



RÍO NEGRO
UNIVERSIDAD NACIONAL

Universidad Nacional de Río Negro

Sede Alto Valle – Valle Medio

Trabajo Final de la Licenciatura en Geología

ANÁLISIS MINERALÓGICO-TEXTURAL Y COMPOSICIONAL DE
ALTERACIONES EN GRANITOIDES MEDIANTE TÉCNICAS
PETROLÓGICAS Y DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
SATELITALES ASTER DEL SECTOR ORIENTAL DEL COMPLEJO
PLUTÓNICO VOLCÁNICO CURACÓ, RÍO NEGRO.

Autor: Cuevas Zurita Tomás Ignacio

Director: Dr. Pablo Diego González

Codirectora: Lic. María Cecilia Cábana

- 2021 -

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	7
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.4 HIPOTESIS.....	9
2 MARCO GEOLÓGICO.....	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 SENSORES REMOTOS.....	11
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA IMAGEN ASTER.....	11
3.1.2 MARCO TEÓRICO PARA LA INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES.....	12
3.1.3 PREPROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA ESCENA ASTER.....	14
3.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	16
4 RESULTADOS.....	17
4.1 MAPEO.....	17
4.1.1 MAPEO LITOLÓGICO.....	17
4.1.2 MAPEO DE ALTERACIONES.....	19
4.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO.....	23
4.3 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	28
5 DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES.....	32
5.1 PARAGÉNESIS MINERAL DE LOS MINERALES SECUNDARIOS.....	32
5.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS A DIFERENTES ESCALAS Y TÉCNICAS.....	33
5.3 RELACIÓN ENTRE LAS ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN Y ALTERACIÓN.....	34
5.4 ORIGEN, CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS Y EDAD DE LA ALTERACIÓN.....	34

6	CONCLUSIONES	35
6.1	INVESTIGACIONES A FUTURO.....	36
7	LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO	37
8	ANEXO I DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS DE LAS SECCIONES DELGADAS	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Río Negro (a) y en el marco geológico del sector oriental del Complejo Plutónico Volcánico Curacó del Triásico superior (b). En morado se exhiben los granitoides del complejo y el resto corresponde a unidades de cobertura sedimentaria del Cretácico superior-reciente (Hugo y Leanza, 2001).....	8
Figura 2.	Mapeo geológico de detalle del CPVC. Modificado de Báez et al. 2016	10
Figura 3	Firmas espectrales de minerales de alteracion. Tomado de Pour y Hashim (2011).....	14
Figura 4.	A) Composición RGB 431 geo interpretada, el recuadro negro corresponde al área de estudio. B) Composición RGB 731 geo interpretada, C) Composición QRI FRI MRI geointerpretada.	18
Figura 5	Respuesta resaltada de los índices mediante Density Slice. A) Índice AIOHa (Ninomiya 2004) con Rango de 4-4.5. B) Índice ser-mscv-ill (Castro Godoy y Marin 2016) Rango 2.55-2.65.C) Índice Calcita (Ninomiya 2004) Rango 1.55-1.8. D) Índice propilíticas (Rowan 2006) Rango 2.7-2.9.....	19
Figura 6	Composiciones RGB. A) RGB 468.B) RGB 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya2004). C) RGB 6/5 7/5 8/5 (Marquetti 2005). D) RGB Calcita Ninomiya_AIOHa Ninomiya_Propiliticas Rowan 2006.	20
Figura 7	Detalle de la zona de estudio. Los puntos verdes simbolizan la ubicacion de las muestras. Detalle Índices con resalte Density Slice. A) AIOHa (Ninomiya 2004). B) ser-mscv-ill (Castro godoy y Marin 2016).C) Calcita Ninomiya 2004)D) cl-cal-ep (Rowan 2006).	21
Figura 8	A) Detalle RGB 468. B) Detalle 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya 2004).C) Detalle 6/5 7/5 8/5 (Marquetti 2005). D) Detalle RGB Calcita Ninomiya AIOHa Ninomiya Rowan 2006.....	22
Figura 9	Fotos de los afloramientos dónde fueron tomadas las muestras para análisis mineralógico-textural. A. PAN-13, cataclasita granítica con textura brechosa que afecta a la foliación milonítica. B. PAN-14, granito cataclástico con fractura rellenas con cuarzo lechoso. C. PAN-15, espejo de falla con estrías en un leucogranito. D. PAN-17, brecha tectónica con fracturas rellenas con cuarzo lechoso. E, idem anterior. En todos los casos, notar que los afloramientos son pobres y de reducido tamaño.....	24
Figura 10	Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Textura brechosa compuesta por clastos de cuarzo (qz) y plagioclasa (pg) alterados a calcita (cal). La matriz es cuarzo-feldespática y también está alterada a argilominerales. C-D. Textura brechosa con porfiroclastos de cuarzo rodeados de una matriz cuarzo-feldespática.....	26
Figura 11	Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Porfiroclastos de Plagioclasa (Pg) alterados a Calcita(Cal) , Reemplazo de Biotita primaria a Muscovita (mscv). C-D. Porfiroclastos de Pg alterados a Prehnita (Pr) y Pumpellita (Pmp) en matriz cuarzo feldespática de textura grafica.	26
Figura 12	Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Alteraciones de los feldespatos y las Plagioclasas. C-D. Detalle Prehnita fibrosa	27
Figura 13	Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B Vetas de Cuarzo textura Comb. C-D. veta de Cuarzo.....	27
Figura 14	Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B Foliacion milonítica definida por Cuarzo oblicuo, feldespato, Pumpellita y oxidos de hierro. C-D Folicacion milonitoca definida por Cuarzo oblicuo.....	28
Figura 15	Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-13. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.....	29

Figura 16 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-14. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.....	30
Figura 17 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-15. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.....	30
Figura 18 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-17. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.....	31
Figura 19 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-18. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características espectrales, espaciales y radiométricas del sensor ASTER	12
Tabla 2 Tipos de alteración hidrotermal y mineralogía característica.....	13
Tabla 3. Unidades de coeficientes de conversión calculados (Abrams y Hook, 2002). Los valores de coeficientes utilizados para la corrección a radiancia se muestran en rojo	15
Tabla 4 . Respuestas espectrales de las composiciones RGB generadas.....	23
Tabla 5. Síntesis de la mineralogía y textura de los granitos PAN analizados. La abreviatura de los minerales es según Kretz (1983).	25
Tabla 6. Resultados de los minerales identificados por DRX sobre las muestras de roca total.	29
Tabla 7. Síntesis de los reemplazos secundarios de los minerales ígneos primarios y otros rellenos. Detalles en el texto.	32

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

- A mis abuelos por sus atenciones y mimos, en especial el de llevarme todos los fines de semana a roca con provisiones de comida ya preparada para no cocinar tanto.
- A mi tía Dani, que me pago el alquiler en Gral. Roca durante mis años de estudio
- A mis tíos, primos y hermanos por su apoyo incondicional.
- A mi mama y papa no solo por su apoyo sino por brindarme todo lo que necesite.
- A mis amigos de la carrera, por hacer de este viaje una experiencia inolvidable, es especial a Seba y a Robert, mis compañeros de armas durante la carrera, por su ayuda, consejos y compañía.
- A todos los que aportaron de alguna manera y fueron parte de mi vida durante este proceso.

- Mis directores de Tesis Pablo Diego González y María Cecilia Cábana por guiarme y ayudarme no solo en este trabajo sino a lo largo de la carrera.
- A Martín Parada por su enorme ayuda a la hora de la preparación e interpretación de las muestras para DRX.
- A los docentes que aportaron su grano de arena para mi Formación profesional, una mención especial a Juan José Ponce por sus consejos, consideraciones y recomendaciones para proyectos, cursos y viajes.

Finalmente, este trabajo se enmarca en las Becas de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional EVC-CIN y del proyecto con código PI-UNRN-40-A-462 dirigido por el Dr. Pablo Diego González.

Mi Corazón eternamente agradecido

RESUMEN

En la presente contribución se exponen los resultados del estudio de identificación de zonas de alteración hidrotermal en el Complejo Plutónico Volcánico Curaco (39°43'22" S-67°43'51" O). Los granitoides de este complejo conforman las rocas de basamento más septentrionales del Macizo Norpatagónico que datan del Triásico Superior y afloran al NE de la localidad de El Cuy. Para el estudio de las alteraciones se trabajó con datos satelitales ASTER, así como también estudios petrológicos y de difracción de rayos x (DRX).

Para el procesamiento digital se utilizó el software ENVI 4.7, se realizó la corrección a radiancia de las bandas del VNIR, SWIR y TIR; se generaron los índices de Calcita $(b6*b9)/(b8*b8)$ y AIOHa $(b4*b7)/(b6*b6)$ de Ninomiya (2004), ser-mscv-ill $((b5+b7)/b6)$ de Castro Godoy y Marin (2016) chl-cal-ep $((b9+b7)/b8)$ de Rowan (2006). Así como también la composición RGB 468 y las composiciones de cocientes RGB 4/5 4/6 4/8 y RGB 6/5 7/5 8/5. En base al análisis y la interpretación de los resultados obtenidos se pudo reconocer la presencia de minerales de alteración, cuya asociación mineral se asemeja a las alteraciones de tipo Fílica, Argílica y Calco-Sódica.

Se analizaron cinco muestras en lupa binocular y en lamina delgada para reconocer dicha mineralogía de alteración. La paragénesis mineral es de +Muscovita +Calcita +Prehnita +Pumpellyta +Cuarzo +argilominerales. Los estudios de DRX determinaron que las especies argilominerales corresponde a Illita y en menor medida Esmectita.

En base a parámetros texturales se pudo comprobar que la cronología de las alteraciones fue en el orden Argílica, Fílica y Calco-Sódica. Estos minerales se generaron por fluidos de entre 200°C y 250°C. La disposición espacial de las alteraciones no indica la presencia de un sistema geotermal, por lo que probablemente los fluidos son de origen meteórico y calentados por fricción del cizallamiento. Debido a esto las alteraciones se encuentran localizadas y restringidas a zonas de cizalla, ya que estas permitieron la circulación de fluidos. La edad relativa de esta alteración es Jurásico Inferior y Cretácico Superior ya que esa es la edad de deformación frágil-dúctil.

Estos resultados comprueban la eficacia y precisión del uso de las imágenes ASTER como una herramienta más para el mapeo y caracterización de las alteraciones hidrotermales.

ABSTRACT

In the present contribution, the results of the study to identify areas with hydrothermal alteration in the Curaco Plutonic Volcanic Complex (39 ° 43'22 "S-67 ° 43'51" W) are exposed. These granitoids make up the northernmost basement rocks of the North Patagonian Massif dating from the Upper Triassic and outcrop to the NE of the town of El Cuy. To study the alterations, ASTER satellite data was used, as well as petrological and x-ray diffraction (XRD) studies.

ENVI 4.7 software was used for digital processing, radiance correction of the VNIR, SWIR and TIR bands was performed; The generated results were the Calcite $(b6 * b9) / (b8 * b8)$ and AlOHa $(b4 * b7) / (b6 * b6)$ indices from Ninomiya (2004), ser-mscv-ill $((b5 + b7) / b6)$ from Castro Godoy and Marín (2016) chl-cal-ep $((b9 + b7) / b8)$ from Rowan (2006), the RGB 468 composition and the RGB 4/5 4/6 4/8 and RGB 6/5 7/5 8/5 ratio compositions. Based on the analysis and interpretation of the results obtained, the presence of alteration minerals could be recognized, whose mineral association resembles the alterations of the Philic, Argillic and Calco-Sodium type.

Five samples were analyzed with a binocular magnifying glass and thin section to recognize this mineralogy of alteration. The mineral paragenesis is + Muscovite + Calcite + Prehnite + Pumpellite + Quartz + argillominerals. The XRD studies determined that the argillomineral species corresponds to Illite and to a lesser extent Smectite.

Based on textural parameters it was possible to verify that the chronology of the alterations was in the Argillic, PHilic and Calco-Sodic order. These minerals were formed by fluids between 200 ° and 250 °. The spatial arrangement of the alterations does not indicate the presence of a geothermal system, so the fluids are probably of meteoric origin and heated by shear friction. Due to this, the alterations are localized and restricted to shear zones, since these allowed the circulation of fluids. The relative age of this alteration is Lower Jurassic and Upper Cretaceous since that is the age of brittle-ductile deformation.

These results confirm the efficacy and precision of the use of ASTER images as another tool for mapping and characterizing hydrothermal alterations.

1 INTRODUCCIÓN

Los minerales secundarios en los granitoides provienen de la alteración de sus minerales ortomagmáticos esenciales y accesorios, por la percolación de fluidos ricos en agua y volátiles que puede tener variadas fuentes. El cambio de las condiciones plutónicas de formación de los granitoides, a nuevas situaciones geológicas, provocan la modificación de la mineralogía primaria. Así, los minerales secundarios asociados a la alteración se pueden formar por procesos meteóricos, deutéricos o hidrotermales, en forma individual o por alguna combinación de los mismos. En el primer caso, la alteración se produce por circulación de fluidos atmosféricos cuando las rocas son expuestas en superficie. En la alteración deutérica intervienen los fluidos derivados desde el propio cuerpo y concentrados en etapas posteriores a la cristalización principal. Finalmente, la alteración hidrotermal involucra los fluidos relacionados con cuerpos ígneos, generalmente sub-volcánicos, que son intrusivos dentro de otras litologías ígneas pre-existentes.

El basamento cristalino del extremo Noroeste del Macizo Norpatagónico está compuesto por granitoides y sus equivalentes sub-volcánicos, reunidos dentro Complejo Plutónico Volcánico Curacó, en adelante CPVC, (Hugo y Leanza, 2001) del Triásico Superior (Gregori et al., 2016). En los granitoides y

rocas conexas se han identificado minerales secundarios mediante estudios petrográficos con métodos tradicionales y también con el análisis visual de fotografías aéreas e imágenes satelitales (Báez et al., 2016; Cuevas Zurita et al., 2020). En este último sentido, la distinción entre distintos plutones, por sus litologías y minerales, sus alteraciones y recursos minerales asociados, fue posible mediante el análisis de sus respuestas espectrales, relacionadas con la utilización de diferentes herramientas aportadas por la técnica de procesamiento digital de imágenes satelitales y fotografías aéreas (Cuevas Zurita et al., 2020). En particular, la identificación espectral de áreas con minerales de alteración hidrotermal es una técnica de aplicación de los Sensores Remotos para la prospección y exploración de recursos minerales (Hassan y Sadek, 2017). Así, en la Patagonia y durante la última década, se usó el análisis espectral de los componentes principales de imágenes satelitales ASTER, para la búsqueda de depósitos hidrotermales de tipo epitermales (Crosta et al., 2003). Para los granitoides del complejo, los minerales secundarios se hospedan tanto en rocas afectadas por cizalla frágil y frágil-dúctil (Mizerit et al., 2014) como en granitoides sin deformación.

1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el sector oriental del CPVC aflorante en el paraje Curacó ($39^{\circ}43'22''\text{S}$ - $67^{\circ}43'51''\text{O}$) aproximadamente a 250 km sur de General Roca, Río Negro ([Figura 1](#)).

Los afloramientos son pobres, con geoformas de lomadas suaves surcadas por arroyos y cursos efímeros, que se disponen con orientación NE-SO (Báez et al., 2016).

1.2 OBJETIVO GENERAL

El propósito de este trabajo final de licenciatura es analizar y estudiar los minerales de alteración del basamento cristalino del extremo Noroeste del Macizo Norpatagónico, Río Negro. Este basamento está compuesto por granitoides y sus equivalentes sub-volcánicos, reunidos dentro del CPVC (Hugo y Leanza, 2001) del Triásico Superior (Gregori et al., 2016).

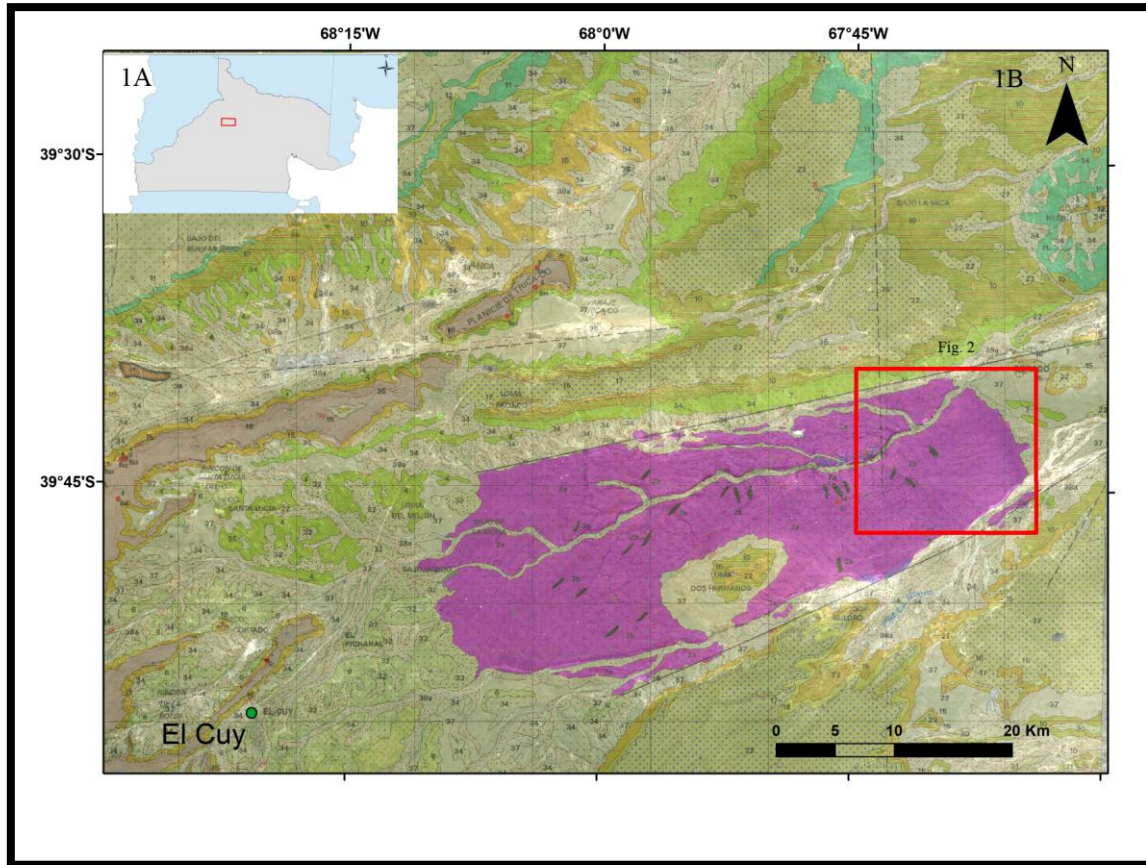


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Río Negro (a) y en el marco geológico del sector oriental del Complejo Plutónico Volcánico Curacó del Triásico superior (b). En morado se exhiben los granitoides del complejo y el resto corresponde a unidades de cobertura sedimentaria del Cretácico superior-reciente (Hugo y Leanza, 2001).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos son identificar los minerales secundarios en los granitoides mediante técnicas de distintas escalas de trabajo. Por ejemplo, mediante procesamiento digital de imágenes satelitales ASTER combinado con mapeo de campo y análisis petrográfico de muestras de mano con lupa binocular. Por último, se empleará el análisis mineralógico-textural de láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico y se complementará con análisis de polvos de roca por difracción de Rayos X. Con todos ellos se evalúa la génesis de los procesos de alteración para discernir si se trata de una alteración deutérica o hidrotermal, o de otro tipo, como así también el ambiente geológico asociado y la edad relativa de la alteración.

1.4 HIPOTESIS

Las consignas a confirmar o refutar son:

- ** Los granitoides del CPVC están afectados por minerales secundarios.
- ** Los minerales secundarios forman una asociación relacionada a procesos de alteración.
- ** La alteración es de tipo hidrotermal.

2 MARCO GEOLÓGICO

Los antecedentes geológicos del área son escasos. Entre los trabajos existentes, destacan trabajos de mapeo litológicos como Bjerg et al. (1997), Saini-eidukat et al. (1999), Hugo y Leanza, (2001), Paz et al. (2013), Mizerit et al. (2014). Trabajos de cartografía de detalle de la zona corresponden a Báez et al. (2016) ([Figura 2](#)), y Gregori et al. (2016). Los resultados preliminares de este trabajo han sido adelantados en Cuevas Zurita et al. 2020.

La estratigrafía de la región fue descrita por Bjerg et al. (1997). Las rocas más antiguas originlmente se interpretaron como filitas de la Formación Colo Niyeu del Eopaleozoico (Labudía y Bjerg 1995) que afloran al E y NE de El Cuy, al norte de la estancia Pangaré, pero posteriormente estas rocas fueron reinterpretadas como milonitas (Saini-Edukat et al. 2002). Los afloramientos de rocas ígneas y metamórficas entre la comarca de El Cuy y la ciudad de General Roca corresponden al Complejo Plutónico Volcánico Curacó o CPVC (Hugo & Leanza, 2001) o Complejo Alessandrini (Saini-Eidukat et al. 2000) y está compuesto por granitos, granodioritas, pórfidos graníticos, ignimbritas riolíticas, monzonitas, sienitas, dioritas y diques máficos a félsicos (Sacomani 1996, Godeas 1996, Hugo y Leanza 2001, Saini-Eidukat et al. 2000, Mizerit et al. 2014), y en menor proporción por milonitas y granitos milonitizados (Saini-Eidukat et al. 2002, Paz et al. 2013, Gregori et al. 2016). Este complejo fue considerado durante un tiempo como un equivalente a los Complejos Plutónico Volcánico La Esperanza y Dos Lomas, del Pérmico a Triásico Inferior (Llambías y Rapela 1984, Bjerg. Et al. 1997) luego fue reubicado en un complejo más joven del Triásico Superior, en base a las dataciones radimétricas U-Pb de ~224 Ma Triásico Superior, (Saini-Eidukat et al. 2004), e inclusive podría extenderse hasta el Jurásico Inferior (Saini-Eidukat et al. 2000, 2002, 2004). El CPVC está cubierto en discordancia por las capas rojas continentales del Grupo Neuquén (Cretácico superior) y luego por las unidades también continentales Chichinales (Oligoceno superior-Mioceno medio),

Sierra Blanca de la Totora y El Palo (Mioceno superior). La sucesión termina en discordancia con los basaltos olivínicos de la Formación El Cuy (Bjerg et al. 1997, Hugo y Leanza 2001).

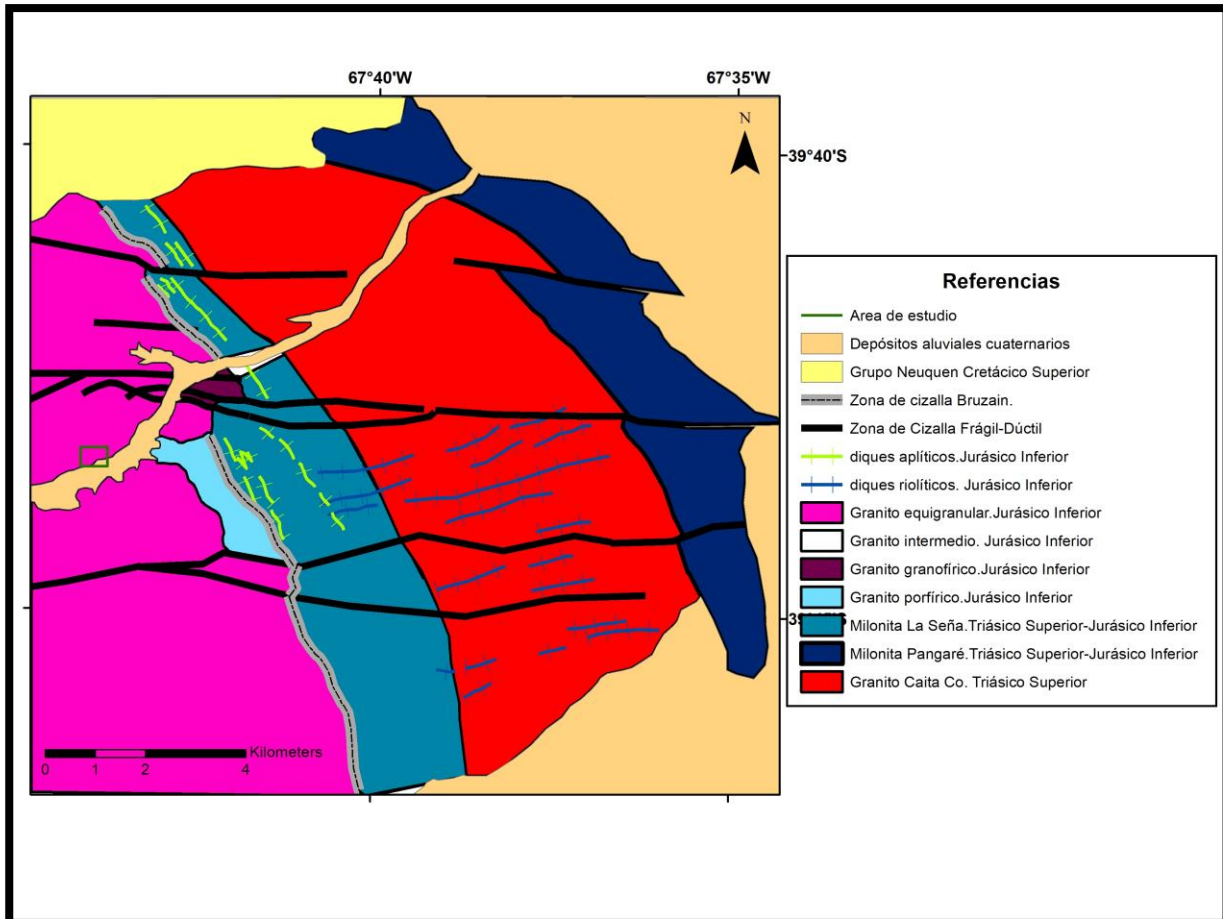


Figura 2. Mapeo geológico de detalle del CPVC. Modificado de Báez et al. 2016

En la región centro-norte del Macizo Norpatagónico en la zona de Los Menucos- La Esperanza se ha caracterizado un régimen tectónico transcurrente de fallas dextrales O-E durante el Triásico Medio a Tardío (Giacosa et al. 2008). Este régimen estructural también es observado en el sector oriental del complejo Plutónico Volcánico Curaco, los granitoides están afectados por una faja de cizalla frágil-dúctil de 10 km de ancho con una fábrica milonítica penetrativa. En esta faja la mayor deformación está sobre ambos bordes donde afloran milonitas graníticas. La foliación milonítica es de rumbo N35-40°O e inclina con álto angulo mayor a 65° hacia el NE, mientras que la lineación milonítica de estiramiento tiene buzamiento promedio de 22° hacia el NE. En la parte central afloran granitos foliados y protomilonitas

(Mizerit et al. 2014, Gregori et al. 2016). Las fajas milonítica corresponden a la milonita La Seña y la milonita Pangaré y los granitos foliados al Granito Caita Co (Gregori et al. 2016). Durante el Jurásico Inferior se produce el primer evento de deformación dúctil y milonitización de estos granitos (Baéz et al 2016, Gregori et al. 2016, Mizerit et al 2014), posteriormente estos cuerpos son afectados un segundo evento de deformación frágil-dúctil por fallas de cinemática dextral E-O. La edad de deformación en los granitoides está comprendida entre el Jurásico Inferior y el Cretácico Superior ya que los estratos del grupo Neuquén no se encuentran deformados ductilmente (Mizerit et al. 2014).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se presentan los métodos y técnicas utilizadas, según orden cronológico y de mayor a menor escala de trabajo, para desarrollar los objetivos de este TFL. Los mismos se introducen junto con una breve fundamentación teórica.

3.1 SENSORES REMOTOS

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA IMAGEN ASTER

El radiómetro ASTER (*Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) es un sensor satelital de imágenes ópticas de alta resolución espacial y espectral, transportado por el satélite TERRA, puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999 por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI). Las imágenes fueron liberadas para su descarga gratuita en abril del 2016.

El sensor ASTER, especialmente diseñado para aplicaciones geológicas y de medio ambiente, tiene la capacidad de realizar mediciones multiespectrales en los rangos del visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR) y en el infrarrojo térmico (TIR) (Castro Godoy, 2007).

Las bandas 1 a la 3N corresponden al VNIR su rango espectral va de 0.52 - 0.86 μm y tienen una resolución espacial de 15m, además tiene una banda adicional 3B (back). El par 3N y 3B permite una visión estereoscópica para la generación de modelos digitales de elevación (DEM).

Las bandas 4 a 9 constituyen el SWIR y abarcan de 1.6 - 2.43 μm , su resolución espacial es de 30 m; y finalmente las bandas 10 a 14 correspondientes al TIR, van de los 8.125- 11.65 μm y tienen una resolución espacial de 90 m. (Marín, G 2005, Ninomiya 2004)

En la tabla 1 se resumen las características principales de las bandas ASTER.

Subsistema	Bandas	Rango espectral (μm)	Resolucion Espacial	Resolucion radiometrica
VNIR	VNIR_Band 1	0.520-0.600	15 m	8 bits
	VNIR_Band 2	0.630-0.690	15 m	8 bits
	VNIR_Band 3N	0.760-0.860	15 m	8 bits
	VNIR_Band 3B	0.760-0.860	15 m	8 bits
SWIR	SWIR_Band 4	1.600-1700	30 m	8 bits
	SWIR_Band 5	2.148-2.185	30 m	8 bits
	SWIR_Band 6	2.185-2.225	30 m	8 bits
	SWIR_Band 7	2.235-2.285	30 m	8 bits
	SWIR_Band 8	2.295-2.365	30 m	8 bits
	SWIR_Band 9	2.360-2.430	30 m	8 bits
TIR	TIR_Band 10	8.125-8.475	90 m	12 bits
	TIR_Band 11	8.475-8.825	90 m	12 bits
	TIR_Band 12	8.925-9.275	90 m	12 bits
	TIR_Band 13	10.250-10.950	90 m	12 bits
	TIR_Band 14	10.950-11.650	90 m	12 bits

Tabla 1 Características espectrales, espaciales y radiométricas del sensor ASTER

3.1.2 MARCO TEÓRICO PARA LA INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES

Cada material de la superficie terrestre reacciona de una manera determinada a la incidencia de la energía electromagnética procedente del sol. Esta respuesta espectral que le es propia y característica a ese material en particular, genera una firma espectral ([Figura 3](#)). Conociendo las firmas espectrales de los materiales de interés a estudiar se pueden generar composiciones, índices y composiciones de índices utilizando las bandas espectrales que registran los picos de reflectancia y las bandas de absorción.

Las alteraciones hidrotermales constituyen una muy buena guía para la prospección mediante sensores remotos, ya que sus minerales presentan firmas características y son muy buenos indicadores de los procesos geológicos y las características de estos mismos.

La alteración hidrotermal es el resultado de la transformación de la mineralogía original primaria de la roca en una nueva asociación de minerales secundarios, más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. Los minerales se suelen dar en grupos o asociaciones características, una asociación de minerales de alteración 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. (Hedenquist et al. 1996)

Los tipos de alteración se clasifican en base a sus asociaciones minerales, los minerales que definen las diferentes alteraciones hidrotermales se exponen a continuación en la tabla 2.

Tipo de Alteración	Minerales Característicos	Minerales accesorios
Potásica	Feldespatos potásicos, Biotita, Actinolita	Cuarzo, magnetita, Sericita, Clorita
Calco-Sódica	Carbonatos, Diopsido, Actinolita. Epidoto, Zeolitas. (Silicatos Ca y Mg)	Wollastonita, Prehnita, Pumpsellyta, Talco, Clorita, Fosterita
Propilitica	Clorita, Calcita, Epidoto	Illita, Albita, Pirita
Filica	Cuarzo, Sericita	Clorita, Illita, Pirita
Argilca intermedia	Caolinita, Alunita, Illita	Esmectita, Sericita
Argilca avanzada	Cuarzo, Caolinita, Pirofilita, Adularia	Alunita, Jarosita

Tabla 2 Tipos de alteración hidrotermal y mineralogía característica

Las firmas espectrales de los minerales de alteración hidrotermal tienen bandas de absorción características en las bandas del SWIR. Los más importantes se exponen a continuación

- Alunita, Pirofilita con un pico de absorción de 2.165 μ (banda 5)
- Muscovita, Montmorillonita, Illita-Al, Esmectita con un pico a los 2.20 μ (banda 6)
- Dickita, Caolinita con una doble banda de absorción a los 2.175 y 2.21 μ (bandas 5 y 6)
- Calcita, Clorita con un pico diagnóstico a los 2.35 μ (banda 8)

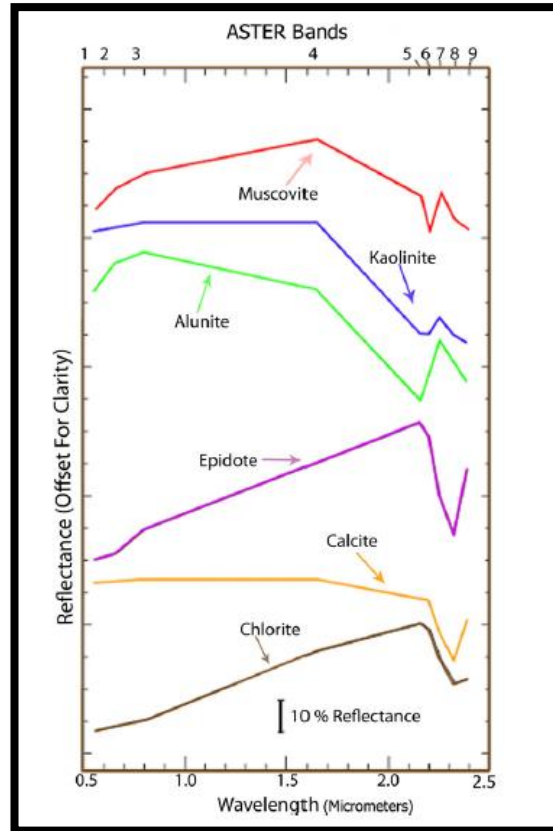


Figura 3 Firmas espectrales de minerales de alteracion. Tomado de Pour y Hashim (2011).

3.1.3 PREPROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA ESCENA ASTER

La imagen ASTER (AST_L1T_00303252008142758_20150523121029_30865) fue descargada del Centro de Archivos Distribuidos (DAAC) de la NASA, Centro de Observación y Ciencia de Recursos Terrestres (EROS), Sioux Falls, Dakota del Sur, (https://lpdaaac.usgs.gov/data_access/data_pool).

El preprocesamiento de la imagen, realizado con el software ENVI versión 4.7, consistió en apilar y remuestrear las bandas (layerstacking) a 15 m de resolución. Se realizó la corrección a radiancia de todas las bandas. La radiancia es el parámetro que mide el sensor y representa la energía recibida por unidad de área y por ángulo sólido de medida (Chuvieco 2008). Esta medida es muy dependiente del sensor que toma la imagen, el momento en que fue tomada, el ángulo de incidencia de los rayos solares, las dispersiones que genera la atmósfera, etc.

Para corregir la imagen, se convirtieron los ND (números digitales) a valores de radiancia mediante la operación de multiplicar los ND de los píxeles por un factor de corrección (Tabla 3) como se expone en la siguiente fórmula.

$$Rad_n = Coef_n \times (ND - 1)$$

Nº Banda	High Gain	Normal Gain	Low Gain 1	Low Gain 2
1	0.676	1.688	2.25	N/A
2	0.708	1.415	1.89	
3N	0.423	0.862	1.15	
3B	0.423	0.862	1.15	
4	0.087	0.2174	0.29	0.29
5	0.0348	0.0696	0.0925	0.409
6	0.0313	0.0625	0.083	0.39
7	0.0299	0.0597	0.0795	0.332
8	0.0209	0.0417	0.0556	0.245
9	0.0159	0.0318	0.0424	0.265
10	N/A	6.822×10^{-3}	N/A	N/A
11		6.780×10^{-3}		
12		6.590×10^{-3}		
13		5.693×10^{-3}		
14		5.225×10^{-3}		

Tabla 3. Unidades de coeficientes de conversión calculados (Abrams y Hook, 2002). Los valores de coeficientes utilizados para la corrección a radiancia se muestran en rojo

Con las bandas corregidas a radiancia se realizaron los índices de ALOHa (Ninomiya 2004), Calcita (Ninomiya 2004) Ser-Muscv-III (Castro Godoy y Marin 2016) y Calcita-Clorita-Epidoto (Rowan 2006). Las imágenes obtenidas se despliegan en tonos de gris donde los píxeles de color blanco indican un alto valor de índice, a estos píxeles se les asignó un color mediante el comando density slice para realzar visualmente la respuesta. También se generaron las composiciones falso color compuesto RGB 431, 731, 468, (Cábana et al. 2017) y composiciones de cocientes RGB QRI-FRI-MRI (Guha y Vinod Kumar 2016) para el mapeo litológico. Mientras que para el mapeo de alteraciones se generaron las composiciones de cocientes 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya 2004) 6/5 7/5 8/5 (Marquetti 2005) y la composición RGB de índices ALOha - Ca - CaClEp, siendo los mismos: el índice ALOha definido por Ninomiya (2004), el índice de

Calcita definido por el mismo autor (Ninomiya 2004) y el índice Calcita-Clorita_Epidoto según Rowan (2006), respectivamente. Todos estos con realce lineal 2 %.

Toda la información generada más la recabada en este estudio se organizó en un Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando el software ArcGis 10.3. Este SIG contiene imágenes satelitales, mapas e interpretaciones previas de otros autores tales como Báez et al. 2016, los resultados del procesamiento ASTER y datos de muestras y estructuras provistos por el doctor Pablo González, director de este TFL.

3.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Se analizaron cinco muestras de mano de granitos alterados y sus respectivas laminas delgadas, el nombre para distinguirlas es PAN, ya que fueron extraídas de los campos de la estancia Pangaré (PAN 13, PAN 14, PAN 15, PAN 17 y PAN 18). El análisis se realizó con lupa binocular y microscopio petrográfico Nikon Eclipse EPOL 200 en dependencias del Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (CONICET-UNRN). También se realizaron análisis por difracción de rayos x. Estos estudios a la mineralogía de arcillas mediante difracción de rayos-X se llevaron a cabo para distinguir las distintas especies minerales presentes, y si son expansivas o no, aplicando el método de Moore y Reynolds (1997).

La preparación de las muestras para los estudios por difracción de rayos-X incluyó dos preparados: uno de roca total y otro de la fracción fina de arcillas (< malla 200).

Para los análisis de roca total se molieron manualmente en mortero de ágata las 5 muestras PAN una por una, hasta alcanzar un tamaño pasante por una malla 200 ASTM, que equivale a 74 μm . El polvo resultante fue distribuido uniformemente en un portamuestra asegurando que los cristales queden acomodados de manera aleatoria y analizado por el DRX, de modo que el difractómetro pueda tener la mejor respuesta de la mineralogía.

El preparado de la fracción de arcillas se colocó en tubo tipo Falcón con 40 ml de agua destilada y se agitó durante 40 minutos. Posteriormente se retiró mediante pipeteo la fracción de los minerales arcillosos en suspensión (1 mililitro aproximadamente) y fueron ubicados en un vidrio portaobjeto y se dejó secar al aire a temperatura ambiente por 24 horas antes de ser analizados por el DRX. Este procedimiento asegura que los cristales arcillosos se sedimentaran preferencialmente sobre sus caras basales una vez que

el agua destilada se evapora. Posterior al análisis DRX del extendido secado al aire (AD), se lo sometió al mismo extendido a solvatación con etilenglicol por 12 hs y luego fue analizado en el DRX.

Por último, el extendido de arcillas fue calcinado a 550°C y vuelto a analizar por el DRX. El equipo utilizado fue un difractómetro SMARTLAB Rigaku, también perteneciente al IIPG (CONICET-UNRN).

4 RESULTADOS

4.1 MAPEO

4.1.1 MAPEO LITOLÓGICO

Para el mapeo y distinción de los diferentes cuerpos graníticos del CPVC se generaron las composiciones color RGB 431 y RGB 731; y la composición de índices RGB QRI_FRI_MRI ([Figura 4](#)) para la identificación de granitoides (Guha y Vinod Kumar 2016).

La sigla QRI corresponde al índice de Cuarzo, FRI al índice de Feldespatos y MRI al índice para minerales máficos. Donde QRI: $(b_{10}/b_{12}) * (b_{13}/b_{12})$, FRI: $(b_{10}/b_{11}) * (b_{12}/b_{11})$ y MRI: $(b_{12}/b_{13}) * (b_{14}/b_{13})$.

RGB 431: Los granitoides del CPVC se observan en colores rosa suave a blanquecinos y en tonos más grises azulados, los diques riolíticos en rosa, los diques aplíticos en gris azulado. El Granito Caita Có y la milonita La Señá también presenta color gris azulado y la milonita Pangaré se observa de color magenta oscuro. Finalmente, las rocas sedimentarias del Gp. Neuquén están en tonos rosa claro y tonos verdes.

RGB 731: En esta composición las rocas del CPVC y los diques riolíticos aparecen de color rojo y tonos blanquecinos, los diques aplíticos se presentan en gris azulado. El granito Caita Có y la milonita La Señá se ven en tonos de rojo grisáceos mientras que la milonita Pangaré se ve de color magenta oscuro. Las sedimentitas del Gp. Neuquén están en tonos rojos y verdes.

QRI-FRI-MRI: En esta composición de cocientes, los granitoides y los diques riolíticos se observan en amarillo, los diques apliticos en verde, las sedimentitas del grupo Neuquén en rojo, ambas milonitas y el granito Caita Có no se distinguen de las otras rocas graníticas de la caja.

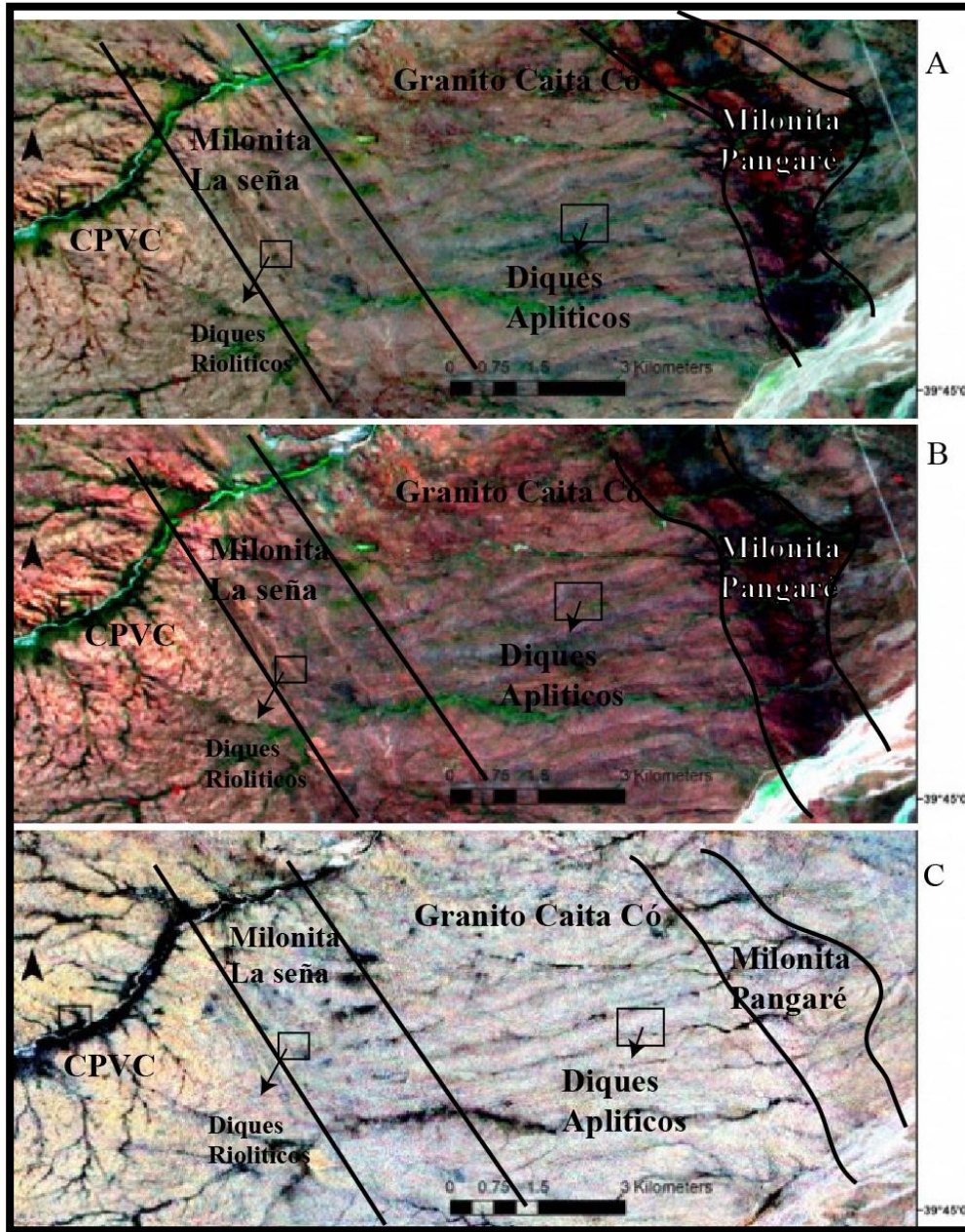


Figura 4. A) Composición RGB 431 geo interpretada, el recuadro negro corresponde al área de estudio. B) Composición RGB 731 geo interpretada, C) Composición QRI FRI MRI geointerpretada.

4.1.2 MAPEO DE ALTERACIONES

Para estudiar las alteraciones se generaron cuatro índices, el de AIOHa ($b_4 \cdot b_7$) / ($b_6 \cdot b_6$) y el de Calcita ($b_6 \cdot b_9$) / ($b_8 \cdot b_8$) (Ninomiya 2004), el de Ser-Musc-Illita ($(b_5 + b_7) / b_6$) (Castro Godoy y Marin 2016) y el índice cl-cal-ep ($((7+9) / 8)$) de Rowan et al. (2006) (Figura 5), este último útil para el mapeo de alteraciones propilíticas.

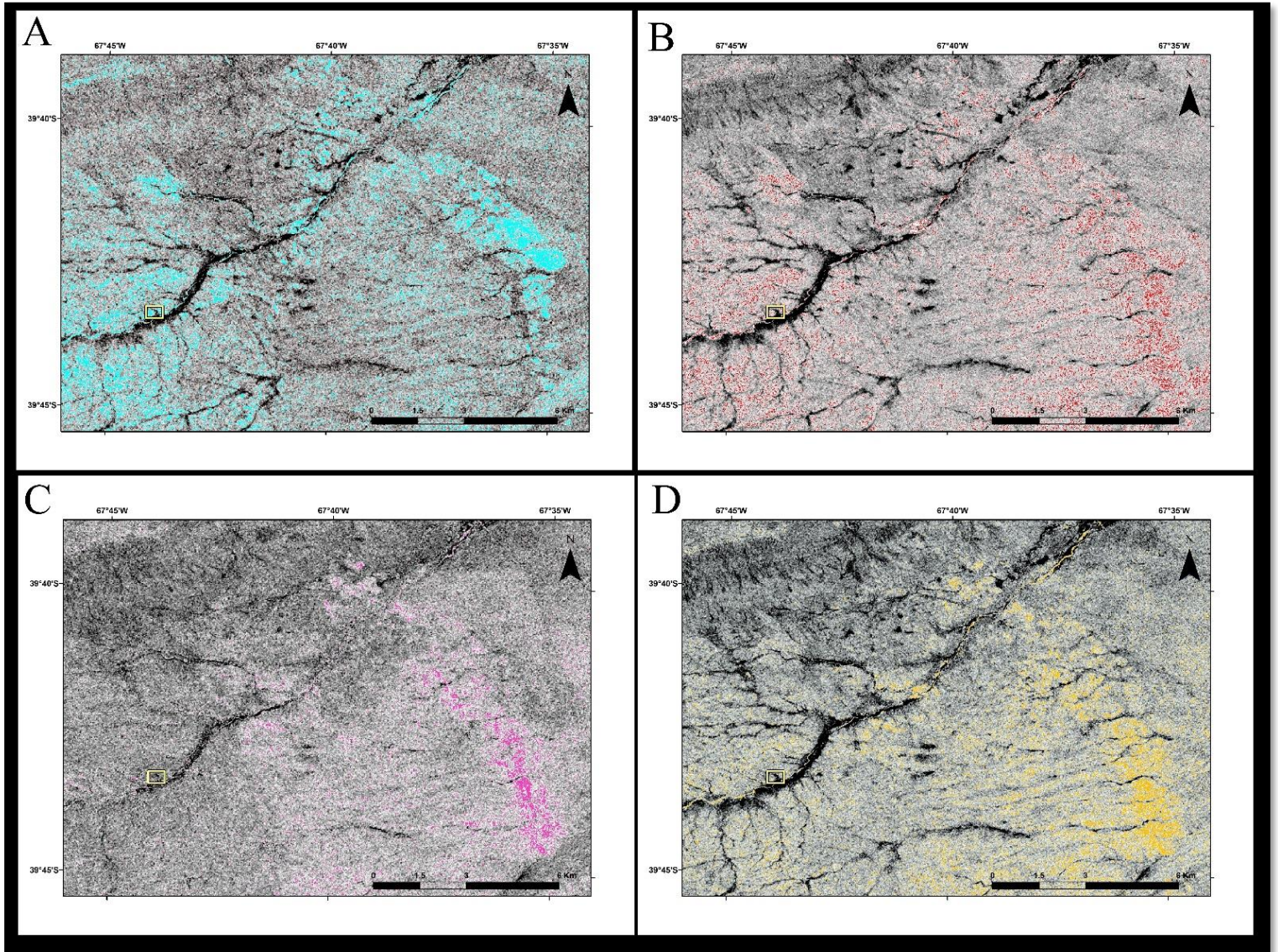


Figura 5 Respuesta resaltada de los índices mediante Density Slice. A) Índice AIOHa (Ninomiya 2004) con Rango de 4-4.5. B) Índice ser-muscv-ill (Castro Godoy y Marin 2016) Rango 2.55-2.65. C) Índice Calcita (Ninomiya 2004) Rango 1.55-1.8. D) Índice propilíticas (Rowan 2006) Rango 2.7-2.9.

También se generó una composición color RGB 468, dos composiciones RGB de cocientes, la composición RGB 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya, 2004) y la composición RGB 6/5 7/5 8/5 (Marchetti 2005) . Finalmente, una composición de índices RGB IC-AIOHa-((7+9) /8), donde IC corresponde al índice de Calcita de Ninomiya, AIOHa de Ninomiya y ((7+9) /8) corresponde al índice de Rowan (Figura 6).

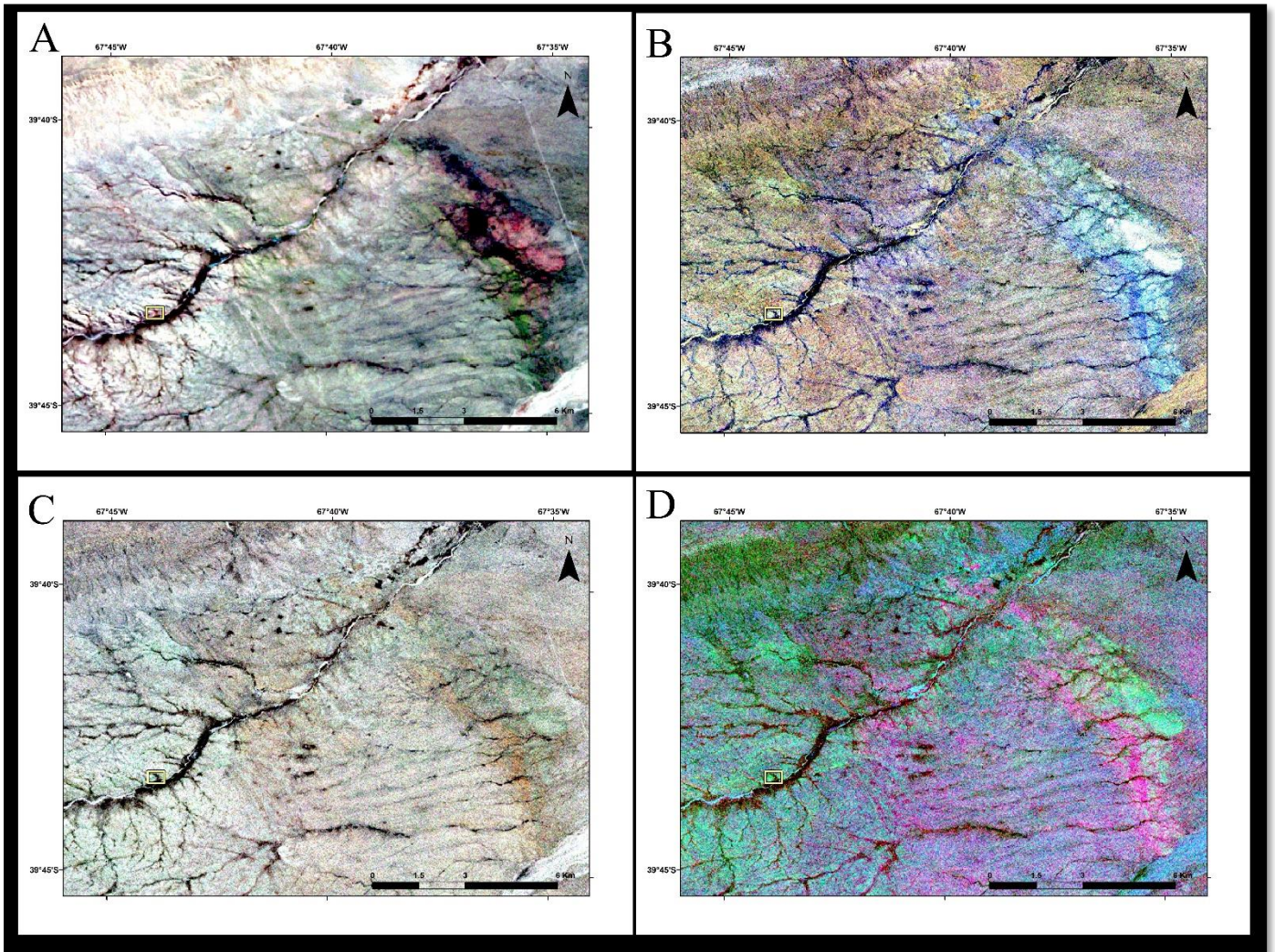


Figura 6 Composiciones RGB. A) RGB 468.B) RGB 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya2004). C) RGB 6/5 7/5 8/5 (Marquetti 2005). D) RGB Calcita Ninomiya_AIOHa Ninomiya_Propiliticas Rowan 2006.

Los índices de Castro Godoy y Marin (2016) y Ninomiya (2004) indican la presencia de alteraciones argílicas que tienen absorción en la banda 6, mientras que el índice de Calcita de Ninomiya (2004) y Rowan (2006) muestran alteraciones del tipo propilítica ya que estos minerales absorben en la banda 8.

La respuesta de los índices se encuentra resaltada mediante el comando density slice, los rangos utilizados fueron de 4-4.5 para el índice AIOHa, de 2.55-2.65 para el ser-mscv-ill, 1.55-1.8 para el índice de calcita y de de 2.7-2.9 para el índice de cl-cal-ep.

La zona de estudio propiamente dicha (Figura 7) corresponde a un sector del CPCV de donde se cuentan con muestras. Se expone en detalle las respuestas de los índices expuestos anteriormente. Se distinguen pixeles celestes que estarían indicando la alta probabilidad de presencia de ser-mscv-ill, pixeles de color rojo para argilominerales, rosa para calcita y naranja para cl-cal-ep.

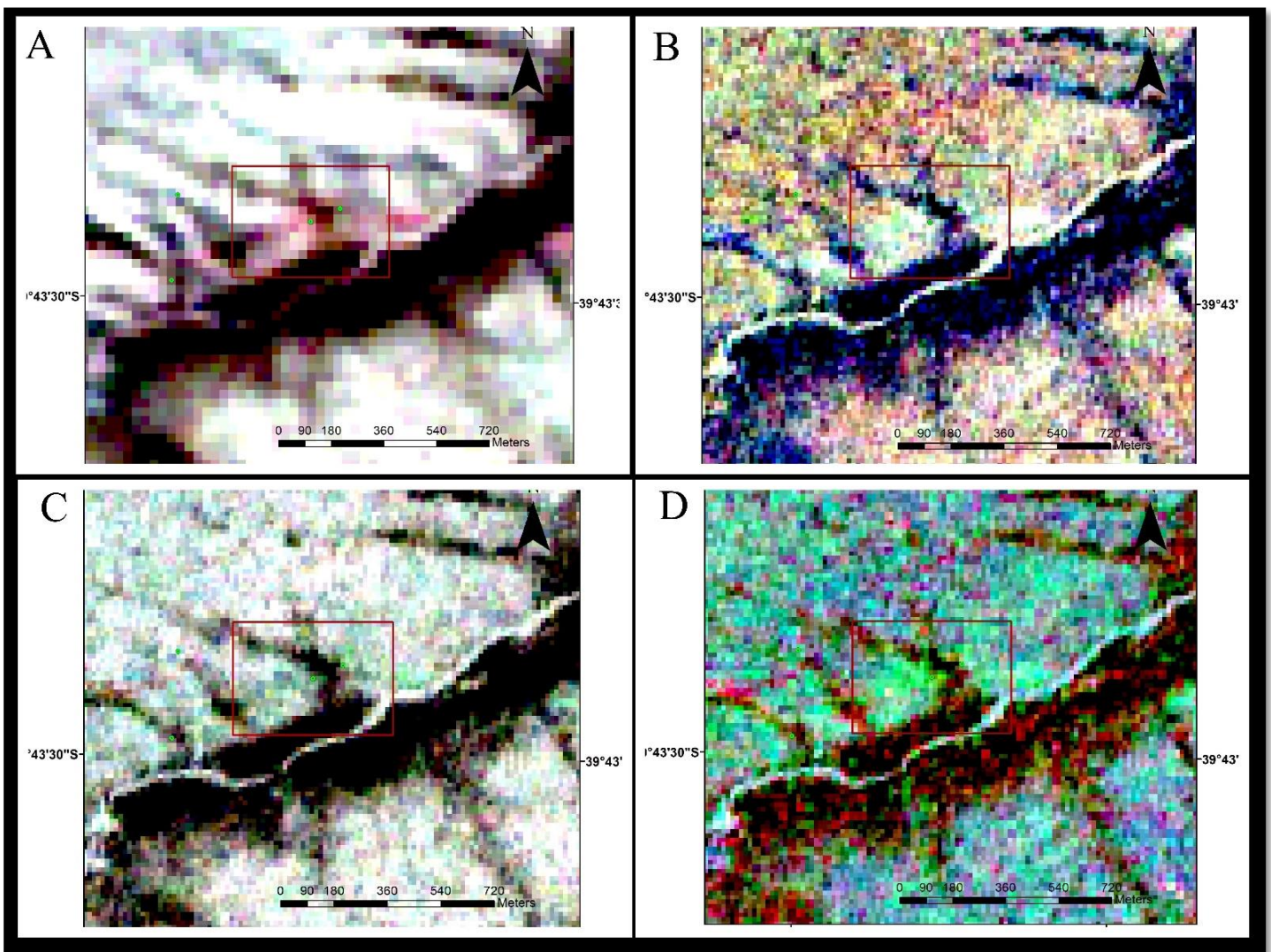


Figura 7 Detalle de la zona de estudio. Los puntos verdes simbolizan la ubicacion de las muestras. Detalle Índices con resalte Density Slice. A) AIOHa (Ninomiya 2004). B) ser-mscv-ill (Castro godoy y Marin 2016).C) Calcita Ninomiya 2004)D) cl-cal-ep (Rowan 2006).

En la (Figura 8), se observa en detalle las composiciones RGB realizadas, se distinguen pixeles magentas en la composición RGB 468, pixeles blancos y cian para la composición RGB 4/5 4/6 4/8, pixeles verdes para la composición 6/5 7/5 8/5 y pixeles verdes en la composición RGB IC AIOHa cl-cal-ep.

Se puede determinar que en la zona de estudio, los granitos del CPVC presentan una alteración de tipo Fílica y/o Argílica.

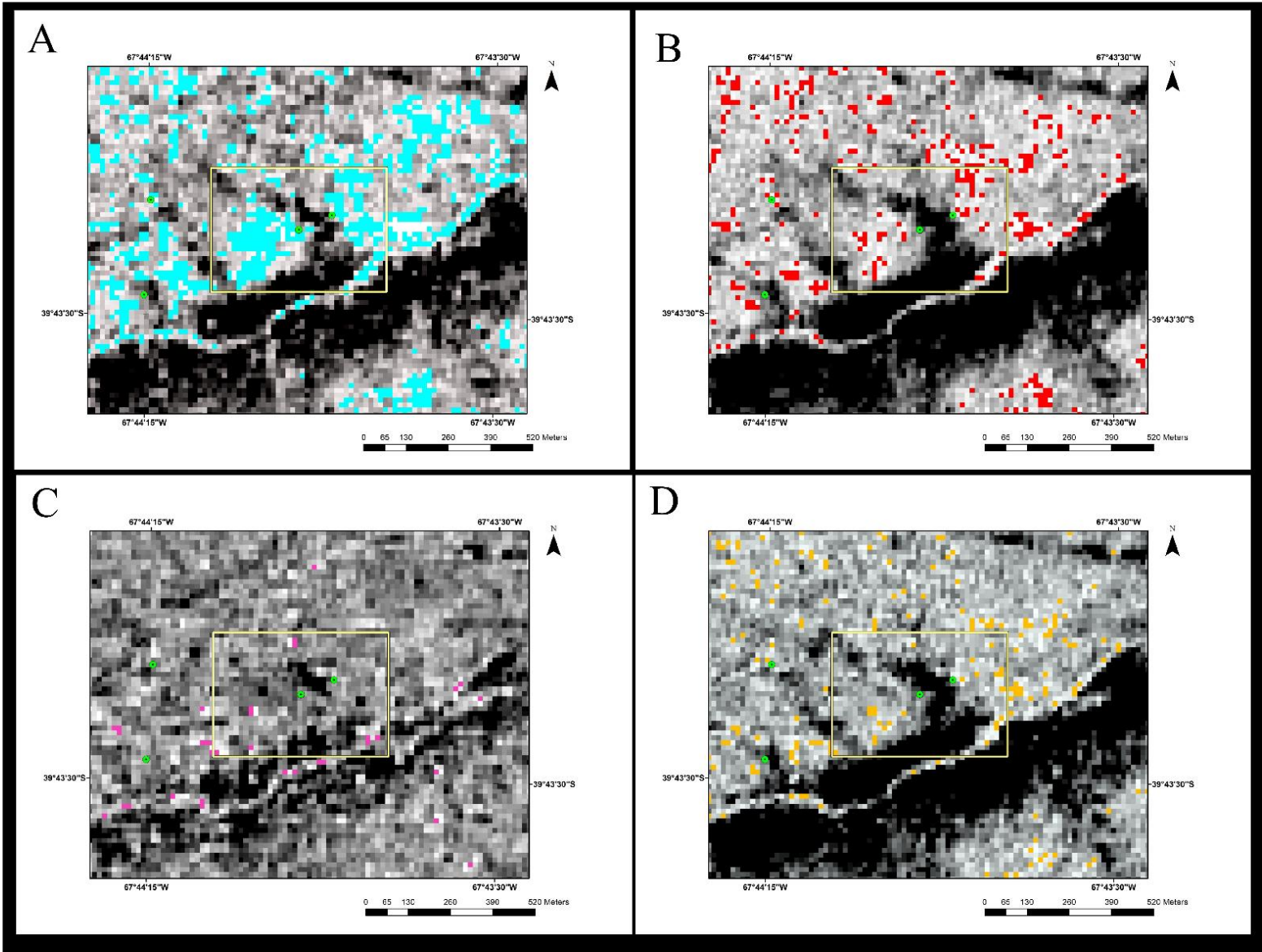


Figura 8 A) Detalle RGB 468. B) Detalle 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya 2004).C) Detalle 6/5 7/5 8/5 (Marquetti 2005). D) Detalle RGB Calcita Ninomiya AIOHa Ninomiya Rowan 2006.

Sobre la base de las respuestas espectrales observadas en estas composiciones (Tabla 4) cabe destacar que los sectores que responden a minerales de alteraciones hidrotermales de tipo filica y propilítica son la milonita Pangaré y ciertos sectores del CPVC expuestos anteriormente.

	RGB 468	RGB 4/5 4/6 4/8	RGB 6/5 7/5 8/5	RGB IC AlOHa cl-cal-ep
Alteracion filica	Color magenta	Color Blanco y cian	Color verde	Color verde
alteracion argilica	Color magenta	Color Blanco y cian	Color cian	Color verde
Alteraciones Propiliticas	Color verde	Color Blanco y cian	Color rojo	Color magenta

Tabla 4 . Respuestas espectrales de las composiciones RGB generadas

4.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis mineralógico-textural se llevó a cabo sobre 5 muestras de granitoides del CPVC ([Figura 9](#)).

En rasgos generales, las muestras a escala de muestra de mano son muy parecidas entre sí. Son granitos de color rosa, tienen grano grueso y su textura ígnea es equigranular. Su mineralogía es de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y escasas micas.

Los granitos se encuentran, primero, milonitizados y luego han sido afectados por cataclasis, por lo que sus minerales presentan texturas de deformación. Los porfiroclastos tienen todos aproximadamente el mismo tamaño, de bordes angulosos y son principalmente de cuarzo, feldespato potásico y en menor medida plagioclasas. La matriz es cuarzo-feldespática con biotita y tiene una alteración blanco-verdosa. Los feldespatos se encuentran alterados a argilominerales y a calcita, las biotitas son el único mafito y están alterados a minerales verdosos no identificables en muestra de mano. Las rocas también están silicificadas y tienen vetilleo de cuarzo lechoso.



Figura 9 Fotos de los afloramientos dónde fueron tomadas las muestras para análisis mineralógico-textural. A. PAN-13, cataclasita granítica con textura brechosa que afecta a la foliación milonítica. B. PAN-14, granito cataclástico con fractura rellenas con cuarzo lechoso. C. PAN-15, espejo de falla con estrías en un leucogranito. D. PAN-17, brecha tectónica con fracturas rellenas con cuarzo lechoso. E, idem anterior. En todos los casos, notar que los afloramientos son pobres y de reducido tamaño.

En sección delgada, la textura es brechosa (Figura 10), la mineralogía observada es de cuarzo, feldespato potásico ± plagioclasa, muscovita, calcita, argilominerales y en menor medida prehnita y pumpellyta. Los porfiroclastos son de curazo, feldespato potásico alterados a arcillas y plagioclasas alteradas en menor medida a calcita. La matrix aún conserva de forma relíctica textura ígnea gráfica y granofírica, se compone de cuarzo, feldespato potásico alterado a arcillas, plagioclasas alteradas a calcita, muscovita, y biotita; la cual se encuentra totalmente reemplazada por prehnita, pumpellyta y óxidos de hierro. (Figura 11 ,12 y 13).

La foliación milonítica está marcada por el estiramiento de los feldespatos argilizados y cuarzo oblicuo (Figura 14). La foliación milonítica está atravesada por fracturas y cavidades que están rellenas con prehnita fibrosa, muscovita y cuarzo

En la tabla 5 se exhiben las principales características mineralógicas y texturales de los granitos analizados.

Muestra	Ubicación		Mineralogía ígnea	Textura ígnea	Mineralogía de alteración	Fábrica de deformación	Foliación milonítica		Estrías	
							Rumbo (Rbz)	Bz	Rumbo (Rbz)	Bz
PAN 13	39° 43'19.9''	67° 43'51.3''	Qz, Pg, Fk	Equigranular	Cal, Prh, Pmp, Mscv, Argilominerales					
PAN 14	39° 43'21.4''	67° 43' 55.4''	Qz, Pg, Fk	Equigranular	Cal, Prh, Pmp, Argilominerales					
PAN 15	39° 43'21.4''	67° 43' 55.4''	Qz, Pg, Fk	Equigranular	Cal, Prh, Pmp, Argilominerales	Planar y lineal	243	73	164	9
PAN 17	39° 43'21.4''	67° 43' 55.4''	Qz, Pg, Fk	Equigranular	Cal, Prh, Pmp, Argilominerales	Planar y lineal	189	32	196	28
PAN 18	39° 43'21.4''	67° 43' 55.4''	Qz, Pg, Fk	Equigranular	Cal, Prh, Pmp, Argilominerales	Planar	152	78		

Tabla 5. Síntesis de la mineralogía y textura de los granitos PAN analizados. La abreviatura de los minerales es según Kretz (1983).

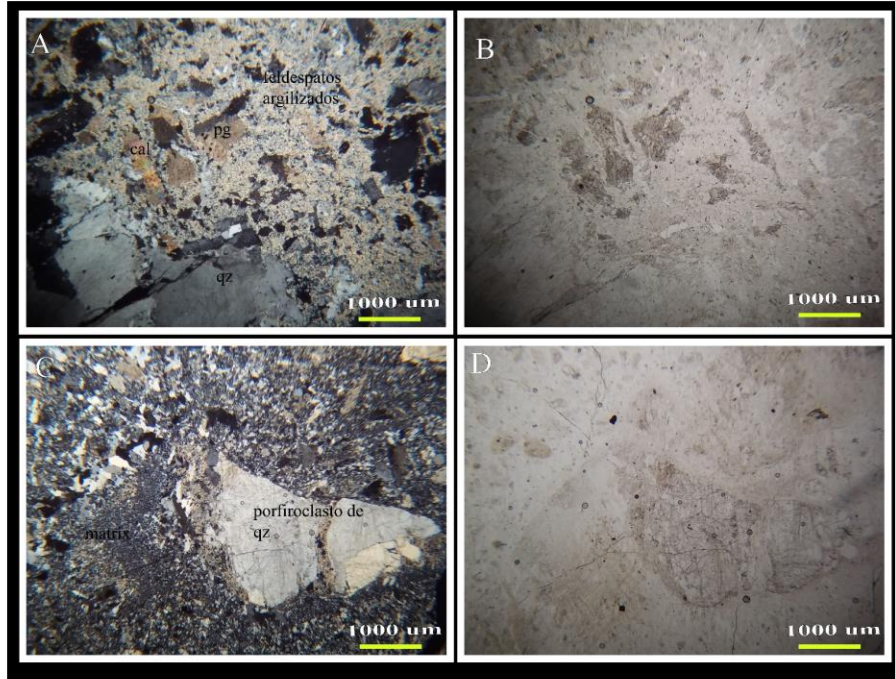


Figura 10 Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Textura brechosa compuesta por clastos de cuarzo (qz) y plagioclasa (pg) alterados a calcita (cal). La matriz es cuarzo-feldespática y también está alterada a argilominerales. C-D. Textura brechosa con porfiroclastos de cuarzo rodeados de una matriz cuarzo-feldespática.

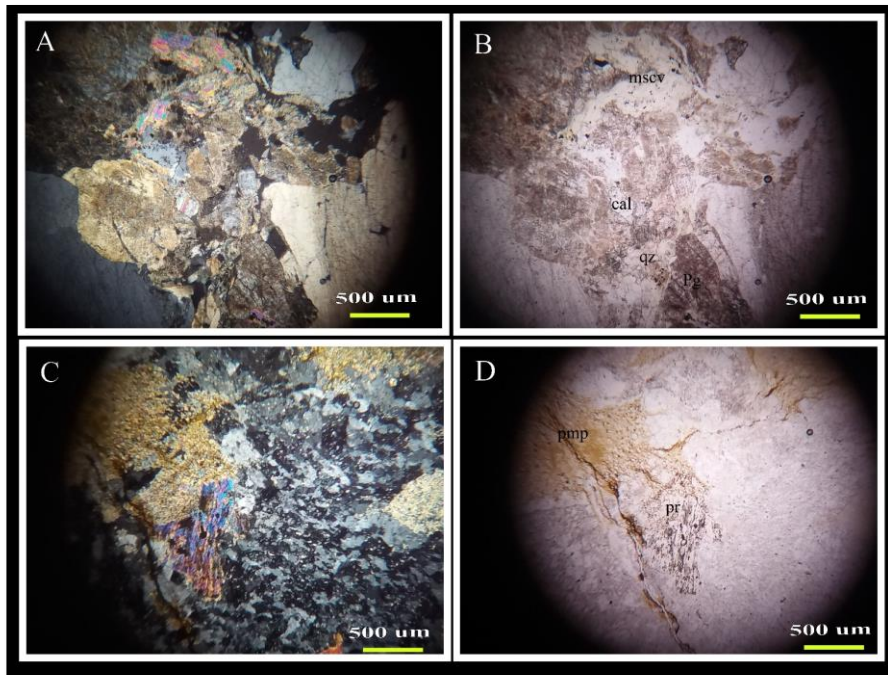


Figura 11 Fotomicrografías al microscopio con nicoles paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Porfiroclastos de Plagioclasa (Pg) alterados a Calcita(Cal) , Reemplazo de Biotita primaria a Muscovita (mscv). C-D. Porfiroclastos de Pg alterados a Prehnita (Pr) y Pumpelita (Pmp) en matriz cuarzo feldespática de textura grafica.

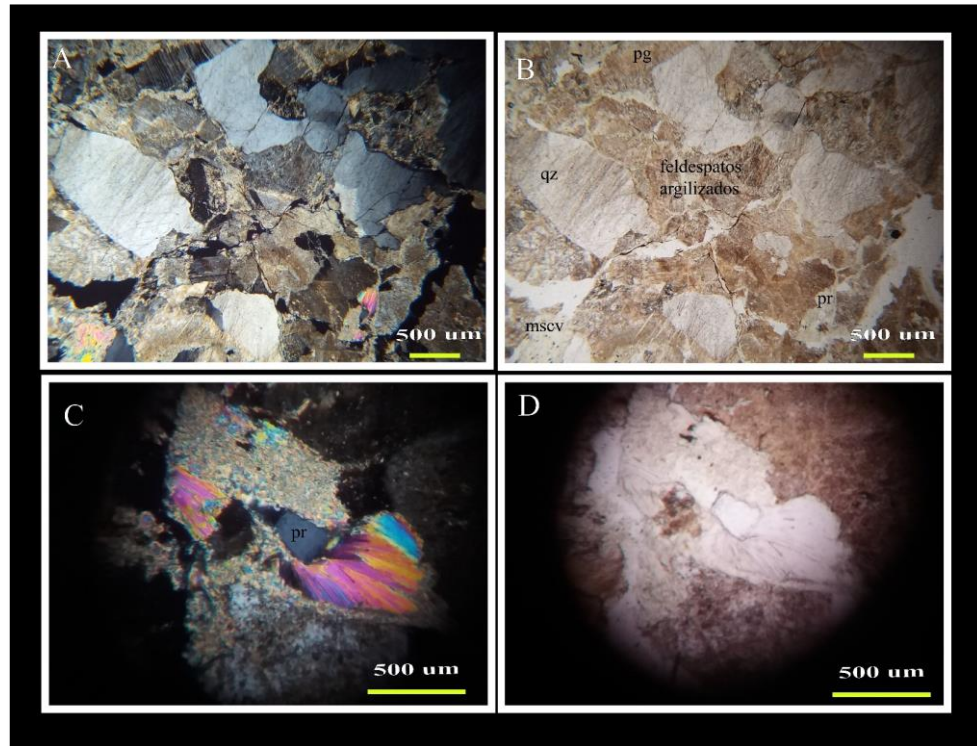


Figura 12 Fotomicrografías al microscopio con nicols paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B. Alteraciones de los feldespatos y las Plagioclasas. C-D. Detalle Prehnita fibrosa

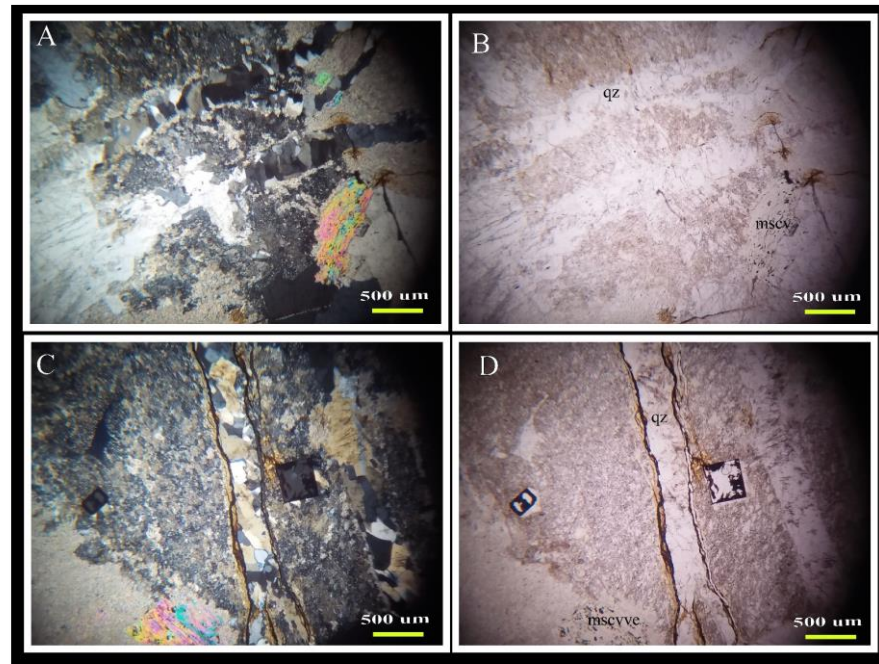


Figura 13 Fotomicrografías al microscopio con nicols paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B Vetas de Cuarzo textura Comb. C-D. veta de Cuarzo.

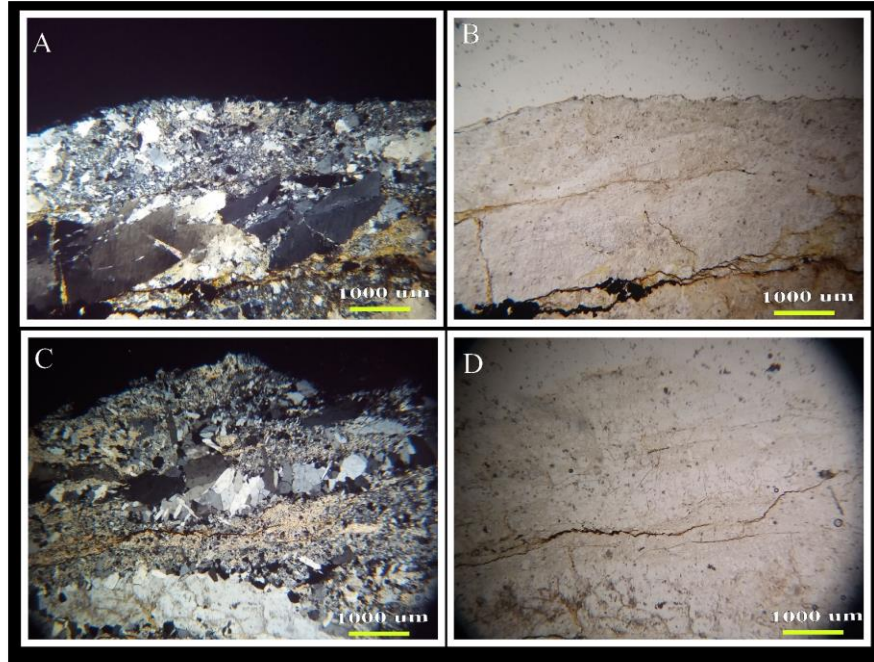


Figura 14 Fotomicrográficas al microscopio con niculos paralelos (B-D) y cruzados (A-C). A-B Foliacion milonítica definida por Cuarzo oblicuo, feldespato, Pumpellita y oxidos de hierro. C-D Folicacion milonitoca definida por Cuarzo oblicuo.

4.3 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En los análisis de roca total, las cinco muestras exhiben un patrón de DRX semejante (Tabla 6, [Figs. 15,16,17,18](#) y [19](#)), caracterizado por la presencia de cuarzo, calcita, argilominerales, albita y anortita (plagioclasa). Con las muestras de la fracción fina de arcillas se ha podido identificar que la especie argilomineral de todas las muestras es illita. Además, en PAN-15 y 18 aparecen cantidades mínimas de esmectita.

Resultados DRX Roca Total					
	Cuarzo	Albita	Anortita	Calcita	Arcillas
PAN 13	X	X		X	X
PAN 14	X	X		X	X
PAN 15	X	X		X	X
PAN 17	X		X	X	X
PAN 18	X		X	X	X

Tabla 6. Resultados de los minerales identificados por DRX sobre las muestras de roca total.

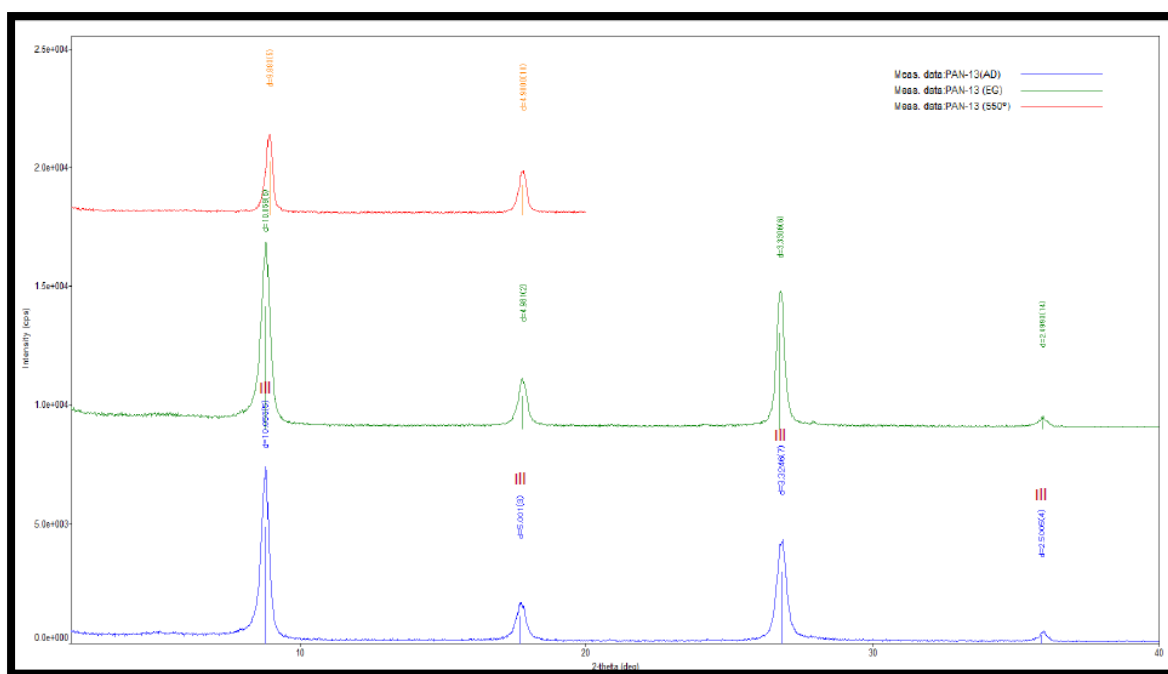


Figura 15 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-13. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.

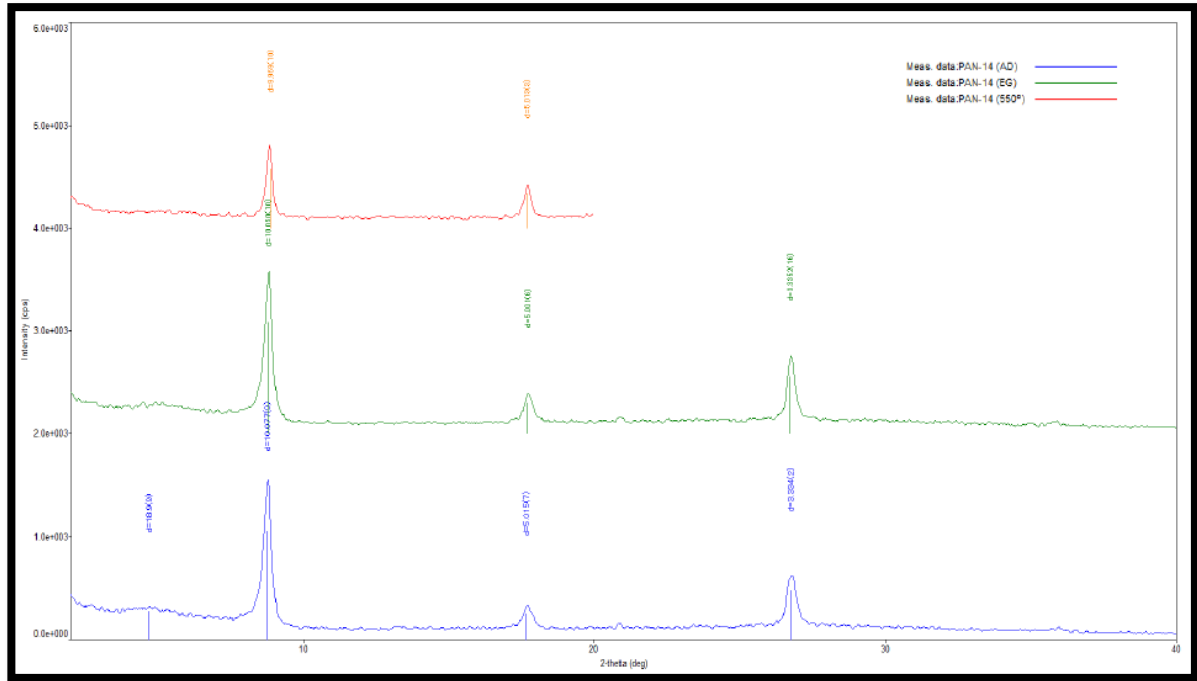


Figura 16 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-14. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.

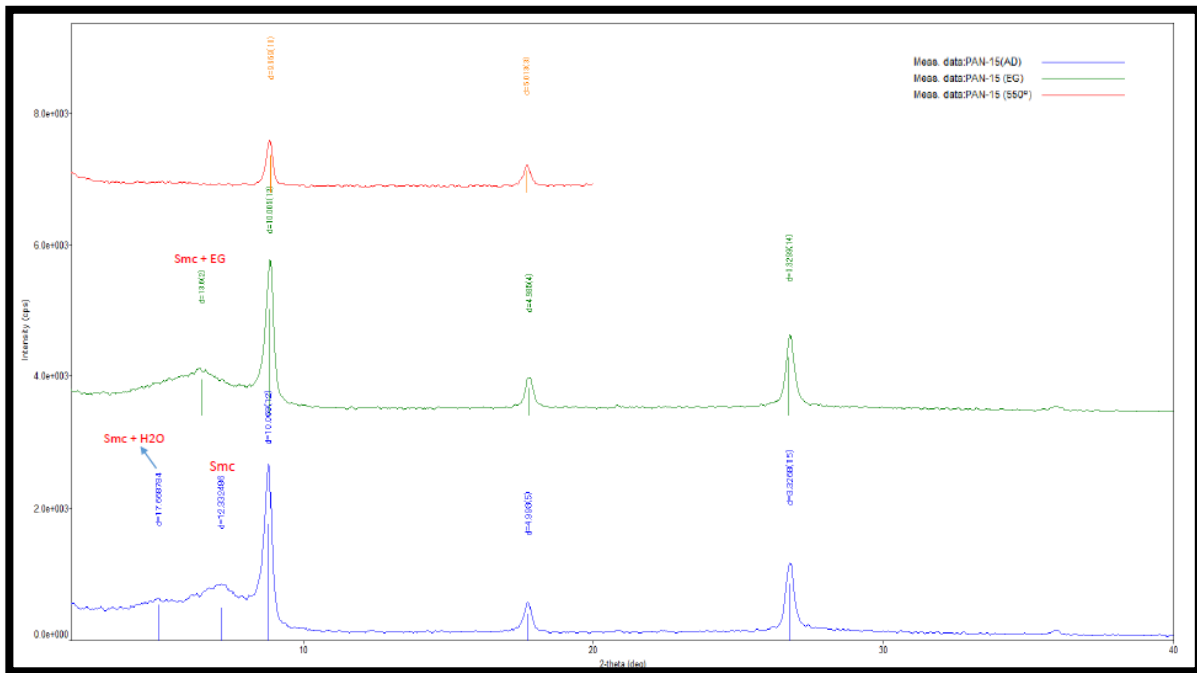


Figura 17 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-15. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.

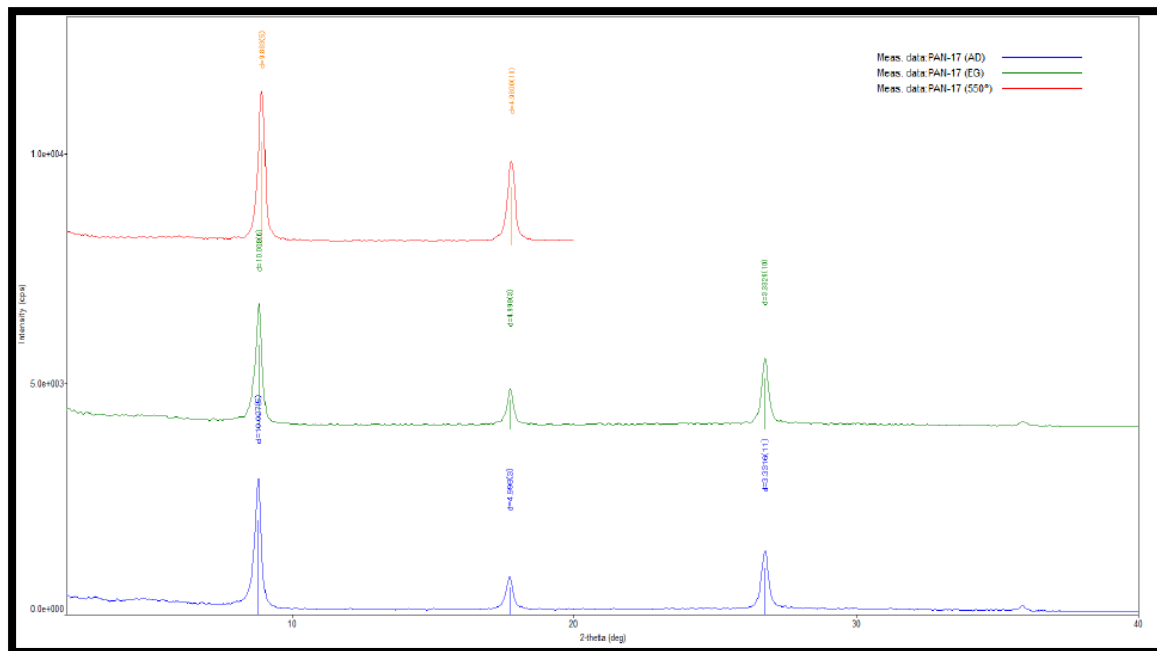


Figura 18 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-17. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.

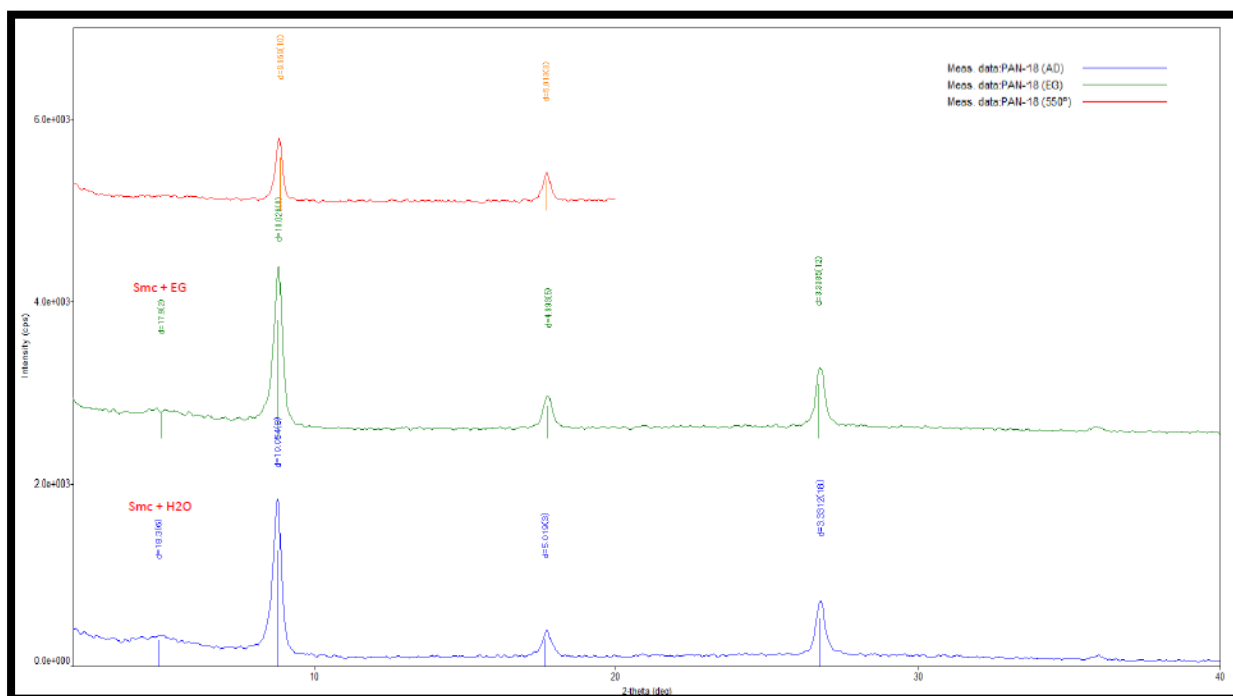


Figura 19 Composición de los difractogramas preparados de la muestra PAN-18. Abajo en azul, al medio en verde y arriba en rojo corresponden a las muestras natural, glicolada y calcinada, respectivamente.

5 DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES

5.1 PARAGÉNESIS MINERAL DE LOS MINERALES SECUNDARIOS

La paragénesis mineral reconocida en las muestras PAN corresponde a +Muscovita +Calcita +Prehnita +Pumpellyta +Cuarzo +Illita + -Esmectita que se presenta ya sea reemplazando a minerales primarios ígneos o rellenando cavidades, vetas o fracturas como se muestra en la Tabla 7.

Reemplazo			Relleno de fracturas y espacios intergranulares de la matriz	Vetillas
Plagiocalca	Feldespatos Potásicos	Biotitas	Prhenita fibrosa	Cuarzo
Calcita	Illita	Pumpellita	Pumpellita	
Muscovita	Muscovita	Prehnita	Cuarzo	
Prehnita	Esmectita	Muscovita	Oxidos de hierro	
		Oxidos de hierro		

Tabla 7. Síntesis de los reemplazos secundarios de los minerales ígneos primarios y otros rellenos. Detalles en el texto.

Las paragénesis identificadas definen las siguientes alteraciones:

- a. Fílica: cuarzo+muscovita reemplazando a Feldespato potásico y micas ígneas.
- b. Argílica: Illita e illita-esmectita sobre feldespatos.
- c. Calco-sódica: calcita + prehnita + pumpellyta como reemplazo de plagioclasa y biotita.
- d. Óxidos e hidróxidos de hierro: relleno de fracturas.

En base a la intensidad y relaciones texturales se determinó que la cronología de las alteraciones fue de la siguiente manera. Primero se alteraron los Feldespatos potásicos a Illita principalmente, con menor presencia de Esmectita; posteriormente se sucedió la alteración cuarzo-muscovítica en forma de vetillas y alterando la matriz de las rocas y finalmente las alteraciones calco-sódicas de Calcita- Prehnita y Pumpellyta reemplazando plagioclasas y rellenando fracturas y cavidades. En forma contemporánea posiblemente, se depositaron los óxidos e hidróxidos de hierro en las fracturas.

Las alteraciones están localizadas y restringidas a las rocas de falla por lo que la composición de las rocas y la interacción fluido-roca fue determinante en la mineralogía secundaria.

5.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS A DIFERENTES ESCALAS Y TÉCNICAS

En base al estudio del CPVC a nivel regional mediante sensores remotos, es posible inferir la presencia de minerales de alteración localizados y asociados a zonas de cizalla frágil-dúctil, la respuesta más fuerte se da en la milonita Pangaré y es menor en la zona de estudio. Las respuestas espectrales que mejor se adaptan son los Índices AIOHa (Ninomiya 2004), Ser-Mscv-III (Castro Godoy y Marin 2016) y las composiciones de cocientes RGB 4/5 4/6 4/8 (Ninomiya 2004). Las alteraciones que responden a estos patrones son de tipo filica (Cuarzo/Sericita) y/o la argílica (illita-montmorillonita-esmectita-moscovita); cuya respuesta espectral característica la absorción de la banda 6.

En menor medida hay respuestas para alteraciones de tipo propilítica, ya sea de Calcita-Epidoto-Clorita (Rowan 2006, Índice Calcita Ninomiya 2004) cuya respuesta espectral característica es la absorción en la banda 8.

A escala de afloramiento es posible comprobar que efectivamente los granitoides se encuentran alterados y además con deformación frágil-dúctil. Se observa vetilleo de cuarzo y las alteraciones se presentan como patinas de color blanco-verdosas.

En lupa binocular se puede observar que de la mineralogía primaria los feldespatos se encuentran alterados a calcita y a argilominerales, mientras que los mafitos primarios se encuentran totalmente reemplazados a minerales verdes.

Finalmente, en escala microscópica se puede concluir que las especies minerales de tonos verdes corresponden a prehnita-pumpellita y mediante los estudios de DRX se corrobora que la especies de argilominerales son illita y esmectita; lo que es congruente con los resultados obtenidos del análisis espectral de las imágenes ASTER. La prehnita y pumpellyta no han sido identificadas con el estudio de DRX, lo cual es debido a su escasa participación en volumen en la paragénesis de minerales secundarios. Probablemente parte de los picos menores en los difractogramas de roca total, correspondan a estos minerales.

5.3 RELACIÓN ENTRE LAS ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN Y ALTERACIÓN

Como se expuso anteriormente los granitos del CPVC presentan deformación dúctil y frágil-dúctil sobreimpuesta. Todas las muestras estudiadas presentan una fábrica cataclástica heterogénea sobreimpuesta a una milonítica o directamente sobre granitos previamente no deformados. La paragénesis de minerales secundarios está relacionada a la deformación frágil-dúctil cataclástica. Los estudios petrológicos permitieron identificar que los minerales de alteración se encontraban principalmente en la matriz de las rocas. Además, al contrastar los datos petrológicos con el mapeo de datos ASTER, se observa que las alteraciones se encuentran localizadas y restringidas a las zonas de cizalla frágil-dúctil de rumbo O-E descritas por Mizerit et al. (2014).

5.4 ORIGEN, CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS Y EDAD DE LA ALTERACIÓN

Considerando que los minerales de alteración se encuentran localizados en las rocas afectadas por las estructuras, no desarrollan zonas u halos de alteración regional bien definidos y la intensidad de la alteración no es pervasiva. Se puede afirmar que la alteración no es de tipo hidrotermal ni deutérica. Además, y más concluyente aun, no se ha identificado un cuerpo sub-volcánico en los granitos estudiados, que pudiera aportar los fluidos. En base a la asociación mineral presente, se infiere que estos fluidos no fueron químicamente muy activos, ya que la mayoría de los intercambios y recristalización fue in-situ; en base a esta información, se estima que fueron fluidos meteóricos ricos en agua, que percolaron hacia abajo en forma concomitante con el desarrollo de las estructuras frágiles-dúctiles en niveles corticales someros. Los fluidos habrían sido calentados por la fricción inducida por el cizallamiento frágil. Sin embargo, para corroborar si se trata de fluidos meteóricos calentados o netamente metamórficos, o sea fluidos desprendidos por la deshidratación de los minerales del protolito granítico, son necesarios estudios de isótopos estables C-O-H-S que están fuera del alcance de este TFL.

La interacción roca-fluido y la composición granítica del protolito fueron factores determinantes en la formación de la paragénesis mineral resultante. Sin embargo, el PH es otro factor importante que controló la generación de la alteración. Según Corbett y Leach (1998), los minerales del grupo de la Illita se dan en fluidos ácidos del rango 4-6 con temperaturas de 200°-250° para la Illita y entre 150° y 200° para los inter-

estratificados de Illita-Esmectita. Para las alteraciones filicas la temperatura debe ser $>250^{\circ}$ para la formación de muscovita y con PH de rango 5-6 (Corbett y Leach 1998).

Las alteraciones Calco-Sódicas con la asociación mineral en equilibrio de Prehnita- Pumpselita se da en temperaturas de 200° - 250° (Cho y Liou 1986, Springer et al. 1992, Montenegro y Vattuone 2008). La presencia de Calcita en la alteración no es cogenética con la formación de Prehnita ya que la reacción está condicionada por la presión parcial de CO_2 en el fluido (Cho y Liou, 1986), en base a las relaciones texturales entre la Calcita y la Prehnita en las muestras del CPVC se puede afirmar que la calcita se generó primero, ya que los núcleos de los cristaloclastos de Plagioclasa se encuentran alterados, mientras que la Prehnita se encuentra en los bordes de las Plagioclasas o rellenando fracturas y cavidades. El fluido que generó estos minerales debe ser de un PH neutro a alcalino con la presencia de CO_2 mínima de 0.002^1 (Digel y Ghent 1994).

Finalmente, con respecto a la edad de formación de la paragénesis de los minerales secundarios se puede establecer una cronología relativa basada en la edad de las unidades litoestratigráficas involucradas. Las fallas o zonas de cizalla frágil-dúctil, con sus minerales secundarios asociados, cortan a los granitoides del CPVC del Triásico superior y no cortan las capas rojas del Grupo Neuquén del Cretácico superior. Por lo tanto, la edad de la alteración está comprendida entre el Jurásico inferior y Cretácico inferior.

6 CONCLUSIONES

La interpretación global de todos los datos y resultados permiten obtener las siguientes conclusiones:

** Las imágenes ASTER son una buena herramienta para identificar alteraciones en los granitoides del CPVC.

¹ La concentración esta expresada en fracción molar. Por lo que es adimensional.

** Las imágenes ASTER son útiles para identificar varios tipos de minerales de alteración. Sin embargo, la tipificación y asignación de uno u otro tipo de alteración debe realizarse usando criterios de campo y de laboratorio.

**De los productos obtenidos, los Índices $(b_4 \cdot b_7) / (b_6 \cdot b_6)$ AlOHa, $((b_5 + b_7) / b_6)$ Ser-Mscv-III, Índice Calcita $(b_6 \cdot b_9) / (b_8 \cdot b_8)$ y las composiciones de cocientes RGB $4/5$ $4/6$ $4/8$ y $6/5$ $7/5$ $8/5$ son los que arrojan mejores resultados en el área de estudio.

**La paragénesis de los minerales de alteración es +Muscovita +Calcita +Prehnita +Pumpellyta +Cuarzo +Illita +(Esmectita). Esta corresponde a 3 tipos de alteraciones diferentes en espacio y tiempo siendo estas Argilíca , Fílica y Calco-Sódica en orden cronológico relativo.

**La génesis de los minerales están asociados a fluidos calientes con una temperatura variable entre 200°C y 250°C siendo la composición química de los granitos y el PH de los fluidos los factores determinantes a la hora de generar estos minerales.

** Los fluidos fueron calentados por la fricción durante el cizallamiento frágil-dúctil. Las zonas de cizalla actuaron como canales permeables para la circulación de los mismos, desde la superficie hasta los niveles corticales someros afectados por la deformación.

** De acuerdo a las características mineralógicas, y la interpretación de la fuente, origen y temperatura de los fluidos, la paragénesis mineral tiene semejanza con aquellas del metamorfismo local dinámico, cataclástico o de zona de cizalla.

**La edad de la relativa para la alteración es Jurásico Inferior-Cretácico Superior, coincidente con los procesos de deformación frágil-dúctil.

6.1 INVESTIGACIONES A FUTURO

Cómo resultado de los trabajos de este TFL se han abierto nuevas líneas de investigación y oportunidad de seguir trabajando con otros métodos y técnicas. Por un lado, profundizar el mapeo, los muestreos y los análisis de laboratorio por MEB, DRX y lámina delgada.

Y por el otro, practicar estudios de inclusiones fluidas en cuarzo y/o calcita para investigar la salinidad y cuantificar con datos robustos de temperatura de formación. Con la salinidad, además, se podrá conocer si los fluidos son metamórficos, magmáticos o meteóricos, o incluso alguna mezcla de estas fuentes.

7 LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Abrams, M., Hook, S. and Ramachandran, B. (2002) ASTER User Handbook, v2: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- Báez, A. D., Paz, M., Pino, D., González, P. D., Cábana, M. C., Giacosa, R., García, V., & Bechis, F. (2016). Geología del sector oriental del complejo plutónico volcánico curaco (Triásico Superior), Río Negro. *Revista de La Asociacion Geologica Argentina*, 73(2), 183–194.
- Bjerg, E. A., Gregori, D. A., & Labudia, C. H. (1997). Geologia de la region de el Cuy. *Revista de La Asociacion Geologica Argentina*, 52, 387–399.
- Cábana, M. C., Zaffarana, C., Orts, D., Somoza, R., Analisis Espectral de datos ASTER de la región de Gastre, Chubut, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino pág. 9-16.
- Castro Godoy, S., Marin, G., (2016). Curso Procesamiento básico de datos ASTER . Universidad Nacional de Rio Negro. General Roca.
- Chuvieco Salinero, E. (2008). Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio (No. 528.8 CHU).
- Cho, M., Liou, J.G., Maruyana, S., 1986, Transition from zeolite to prehnite-pumpellyite facies in the Karmutsen metabasites, Vancouver Island, Bristish Columbia: *Journal of Petrology*, 27, 467-494.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization (No. 6). Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists.
- Crosta, A., De Souza Filho, C., Azevedo, F., Brodie, C. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Remote Sensing* 24 (21), 4233-4240.
- Cuevas Zurita, T.I., Cábana, M.C., Gonzaléz, P.D., 2020. Procesamiento de imágenes Aster para la detección de áreas con alteración hidrotermal en el sector oriental del complejo Plutónico Volcánico Curacó. Río Negro. 21° Congreso Geológico Argentino, Actas, 2p. Puerto Madryn, Chubut.
- Digel, S., Ghent, E.D., 1994, Fluid-mineral equilibrium in prehnite pumpellyiteto greenschist facies

- metabasites near Flin Flon, Manitoba, Canada: implications for petrogenetic grids: *Journal of Metamorphic Geology*, 12, 467-177.
- Giacosa, R., Lema, H., Busteros, A., Zubia, M., Cuchi, R., & Di Tomaso, I. (2008). ESTRUCTURA DEL TRIÁSICO DE LA REGIÓN NORTE DEL MACIZO NORDPATAGÓNICO (40°-41°S, 67°30'-69°45'O) RÍO NEGRO. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 63(4), 477-478.
- González, P. D. (2015). Texturas De Los Cuerpos Ígneos 12.1. Introducción. In *Geología de los cuerpos ígneos* (pp. 167-195).
- Gregori, D. A., Saini-Eidukat, B., Benedini, L., Strazzere, L., Barros, M., & Kostadinoff, J. (2016). The Gondwana Orogeny in northern North Patagonian Massif: Evidences from the Caita C6 granite, la Seña and Pangaré mylonites, Argentina. *Geoscience Frontiers*, 7(4), 621-638.
- Guha, A., & Vinod Kumar, K. (2016). New ASTER derived thermal indices to delineate mineralogy of different granitoids of an Archaean Craton and analysis of their potentials with reference to Ninomiya's indices for delineating quartz and mafic minerals of granitoids-An analysis in Dharwar Cr. *Ore Geology Reviews*, 74(November), 76-87.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. N. T. O. N. I. O., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13(2), 45-77.
- Hassan, S., Sadek, M. 2017. Geological mapping and spectral based classification of basement rocks using remote sensing data analysis: the Korbai-Gerf nappe complex, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 134, 404-418.
- Hugo, C. A., & Leanza, H. A. (2001). *Hoja Geológica 3969-IV General Roca*. 65.
- Marquetti, C. 2005. Metodología y analisis de imagenes aster para la exploración mineral en un sector de la cordillera de Colangüil, San Juan, Argentina. En contribuciones tecnicas proyecto geosat-ar JICA-SEGEMAR 33-40.
- Mizerit, I., Suárez, R. J., Voglino, S., Aranda, D. A., Giacosa, R., & González, P. D. (2014). Fallas transcurrentes en estadios tardios de la milonitización en los granitoides triásicos del borde septentrional del Macizo Nordpatagónico (Río Negro). *XIX Congreso Geológico Argentino, October*, 1624-1625.
- Montenegro, T., & Vattuone, M. E. (2008). Asociaciones minerales de muy bajo grado metam6rfico vinculadas a alteraci6n hidrotermal, sudoeste de Trevelin, Chubut, Argentina. *Revista mexicana de ciencias geol6gicas*, 25(2), 302-313.
- Moore, D.M. y Reynolds, R.C. Jr. 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, 2nd ed. 378 pp. Oxford, New York: Oxford University Press.

- Ninomiya, Y. (2004). Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VII*, 5234(July), 180. <https://doi.org/10.1117/12.511902>
- Paz, M., Baez, A., Pino, D., & González, P. D. (2013). PETROGRAFÍA DEL CUARZO EN GRANITOS SUB-VOLCÁNICOS DEL COMPLEJO ALESSANDRINI (TRIÁSICO SUPERIOR), RÍO NEGRO. *11 Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, 327–328.
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2011). Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6),
- Rowan, L. C., Schmidt, R. G., & Mars, J. C. (2006). Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 104(1), 74–87.
- Saini-eidukat, B., Migueles, N., Gregori, D. A., Bjerg, E. A., Beard, B. L., & Johnson, C. M. (1999). *the Alessandrini Complex : Early Jurassic Plutonism in*. 3–8.
- Springer, R. K., Day, H. W., & Beiersdorfer, R. E. (1992). Prehnite–pumpellyite to greenschist facies transition, Smartville Complex, near Auburn, California. *Journal of Metamorphic Geology*, 10(2), 147-170.

8 ANEXO I DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS DE LAS SECCIONES DELGADAS

PAN 13:

La muestra exhibe textura brechosa, con crisatoclastos de Cuarzo, Plagioclasa con núcleos alterados a Calcita y Feldespatos Potásicos intensamente alterados a argilominerales. La matriz se compone de recristalización de Cuarzo, Feldespatos argilizados y Muscovita.. Las fracturas se enxuntran rellenas por Cuarzo, y Prehnita.

PAN 14:

La muestra tiene textura brechosa, los cristaloclastos son de Cuarzo y Feldespato Potasico y la matriz se compone principalemte de recrsitalizacion de Cuarzo y Feldespatos Potásicos alterados y _Muscovita.

PAN 15:

Textura brechosa con cristaloclastos de Cuarzo, Plagioclasa con nucleos alterados a Calcita y Feldespatos potásicos argilizados, las biotitas primarias se encuentran alteradas a Muscovita Prehnita y Pumpellyta. La matriz se compone de recristalización de Cuarzo, feldespatos argilizados. Las cavidades y fracturas están rellenas por Prehnita fibrosa, Pumpellyta, Oxidos de Hierro y Cuarzo. Presenta foliación milonítica definida por Cuarzo oblicuo, Feldespatos Potásicos y Pumpellyta.

PAN 17:

Textura Brechosa. Los cristaloclastos son de Cuarzo y Feldespato Potásico argilizados y plagioclasas alteradas a Calcita, Prehnita y Pumpellyta. La matriz tiene textura gráfica y se compone de Cuarzo y Feldespato Potásico. Hay presencia de vetas de Cuarzo de 0,5 mm con textura Comb y Muscovita asociada. Las fracturas se encuentran rellenas con prehnita y Pumpellyta. También presenta foliación milonítica definida por Cuarzo oblicuo y Feldespatos Potásicos.

PAN 18:

Textura brechosa con cristaloclastos de Cuarzo, Plagioclasa y Feldespatos Potásicos argilizados. Matriz Cuarzo-Feldespática de textura gráfica.