general elongadas dispuestos de forma subparalela a la fábrica general de la roca. Los tamaños observados de los clastos varían entre 5-14 mm (estos clastos se distinguen mejor en el bloquecito sobrante de la preparación del corte delgado; en este último prácticamente no se observan); forman aproximadamente el 55% de la roca. Tanto los clastos como la matriz que los contiene aparecen intensamente recristalizados, aparentemente después de una microfracturación. Clastos y matriz exhiben texturas que se acercan al tipo granoblástico (falta homogeneidad de tamaño y equilibrio morfológico evidenciado por puntos triples en los contactos granulares). Los clastos que aparecen más oscuros macroscópicamente aparentemente tienen texturas algo más gruesas y son más biotíticos, mientras que la matriz es de granulometría más fina y contiene menos biotita y adicionalmente actinolita de color verde pálido. El metamorfismo dinámico y recristalización tienen una intensidad tal que no se aprecia la litología original; localmente se observó algunos cristales de plagioclasa que pueden corresponder a remanentes de fenocristales de rocas andesíticas originales.

<b>Microfotografía (aspecto general)</b>
--



**Muestra JV063:** Laminación producida por brechización fina/ cizallamiento, con el resultado de clastos de 5-14 mm de color gris oscuro (parte superior de la microfotografía) en matriz levemente más clara (ver muestra de mano). Clastos oscuros y matriz algo más clara aparecen intensamente recristalizados, exhibiendo texturas que se aproximan a granoblástica. La matriz más clara contiene menos biotita y más actinolita verde pálida y es de grano más fino. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Clastos: 55%** (percibidos , con dificultad, en bloquecito sobrante de preparación de corte transparente: clastos de 5-14 mm, elongados y dispuestos subparalelamente a la fábrica general de la muestra. Microfracturados y recrystalizados (subgranoblásticos).

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	37	sin alteración.	grano anhedral de 0,03-0,25 mm entrecrecidos con plagioclasa. biotita y actinolita.
plagioclasa	10	sin alteración.	granos anhedral/ subhedral de 0,05-0,2 mm entrecrecidos con el resto de los componentes de los clastos; microtextura subgranoblástica.
biotita	8	sin alteración.	granos anhedral de 0,15-0,6 mm; asociados comúnmente con actinolita.
actinolita	4	sin alteración.	crystalitos subhedral/ subhedral de 0,1-0,2 mm aproximadamente, entrecrecidos subgranoblásticamente con cuarzo, plagioclasa, y biotita

**Matriz: 45%** (difícil de distinguir límites de clastos y matriz bajo el microscopio; al igual que clastos aparece microfracturada y recrystalizada (subgranoblástica).

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	21	sin alteración; probablemente en gran parte neo formado.	granos anhedral de 0,01-0,07 mm entrecrecidos con el resto de los componentes de la matriz.
plagioclasa	10	sin alteración; probablemente en gran parte neoformado.	crystalitos de 0,02-0,1 mm formando agregados subgranoblásticos con el resto de los componentes de la matriz.
biotita	6	fresca, neoformada.	granos anhedral y agregados de 0,02-0,06 mm.
actinolita	8	fresca, neoformada por recrystalización.	crystalitos anhedral/ subhedral de 0,05-0,2 mm color verde pálido.

#### Minerales accesorios

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	escasos crystalitos de ca. 50 µm.
apatita	tr	escasos crystalitos anhedral/ subhedral de 30-50 µm.

#### Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no exhibe componentes de alteración; los cambios de composición corresponden a reacciones progradas debidas a recrystalizaciones, como formación de cuarzo y plagioclasa recrystalizadas y probable neoformación de biotita y actinolita verde pálido como resultado de combinación de cizallamiento (metamorfismo dinámico) y metamorfismo (hidro)termal.		

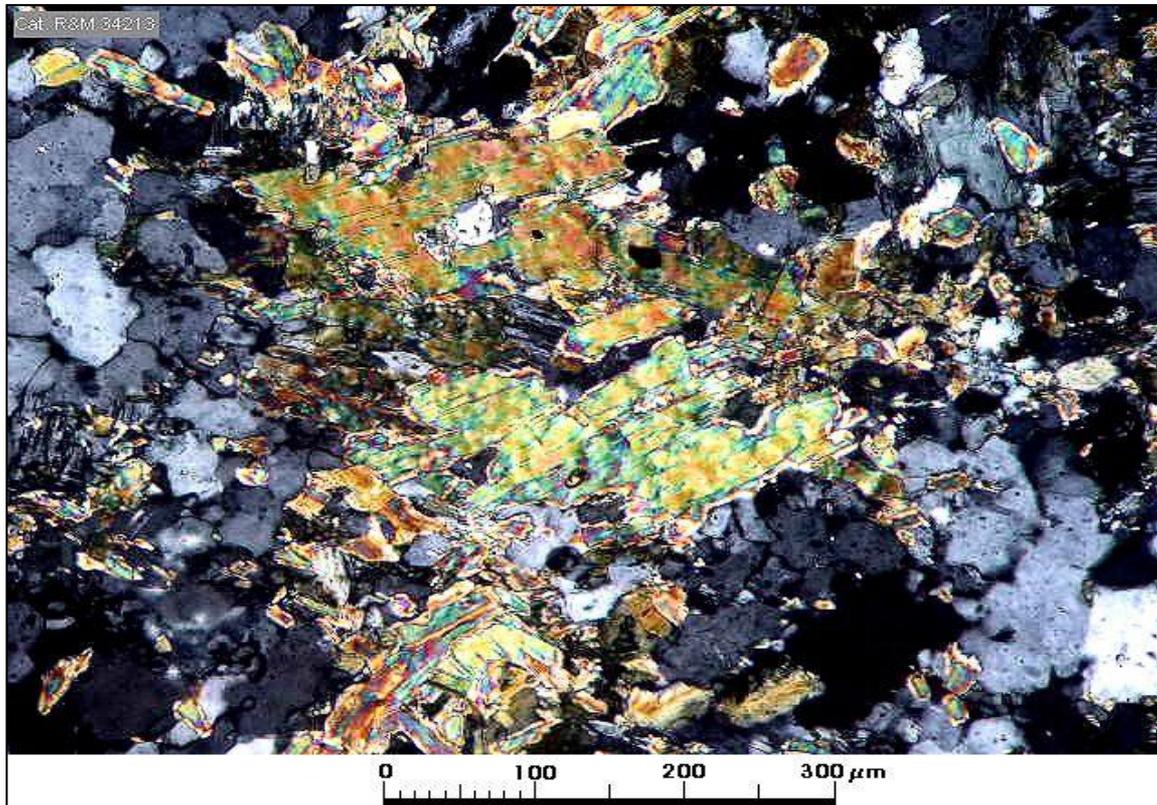
#### Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
magnetita	2	granos anhedral/ subhedral de 0,1-0,4 mm diseminados (en clastos y matriz).

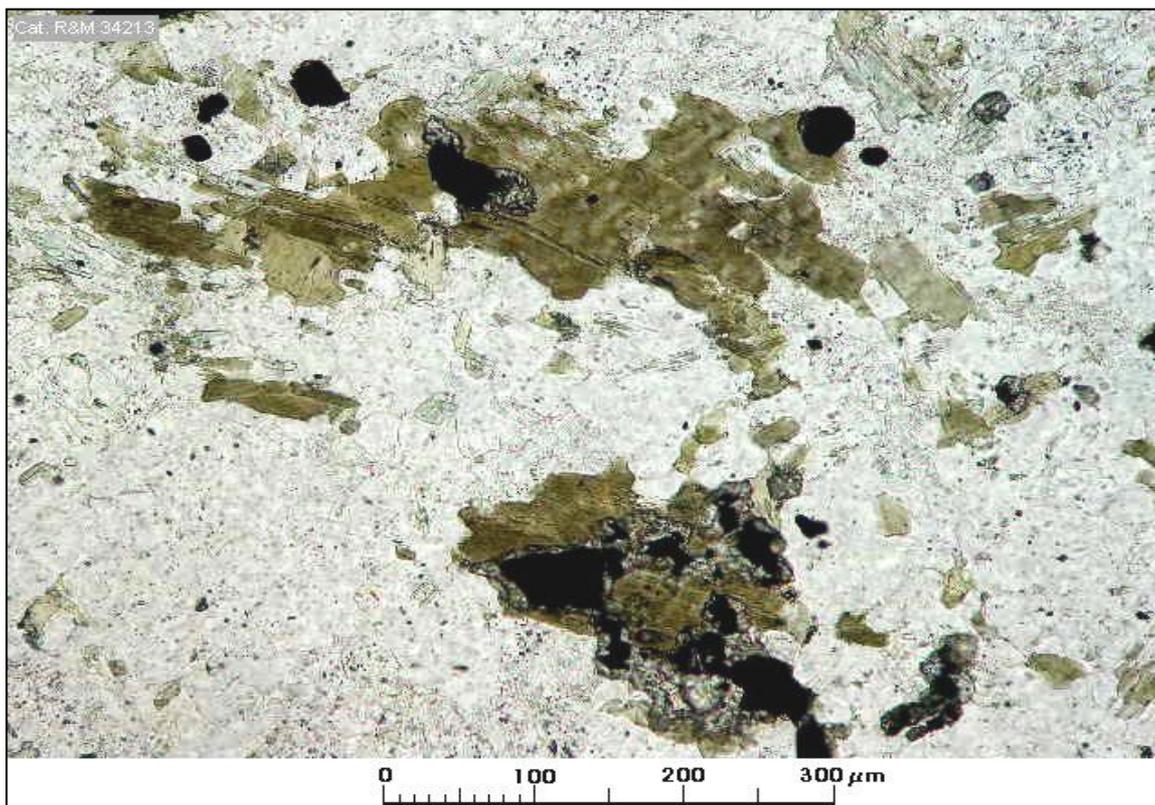
#### Estructuras

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
laminación por cizallamiento	1-3 mm (?)	alternancia de clastos de 5-14 mm (en el corte) con matriz gris algo más clara con menos biotita y más actinolita verde pálido. Clastos y matriz muy recrystalizados.

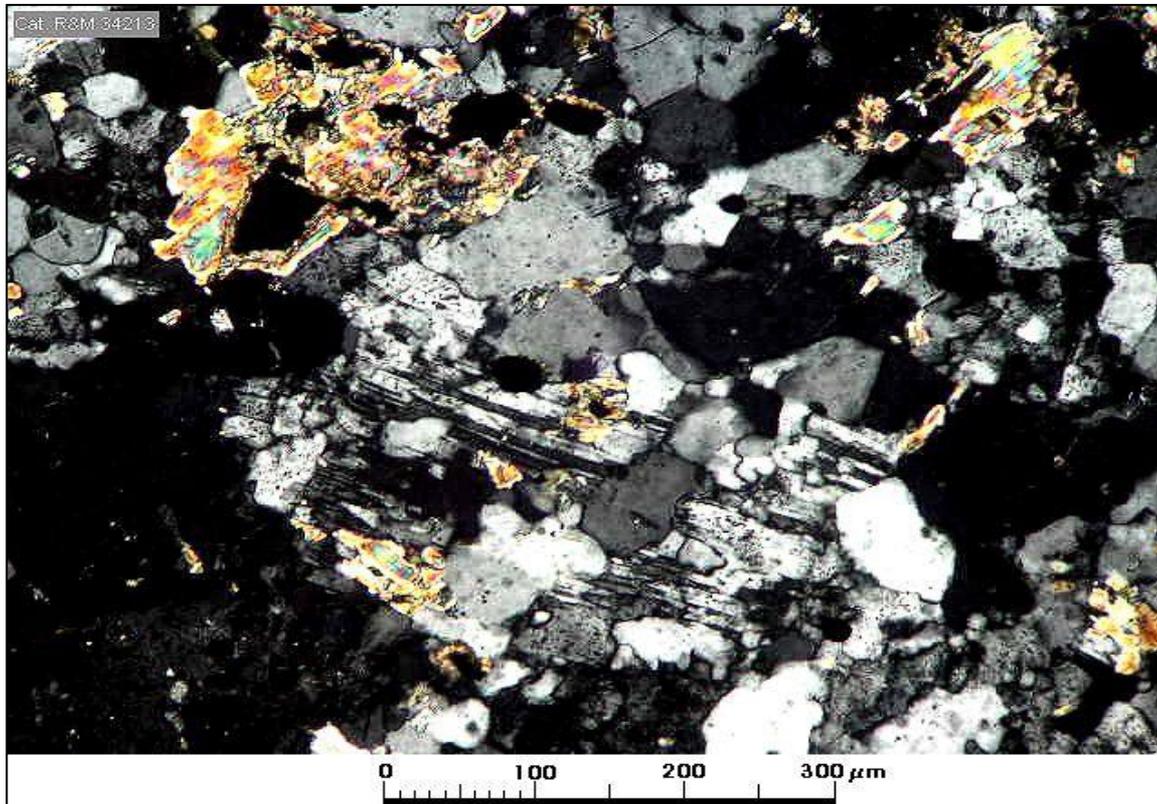
Selección de microfotografías



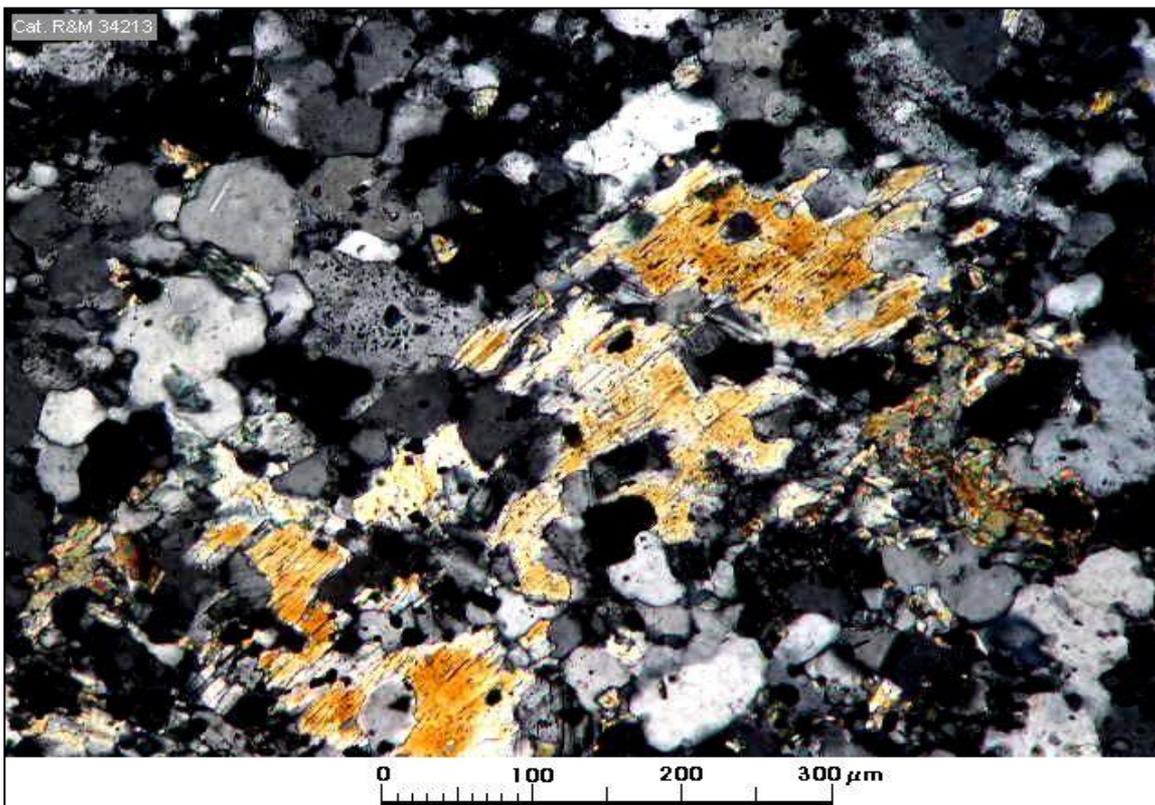
**Muestra JV063:** Agregado recrystalizado de cuarzo, plagioclasa y biotita de granulometría relativamente gruesa (considerando que es de formación por metamorfismo dinámico/ termal). Aum.: 16x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV063:** Agregados de biotita de formación por metamorfismo termal/ hidrotermal junto a magnetita asociada a titanita. Aum.: 16x10; Nic. paralelos.



**Muestra JV063:** Agregado recrystalizado (después de microfracturación por cizallamiento) formado por cuarzo granular anhedral, plagioclasa recrystalizada y biotita probablemente neoformada. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV063:** Agregado granoblástico de cuarzo y plagioclasa junto a un cristal de actinolita entrecrecido con cuarzo y plagioclasa (lo que indica que se formó conjuntamente con la recrystalización del cuarzo y de la plagioclasa. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Pórfido dacítico.

**Textura**

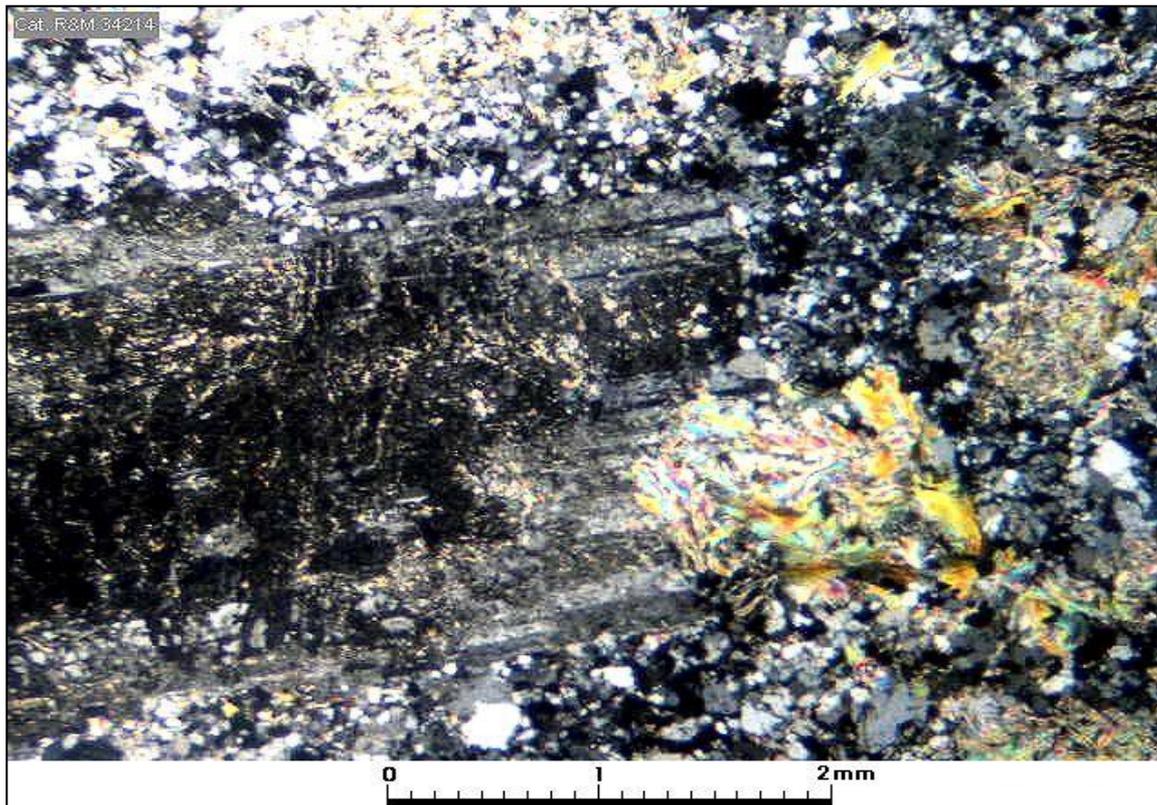
Fxx: 60%

Mf: 40%

Porfídica, masa fundamental afanítica microgranular.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a un pórfido dacítico descolorado/ oxidado (color gris claro amarillento) de textura porfídica muy desarrollada con muy abundante cristales de plagioclasa de hasta 7,0 mm; otros fenocristales minoritarios consisten en cuarzo dipiramidal (cuarzo magmático) y de biotita totalmente alterada a sericita. La masa fundamental es afanítica y está formada por un agregado de cuarzo microgranular muy abundante, plagioclasa subhedral, escaso K feldespato y biotita reemplazada por sericita. La roca se encuentra oxidada con agregados y venillas de goethita formada probablemente por oxidación de componentes máficos.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra JV077:** Fenocristal de plagioclasa de 7 mm junto a un microfenocristal de biotita reemplazada por sericita de cristalización relativamente gruesa; la masa fundamental está formada por un agregado afanítico de cuarzo microgranular, plagioclasa, K feldespato y biotita secundaria. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.

**Fenocristales: 60%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	51	enturbiamiento por albitización débil a moderada y sericitización débil; localmente se observa algo de caolinita.	cristales de 1,5-7,0 mm; en la mayor parte las maclas están semi borradas por la alteración pero unos pocos cristales muestran maclas múltiples que permiten estimar la composición como andesina (An32).
cuarzo	4	sin alteración.	granos anhedrales a euhedrales de 0,8-2,0 mm. Abundantes figuras de corrosión magmática (enbaysments en inglés).
biotita	5	alteración total a sericita relativamente gruesa.	agregados pseudomorfos según biotita muestran algunas formas heredadas del mineral original; otros se encuentran deformados o totalmente desarticulados.

**Masa fundamental: 40%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	22	sin alteración.	granos anhedrales de 0,08-0,3 mm.
plagioclasa	10	débil enturbiamiento por alteración similar a la observada en los fenocristales.	cristales anhedrales/ subhedrales de 0,2-0,7 mm.
K feldespato	4	sin alteración.	granos de 0,03-0,08 mm.
biotita	4	alteración total a sericita muscovítica.	cristalitos hojosos de 0,05-0,15 mm.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	pequeños cristallitos de ca. 20-110 µm dispersos en la masa fundamental.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
albitización	D-M	(D-M= albitización débil a moderada); afecta a fenocristales de plagioclasa produciendo en parte obliteración de sus maclas. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa).
sericita	9	alteración débil de los fenocristales de plagioclasa y reemplazo total de fenocristales de biotita y biotita de la masa fundamental.
turmalina	tr	pequeños agregados fibrosos.
goethita	>0,5	agregados irregulares resultantes de la oxidación de la roca (oxidación de componentes máficos o de sulfuros?)
rutilo/ leucoxeno	tr	granos anhedrales/ subhedrales de 0,1-0,2 mm. Se forma a expensas del titanio liberado por la alteración de máficos).

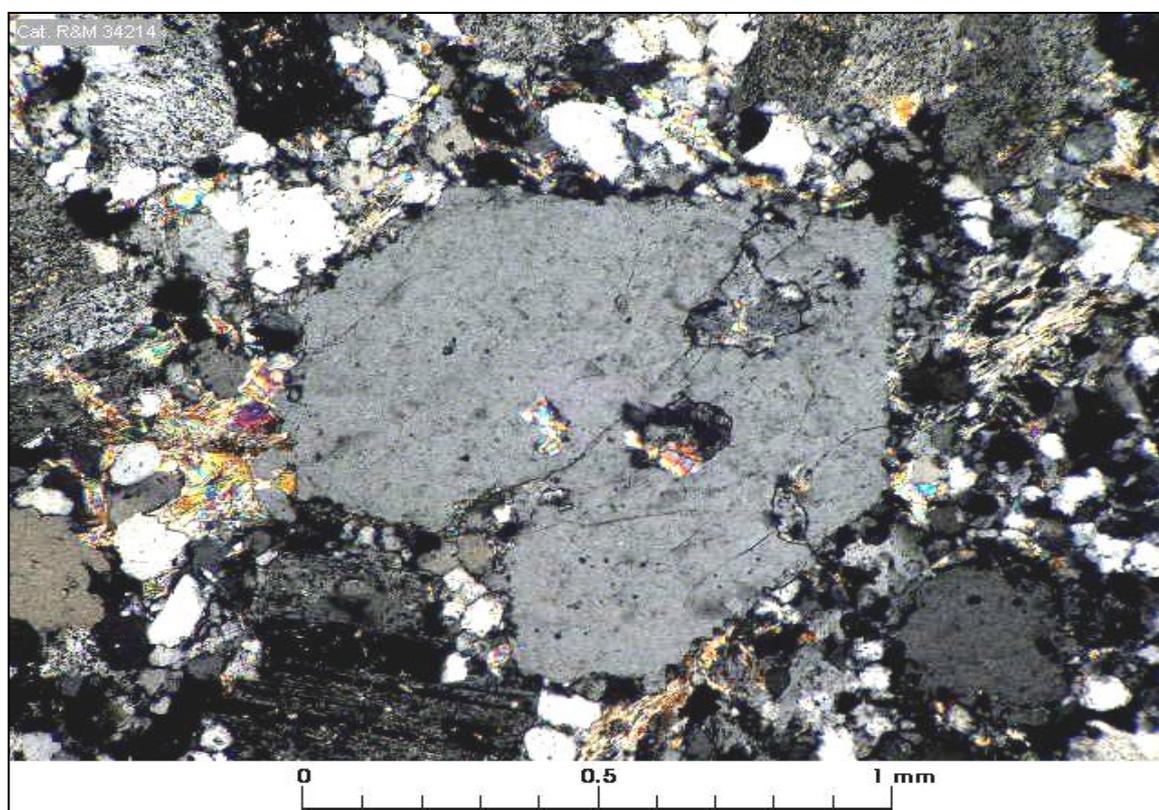
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
No se observó minerales opacos en esta muestra a excepción de goethita semiopaca y rutilo/ leucoxeno, también semiopaco.		

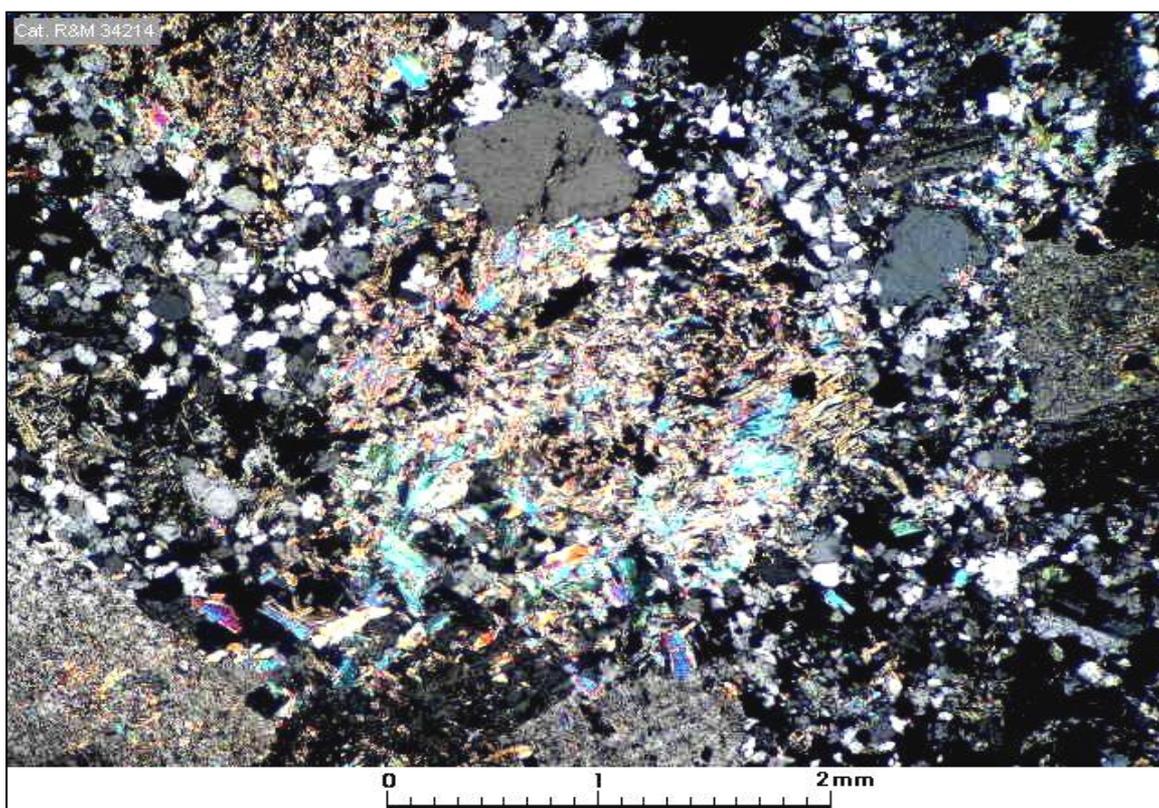
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
goethita/ esmectita	>0,15 mm	delgadas fracturas con relleno de goethita y esmectitas.

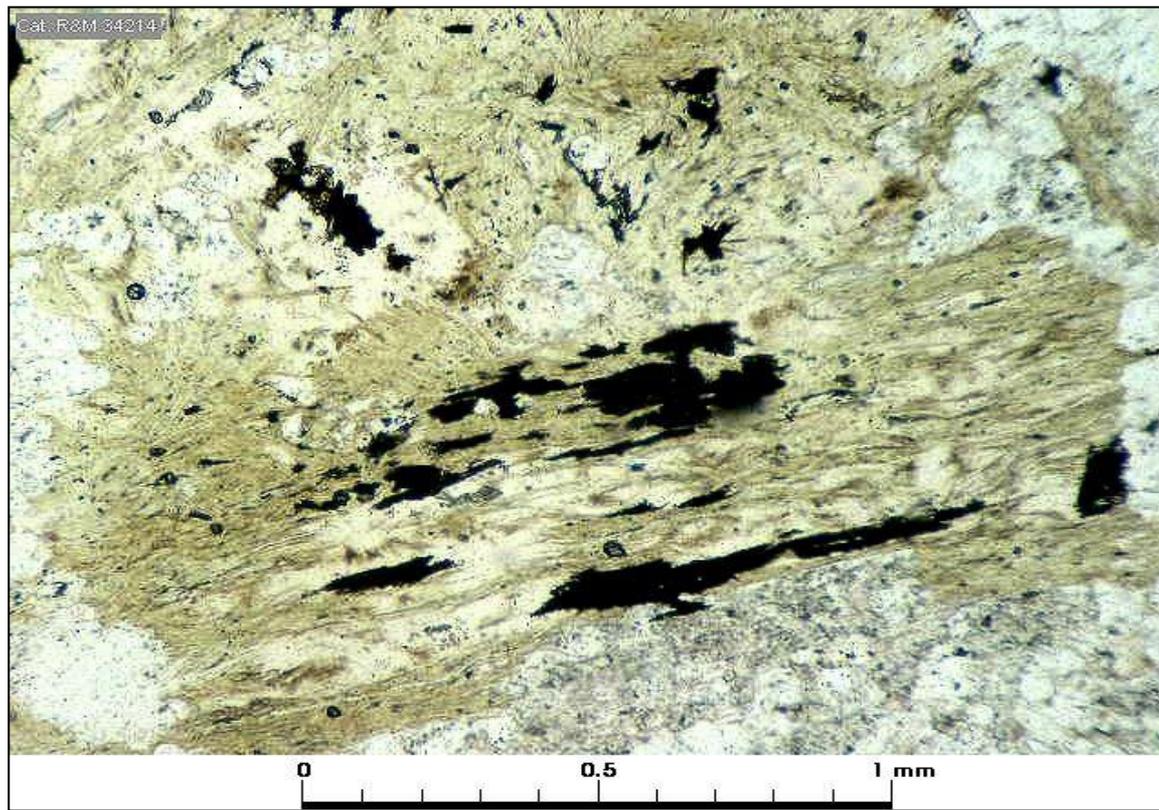
Selección de microfotografías



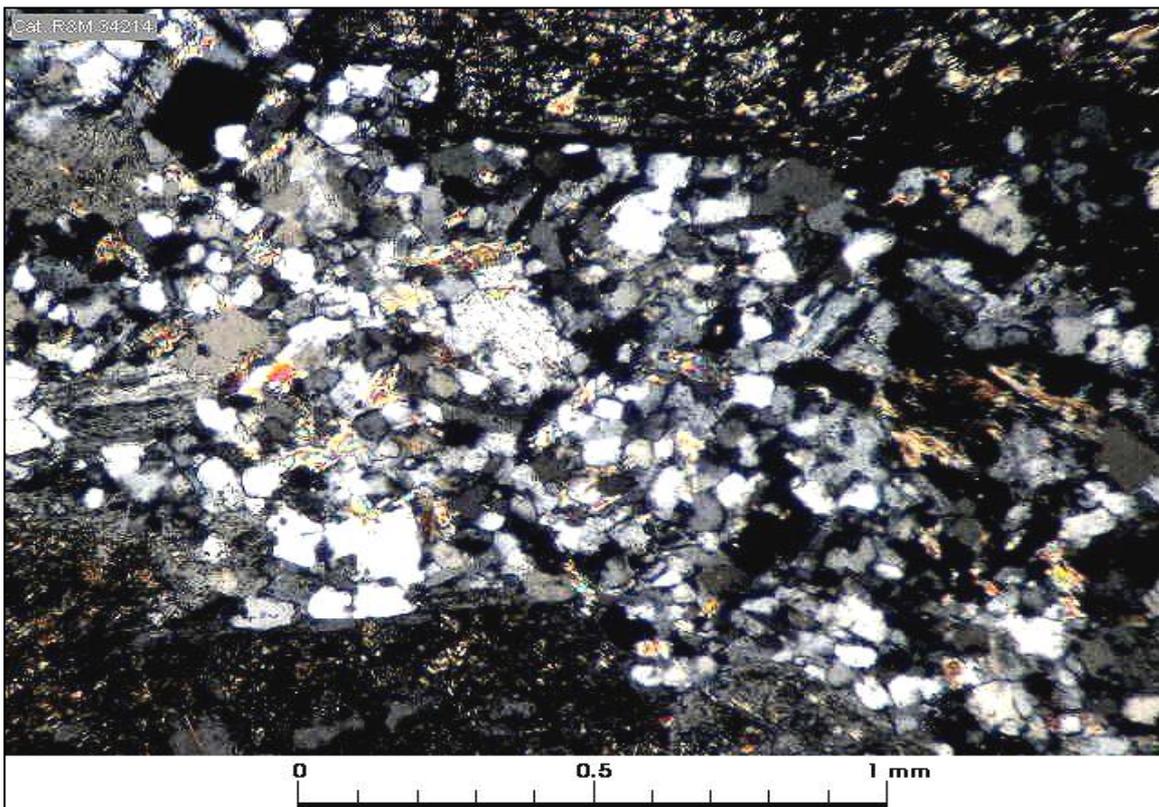
**Muestra JV077:** Fenocristal de cuarzo del tipo dipiramidal (que corresponde al cuarzo beta o cuarzo formado sobre 573°C; bajo esa temperatura se forma cuarzo alpha que tiene un hábito columnar y que es típico del cuarzo hidrotermal). Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV077:** Fenocristal de biotita (contorno algo difuso) totalmente reemplazado por sericita; otros fenocristales que aparecen parcialmente en la microfotografía corresponden a plagioclasa con albitización parcial. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV077:** Cristal de biotita semialterado a sericita (descolorado) las inclusiones opacas corresponden a agregados de rutilo/ leucoxeno. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV077:** Detalle de masa fundamental formada por abundante cuarzo microgranular entrecrecido con plagioclasa anhedral/ subhedral y escaso K feldspato. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Roca con alteración cuarzo sericítica extrema (en intensidad); posible pórfido.

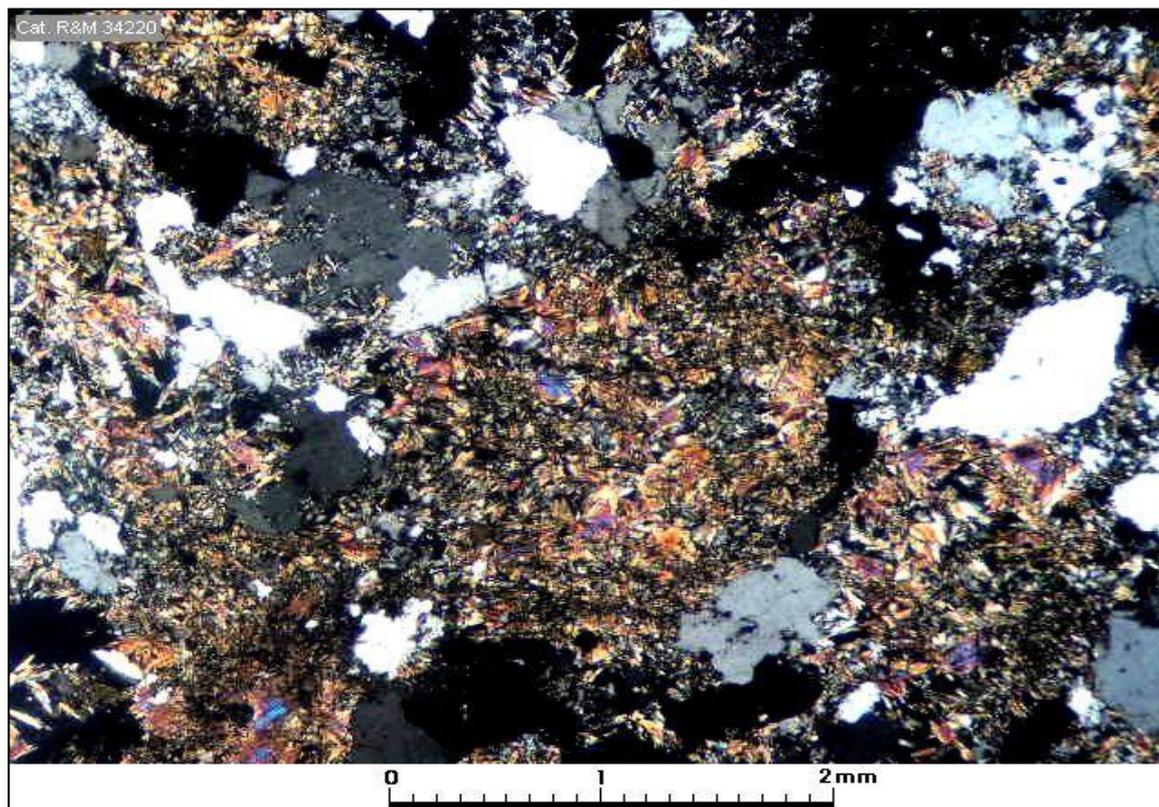
**Textura/ Estructura**

Débiles indicaciones de textura originalmente porfídica; obliteración avanzada.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra consiste en una roca descolorada probablemente subvolcánica totalmente obliterada por oxidación e intensa alteración cuarzo-sericítica que ha ocultado la mayor parte de las características originales de la roca; en la muestra de mano se distingue formas crudamente rectangulares de 2 a 2,8 mm que se interpretan como fenocristales de plagioclasa totalmente alterados a sericita de cristalización relativamente gruesa. La roca presenta un color gris claro amarillento producto de la alteración sericítica y de impregnaciones de jarosita de grano fino. El componente más abundante es cuarzo granular anhedral de 0,5-1,6 mm. Gran parte de los agregados de sericita tiene formas muy irregulares y no es claro que se hayan formado por alteración de feldespato; en algunos de estos agregados sericíticos se observó agregados de albita de grano fino (0,05 mm), localmente se identificó remanentes de fenocristales de biotita de 1,5 mm reemplazados por cuarzo y sericita, pero conservando los contornos del grano original.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV082:** La muestra corresponde a una roca con textura original moderadamente preservada, especialmente respecto a cristales de plagioclasa con secciones crudamente tabulares como el que se muestra en esta microfotografía (al centro) y que se interpreta como un cristal original de plagioclasa totalmente alterado a sericita. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	50	sin alteración	granos anhedrales de 0,5-1,6 mm. Ocurre entrecrecido con sericita en posibles agregados pseudomorfos según reemplazos de plagioclasa y también en agregados irregulares sin formas especiales.
sericita	48	residuo de alteración hidrolítica de feldespatos.	agregados hojosos de 0,15-0,4 mm; algunos agregados sericíticos de forma irregular aparecen entrecrecidos con albita de grano más fino (0,05 mm)

(biotita)	tr	reemplazo total por cuarzo, sericita y esmectita.	escasos remanentes de contornos reconocibles y tamaño hasta 1,5 mm.
jarosita	2	posible residuo de alteración de pirita (?).	agregados irregulares de 0,2-1,2 mm formados por jarosita submicroscópica.

#### Componentes accesorios

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
La muestra no contiene componentes accesorios comunes tales como circón o apatita.		

#### Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
Todos los componentes minerales anotados en la primera sección son producto de hidrotermalismo o de alteración.		

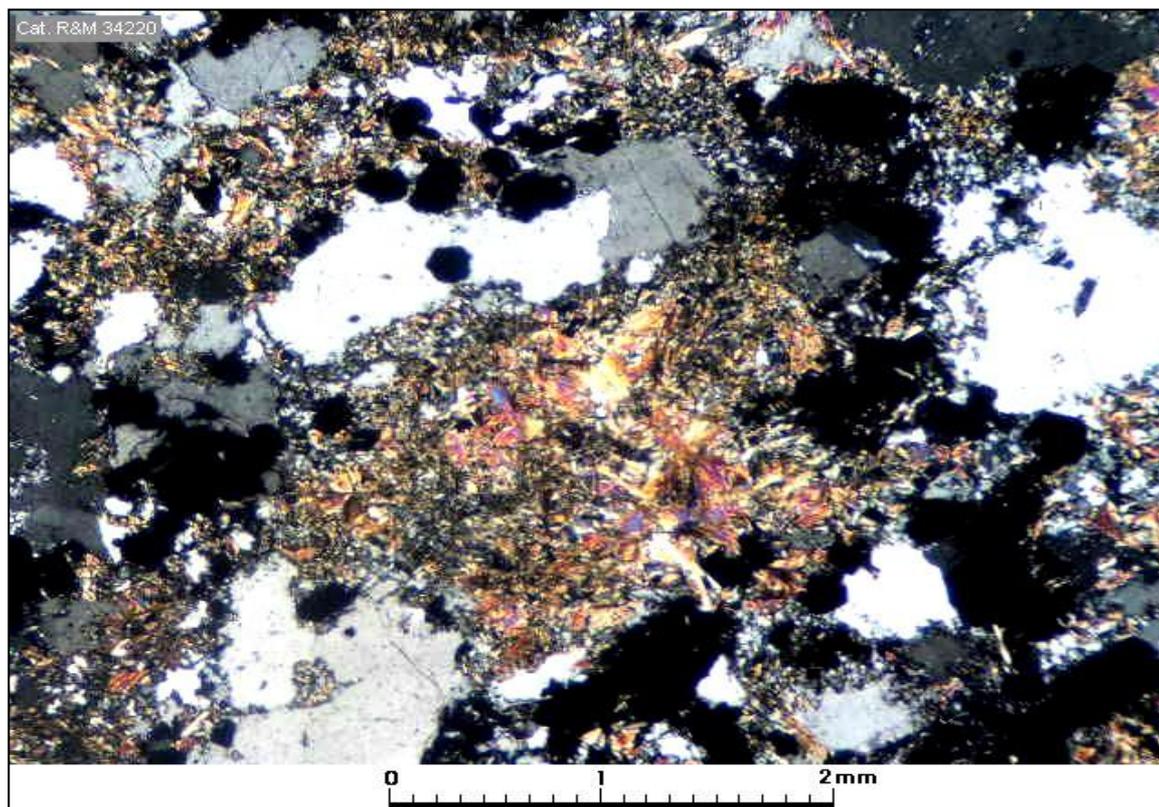
#### Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
leucoxeno	tr	agregados de 0,05-0,3 mm de leucoxeno semiopaco (blanco lechoso en luz reflejada), contenidos en agregados sericíticos/ albita microgranular

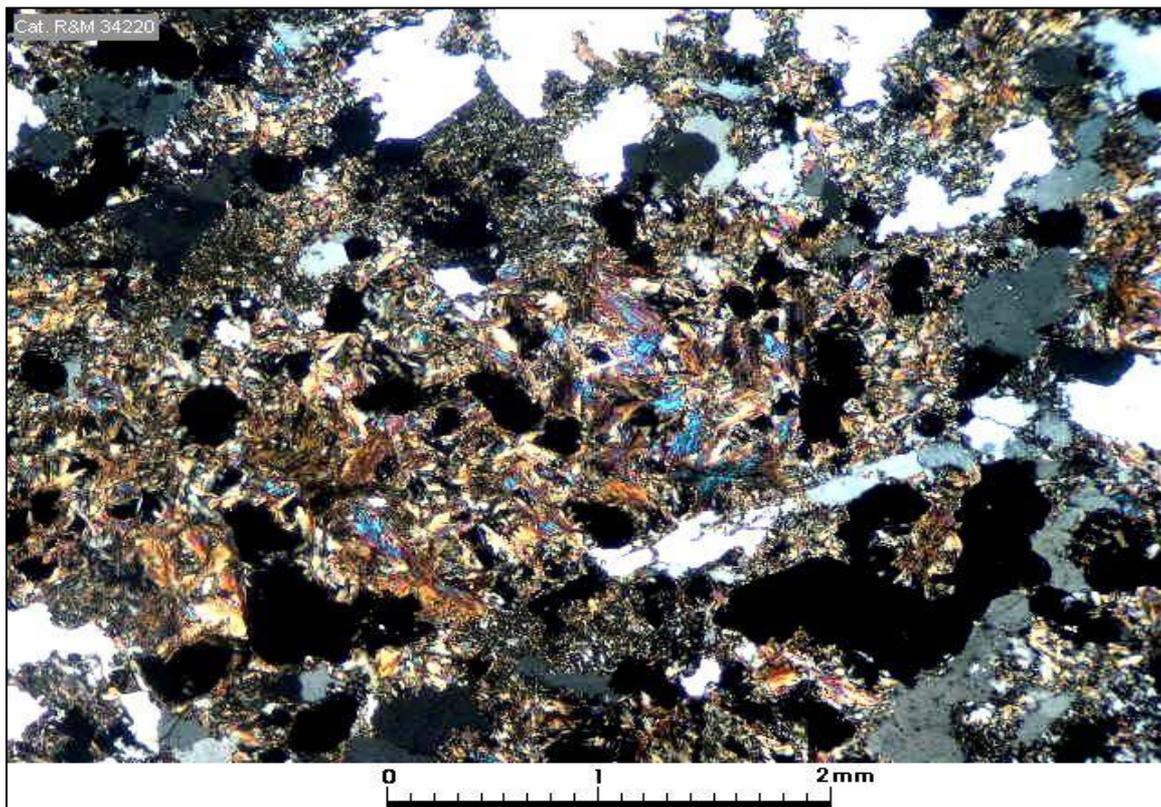
#### Estructuras

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

#### Selección de microfotografías

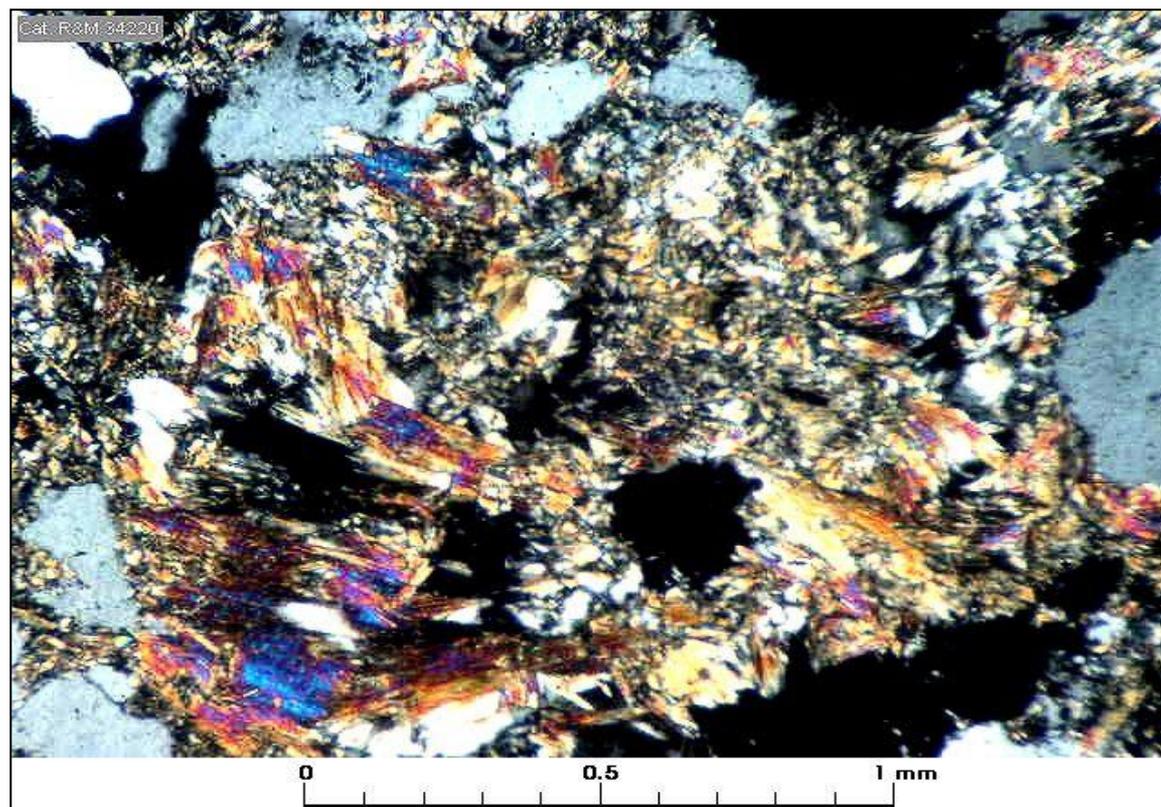


**Muestra JV082:** La microfotografía muestra otro cristal de probable plagioclasa con sus contornos crudamente rectangulares, totalmente alterado a sericita. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

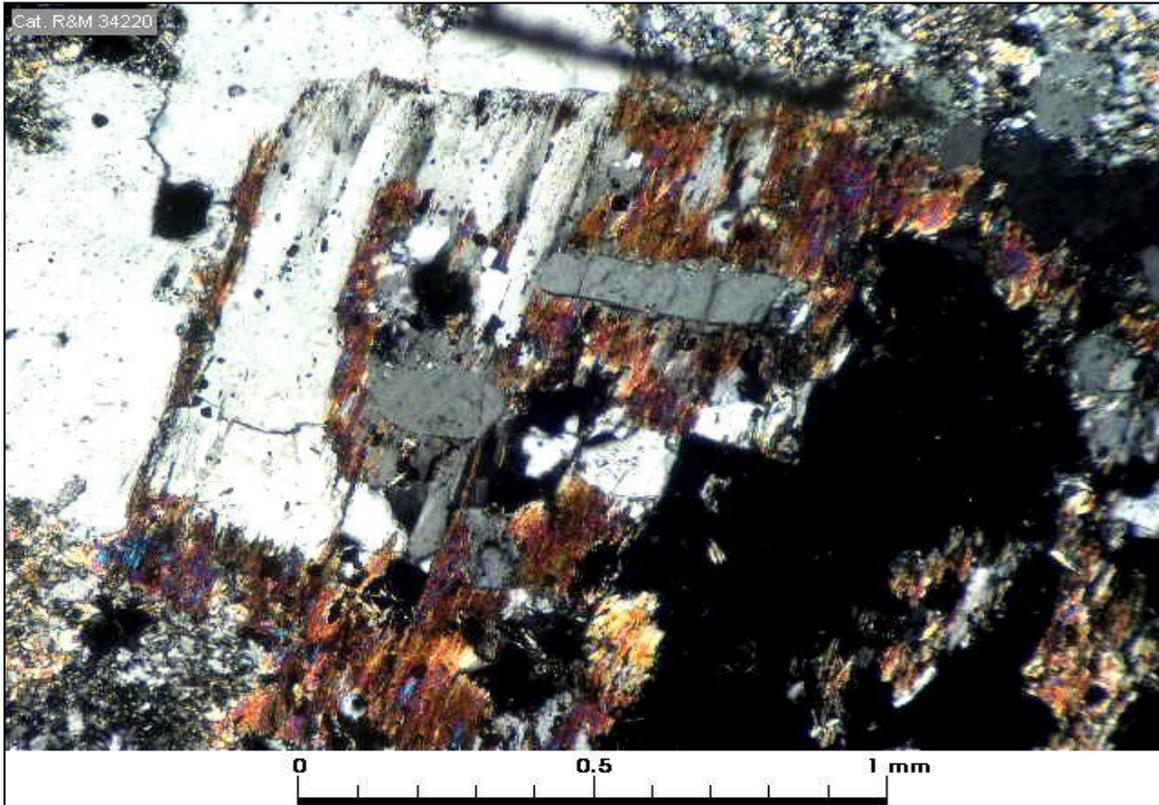


**Muestra JV082:** Agregado de sericita gruesa que puede ser interpretado como un cristal tabular de plagioclasa totalmente afectado por alteración sericítica. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

#### Microfotografías



**Muestra JV082:** Otro ejemplo de posible cristal de plagioclasa totalmente reemplazado (a través de un proceso de hidrólisis) por sericita de grano relativamente grueso (sericita muscovítica). Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV082:** Fenocrystal de biotita con sus formas externas preservadas reemplazado por cuarzo y sericita muscovítica. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Granitoide.

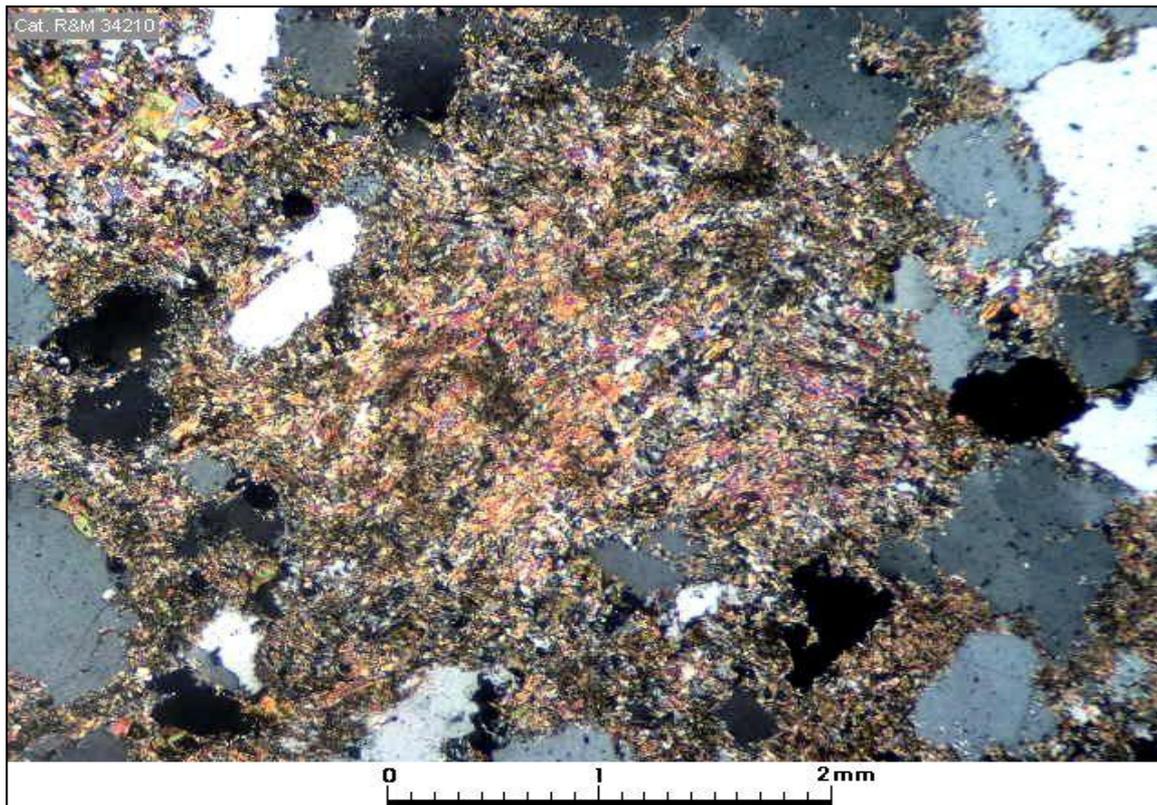
**Textura/ Estructura**

Fanerítica (composición obliterada por intensa alteración fílica).

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a una roca intrusiva plutónica de textura fanerítica de grano medio constituida por cuarzo anhedral abundante (40%) en granos anhedral de 0,8-2,5 mm; los feldespatos se encuentran íntimamente entrecrecidos con el cuarzo magmático y se encuentran totalmente alterados a sericita. Forman agregados de 1-5 mm y no se observa indicio de su composición original. La sericita aparece como un agregado micáceo de 0,02-0,12 mm y localmente se encuentra entrecrecida con epidota relativamente abundante.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV086:** Granitoide o roca intrusiva plutónica de composición incierta porque los feldespatos se encuentran totalmente obliterados y no es posible establecer la proporcionalidad entre K feldespato y plagioclasa para su clasificación más certera. Todos los feldespatos originales de la roca se encuentran totalmente alterados a un agregado fílico de sericita fina. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	40	sin alteración.	granos anhedral de 0,8-2,5 mm entrecrecido con feldespato alterado.
feldespato	60	total a sericita en agregados micáceos de 0,1-0,3 mm.	granos anhedral de 1-5 mm completamente obliterados por la alteración fílica.
biotita	tr	alteración total a sericita	granos subhedral de 1-1,5 mm.

**Componentes accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	granos de ca. 0,03-0,07 mm dispersos en la roca.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	57	granos anhedrales de 0,02-0,12 mm localmente entrecrecida con epidota.
epidota	3	granos anhedrales de color verde en tamaños de 0,1-0,8 mm; en epidota también se observó venillas delgadas (0,2 mm).
rutilo	>0,5	granos anhedrales de color café de 0,02 mm y agregados de 0,40 mm; también se observó trazas de leucoxeno semiopaco; rutilo y leucoxeno se forman a partir del Ti liberado de la alteración de máficos titaníferos.

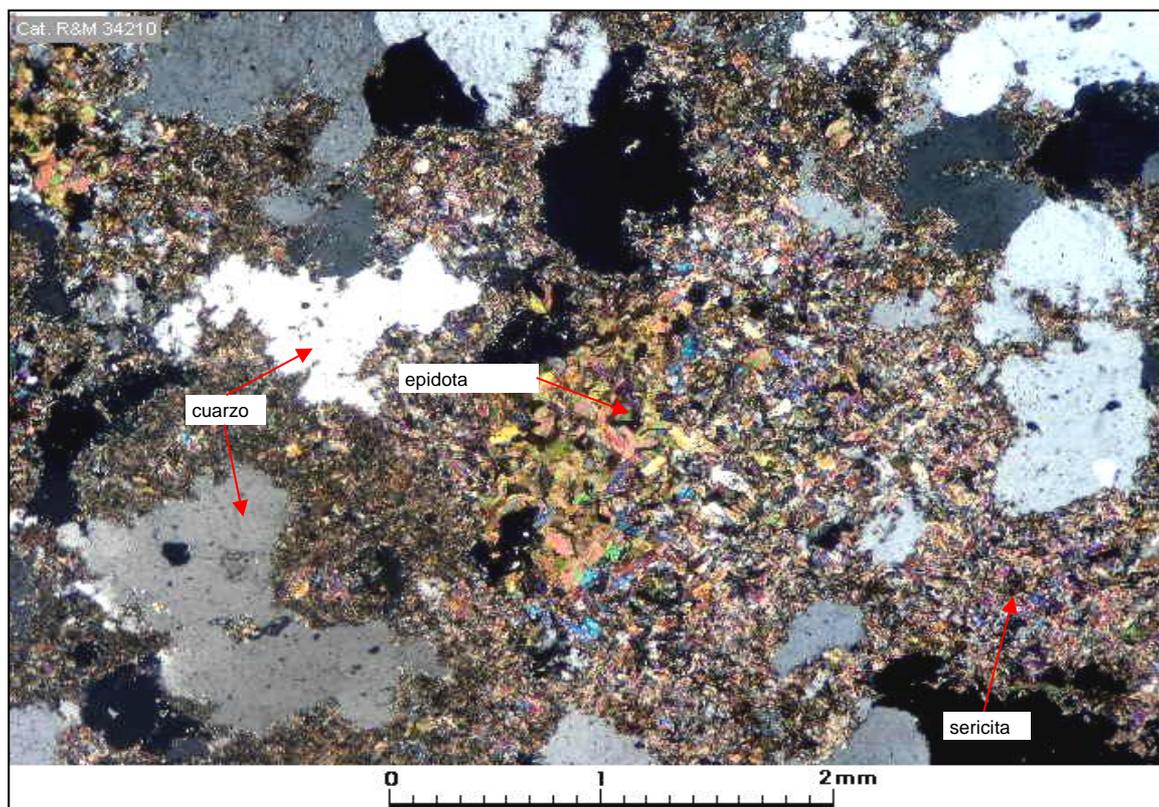
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
rutilo/ leucoxeno/ hematita	>0,5	escasos agregados anhedrales de hasta 0,7 mm.

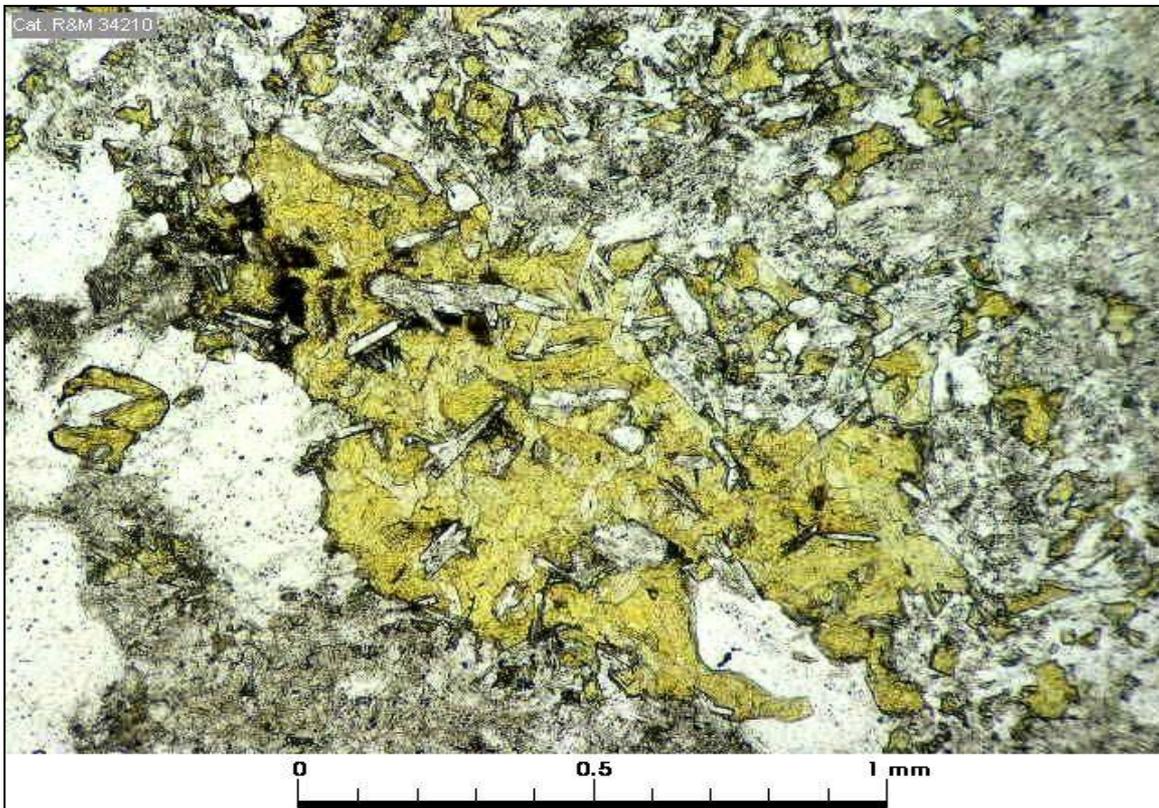
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
cuarzo	1-1,5 mm	escasas vetillas de cuarzo granular sin componentes opacos.

**Selección de microfotografías**

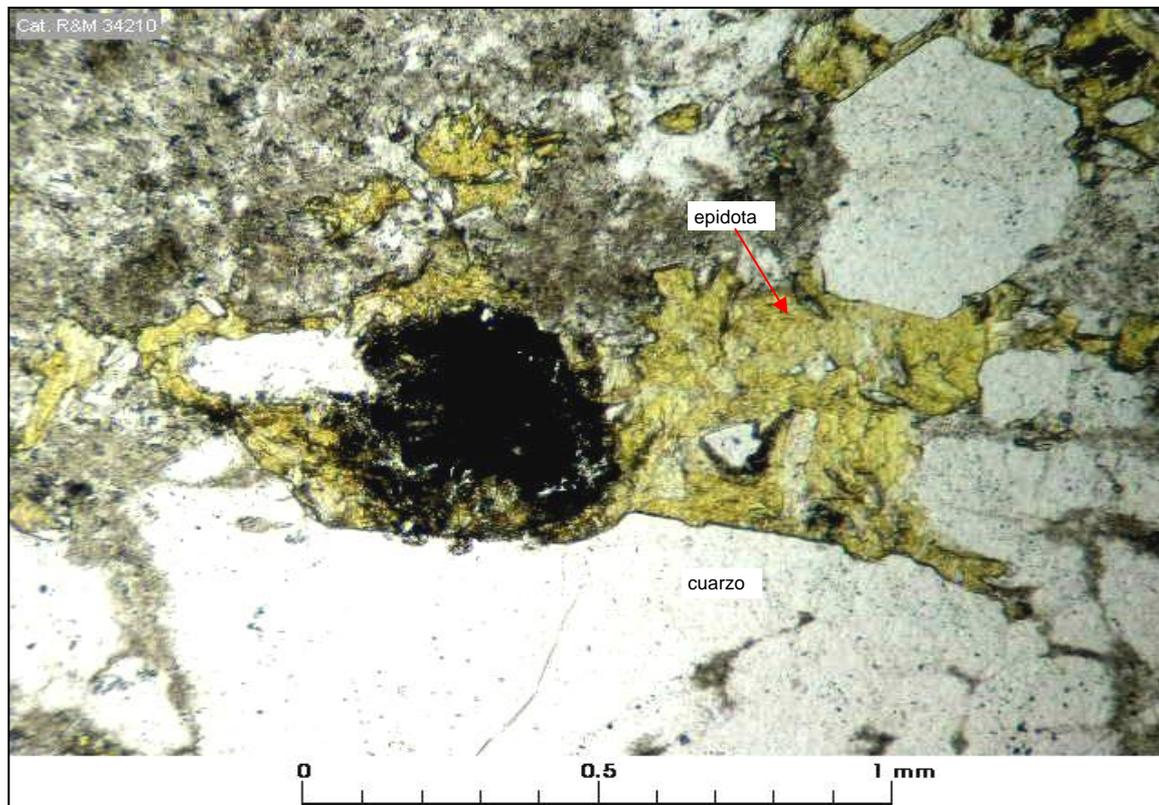


**Muestra JV086:** Microfotografía similar a la anterior, con la diferencia que granos de feldespatos se encuentran alterados a sericita y epidota; los componentes claros, no alterados corresponden a cuarzo magmático que es resistente a la alteración. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

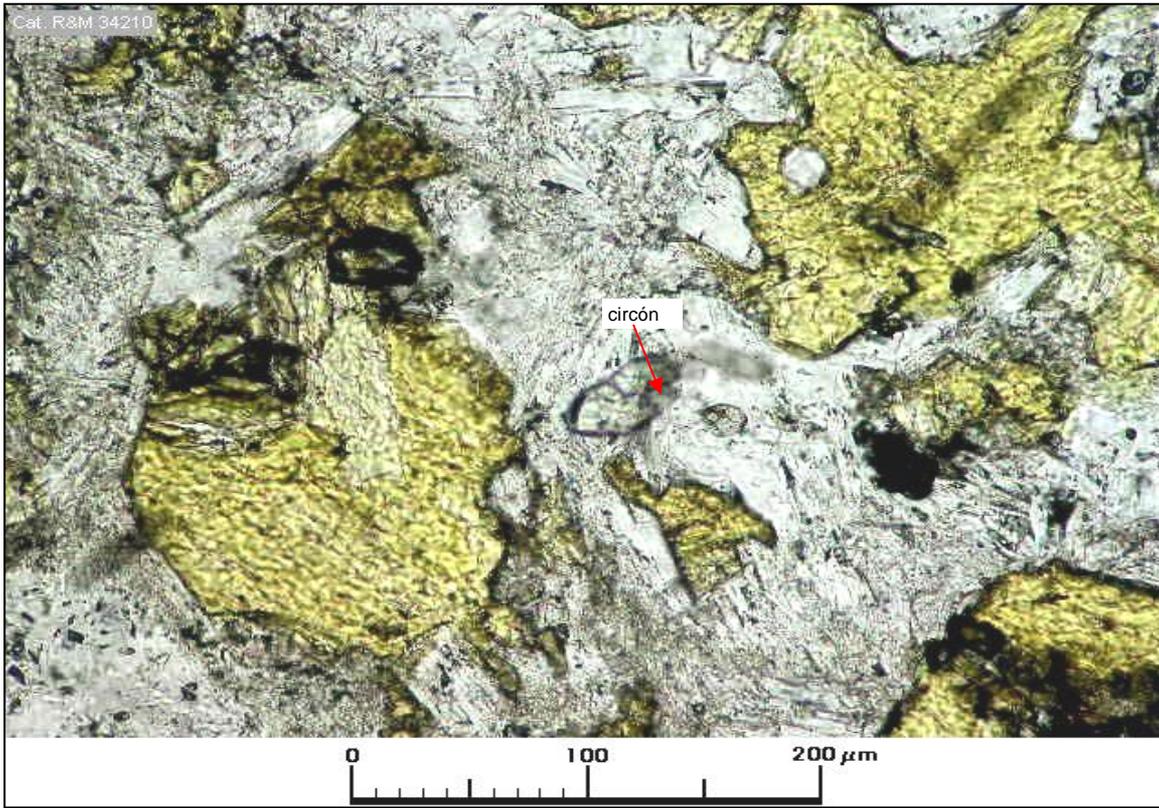


**Muestra JV086:** Agregado de epidota amarillo-verdosa (pistacita, variedad ferriana) junto a sericita fina como alteración de feldespatop. Aum.: 6,3x10; Nic. paralelos.

### Microfotografías



**Muestra JV086:** Epidota y sericita como productos de alteración de feldespatop; el mineral opaco es un agregado de rutilo y leucoxeno ( $\text{TiO}_2$  amorfo). Aum.: 6,3x10; Nic. paralelos.



**Muestra JV086:** Granos de epidota junto a feldespato remanente (con escasa alteración); al centro se observa un pequeño cristalito de circón. Aum.: 25x10; Nic. paralelos.

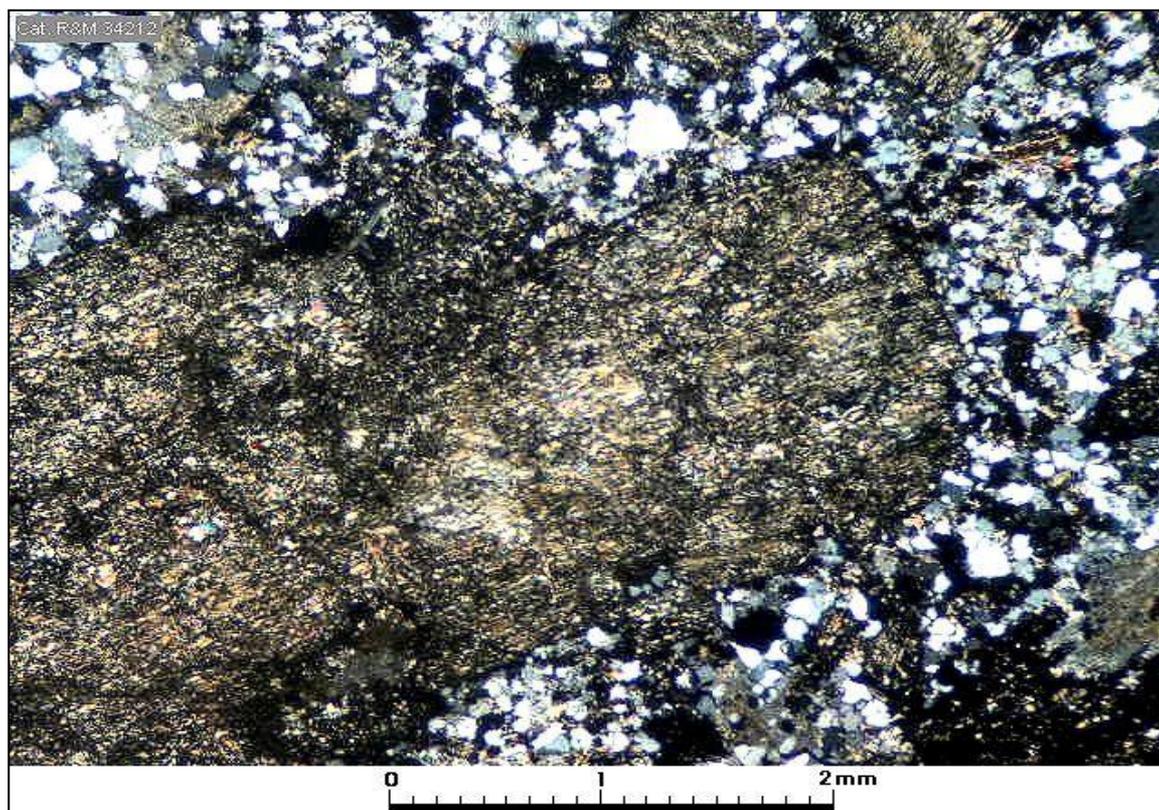
Nº Muestra	JV107
------------	-------

<b>Clasificación petrográfica</b>	Pórfido dacítico.
-----------------------------------	-------------------

<b>Textura</b>	Fxx: 43% Mf: 57%
Porfídica, masa fundamental afanítica microgranular.	

<b>Observaciones megascópicas/ microscópicas</b>
La muestra corresponde a una roca subvolcánica hipabisal de color gris claro amarillento, un pórfido dacítico descolorado por oxidación formado por abundantes (40%) fenocristales de plagioclasa de 1-5 mm intensamente sericitizados por lo que sus maclas están totalmente obliteradas. Otros fenocristales consisten en pequeños granos de cuarzo (3%) en tamaños de 0,3-1,2 mm. La masa fundamental es afanítica y aparece formada por un agregado de cuarzo microgranular (37%) de 0,08-0,2 mm entrecrecido con granos tabulares de plagioclasa totalmente sericitizada en tamaños de 0,2-0,6 mm (20%). La roca está oxidada y contiene abundante diseminación de hematita roja en granos de 10-30 µm junto con agregados granulares de goethita.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV107:** Fenocristal de plagioclasa de 5 mm de tamaño afectado por intensa alteración sericítica y en parte argílica; la masa fundamental es de textura afanítica constituida por cuarzo microgranular y cristalitas de plagioclasa de hasta 0,6 mm con idéntica alteración a la exhibida por los fenocristales de plagioclasa. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Fenocristales: 43%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	40	alteración total a sericita (agregados escamosos de 0,02-0,12 mm).	cristales subhedrales/ euhedrales de 1-5 mm totalmente obliterados por alteración sericítica; junto a la sericita localmente se observó escasas arcillas esmectíticas.
cuarzo	3	sin alteración.	fenocristales monocristalinos de 0,3-1,2 mm.

**Masa fundamental: 57%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	37	sin alteración.	granos anhedrales de 8,08-0,2 mm.
plagioclasa	20	similar a fenocristales (intensa sericitización).	cristales subhedrales tabulares de 0,2-0,6 mm.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	pequeños granitos de 15-60 µm.
apatita	tr	pequeños cristallitos prismáticos de hasta 0,05 mm.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	50	agregados micáceos o escamosos que reemplazan casi totalmente a fenocristales de plagioclasa de la masa fundamental
esmectita	5	agregados muy finos entrecrecidos con sericita como producto de alteración de plagioclasa.
hematita/ goethita	2	pequeños granitos y agregados coloformes de 10-60 µm producto de oxidación de máficos o de sulfuros (pirita?).
turmalina	tr	escasos agregados de 1,5 mm.
rutilo	tr	granitos anhedrales de 0,01-0,04 mm.

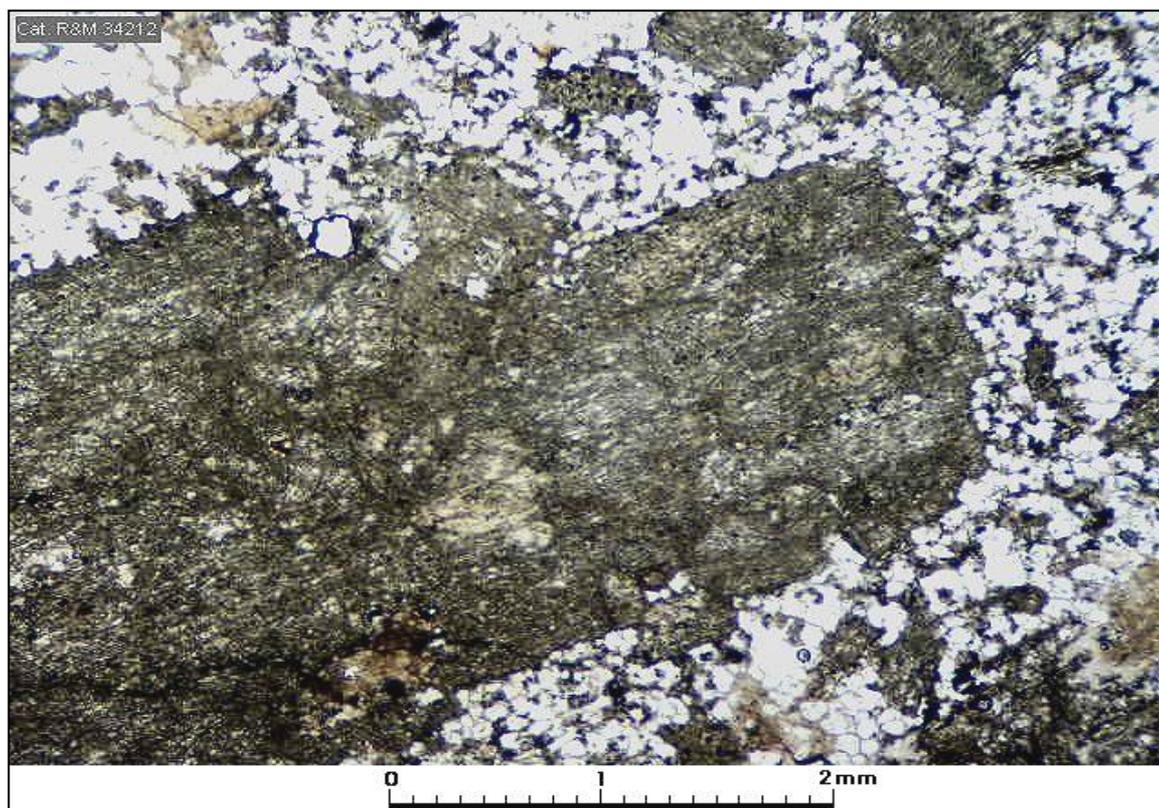
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita/ goethita	2	granos de hematita roja muy fina de 0,01-0,05 y agregados de hasta 0,15 mm; goethita está presente en trazas.

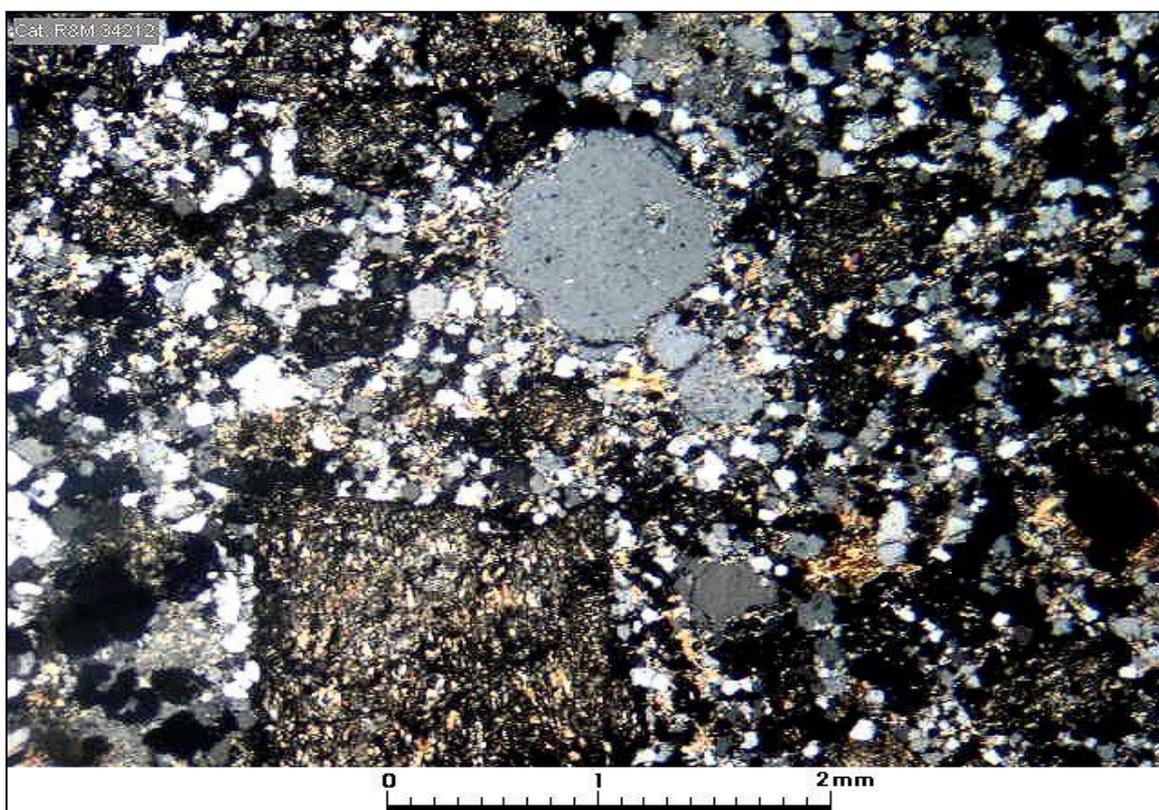
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

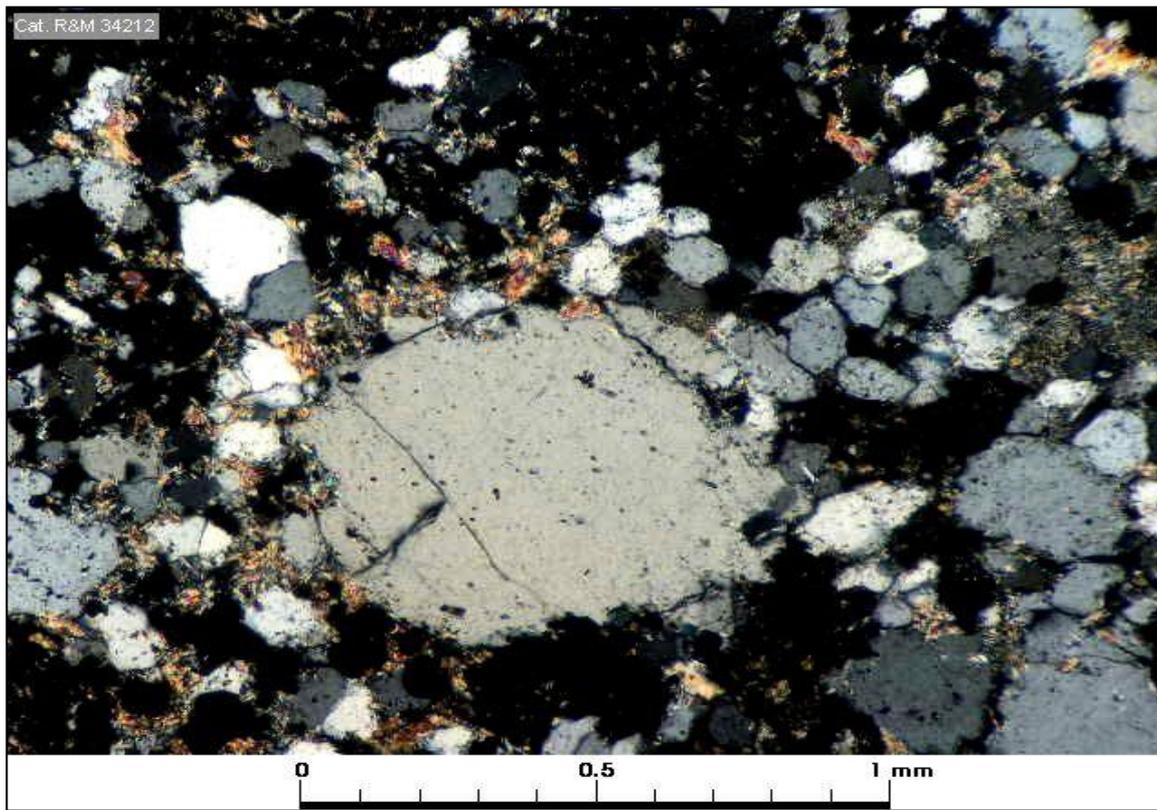
Selección de microfotografías



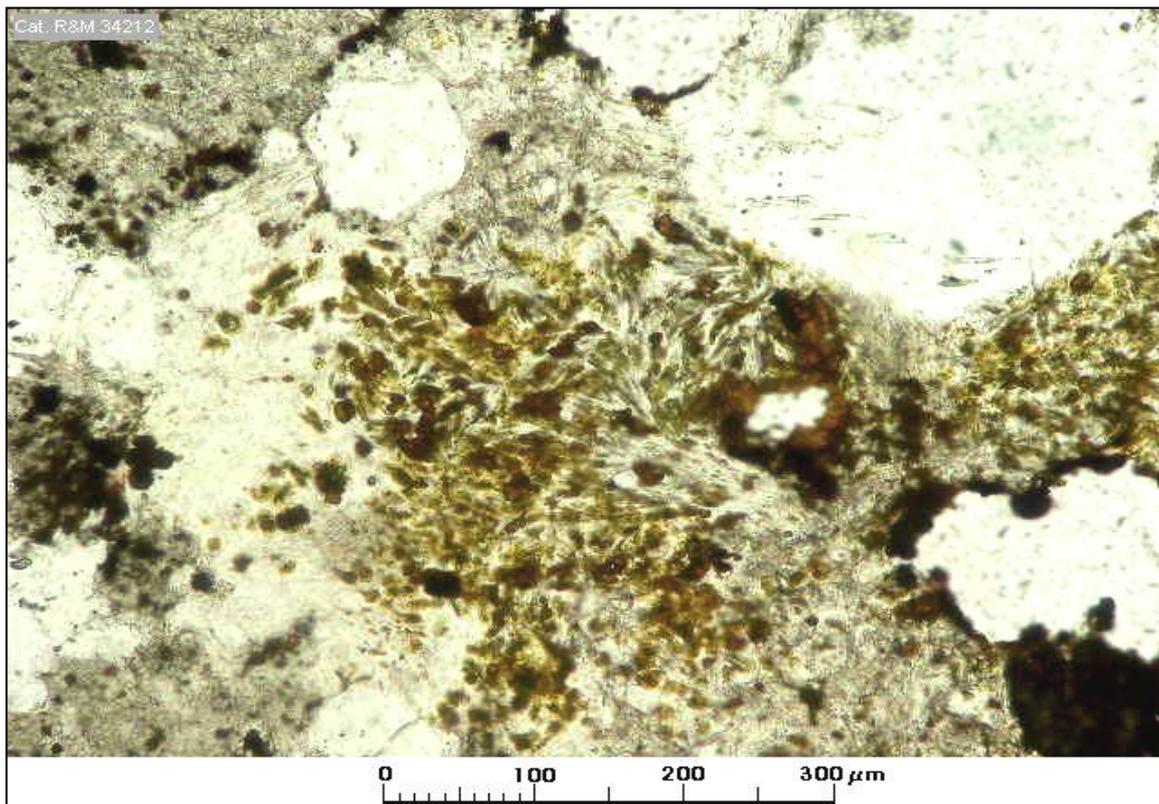
**Muestra JV107:** Misma microfotografía anterior tomada bajo nicoles paralelos; se advierte el turbio aspecto del fenocristal de plagioclasa debido a la sericitización y argilización que los afecta. La masa fundamental muestra la predominancia de cuarzo microgranular. Aum.: 2,5x10; Nic. paralelos.



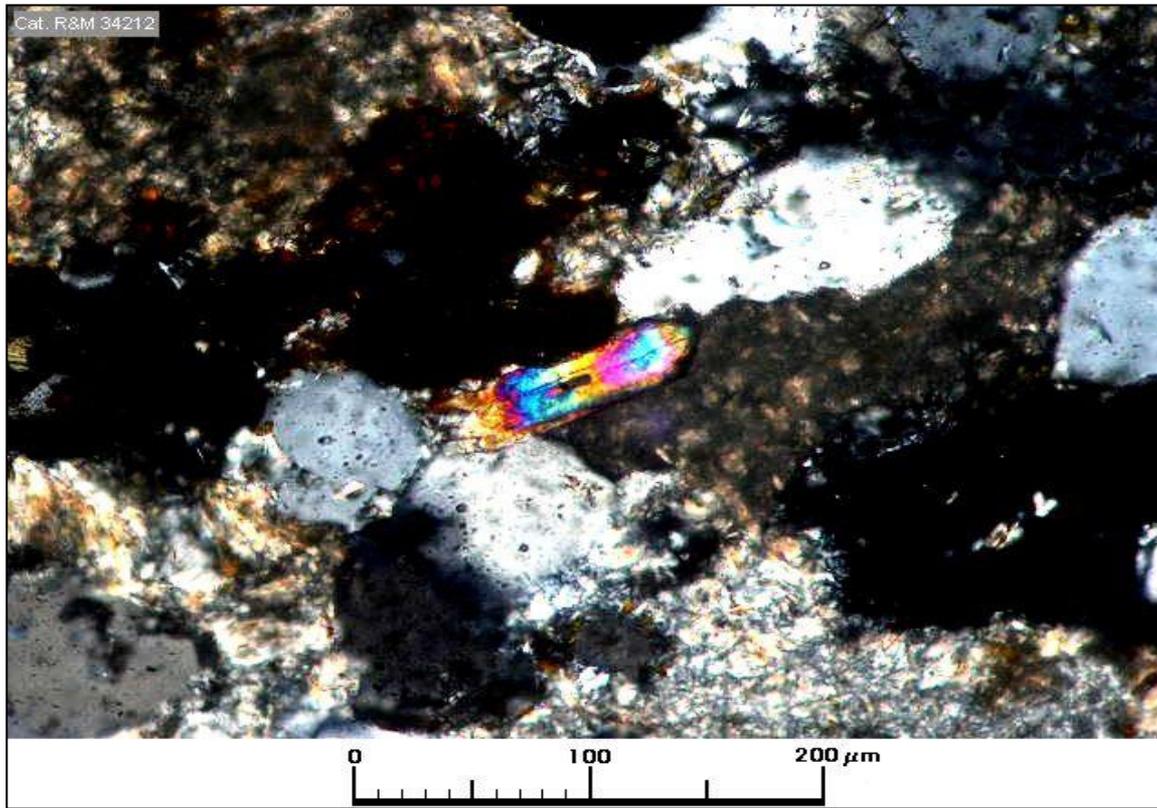
**Muestra JV107:** Microfenocristal de cuarzo (tipo dipiramidal, o tipo beta cristalizado sen condiciones magmáticas sobre 573°C); la masa fundamental consiste en un agregado afanítico de cuarzo microgranular y tablillas pequeñas de plagioclasa turbias por sericitización/ argilización). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV107:** Detalle de la masa fundamental afanítica microgranular junto a un pequeño fenocristal de cuarzo. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV107:** Agregado de sericita gruesa y limonitas goethíticas que probablemente corresponden a residuo de la alteración total de biotita magmática. Aum.: 16x10; Nic. paralelos.



**Muestra JV107:** Cristalito de circón en la masa fundamental; el mineral café semiopaco es un agregado de limonitas goethíticas. Aum.: 25x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Pórfido dacítico.

**Textura**

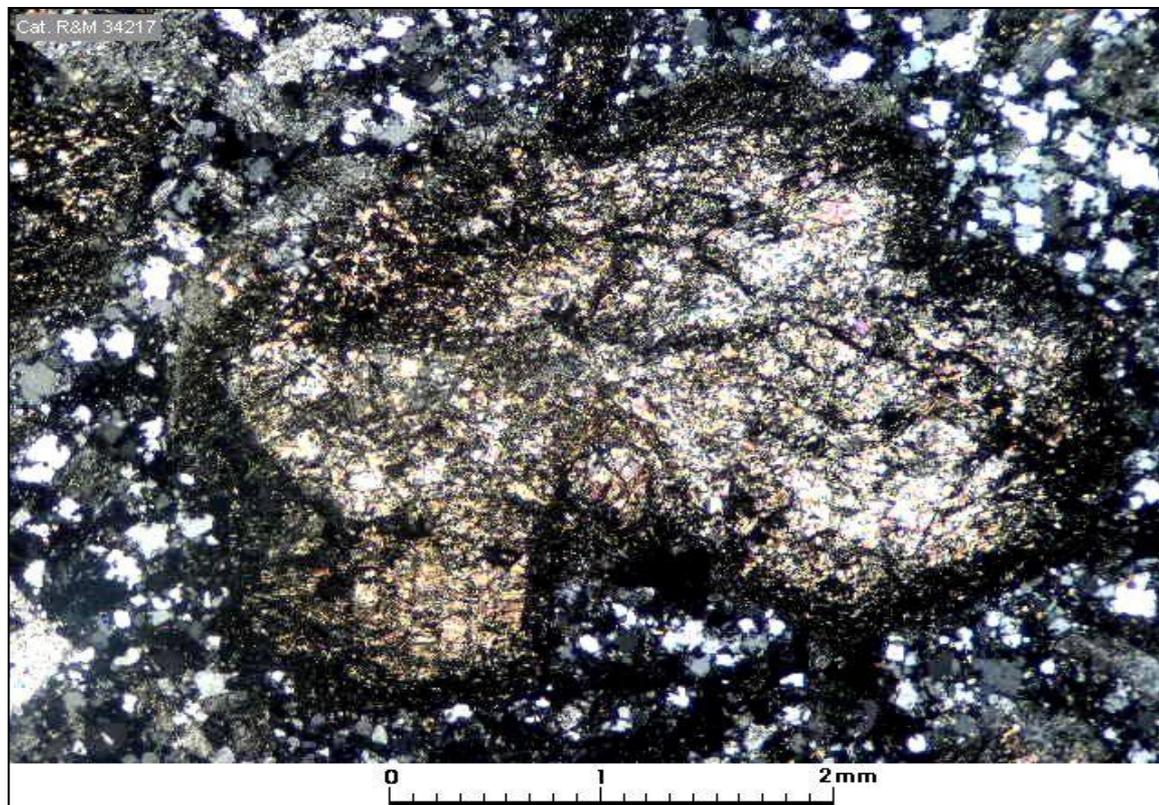
**Fxx: 40% Mf: 60%**

Porfídica bien desarrollada (fenocristales abundantes y de tamaño relativamente grande, hasta unos 5 mm); masa fundamental afanítica microgranular.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a una roca probablemente subvolcánica hipabisal, un pórfido dacítico con textura porfídica determinada por su contenido de abundantes fenocristales de plagioclasa junto a escasos fenocristales de cuarzo y posibles fenocristales de biotita alterados a sericita. La decisión sobre su naturaleza hipabisal deberá determinarse por las relaciones de contacto en el terreno (por microscopía no es posible asegurarlo, aún cuando las texturas de los pórfidos hipabisales son bastante características). La masa fundamental está formada por un agregado afanítico de granos anhedrales de cuarzo en tamaños de hasta 0,3 mm; cristalitas de plagioclasa de formas subhedrales tabulares de 0,3-0,7 mm y algunos cristalitas de probable K feldespato (son muy similares a plagioclasa sin maclas, por lo que su identificación es tentativa.. La muestra corresponde a una roca oxidada y descolorada, con impregnaciones características de hidróxidos supergenos de Fe como hidrohematita y goethita, producto de la alteración de componentes máficos y posiblemente de algunos sulfuros (lo que habría que comprobar con un estudio de sulfuros relictos).

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV109:** Fenocristal de plagioclasa de 3,5 mm con intensa alteración sericítica en la parte central y un borde oscuro formado por albita granular fina y goethita colorada en microscópicas esferitas. Estos fenocristales de plagioclasa aparecen de color rojizo o café en la muestra de mano dependiendo si la impregnación de óxidos de Fe corresponden a hematita o a goethita; otros fenocristales de plagioclasa no muestran impregnaciones y son de color blanco-crema. Los fenocristales están insertos en una masa fundamental afanítica microgranular de cuarzo y feldespato. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Fenocristales: 40%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
plagioclasa	37	por lo general muestran intensa sericitización e impregnación de hematita roja y goethita; algunos aparecen menos alterados y con maclas.	cristales subhedrales/ euhedrales de 1,2-5 mm; en muestra de mano aparecen de color rojizo o café según si están impregnados por hematita roja o goethita. Algunos no tienen impregnación de óxidos de Fe y conservan moderadamente sus maclas mediante las cuales se estimó una composición de andesina (An31).
cuarzo	3	sin alteración.	cristales anhedrales/ subhedrales de 0,6-1 mm.
(biotita)	<1	alteración total a sericita de grano fino.	algunos agregados de sericita fina muestran contornos rectilíneos, aproximadamente rectangulares que se atribuyen a cristales de biotita totalmente sericitizados.

**Masa fundamental: 60%**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	30	sin alteración; posiblemente algo de recristalización.	granos anhedrales de 0,1-0,3 mm entrecrecidos con el resto de los componentes de la masa fundamental.
plagioclasa	20	enturbiamiento por formación de arcilla probablemente combinada con albitización.	cristales predominantemente subhedrales de 0,3-0,7 mm; algunos muestran desarrollo de maclas polisintéticas.
ortoclasa	8?	aspecto muy similar a plagioclasa	algunos granos de feldespato aparecen como cristallitos elongados de unos 0,08 mm mostrando una macla simple que se interpretó como Carlsbad y al cristal como K feldespato. La estimación de porcentaje es estimativa.
(sericita)	2	posible residuo de alteración de biotita (?).	hojuelas y agregados de sericita anhedral de 0,05-0,12 mm dispersas en la masa fundamental.

**Minerales accesorios**

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
circón	tr	cristalitos euhedrales prismáticos de 0,08-0,25 mm dispersos en la masa fundamental.

**Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
sericita	25	agregados hojosos (micáceos) de reemplazo por alteración hidrolítica de fenocristales de plagioclasa (metasomatismo de hidrógeno); algunos agregados se interpretan como reemplazos pseudomorfo de biotita. También se la observa como agregados hojosos en la masa fundamental que se interpretan como residuos de alteración de biotita.
goethita/ hematita roja	6	ocurren como impregnaciones/ tinciones en fenocristales de plagioclasa y en parte en la masa fundamental.

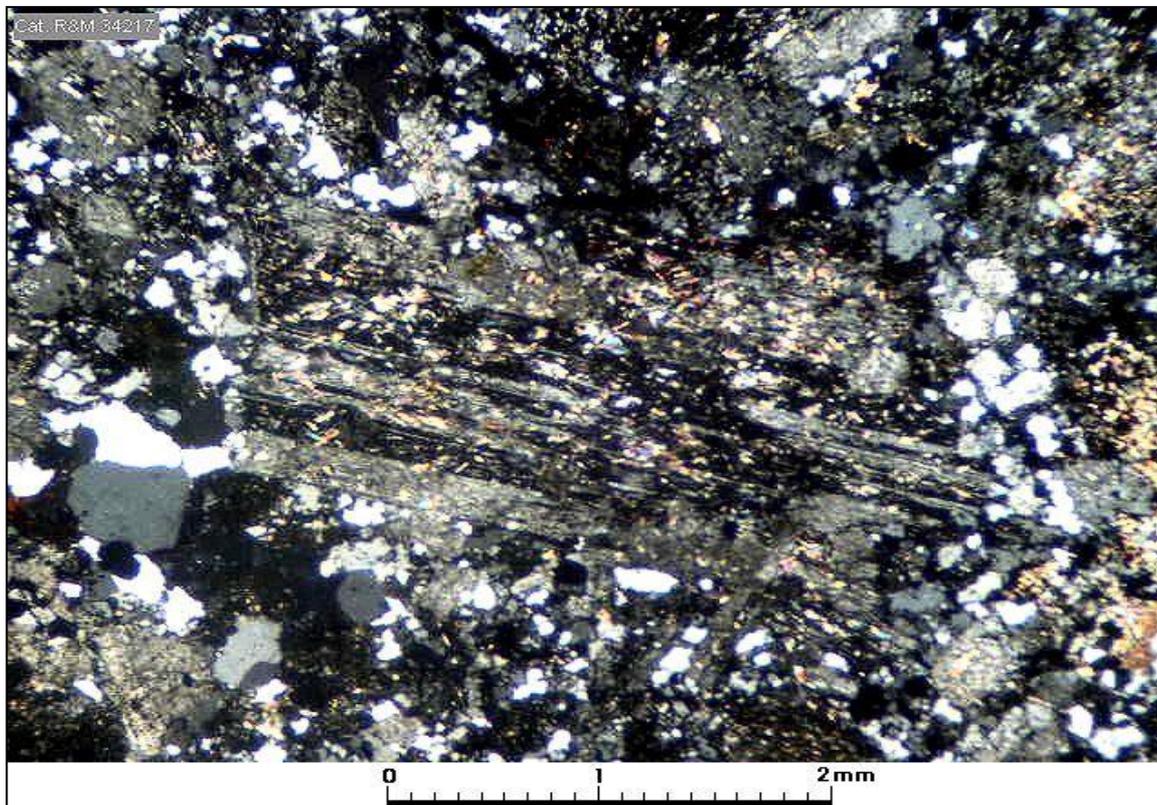
**Minerales Opacos**

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita/ goethita	6	corresponden a hidróxidos de Fe formados supergénicamente a partir de oxidación de máficos (y tal vez de sulfuros, para lo cual habría que realizar un estudio/ recuento de sulfuros relictos). La hematita roja corresponde en realidad a hidrohematita o más propiamente ferrihidrita, Fe <sub>4</sub> O-4.6(O,OH,H <sub>2</sub> O) que precipita supergénicamente como un gel (por lo cual muestra texturas coloformales). Por deshidratación al estado sólido forma hematita común.

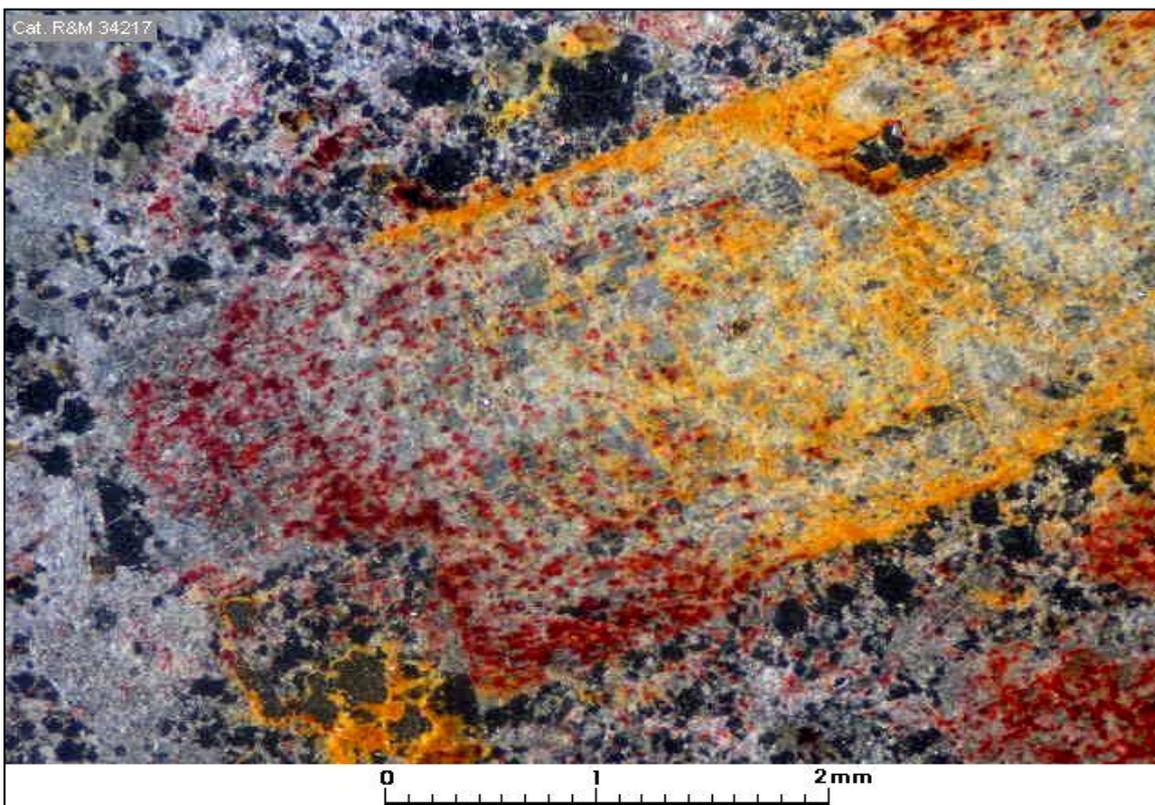
**Estructuras**

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

Selección de microfotografías

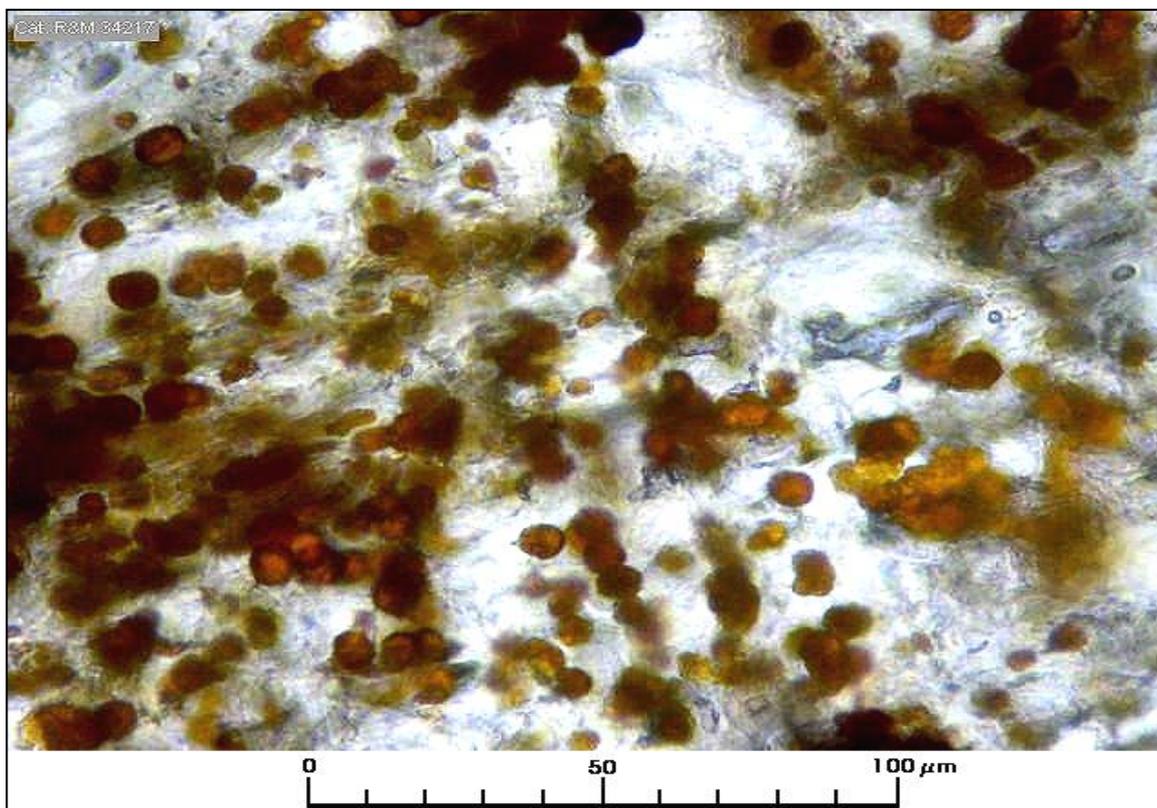


**Muestra JV109:** Fenocristal de plagioclasa sin impregnación de óxidos de Fe y con sus maclas moderadamente conservadas, que permitieron estimar la composición como andesina (An31). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

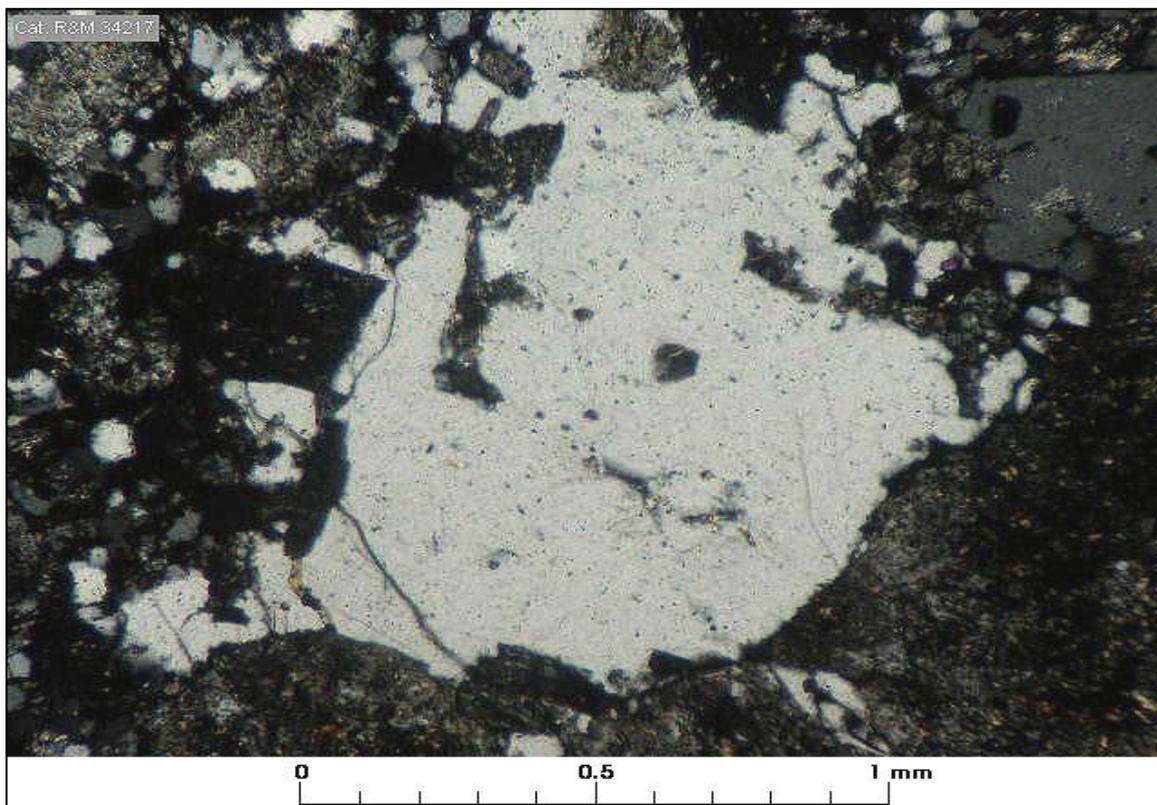


**Muestra JV109:** Microfotografía especial para destacar las impregnaciones de hematita roja y goethita (color anaranjado) en un fenocristal de plagioclasa. Aum.: 2,5x10; luz no polarizada (iluminación oblicua en la parte superior del corte).

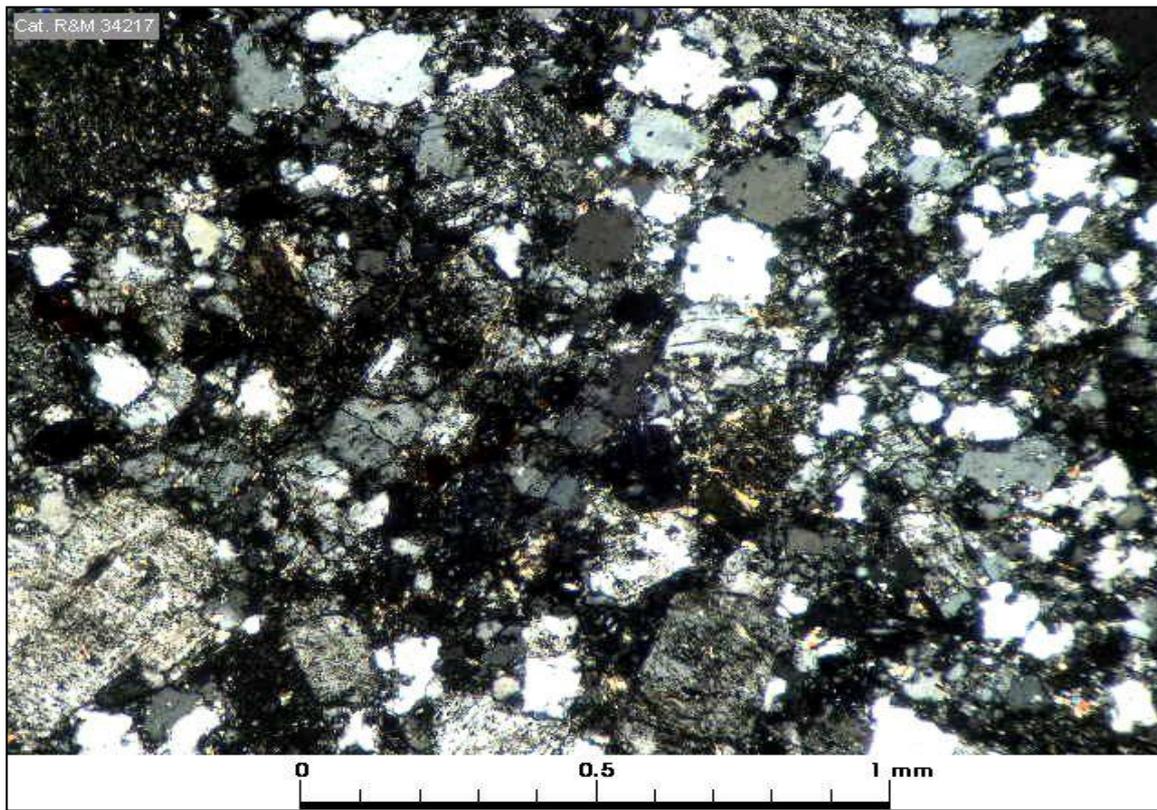
Microfotografías



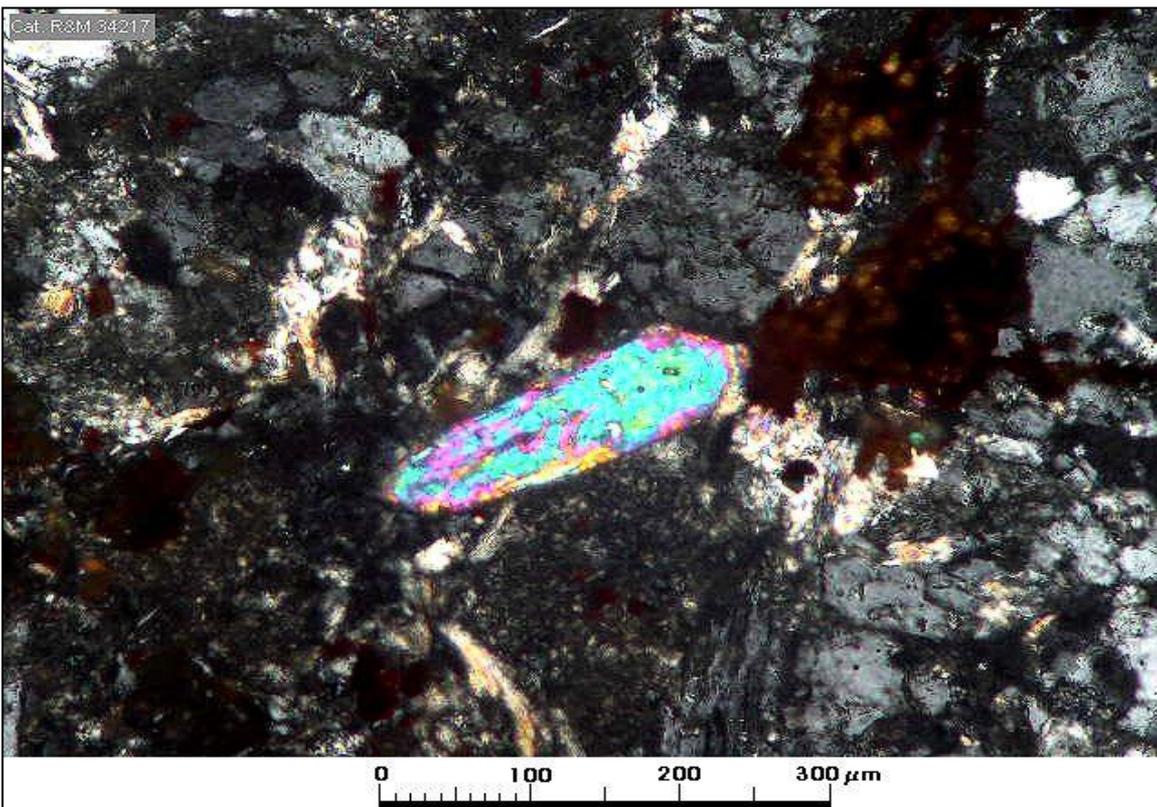
**Muestra JV109:** Microfotografía de fuerte aumento correspondiente a la impregnación de color anaranjada correspondiente a goethita de la microfotografía anterior; obsérvese que las partículas de goethita corresponden a pequeñas esferas de unos 5-8  $\mu\text{m}$  que tienen esa forma porque se depositaron como geles. Aum.: 63x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV109:** Fenocristal anhedral de cuarzo del tipo dipiramidal /cuarzo beta) en masa fundamentalafanítica de cuarzo microgranular y feldespato. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV109:** Masa fundamental afanítica formada por un agregado microgranular de cuarzo, plagioclasa y escaso K feldespato. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV109:** Cristalito prismático de circón de 0,25 mm en la masa fundamental. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica** Asociación hidrotermal de cuarzo/ turmalina.

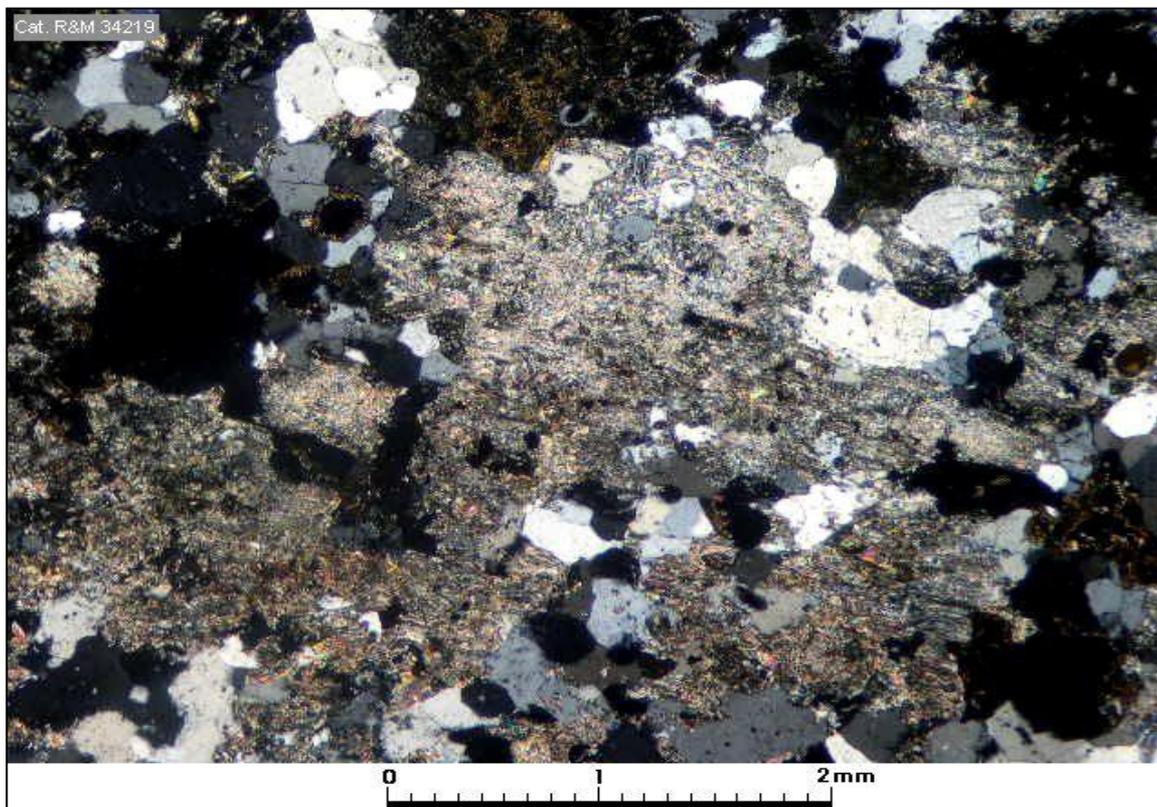
**Textura/ Estructura**

Entrecrecimiento de componentes hidrotermales constituido por cuarzo granular anhedral y agregados de turmailina prismática semirradiales, además de otros componentes menores.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra no es una roca sino un conjunto de minerales hidrotermales que reemplazaron a una roca de naturaleza indeterminada. Está formada por un agregado de cuarzo granular de 0,2-1,0 mm aproximadamente entrecrecido con turmalina prismática verde pleocroica bajo el microscopio y en agregados negros de 1,5-7,0 mm en la muestra de mano (handspecimen); corresponde a la variedad ferriana schorl de hábito prismático comúnmente formando agregados semirradiales. Con respecto a vestigios de la roca original, localmente se observó granos de cuarzo anhedral de 1,0 1,8 mm que posiblemente corresponden a fenocristales dipiramidales preservados (el cuarzo comúnmente no se altera ni reacciona). Otros componentes en la muestra consisten en agregados de sericita fina que posiblemente corresponden a residuo de feldespatos alterados. Entre los residuos de alteración se observó sectores con impregnación de limonitas jarosíticas de grano muy fino.

**Microfotografía (aspecto general)**



**Muestra JV135:** Agregados de feldespatos anhedral con alteración moderada/ avanzada a sericita muy fina, interpretados como posibles remanentes de la roca original; en la microfotografía aparecen entrecrecidos con cuarzo anhedral granular hidrotermal. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Observaciones microscópicas**

**Componentes minerales**

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	70	sin alteración.	granos anhedral de 0,2-1 mm entrecrecido con turmalina. Entre los granos que se consideran que pueden corresponder a fenocristales de cuarzo dipiramidal forman aproximadamente un 3% del total de cuarzo presente.

turmalina	25	sin alteración.	cristales prismáticos semirradiales formando agregados de 1,5-4,5 mm.
sericita	2	posible residuo de alteración de feldespatos	agregados de grano muy fino, escamoso de 0,01-0,07 mm.
jarosita	3	posible residuo de alteración de pirita.	agregados submicroscópicos de forma irregular entrecrecido con sericita

#### Componentes accesorios

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
La muestra no contiene componentes accesorios comunes tales como circón o apatita.		

#### Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
Todos los componentes minerales anotados en la primera sección son producto de hidrotermalismo o de alteración.		

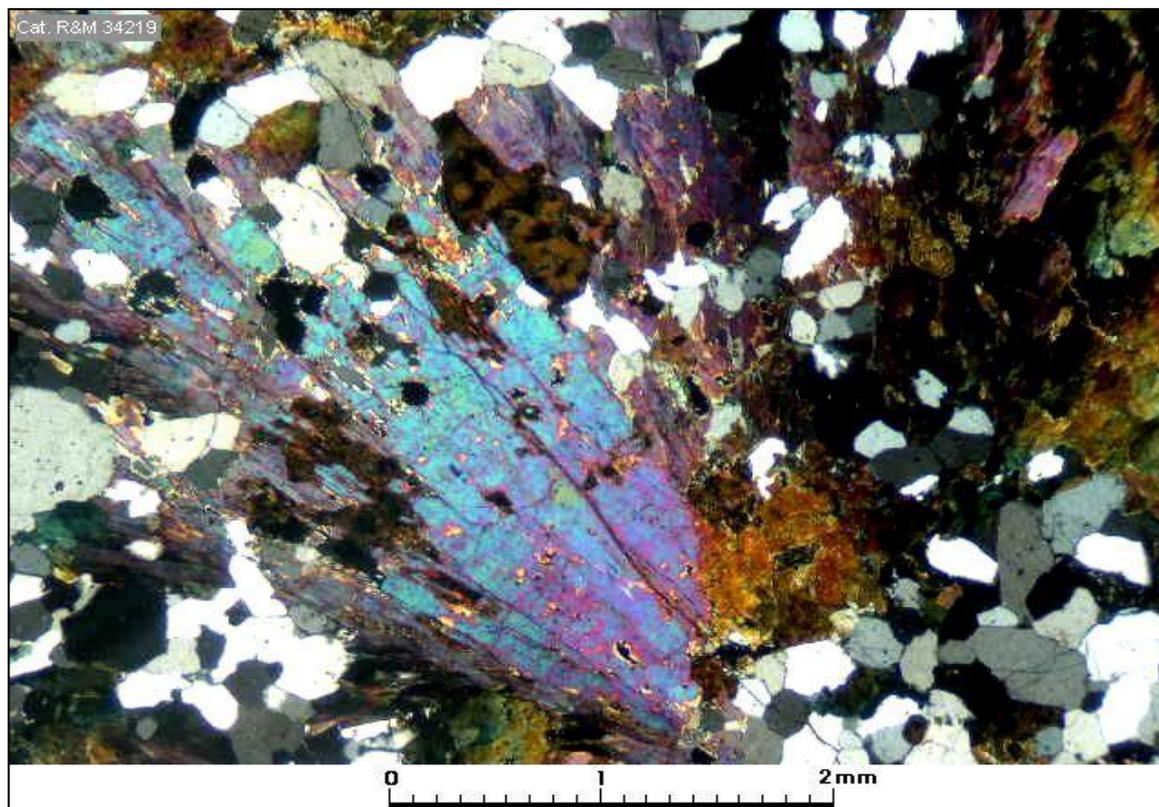
#### Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
hematita roja	4	abundantes impregnaciones de hematita roja en agregados submicroscópicos junto a jarosita y limonitas pardas.

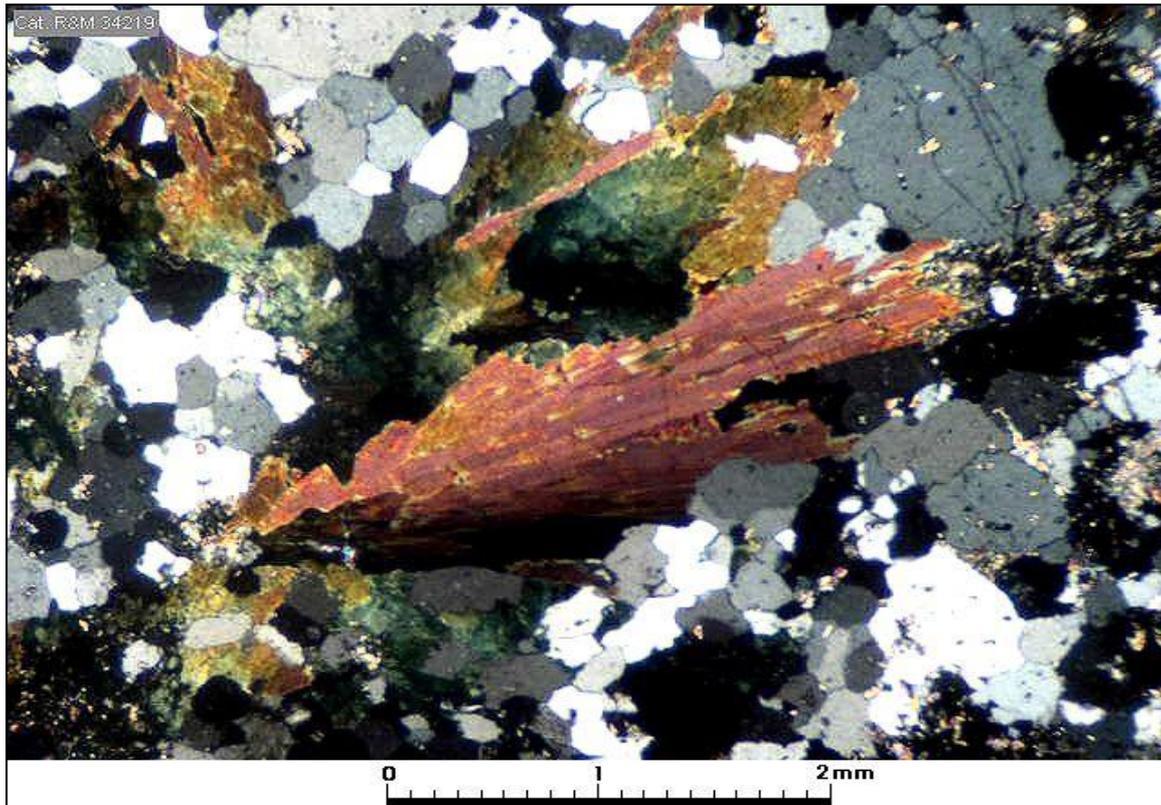
#### Estructuras

Vetillas / Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

#### Selección de microfotografías

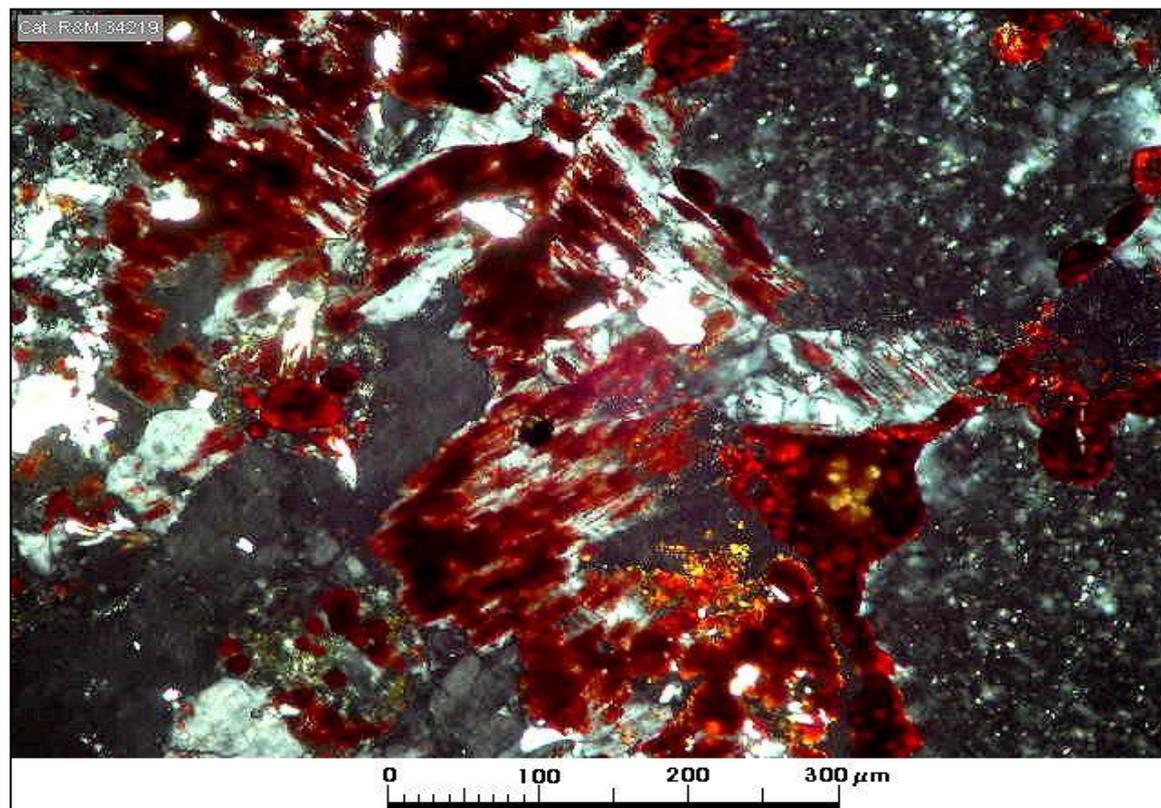


**Muestra JV135:** Cuarzo granular anhedral y turmalina prismática formando agregados semirradiales. Corresponden a cristalizaciones producidas en un evento hidrotermal con abundancia de boro para formar turmalina. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

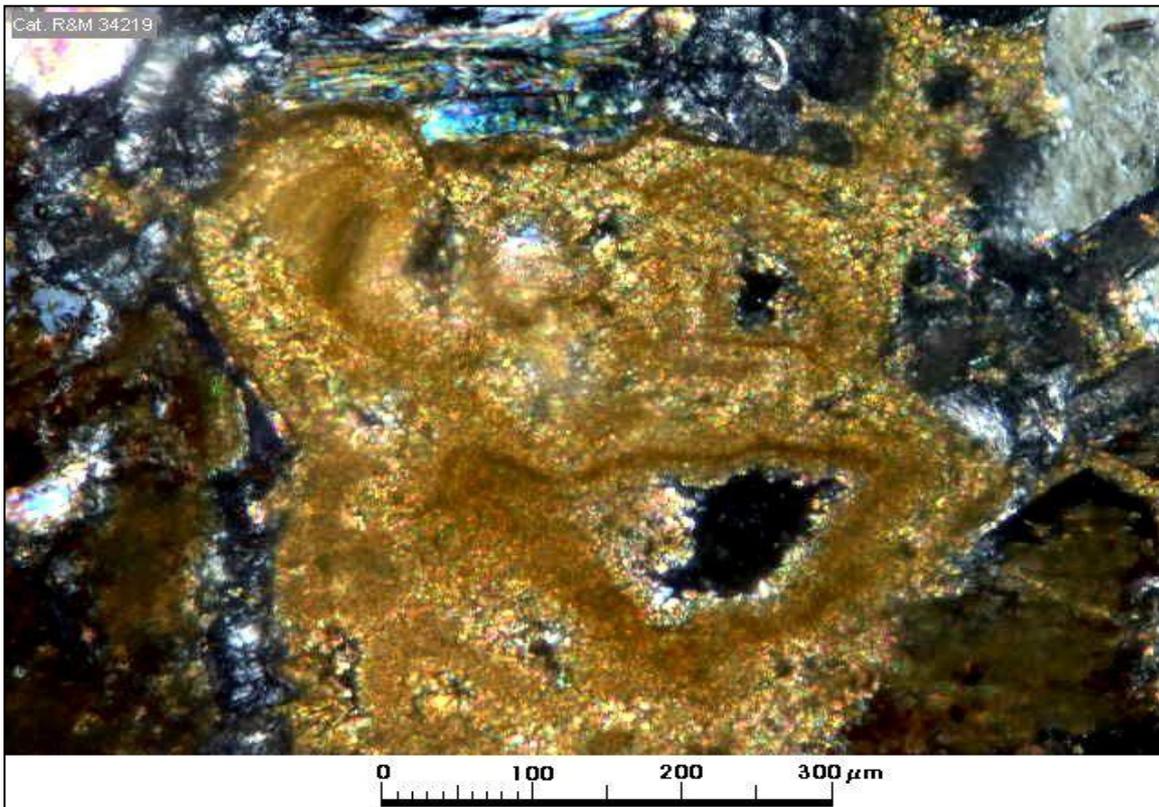


**Muestra JV135:** Otro ejemplo de entrecrecimiento de cuarzo y turmalina hidrotermales. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

#### Microfotografías



**Muestra JV135:** Hematita fina, roja entrecrecida con albita (la hematita probablemente corresponde a hidrohematita por sus abundante reflejos internos rojos). Aum.: 16x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV135:** Agregado de jarosita de granulometría muy fina posiblemente formada por oxidación de pirita. Aum.: 16x10; Nic. cruzados.

**Clasificación petrográfica**

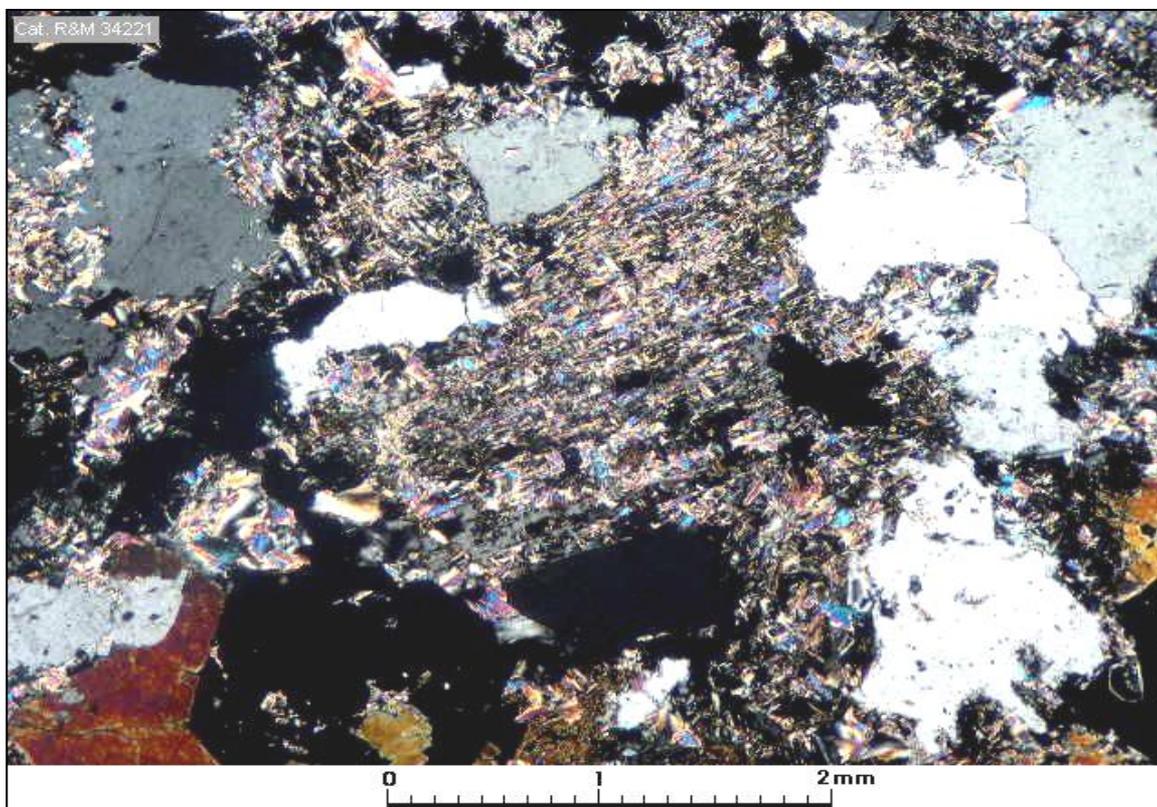
Posible granitoide intensamente obliterado por alteración sericitica y cuarzo/ turmalina hidrotermales.

**Textura/ Estructura**

Indeterminada por intenso reemplazo hidrotermal de cuarzo y turmalina, pero la roca contiene abundante plagioclasa con sericitización variable moderada a intensa que se interpreta como remanente de la roca original, los granos de plagioclasa presentan formas subhedrales con contornos característicamente rectangulares en tamaños variables de 1,4-5,0 mm, lo cual podría interpretarse como remanentes de una roca fanerítica (granitoide) ?.

**Observaciones megascópicas/ microscópicas**

La muestra corresponde a una roca afectada intensamente por alteración hidrotermal con abundante introducción de cuarzo (40%, tamaños entre 0,8-3,0 mm) y turmalina (35%, tamaños entre 0,5-4,0 mm) hidrotermales de grano grueso. Los granos de plagioclasa con sericitización variable moderada a intensa interpretados como remanentes de la roca original muestran tamaños entre 1,4-5,0 mm localmente exhiben sectores con maclas polisintéticas conservadas que permiten estimar una composición correspondiente a andesina (An35). Algunos cristales de plagioclasa con alteración sericiticamente intensa muestran impregnación de jarosita de grano fino en agregados de forma irregular y tamaños de hasta 1,0 mm aproximadamente.

**Microfotografía (aspecto general)**

**Muestra JV140:** Roca intensamente reemplazada por cuarzo y turmalina hidrotermales pero con cristales de plagioclasa con sericitización avanzada que se interpretan como remanentes de una posible roca plutónica (granitoide en sentido amplio, ya que no están preservados todos sus componentes). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

### Observaciones microscópicas

#### Componentes minerales

Mineral	%	Alteración	Características especiales/ Modo de ocurrencia
cuarzo	40	sin alteración.	granos anhedrales entre 0,8-3,0 mm entrecrecido con turmalina, ambos componentes hidrotermales.
turmalina	35	sin alteración.	cristales anhedrales/ subhedrales entre 0,5-4,0 mm con tendencia a formar cristales prismáticos. Color verde pleocroica bajo el microscopio y negra en muestra de mano (schorl).
plagioclasa	25	sericitización moderada a intensa localmente con impregnaciones de jarosita	granos subhedrales de 1,4-5,0 mm; localmente exhiben sectores con maclas polisintéticas conservadas que permiten estimar la composición como andesina (An35).

#### Componentes accesorios

Mineral	%	Características especiales/ Modo de ocurrencia
La muestra no contiene componentes accesorios comunes tales como circón o apatita.		

#### Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos).

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
Todos los componentes de la muestra excepto los granos de plagioclasa, según la interpretación realizada, son de origen hidrotermal, con la excepción de que posiblemente parte del cuarzo pudiera corresponder a un remanente granitoide alterado. Según lo descrito en la sección de componentes minerales la sericita es el mineral de alteración predominante afectando a un feldespato de la roca original (según la interpretación).		

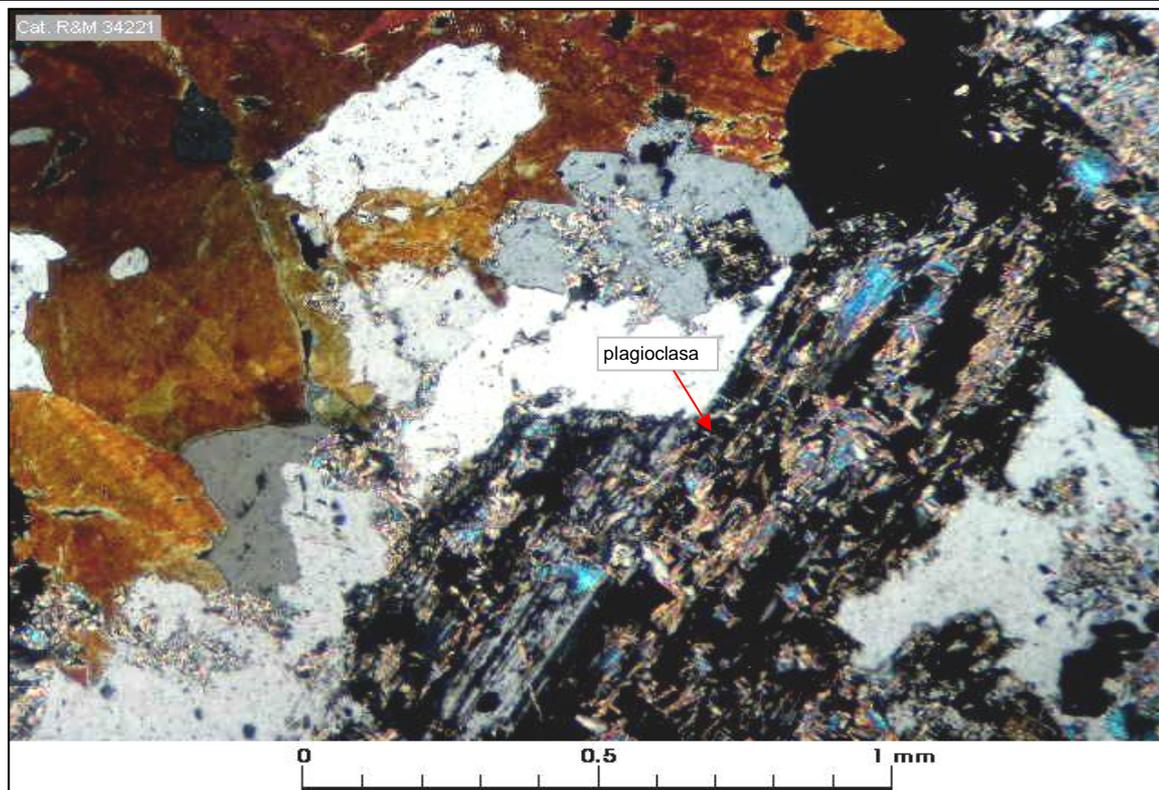
#### Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de ocurrencia
No se observó minerales opacos excepto trazas de leucoxeno semiopaco en agregados de hasta 0,5 mm.		

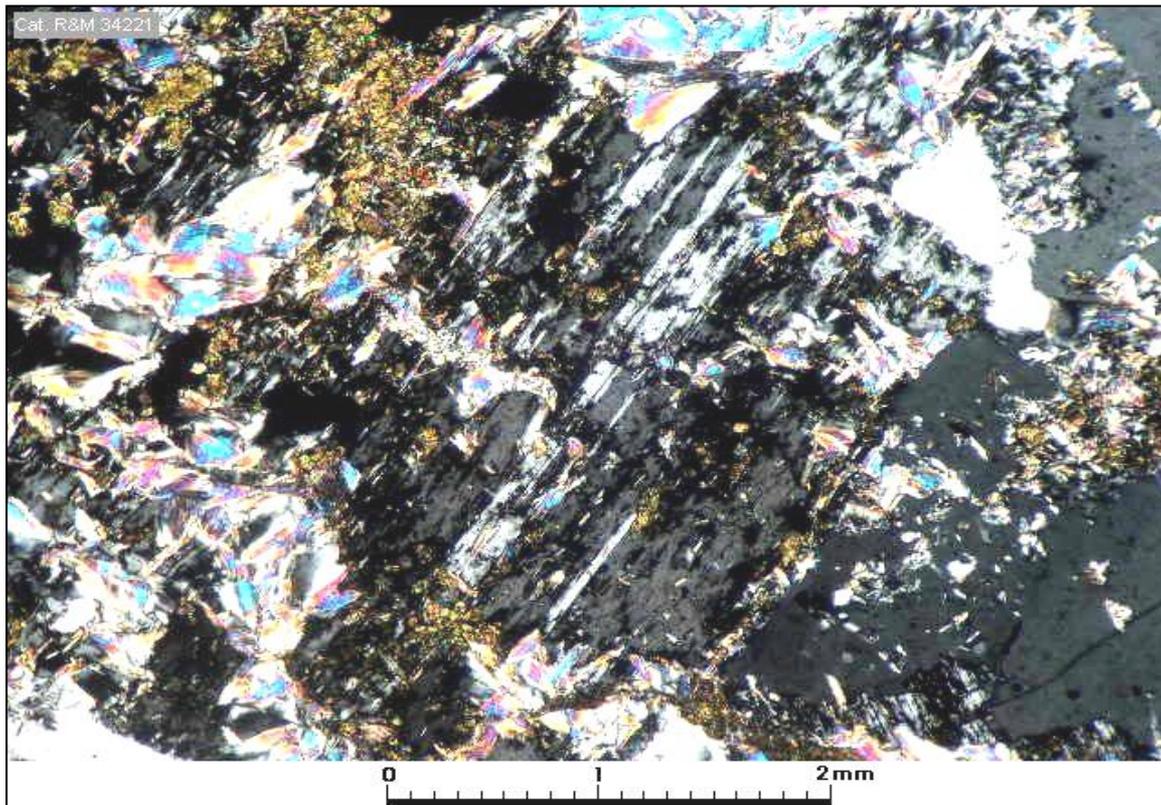
#### Estructuras

Vetillas / Agregados	Espesor/Tmño	Características/Modo de ocurrencia
La muestra no contiene vetillas ni otras estructuras relevantes.		

#### Selección de microfotografías

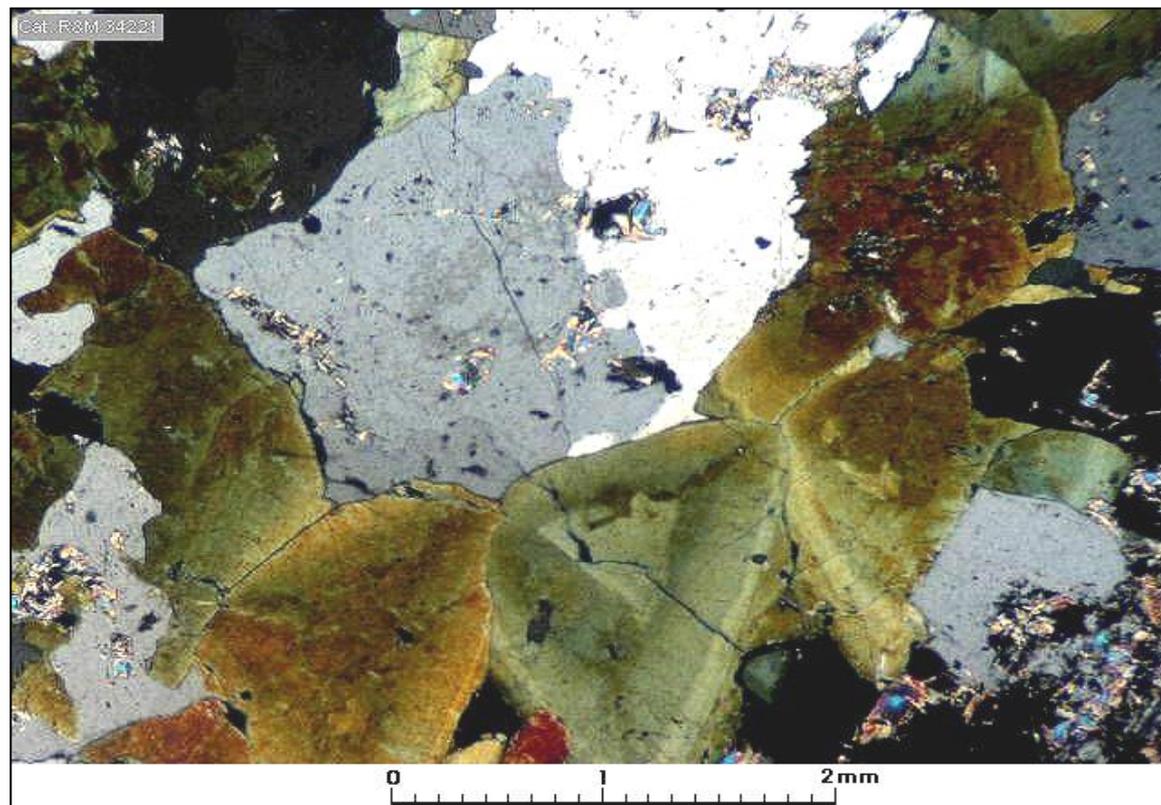


**Muestra JV140:** Cristal de plagioclasa con albitización y sericitización considerado como un posible remanente de una roca fanerítica afectada por reemplazo por cuarzo y turmalina hidrotermales.. Aum.: 6,3x10; Nic. cruzados.

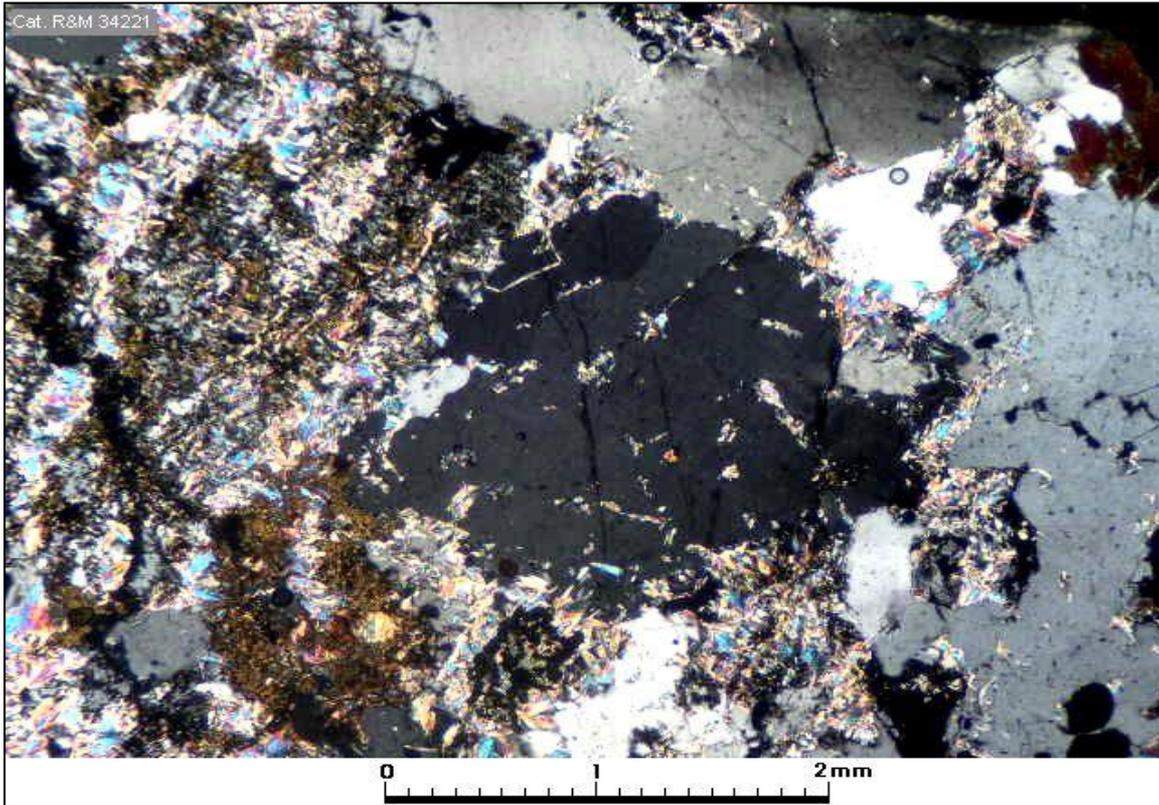


**Muestra JV140:** Cristal de plagioclasa con débil alteración sericítica e impregnación por jarosita; exhibe una buena parte de sus maclas polisintéticas preservadas que permitieron una estimación de su composición como andesina (An35). Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

#### Microfotografías



**Muestra JV140:** Secciones basales de cristales relativamente gruesos de turmalina junto a agregados de cuarzo hidrotermal. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.



**Muestra JV140:** Agregados de cuarzo hidrotermal junto a granos de feldespato intensamente sericitizados e impregnados en jarosita supérgena. Aum.: 2,5x10; Nic. cruzados.

**Estudio por**

Enrique Tidy

***TIDY & Cía. Ltda.***