



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROSPECCIÓN DE DEPÓSITOS MINERALES MEDIANTE DATOS DEL SENSOR ASTER, CENTRO POBLADO SHICUANA, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Lelis Daniel Guerrero Soberón

Bach. Cristhian Jhony Ramirez Vizconde

Asesor:

M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca – Perú

2020

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios por guiarme en todo momento, a mis padres Juan y Amelia por sus consejos, perseverancia y orientación para salir adelante, a mis hermanos por ser mi soporte y alentarme día a día. A mi esposa Karin por su apoyo incondicional por estar siempre presente y representar una motivación constante para poder culminar esta tesis, a mis maestros por brindarme los conocimientos que fueron las bases en mi formación profesional.

**Guerrero Soberón, Lelis Daniel**

Dedico la presente tesis a Dios por guiar mis pasos, a mis padres Manuel y Julia quienes me inculcaron valores, principios y a seguir mis sueños, por su sabiduría y sus consejos, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa Universidad, a mi familia y amigos por haber sido mi apoyo a lo largo de mi carrera universitaria, a mi esposa Lira e hija Berenice quienes fueron mi inspiración, el motivo y la razón para seguir adelante y ser cada día mejor, y a mis maestros quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis, gracias por su apoyo íntegro.

**Ramirez Vizconde, Cristhian Jhony**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por su amor y bondad que no tienen fin y guiarnos a lo largo de nuestra carrera.

Agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional y confianza. Gracias por ayudarnos a cumplir nuestros objetivos como personas y estudiantes, por estar siempre presentes y acompañándonos.

Agradecemos de manera especial al Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán por ser nuestro asesor de nuestro proyecto de investigación quien nos a guiado con su paciencia y su rectitud como docente.

A nuestros familiares y amigos que son seres queridos, y todas aquellas personas que fueron parte de nuestro crecimiento profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema .....	13
1.3. Objetivos.....	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos .....	13
1.4. Antecedentes .....	14
1.5. Hipótesis .....	16
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
2.1. Tipo de Investigación.....	17
2.2. Población y muestra.....	17
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	17
2.4. Procedimiento .....	18
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. Aplicación de máscaras de vegetación.....	24
3.2. Interpretación de la alteración hidrotermal por ratios .....	27
3.3. Índices mineralógicos para detección de minerales de alteración hidrotermal .....	29
3.4. Mapeo mineralógico utilizando el método MTMF .....	35
3.5. Selección de los Endmembers.....	36
3.6. Resultados del mapeo espectral e identificación de minerales de alteración hidrotermal .....	38
3.7. Identificación de minerales de alteración argílica moderada/intermedia .....	38
3.8. Identificación de minerales de alteración argílica avanzada .....	40
3.9. Discusión de los resultados del análisis de la imagen ASTER .....	44
3.10. Validación en campo de los resultados del análisis espectral de los datos aster .....	45
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
4.1. Discusión .....	51
4.2. Conclusiones .....	53
4.3. Recomendaciones .....	54
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano geológico de la zona de estudio .....	22
Figura 2: Plano alteraciones hidrotermales de la zona de estudio. ....	23
Figura 3: Imagen de la zona de estudio que muestra en tonos claros las cubiertas vegetales de la zona de estudio.....	25
Figura 4: Mascara de vegetación de la zona de estudio que muestra en color negro las zonas con mayor cobertura vegetal.....	26
Figura 5: Imagen ASTER en la combinación 3N,2,1 en RGB con aplicación de la máscara de vegetación donde solo se muestran las coberturas de suelos y rocas. ....	27
Figura 6: Cociente de bandas 2/1, 4/6 y 5/8 en RGB, mostrando la presencia de zonas de oxidación, alteración fílica/argílica y zona con alteración clorítica en colores rojo, verde y azul respectivamente, en la zona de estudio. ....	28
Figura 7: Imagen del índice OHa, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo. ....	31
Figura 8: Imagen del índice OHb, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo. ....	32
Figura 9: Imagen del índice ALI, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo. ....	33
Figura 10: Combinación de los tres índices de Ninomiya (ALI, OHa y OHb), en RGB respectivamente, mostrando en el círculo amarillo la zona de interés. ....	34
Figura 11: Firmas espectrales (endmember) de minerales puros que contienen el enlace Al – OH y que se encuentran presentes en la alteración argílica moderada/intermedia –avanzada. A la izquierda firmas espectrales de la librería espectral USGS, a la derecha sus equivalentes para las bandas del sensor ASTER. ....	37
Figura 12: Comparación de la firma espectral del endmember illita (librería USGS) con el .....	39
Figura 13: Comparación de la firma espectral del endmember kaolinita/esmectita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método	

MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a la caolinita/esmectita..... 39

Figura 14: Comparación de la firma espectral del endmember montmorillonita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a la montmorillonita..... 40

Figura 15: Comparación de la firma espectral del endmember caolinita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a caolinita..... 41

Figura 16: Comparación de la firma espectral del endmember alunita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.1670 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a alunita..... 41

Figura 17: Comparación de la firma espectral del endmember Cuarzo HS (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica avanzada. Se observan picos de absorción en la longitud de onda de 2.2620 y 2.3360 micrones que corresponden al cuarzo. .... 42

Figura 18: Mapeo espectral de los endmember encontrados en la subescena ASTER, que nos muestra la distribución de minerales de alteración argílica moderada/intermedia - avanzada. .... 43

Figura 19: Cuerpo intrusivo con alteración fílica – argílica moderada oxidado. .... 45

Figura 20: Brecha freata – magmática con alteración argílica intermedia/avanzada..... 46

Figura 21: Cuerpo intrusivo con alteración fílica con presencia de enjambre de vetillas (stockwork)..... 47

Figura 22: Areniscas de la formación Farrat con presencia de enjambre de vetillas (stockwork).....	48
Figura 23: Cuerpo intrusivo con alteración clorítica débil con presencia de pequeñas vetillas de cuarzo.....	49
Figura 24: Brecha magmato - hidrotermal con matriz débilmente silicificada. ....	50

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo prospeccionar depósitos minerales mediante datos del sensor ASTER en el centro poblado Shicuada, Cajamarca, para lo cual Se adquirió una escena ASTER: AST\_L1T\_00306062007153925\_20150519195524\_1115 de fecha 06 de junio del 2007, la cual cuenta con todos los subsistemas VNIR, SWIR y TIR, posteriormente se procedió a realizar la selección de la subescena de interés y posterior calibración de los datos ASTER y la corrección atmosférica con el método QUick Atmospheric Correction, incorporado en el software ENVI 5.3.

La zona estudiada se encuentra dentro de áreas concesionadas por minerales metálicos, esto se puede corroborar con los datos del software GEOADMIN.

**Palabras clave:** Prospección, imágenes ASTER, depósitos minerales.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La prospección es la etapa de la actividad minera donde se busca determinar zonas mineralizadas, pero que requiere muchos recursos tanto humanos como materiales, y sobre todo tiempo. Esto implica gastos que, muchas veces no son recuperados.

Por tal motivo se busca implementar nuevos métodos de cateo y prospección para optimizar costos, tiempo y precisión en la búsqueda de nuevos depósitos que permitan obtener resultados de manera objetiva y simplificada reduciendo así estas problemáticas.

Las campañas de exploraciones geológicas para la búsqueda de áreas de especial interés o potenciales, que induzcan las inversiones en sitios factibles de contener depósitos minerales, requieren una serie de procesos que toman un alto riesgo a considerar, como difícil acceso a la zona, permisos de los pobladores, seguridad del personal de campo, seguridad en los equipos de trabajo a utilizar (Origel y Sánchez, 2010).

Las imágenes multiespectrales del satélite ASTER se han usado con éxito para detectar alteración hidrotermal, instrumento al que se adicionaron seis bandas en la región del infrarrojo del espectro electromagnético donde muchos minerales de arcilla tienen su espectro de absorción de diagnóstico y se ha usado en varios estudios mineralógicos y litológicos (Rowan et al., 2003; Rowan et al., 2003; Ninomiya et al., 2002; Ninomiya, 2004). Donde el instrumento consta de tres subsistemas independientes con un total de 14 bandas. El subsistema VNIR obtiene imágenes ópticas (0.52-0.86  $\mu\text{m}$ ) con una resolución espacial de 15 m. y el subsistema SWIR (1.65-2.4  $\mu\text{m}$ ).

La teledetección se define como la recolección de información sobre la superficie terrestre o la atmosfera a partir de la captación de la radiación electromagnética emitida por estas. La teledetección ha experimentado gran desarrollo durante los últimos años y en la actualidad tiene gran cantidad de aplicaciones, obteniendo imágenes desde aviones o satélites. (Gutiérrez Claverol, 1993).

La teledetección o detección remota (remote sensing) es la adquisición de imágenes de la superficie terrestre desde satélites para después procesarlas e interpretarlas. Actualmente se dispone de una serie de varios sensores multiespectrales que se han constituido en una herramienta a disposición de servicios geológicos. Entre los más utilizados están LANDSAT, ASTER, ALI, QUICKBIRD, SPOT, HYPERION entre otros.

Las imágenes ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), son un tipo de imágenes ópticas de alta resolución espacial y radiométrica, muy utilizados en la actualidad en trabajos geológicos-mineros ya que permiten identificar zonas con posible potencial económico.

A nivel internacional la aplicación del procesamiento de imágenes ASTER, se posiciona como una técnica útil en las etapas tempranas de la exploración y en particular para la selección de los sitios y para la jerarquización de blancos exploratorios (Origel y Sánchez, 2010).

El sensor ASTER contiene 14 bandas con las que obtiene las características de absorción de diversos minerales, mostrando alta eficacia en arcillas y óxidos. Las características más relevantes de estas imágenes son que presenta un ancho de barrido de 60 km, con una resolución temporal de 16 días, presenta una órbita heliosincrónica

a una distancia de 705 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 kilómetros, además de tener una alta resolución espacial y un amplio rango espectral. Su capacidad estéreo Along – Track B/N 0.6; permite generar DEM o DTM de alta calidad. Presenta una precisión elevación DEM: 15 m (3 $\zeta$ ) y precisión Geolocalización DEM: 50m (Mamani, 2017).

Chuvieco (1995) explica la Corrección Geométrica, como el producto de la distorsión geométrica que es producida por la curvatura de la tierra, el movimiento no uniforme del barredor, la no linealidad del espejo del barredor y el movimiento rotacional de satélite. Asimismo, Kruse (2004) afirma que la corrección atmosférica es un requisito previo para la mayoría de los datos de imágenes de hiperespectral (HSI), porque la atmosfera dispersa y refleja energía debido a su composición, es por ello que con esta corrección se busca recuperar la radiancia propia del objeto de estudio, obtenida de la señal recibida por el sensor. Para ello se requiere primero convertir digitales de cada banda a valores de radiancia, a ese resultado transformar a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera, esto se obtiene mediante FLAASH; obteniendo así valor de reflectancia.

Finalmente, Chuvieco (1995) menciona que la Corrección Radiométrica se relaciona con la sensibilidad del sensor, esto es, su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral, al hacer esta corrección se busca mejorar la precisión radiométrica para una mejor interpretación de la imagen.

Hoy en día el uso de la tecnología basada en uso de imágenes satelitales para la identificación y dimensión de estas áreas es de suma importancia pues cada vez son

mejoradas y de mayores resoluciones que nos permite tener una mayor capacidad para obtener información detallada de las áreas de estudio (Mamani, 2017).

Elizalde, Camus, Veloso, Aron, y Morata (2018) en su estudio sobre Identificación Espectral de áreas con Potencial de Alteración Hidrotermal utilizando Imágenes Aster en el Campo Geotérmico Licancura, Norte De Chile; identificaron zonas de óxidos de hierro, así como zonas de alteración argílica avanzada y propílica aplicando técnicas de realce espectral. Proponiendo un patrón sobre la circulación de fluidos del sistema hidrotermal de la zona.

Perez, Benites, y Godeas (2010) en su investigación de “Reconocimiento de Alteración Hidrotermal con el Sensor Aster, en el Curso Medio del Río Santa Cruz (31°40’s), Provincia De San Juan” realizaron un levantamiento de la geología y estructuras aplicando la espectrometría de reflectancia para identificar zonas que poseen minerales de alteración y áreas mineralizadas. Concluyendo que las combinaciones de bandas constituyen el método más simple y rápido para localizar zonas con presencia de minerales arcillosos discriminado de estos la caolinita illita y cantidades menores de muscovita, manifiesta que la combinación de bandas RGB 654 incluye los picos de absorción más elevados de las arcillas entre el rango de 2.160-2.200  $\mu\text{m}$  donde absorbe el enlace metálico Al-OH siendo estas efectivas para reconocer zonas de alteración.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Dónde se encuentran ubicados posibles depósitos minerales mediante prospección usando datos del sensor Aster en el centro poblado Shicuana, Cajamarca 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Ubicar posibles depósitos minerales mediante datos del sensor ASTER en el centro poblado Shicuana, Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Discriminar zonas de vegetación, suelos y roca en la zona de estudio.
- Detectar las zonas de alteraciones hidrotermales y zonas de oxidación por intemperismo presentes en la zona elaborando un mapa temático a partir del procesamiento de imágenes Aster.
- Analizar las firmas espectrales de los minerales para los endmember.
- Realizar el mapeo espectral para las especies minerales de la zona por el método MTMF.
- Realizar la comparación y correspondencia de las firmas espectrales con la librería de la USGS.
- Comparar y validar los resultados de la detección del análisis espectral de los datos Aster con el cartografiado en campo.

#### 1.4. Antecedentes

Existen diferentes trabajos de investigación de prospección minera a partir de uso de imágenes satelitales con resultados que permitieron identificar áreas de interés para proyectos mineros.

- (BRODIE, 2003) Se realizaron varias mediciones espectrales utilizando un espectrómetro de reflectancia PIMA (Portable Infrared Mineral Analyzer). Se produjo un espectro promedio para cada sitio y luego se clasificó con referencia a la biblioteca de espectros minerales del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) utilizando el paquete de análisis espectral del Software de Identificación de Minerales Independiente del Espectrómetro (SIMIS).
- (Gonzaga Aguilar, 2014) La Universidad Nacional de la Plata, llevo a cabo una investigación que consistió en la evaluación de tres índices de vegetación, como estimadores de cambios. Usando diferentes tipos de cobertura vegetal en la provincia de Loja al sur de Ecuador. Los índices empleados fueron: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, Índice de Estrés Hídrico MSI y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI, aplicados a imágenes satelitales provenientes de dos sensores, Landsat 7 ETM+ y ASTER. Dando como resultado que los tres índices presentan diferencias para cada cobertura vegetal, también que los tres índices de vegetación permiten caracterizar y discriminar los diferentes tipos de cobertura vegetal analizados, aunque el SAVI en coberturas menos densas, a pesar de ser un índice que incorpora un coeficiente de corrección del efecto suelo, no discriminó mejor las coberturas que el NDVI. Además, que

la diferencia entre imágenes satelitales usadas es que en la imagen ASTER se obtienen muestras de coberturas vegetales más homogéneas (Gonzaga, 2014).

- (María & Ortiz, 2016) La Universidad Nacional Mayor de San Marcos realizó una investigación en el distrito de Villa María del Triunfo, en la cual se estimó la zona potencial para cubrirse con vegetación de lomas, por análisis de verdor, realizado mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), de imágenes satelitales, en la cual se determinó dos superficies con potencial de cubrirse de vegetación denominadas “normal” y “extraordinaria”, clasificadas según la presencia e intensidad extraordinaria del fenómeno El Niño. Esta estimación determinó que 2221.3 ha de superficie cuentan con el potencial de cubrirse con vegetación en temporada de lomas normal, y 4099.6 ha de lomas extraordinarias como máxima extensión de la cobertura durante el fenómeno El Niño 1997-1998.
- (Carrera LLaxa & Terrones Mendoza, 2017) Usaron técnicas de prospección espectral para determinar zonas de alteración hidrotermal por medio del análisis y procesamiento de imágenes satelitales aster en el distrito de Llacanora, se trabajó con imágenes aster del 2017, imágenes tomadas en época de sequía para favorecer el trabajo, identificando así minerales como caolinita, alunita, jarosita, montmorillonita, se identificaron zonas estructurales favorables para la mineralización como es la falla Cajamarca, evidencia de ello es la alteración textural de las areniscas de la formación Farrat, así como la presencia de minerales de alteración hidrotermal, concluyendo que en el distrito de Llacanora fue posible la prospección de zonas de alteración hidrotermal.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Procesando imágenes satelitales ASTER, se detectarán áreas de interés para prospección minera metálica en el centro poblado Shicuana, Cajamarca.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo básica, ya que no se modificará las variables de estudio; según el alcance es correlacional, porque describiremos los minerales de alteración que se logren detectar mediante el procesamiento de la imagen ASTER y ubicar nuevos blancos prospectivos, además tienen enfoque cuantitativo porque trabajaremos en base a datos numéricos.

### 2.2. Población y muestra

- **Población:** Todas las imágenes satelitales de Cajamarca.
- **Muestra:** Imágenes satelitales Aster de la zona Shicuada, Cajamarca

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas utilizadas son la observación y el análisis espectral de las imágenes satelitales, Asimismo, como instrumentos se usó algunos softwares como son Google Earth, para localización de zona de estudio; ArcGIS 10.7.1, para elaboración de mapas; Envi 5.3 para correcciones y combinación de bandas, etc. El conjunto de estas técnicas e instrumentos servirán para la caracterización y análisis de minerales de alteración sobre las imágenes ASTER

## 2.4. Procedimiento

- **Recopilación de bibliografía**

- **Adquisición de imágenes satelitales**

Las imágenes fueron adquiridas del servidor (<https://www.usgs.gov/>) imágenes del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

- **Procesamiento de imágenes satelitales**

Una definición más detallada: Es un proceso de combinar imágenes, obtenidas por sensores de diferentes longitudes de onda que ven simultáneamente la misma escena, para formar una imagen compuesta. La imagen compuesta se forma para mejorar el contenido de la imagen y para facilitar al usuario la detección, el reconocimiento y la identificación de objetivos y aumentar su conocimiento de la realidad (Jiang D, Zhuang D, & Huang, 2013)

- **Corrección de imágenes satelitales**

Los datos que vienen almacenados en una imagen obtenida mediante un sensor los cuales están representados en números digitales (ND), dichos niveles digitales no representan de manera directa ninguna variable biofísica y, por tanto, no es conveniente que se obtenga ningún índice espectral usando dichos valores en crudo, la razón para no hacerlo es muy simple ya que los índices espectrales fueron desarrollados para trabajar con valores de reflectancia espectral de la superficie terrestre.

- **Corrección Radiométrica**

Se mejoraron los niveles digitales originales de la imagen.

- **Corrección atmosférica**

Se ha corregido de Radiancia a reflectancia, la radiación transmitida entre la superficie terrestre y el sensor.

- **Análisis e interpretación de resultados**

Una vez obtenido los resultados, se procedió a analizar e interpretar los resultados obtenidos de todo el procesamiento.

Elaboración de mapas de zoneamiento mineral en la zona.

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

#### **MARCO GEOLÓGICO LOCAL**

La zona de estudio se encuentra en el flanco izquierdo del anticlinal el inca que se encuentra camino a la carretera a huambocancha.

Se encuentran rocas sedimentarias de la formación farrat intruidas por un stock andesítico que en su mayoría se encuentra cubierto por depósitos coluviales.

Dicho stock andesítico se encuentra cortado por una falla geológica de dirección NW – SE que concuerda con el eje del anticlinal y por otras fallas secundarias de direcciones perpendiculares a las anteriores.

El stock andesítico presenta emplazamientos de brechas magmato hidrotermales con clastos muy angulosos de areniscas en una matriz de roca fina molida hematitas y limonitas, emplazada en estructuras relacionadas a la falla de dirección NW – SE.

Por otra parte, también se presentan brechas freatomagmáticas con fragmentos líticos más finos en una matriz argilizada, rodeando el stock andesítico.

El stock intrusivo andesítico se encuentra afectado en su mayoría por alteración hidrotermal cuarzo – sericita, presentando venillas tipo stock work algunos sectores (referencia plano geológico).

También se puede verificar que en las zonas de contacto cuerpo intrusivo y roca caja (areniscas de la formación farrat), existen venillas de cuarzo en sistemas stock work.

hacia la parte norte de la zona de interés, se observa al cuerpo intrusivo porfirítico con alteración clorítica débil, presentando alteración hidrotermal de las biotitas hacia cloritas.

# PLANO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

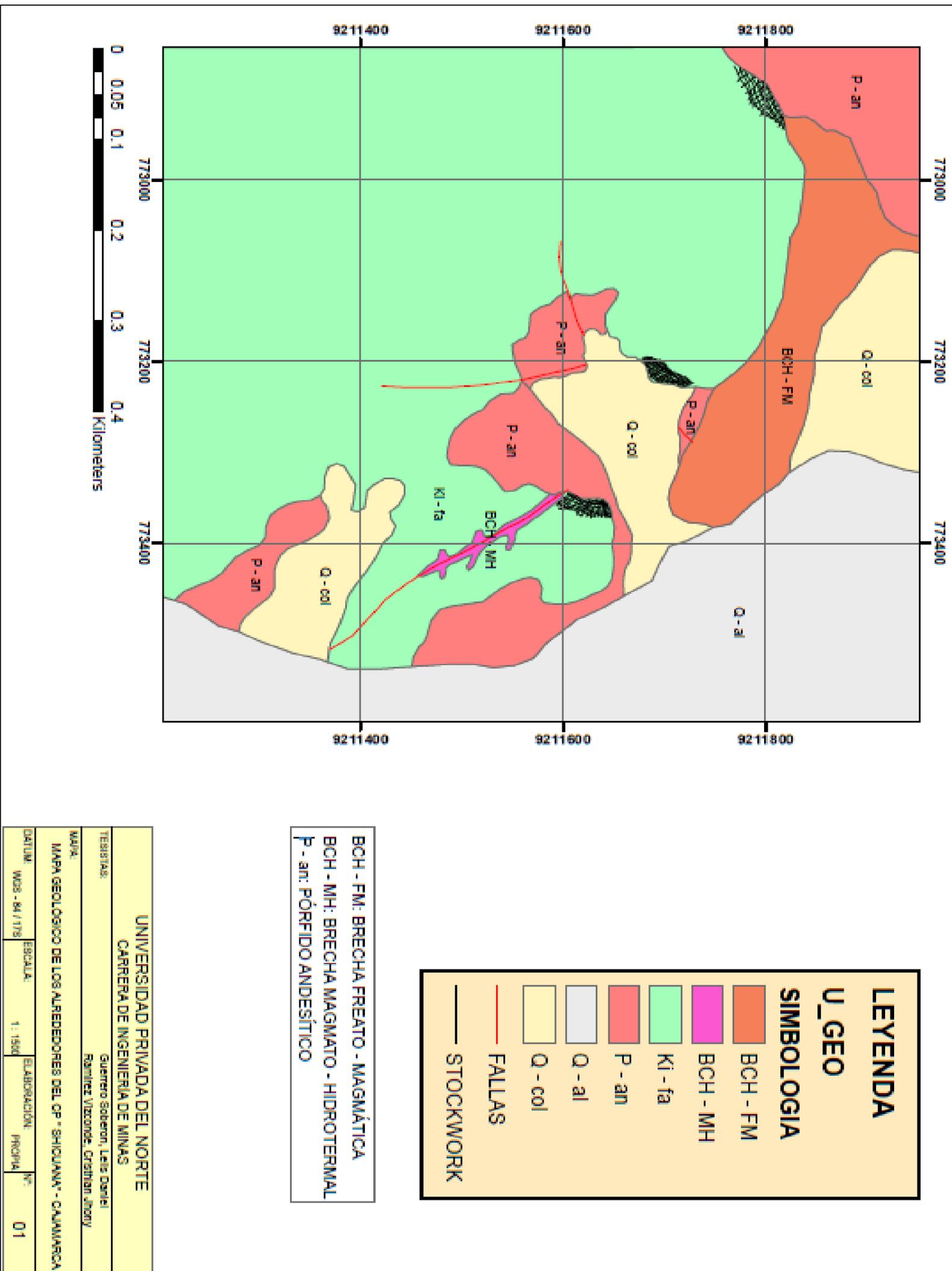


Figura 1: Plano geológico de la zona de estudio

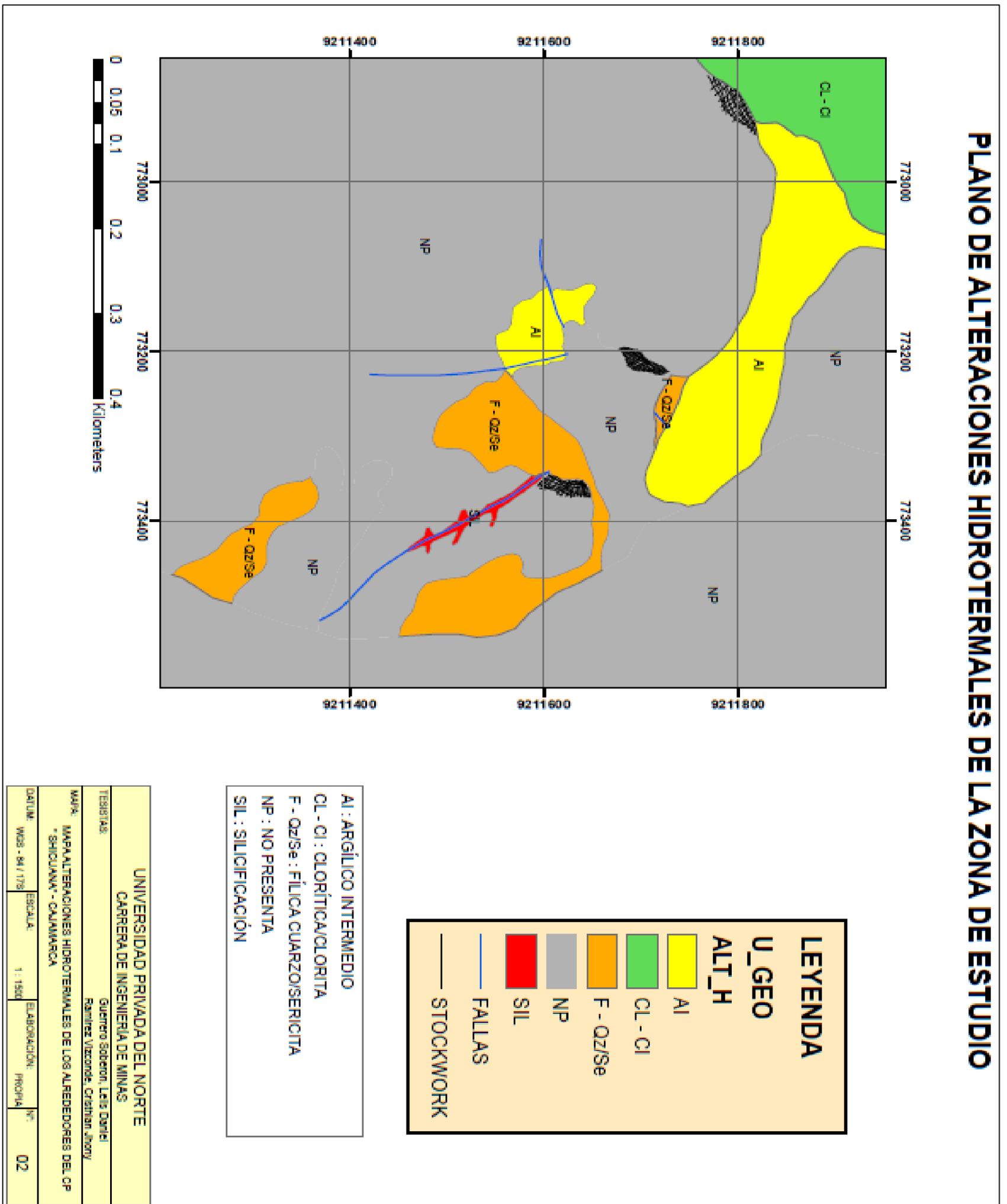


Figura 2: Plano alteraciones hidrotermales de la zona de estudio.

### 3.1. Aplicación de máscaras de vegetación

Esta técnica se utilizó para minimizar el efecto de la vegetación sobre las demás cubiertas de suelo y roca utilizando una máscara para vegetación por las características espectrales de la misma en las diferentes bandas de la imagen ASTER, para lo cual se procedió a generar una máscara de vegetación en base al índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para excluir del análisis aquellas áreas con una elevada cobertura vegetal con un NDVI mayor que 0.3.

El cálculo del NDVI en una imagen ASTER se determina con las bandas del NIR y la banda R en el rango de longitudes de onda del infrarrojo cercano y R de la banda roja, estos valores de NDVI son adimensionales y están en un intervalo de -1 a 1.

$$NDVI = \frac{B3N - B2}{B3N + B2}$$

**Dónde:**

NDVI: Índice de vegetación normalizada

B3N: Banda NIR del infrarrojo cercano

B2: Banda R del rojo.

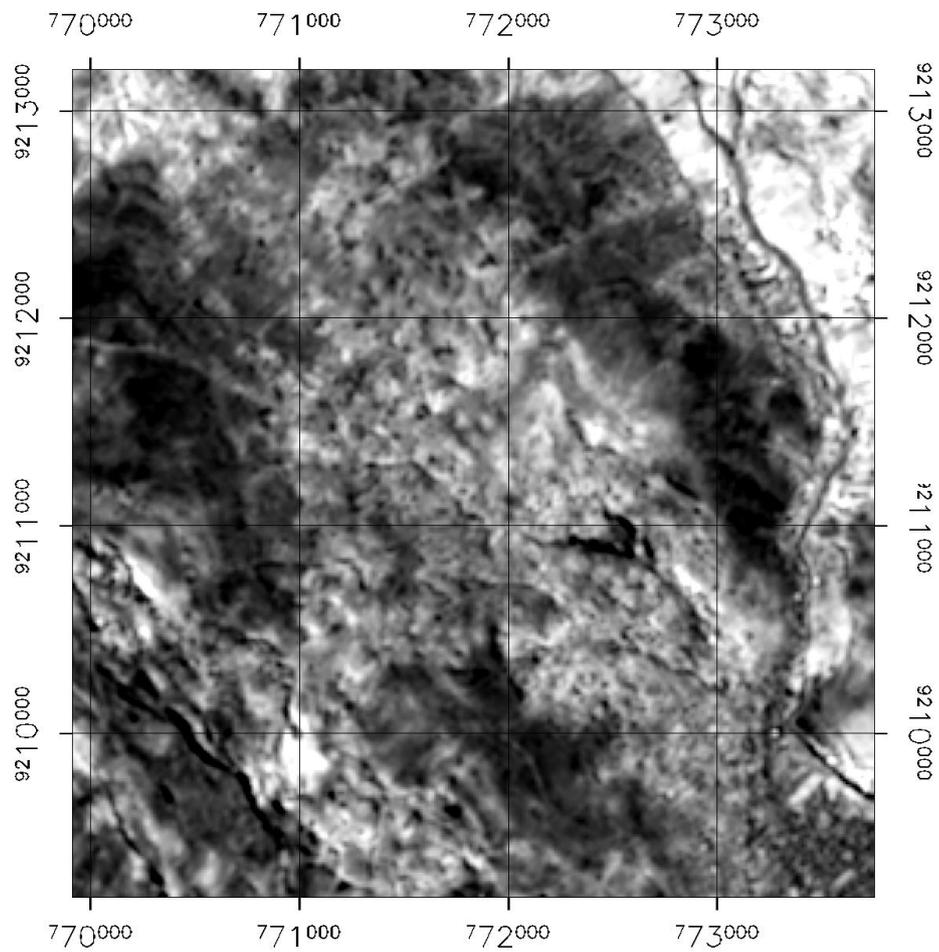


Figura 3: Imagen de la zona de estudio que muestra en tonos claros las cubiertas vegetales de la zona de estudio.

Posteriormente se construyó una máscara de vegetación en base al NDVI, tomando en cuenta que los valores de NDVI superiores a 0.3, que corresponden a la vegetación y pueden enmascararse para retirarla del proceso de análisis de minerales de alteración hidrotermal.

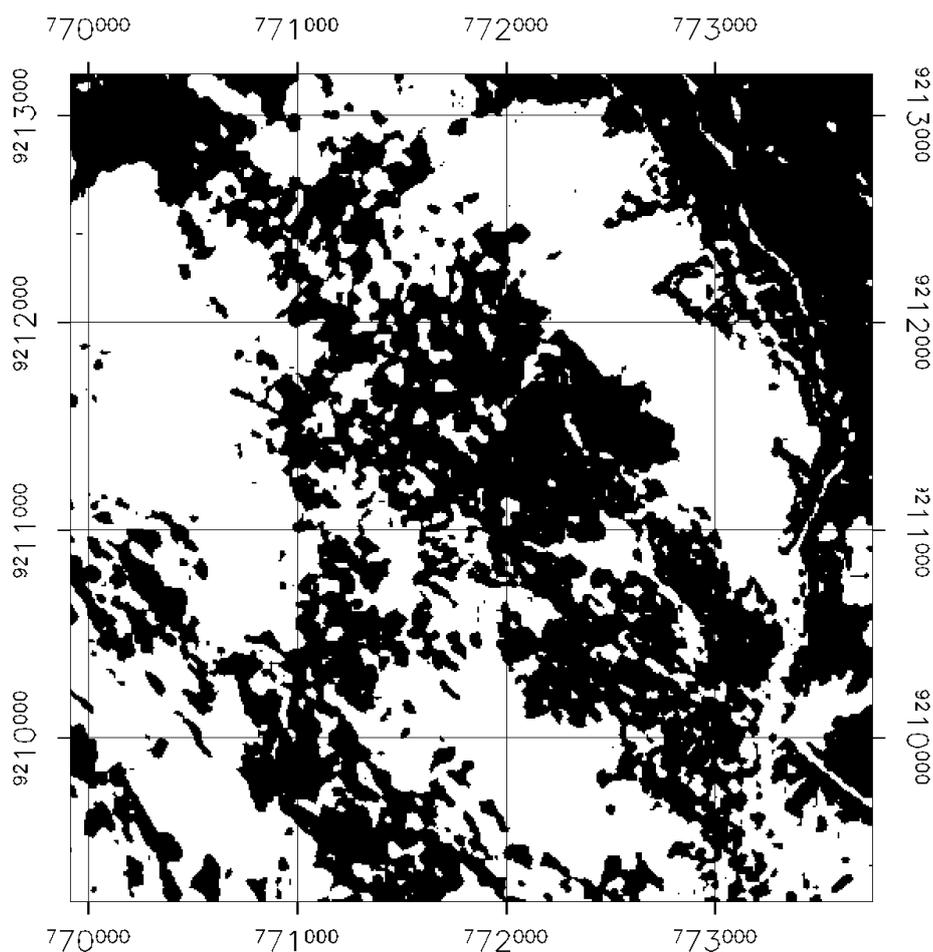


Figura 4: Mascara de vegetación de la zona de estudio que muestra en color negro las zonas con mayor cobertura vegetal.

Posteriormente se aplica esta máscara de vegetación a las nueve bandas de la imagen ASTER para enmascarar la vegetación y anular el efecto espectral de esta sobre las demás cubiertas.

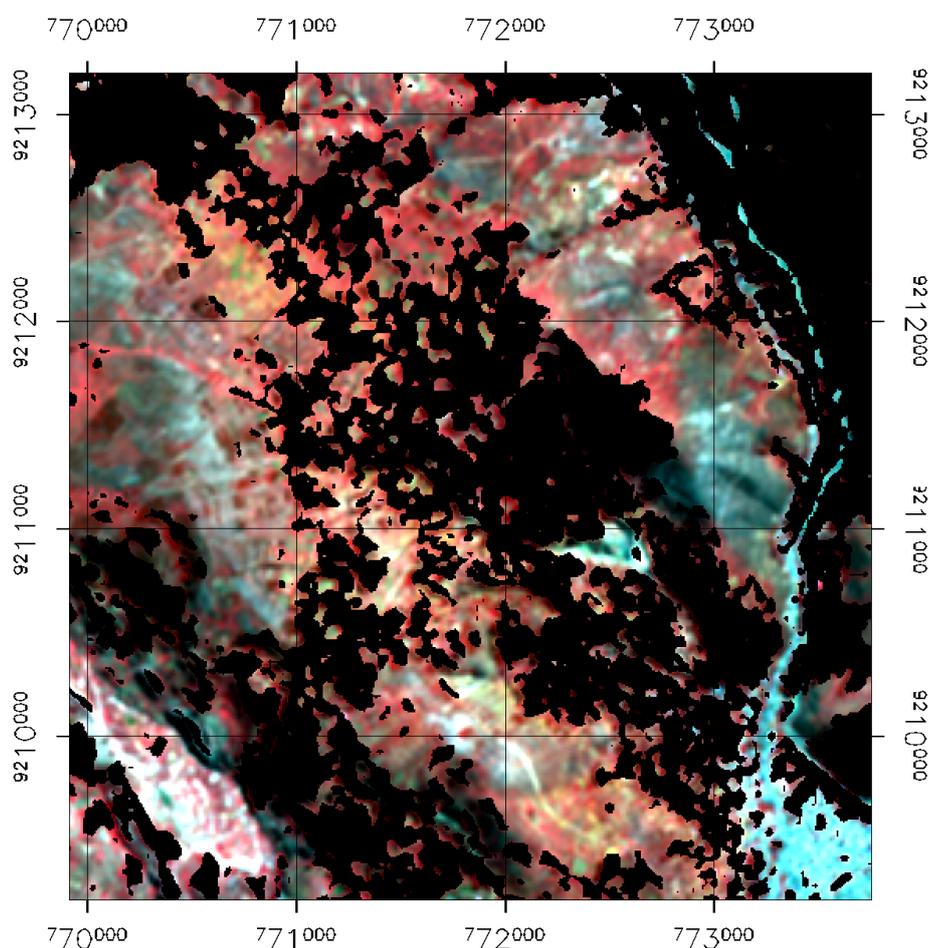


Figura 5: Imagen ASTER en la combinación 3N,2,1 en RGB con aplicación de la máscara de vegetación donde solo se muestran las coberturas de suelos y rocas.

### 3.2. Interpretación de la alteración hidrotermal por ratios

Se realizó la combinación de las ratios 2/1, 4/6 y 5/8 en los canales RGB, al igual que una combinación normal entre bandas, teniendo como respuesta para este caso las zonas de oxidación, zonas con minerales que contienen el enlace Al – OH (grupo de

la caolinita, esmectitas y sericita) y zonas que no presentan alteración hidrotermal o presentan alteración no ácida (alteración clorítica), representados por los colores rojo, verde y azul respectivamente .

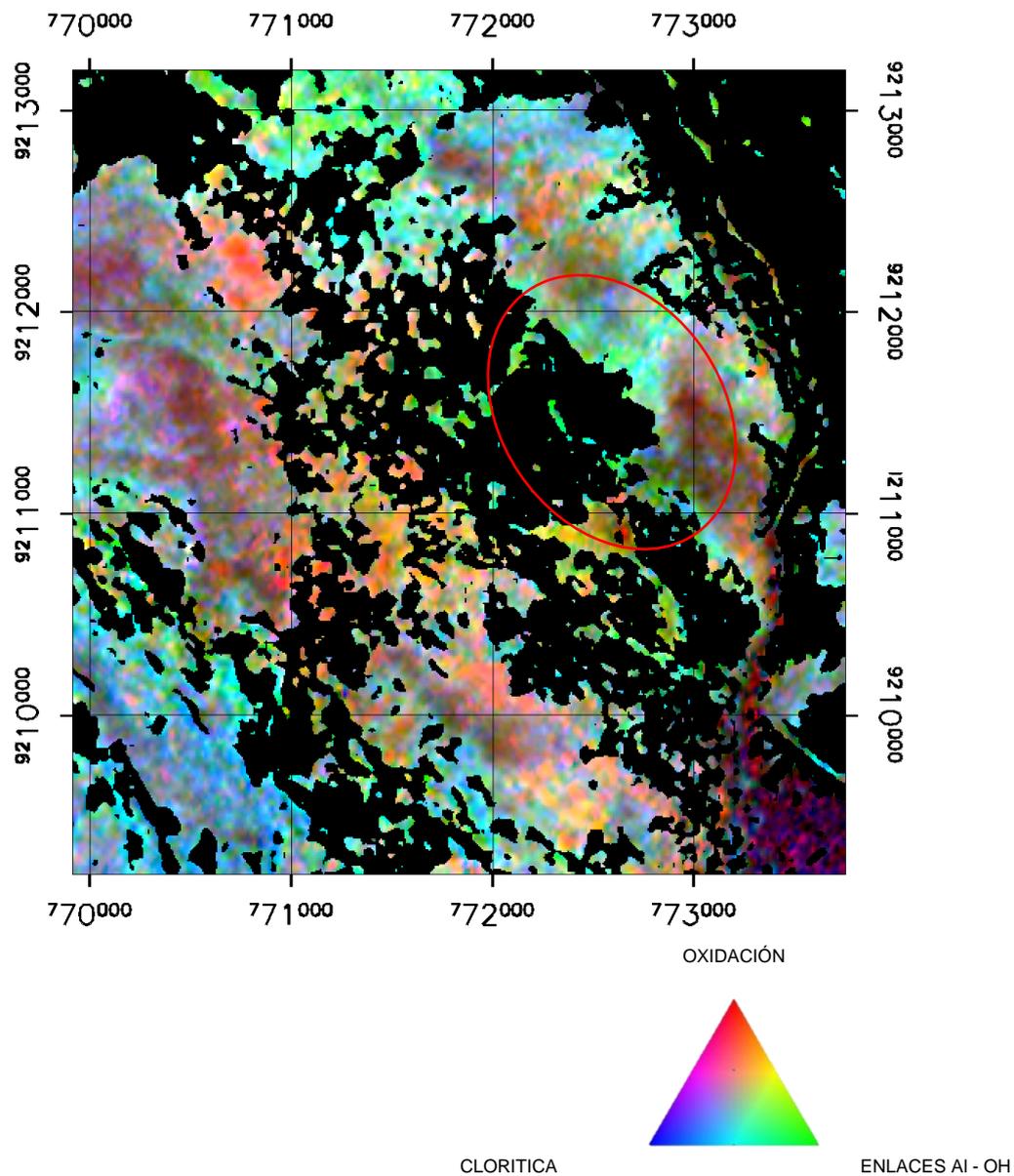


Figura 6: Cociente de bandas 2/1, 4/6 y 5/8 en RGB, mostrando la presencia de zonas de oxidación, alteración filica/argílica y zona con alteración clorítica en colores rojo, verde y azul respectivamente, en la zona de estudio.

El análisis de ratios muestra zonas con presencia de minerales que presentan el enlace Al – OH presente mayormente en las alteraciones hidrotermales fílica y argílica (coloraciones verdosas en la zona encerrada por el círculo), que corresponde al ratio 4/6, donde en la banda 4 reflejan los minerales que contienen el enlace Al – OH y hacia la banda 6 absorben.

Los resultados del análisis de cocientes de bandas serán contrastados con el análisis de índices mineralógicos propuestos por Ninomiya (2004), para tener una mayor fiabilidad en la interpretación de las alteraciones hidrotermales.

### **3.3. Índices mineralógicos para detección de minerales de alteración hidrotermal**

Para la utilización de los índices mineralógicos propuestos por Ninomiya (2004), se utiliza el subsistema SWIR (1.5 $\mu$ m – 2.4 $\mu$ m) de los datos Aster, tomando en cuenta las características espectrales de algunos minerales típicos de las alteraciones hidrotermales como la illita, montmorillonita y sericita presentan picos de absorción en la banda 6 de ASTER, mientras que la pirofilita presenta un pico de absorción característico en la banda5, por otra parte minerales como la caolinita y la alunita presentan picos de absorción característicos en las bandas 5 y 6, por lo tanto tomando en cuenta éste análisis se realizó la estimación cualitativa de la presencia de dichos minerales presentes en la alteración hidrotermal.

Tabla 01: índices mineralógicos propuestos por Ninomiya (2004), tomando en cuenta el álgebra de bandas espectrales ASTER.

<b>OHI(a):</b>	$(\text{banda4} * \text{banda7}) / (\text{banda6} * \text{banda6})$
<b>OHI(b):</b>	$(\text{banda4} * \text{banda7}) / (\text{banda5} * \text{banda5})$
<b>ALI:</b>	$(\text{banda7} * \text{banda7}) / (\text{banda5} * \text{banda8})$

El índice OHI(a) identifica minerales que presentan fuertes picos de absorción en la banda 6, mientras que el índice OHI(b) permite la identificación de minerales que presentan fuertes picos de absorción en la banda 5; el índice ALI permite distinguir alunita por su pico de absorción en la banda 8, por lo que se los puede distinguir en base a sus características espectrales.

A continuación, se muestra el resultado del análisis por índices mineralógicos:

ÍNDICE OH<sub>Ia</sub>: Muestra en tonos brillantes los sectores que presentan el ion oxhidrilo (OH<sup>-</sup>) presente en los minerales del grupo de la illita – montmorillonita – esmectitas cuyos rasgos de absorción se presentan en las bandas espectrales 6 del sensor ASTER.

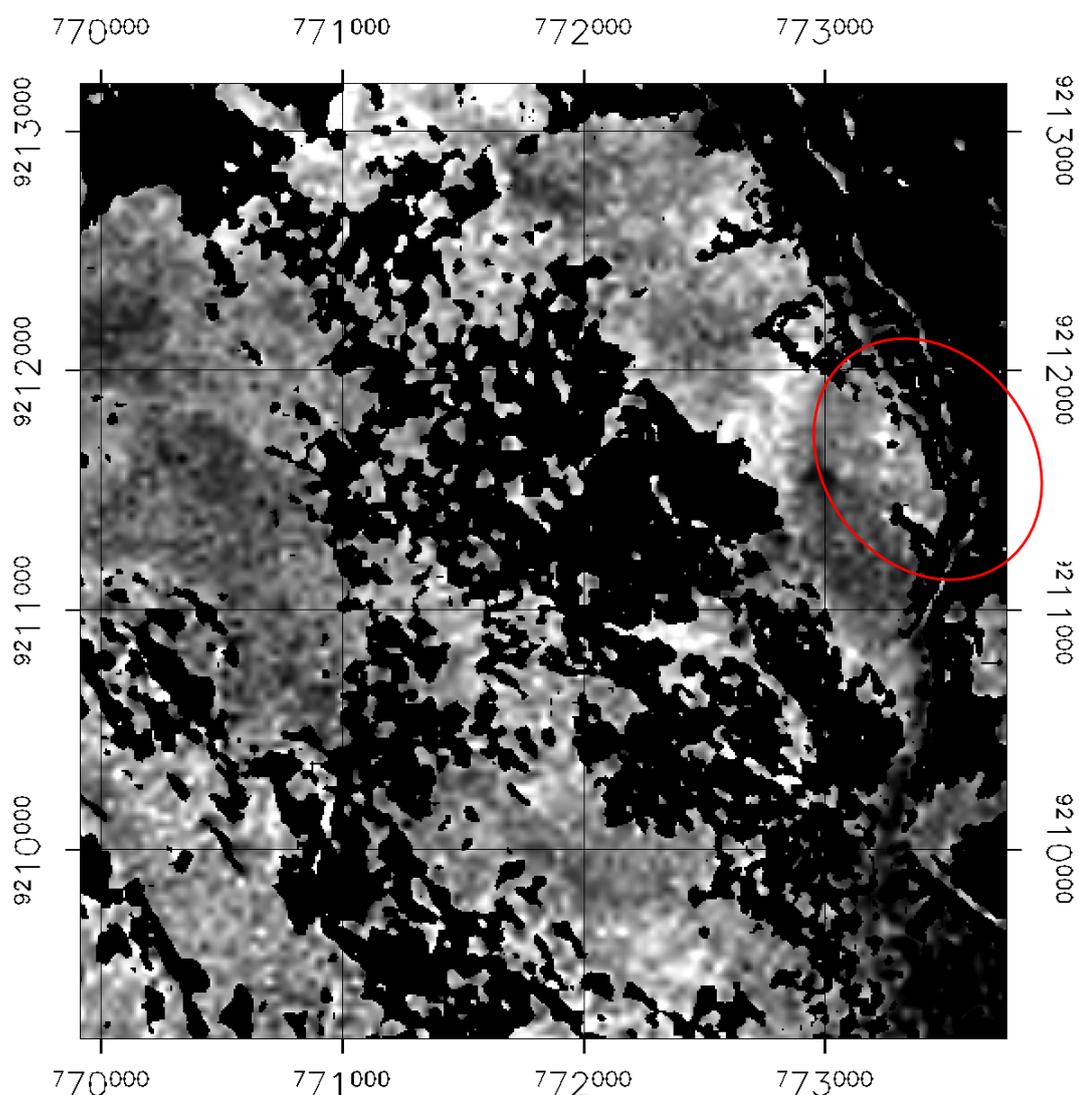


Figura 7: Imagen del índice OH<sub>Ia</sub>, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo.

ÍNDICE OHb: Muestra en tonos brillantes los sectores que presentan el ion oxhidrilo (OH-) presente en los minerales del grupo de la pirofilita – caolinita – alunita, cuyos rasgos de absorción se presentan en las bandas espectrales 5 del sensor ASTER.

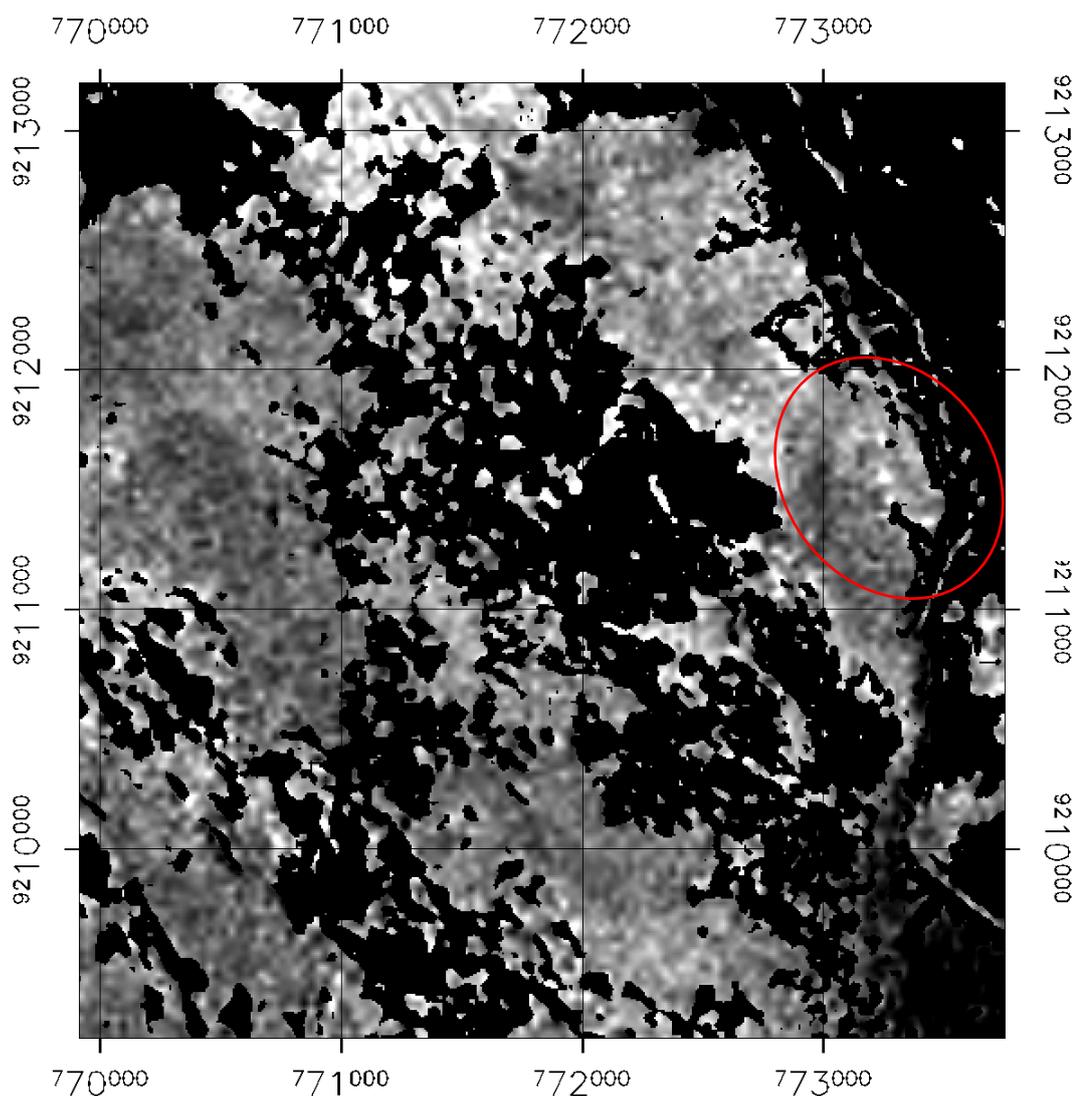


Figura 8: Imagen del índice OHb, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo.

ÍNDICE ALI: Muestra en tonos brillantes los sectores que presentan el mineral alunita en particular, cuyos rasgos de absorción se presentan en las bandas espectrales 5 y 8 del sensor ASTER.

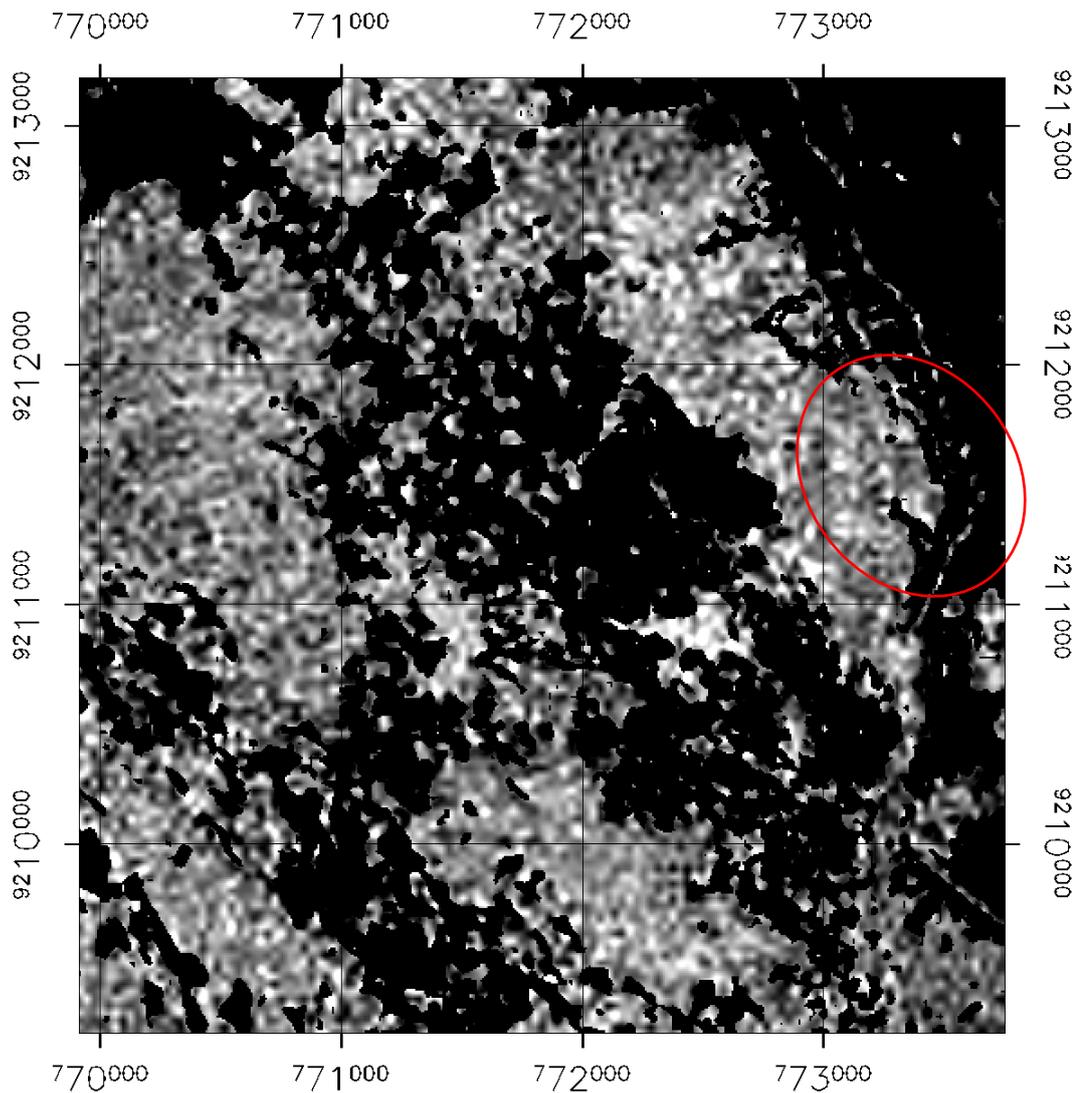


Figura 9: Imagen del índice ALI, encerrando en color rojo la zona de interés prospectivo.

Por último, se realizó una combinación de los tres índices de Ninomiya (ALI, OHa y OHb), en los canales RGB respectivamente, generando una imagen en falso color como se muestra a continuación:

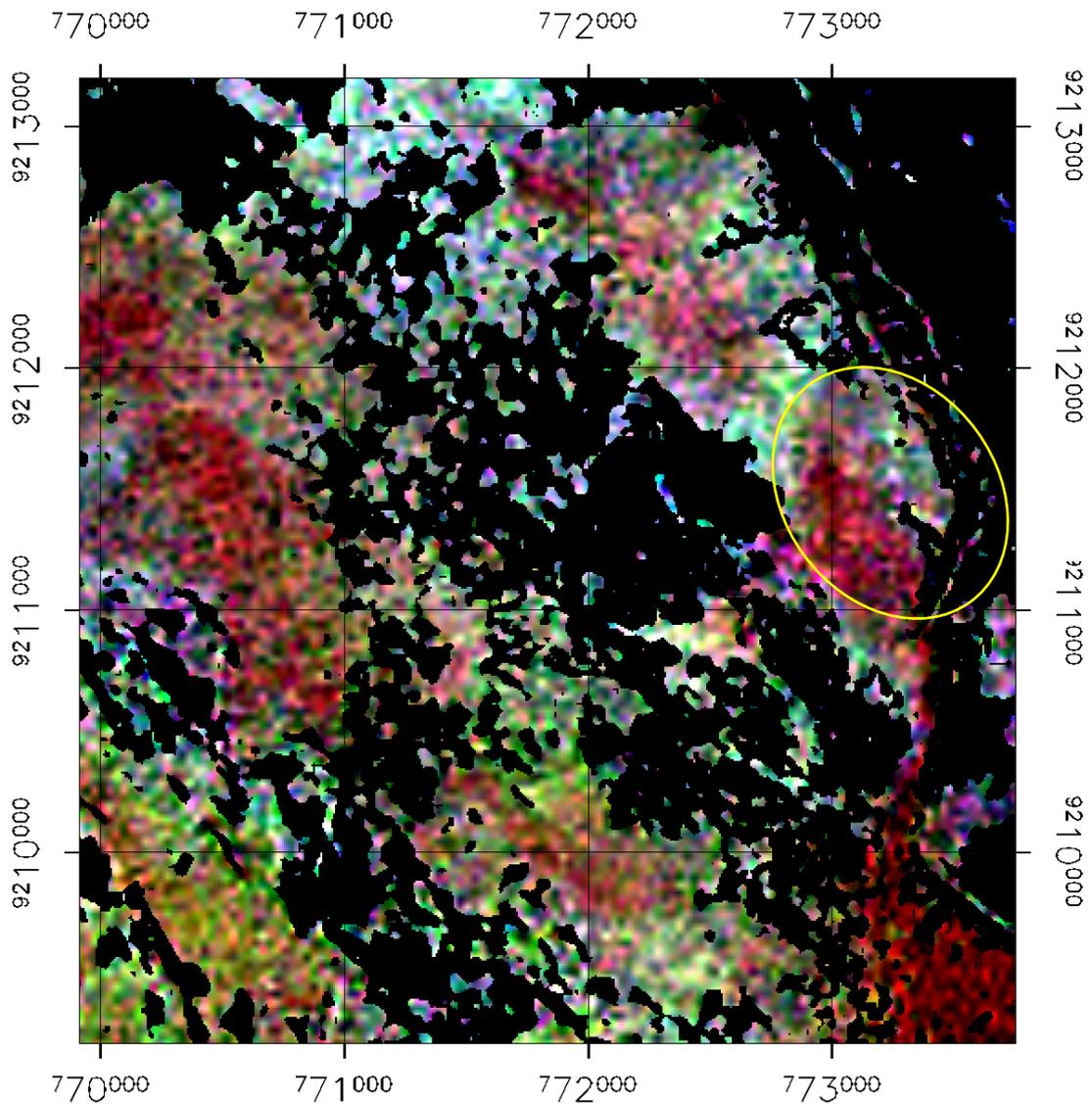


Figura 10: Combinación de los tres índices de Ninomiya (ALI, OHa y OHb), en RGB respectivamente, mostrando en el círculo amarillo la zona de interés.

Esta combinación de bandas para los índices mineralógicos de Ninomiya, el color final de cada alteración corresponde a la abundancia relativa de los distintos grupos de minerales de los distintos grados de alteración hidrotermal.

Se puede observar que en la zona encerrada por el círculo amarillo (zona de interés), predominan los tonos rojizos y los verdosos. Los tonos verdosos indican la presencia de zonas con alteración fílica - argílica moderada/intermedia (presencia de minerales como la sericita – montorillonita – illita - esmectita y escasa caolinita) debido a la respuesta espectral de estos minerales en la b6 y b7, por último, los tonos rojizos indican la presencia de zonas con alteración argílica avanzada con mayor presencia de minerales como la caolinita y la alunita, debido a la respuesta espectral de estos minerales en la b5 y b7.

#### **3.4. Mapeo mineralógico utilizando el método MTMF**

El MTMF (Mixture Tuned Matched Filtering) es una técnica de clasificación hiperspectral que mapea abundancias de endmembers en la escala del sub-píxel y utiliza un filtro de ajuste (Matched Filter) para maximizar la respuesta del endmember conocido y suprimir la respuesta de los minerales desconocidos considerados de fondo. Esto proporciona un medio rápido de detección de materiales específicos con base en el ajuste a firmas espectrales provenientes de bibliotecas espectrales o imágenes, y no requiere conocimientos de todos los endmembers de una imagen.

Este algoritmo, realiza una desmezcla parcial del píxel mediante la identificación de la abundancia de un solo endmember definido por el usuario (librerías espectrales de

minerales puros), maximizando la respuesta de los endmembers de interés y minimizando la respuesta de los background desconocidos.

Los resultados de MTMF se pueden presentar en forma de imágenes en escala de grises con valores entre 0 y 1 los cuales proporcionan un medio de estimar la abundancia mineral, mostrando el predominio de minerales espectralmente puros en cada píxel.

### **3.5. Selección de los Endmembers**

Se seleccionaron como endmembers a firmas espectrales de minerales puros y más abundantes asociados a zonas de alteración hidrotermal que se encuentran en la librería espectral de la USGS.

Los espectros de dichos minerales son los pertenecientes al grupo de las esmectitas, caolinita – pirofilita y la alunita que llevan en su estructura mineralógica el enlace Al - OH, que están presente en zonas de alteración hidrotermal y por alteración supérgena en zonas mineralizadas.

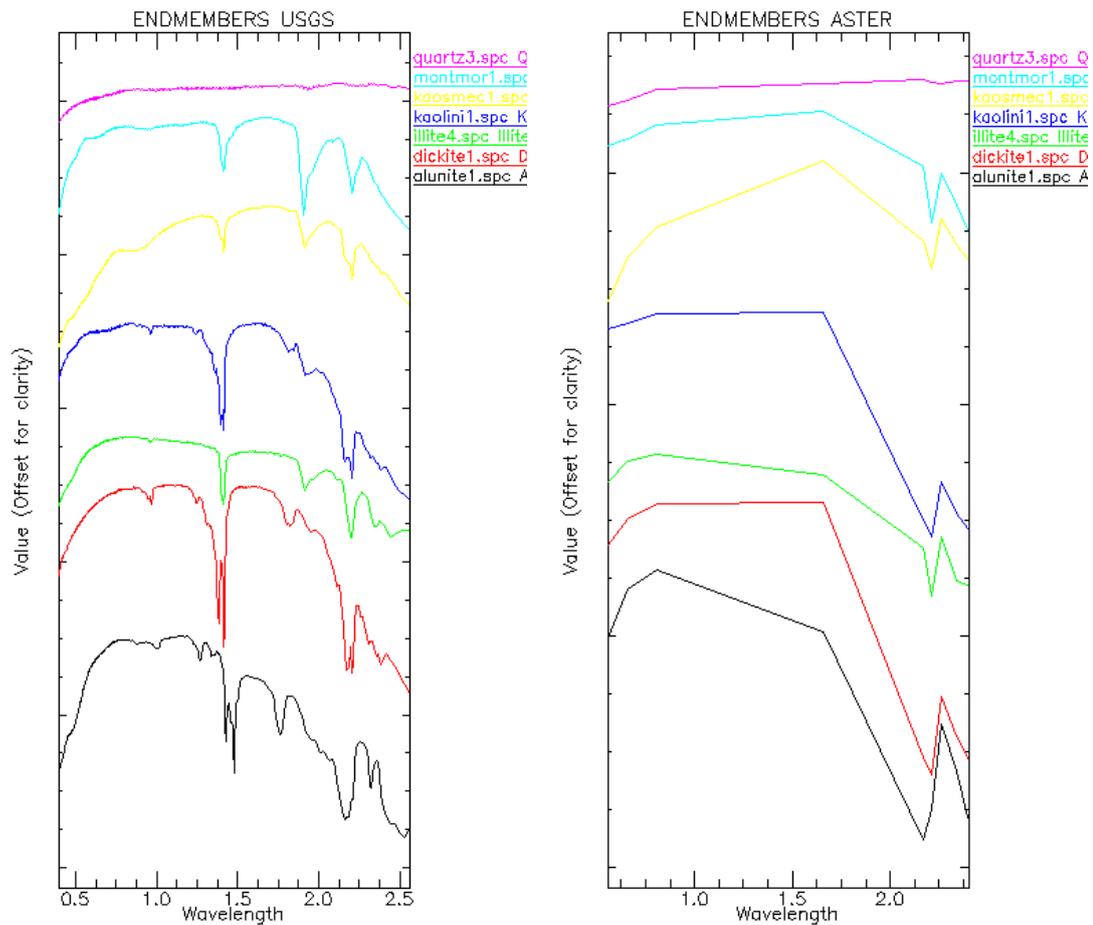


Figura 11: Firmas espectrales (endmember) de minerales puros que contienen el enlace Al – OH y que se encuentran presentes en la alteración argílica moderada/intermedia –avanzada. A la izquierda firmas espectrales de la librería espectral USGS, a la derecha sus equivalentes para las bandas del sensor ASTER.

### **3.6. Resultados del mapeo espectral e identificación de minerales de alteración hidrotermal**

El análisis por cociente de bandas e índices mineralógicos de Ninomiya determinaron la presencia de zonas con minerales que presentan el enlace Al – OH en su estructura y que se encuentra en rocas afectadas por alteración hidrotermal en el área de interés.

Se aplicó el mapeo espectral con el método MTMF el cual, por un análisis estadístico comparativo, nos arroja la presencia de pixeles que corresponden a zonas cuyos espectros coinciden con espectros de minerales de alteración hidrotermal correspondientes a la alteración argílica moderada/intermedia y argílica avanzada.

### **3.7. Identificación de minerales de alteración argílica moderada/intermedia**

El análisis estadístico comparativo realizado por comparación espectral entre los endmembers seleccionados y los pixeles resultantes de la aplicación del método de mapeo espectral MTMF, nos arrojan los siguientes resultados:

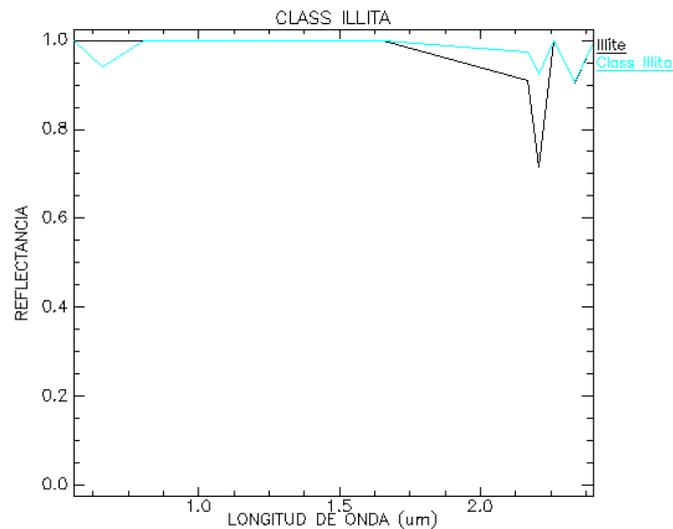


Figura 12: Comparación de la firma espectral del endmember illita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a la illita.

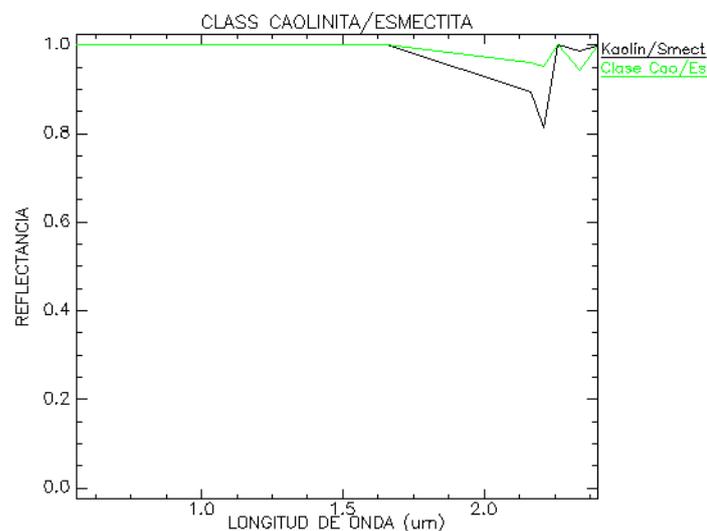


Figura 13: Comparación de la firma espectral del endmember kaolinita/esmeclita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a la caolinita/esmeclita.

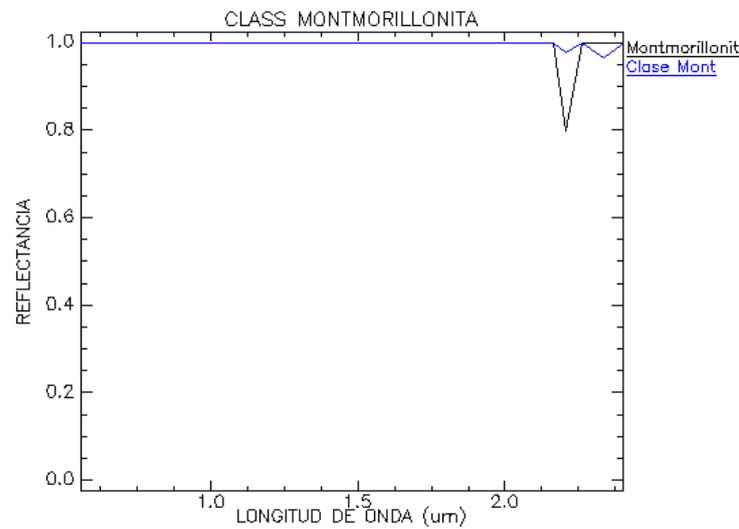


Figura 14: Comparación de la firma espectral del endmember montmorillonita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a la montmorillonita.

### 3.8. Identificación de minerales de alteración argílica avanzada

El análisis estadístico comparativo realizado por análisis espectral entre los endmembers seleccionados y los píxeles resultantes de la aplicación del método de mapeo espectral MTMF, nos arrojan los siguientes resultados:

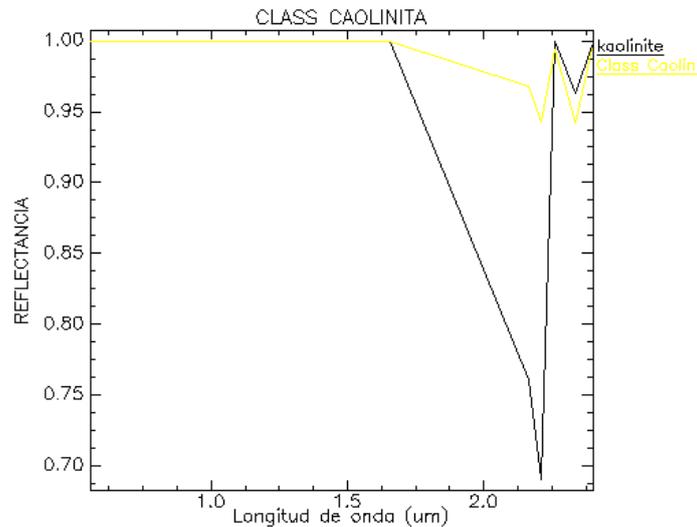


Figura 15: Comparación de la firma espectral del endmember caolinita (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los pixeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.2090 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a caolinita.

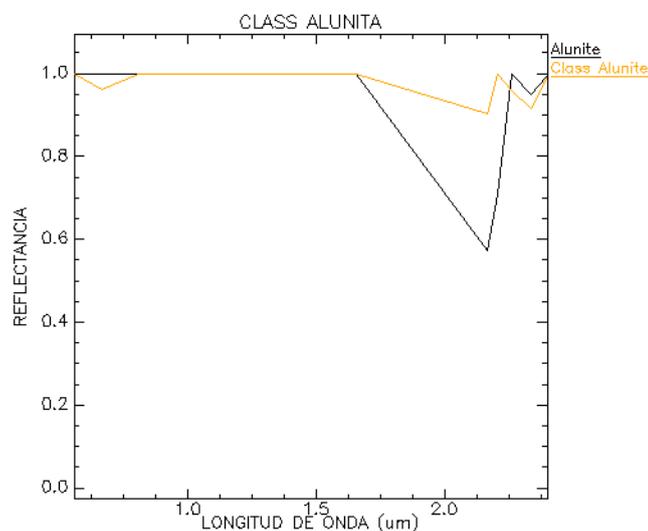


Figura 16: Comparación de la firma espectral del endmember alunite (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los pixeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica moderada/intermedia. Se observa los máximos picos de absorción en la longitud de onda de 2.1670 micrones que es donde absorben los enlaces Al – OH que corresponden a alunite.

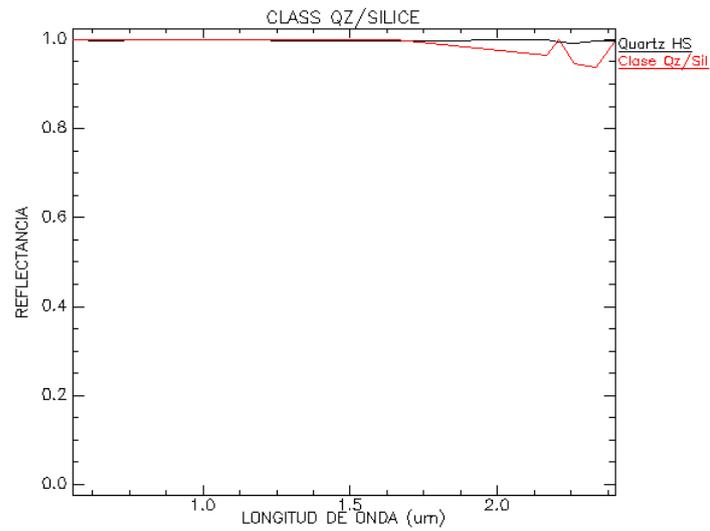


Figura 17: Comparación de la firma espectral del endmember Cuarzo HS (librería USGS) con el promedio de las firmas espectrales de los píxeles de la subescena (método MTMF), correspondientes a la alteración hidrotermal argílica avanzada. Se observan picos de absorción en la longitud de onda de 2.2620 y 2.3360 micrones que corresponden al cuarzo.

Posteriormente se mapeó la abundancia y distribución de los minerales encontrados dentro de la subescena ASTER correspondiente a la concesión estrella 3, como se muestra en la figura 18:

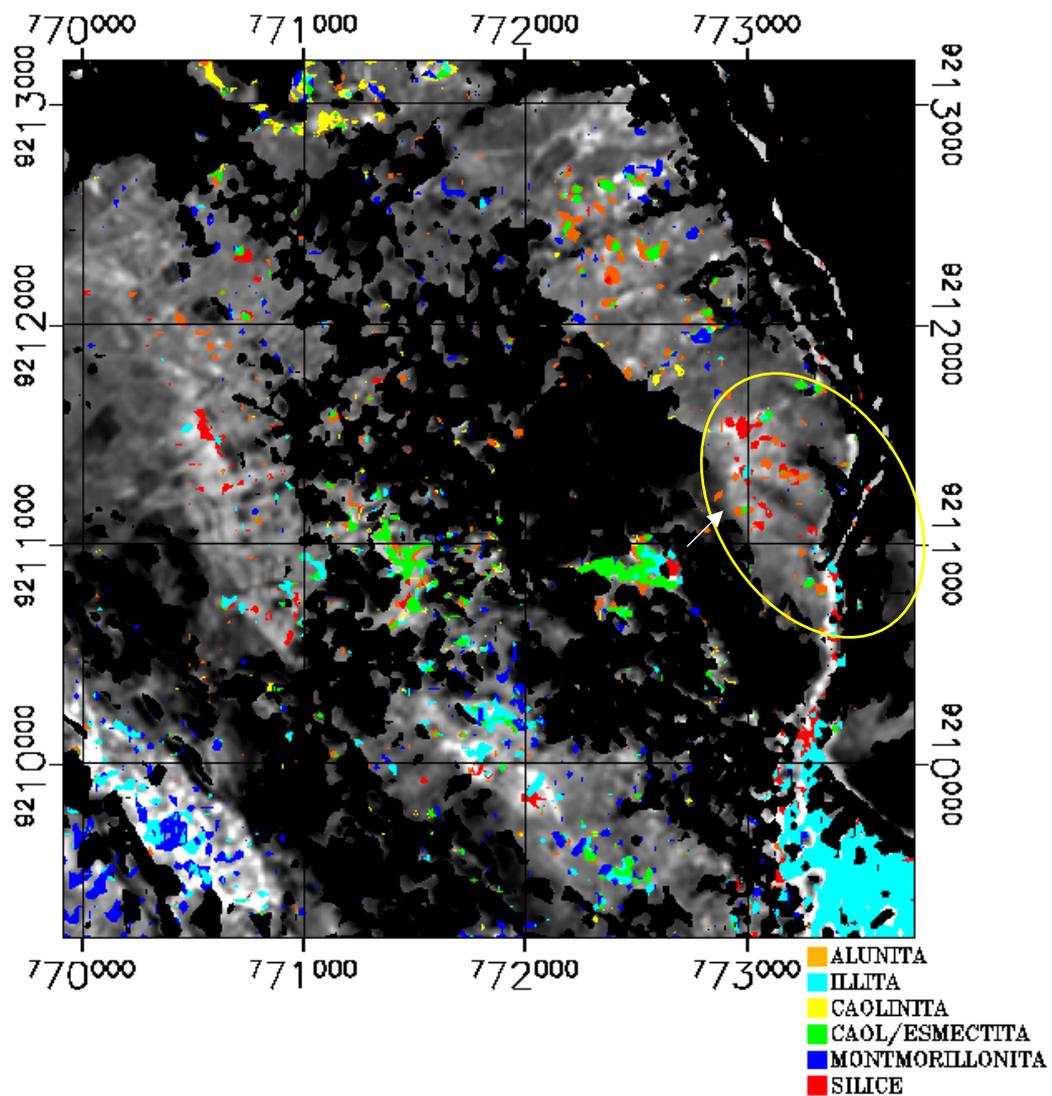


Figura 18: Mapeo espectral de los endmember encontrados en la subescena ASTER, que nos muestra la distribución de minerales de alteración argílica moderada/intermedia - avanzada.

### **3.9. Discusión de los resultados del análisis de la imagen ASTER**

La abundancia y distribución de minerales de alteración hidrotermal guardan correspondencia con el análisis por cocientes de bandas y el análisis por índices de Ninomiya, donde se detectaron minerales que corresponden a la alteración argílica moderada/intermedia y la alteración argílica avanzada, como muestran los resultados del análisis espectral.

El análisis espectral se realizó tomando como base los principales minerales presentes en zonas con alteración hidrotermal fueron extraídos de las librerías espectrales de la USGS, muestran correlaciones con minerales de la alteración argílica moderada/intermedia (illita, montmorillonita, esmectitas), y argílica avanzada (caolinita, alunita, sílice), distribuidos puntualmente en la zona de estudio; además no se presentan rasgos espectrales significativos de minerales producto de la alteración clorítica, ni rasgos espectrales significativas de minerales oxidados producto del intemperismo de zonas mineralizadas en la zona de estudio, utilizando los métodos de análisis visual y ratios.

Se puede observar que, en todos los análisis espectrales, los máximos picos de absorción en la región del SWIR de los minerales encontrados en la subescena con los comparados de la librería USGS, muestran poca profundidad y agudeza en el rasgo de absorción, esto se debe a la pérdida de cristalinidad de los minerales producto del intemperismo y transformaciones en otras especies minerales, lo que nos puede indicar que en la zona de estudio no se encuentran minerales espectralmente puros, por el contrario se encontrarán tipos de asociaciones

minerales (formación de suelos) que guardan relación con minerales de alteración hidrotermal.

### 3.10. Validación en campo de los resultados del análisis espectral de los datos aster

PUNTO 1:

N: 9211721.37

E: 773231.16

Zona de oxidación en cuerpo intrusivo con alteración fílica/argílica moderada, bastante afectada por intemperismo, presenta mezcla de arcillas con limonitas, en tonos naranjas y amarillentos.



Figura 19: Cuerpo intrusivo con alteración fílica – argílica moderada oxidado.

PUNTO 2:

N: 9211743.45

E: 773220.64

Brecha freato – magmática con presencia de alteración argílica intermedia -  
avanzada, presenta clastos angulosos de areniscas, en una matriz pulverulenta de  
arcillas y limonitas, también presenta sílice oquerosa y alunita



Figura 20: Brecha freato – magmática con alteración argílica intermedia/avanzada.

PUNTO 3:

N: 9211546.18

E: 773476.36

Cuerpo intrusivo con alteración fílica, presenta venillas de cuarzo oxidado con presencia de goetita (stockwork), y abundante sericita, la zona presenta fuerte intemperismo por lo cual no se observa la textura de la roca.

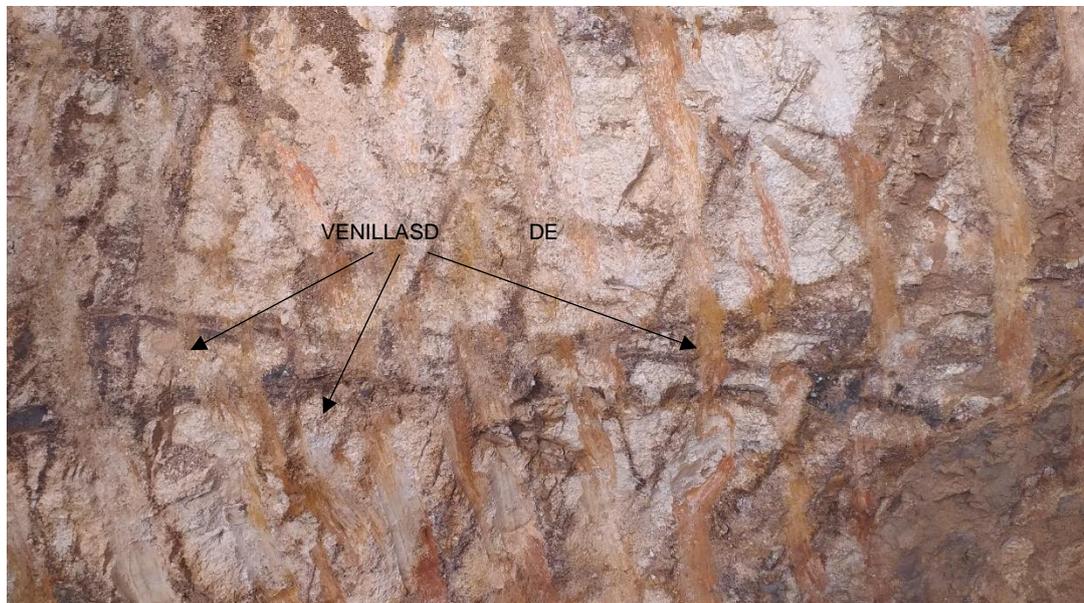


Figura 21: Cuerpo intrusivo con alteración fílica con presencia de enjambre de vetillas (stockwork).

PUNTO 4:

N: 9211613.98

E: 773301.40

Enjambre de vetillas de cuarzo oxidado(stockwork) en roca arenisca de la formación  
Farrat.



Figura 22: Areniscas de la formación Farrat con presencia de enjambre de vetillas  
(stockwork).

PUNTO 5:

N: 9211870.07

E: 772927.39

Pórfido andesítico con delgadas venillas de cuarzo y con alteración clorítica débil  
sobre las biotitas.



Figura 23: Cuerpo intrusivo con alteración clorítica débil con presencia de pequeñas  
vetillas de cuarzo.

PUNTO 6:

N: 9211519.00 m S

E: 773348.00 m E

La matriz presenta hematitas y limonitas y se encuentra débilmente silicificada.



Figura 24: Brecha magmato - hidrotermal con matriz débilmente silicificada.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Discusión

Los resultados del análisis espectral determinó la presencia de minerales de alteración hidrotermal que contienen enlace Al – OH presente en las arcillas como las del grupo de la caolinita y las esmectitas, que muestran fuertes absorciones en la longitud de onda de 2.2090  $\mu\text{m}$  correspondiente a la b6 del sensor ASTER, además se determinó la presencia de alunita que muestran fuertes absorciones en la longitud de onda de 2.1670 $\mu\text{m}$  correspondiente a la B5 del sensor ASTER y cuarzo/sílice que muestran fuertes absorciones en la longitud de onda de 2.2620 $\mu\text{m}$  correspondiente a la B7 del sensor ASTER

Los resultados del mapeo en campo presentan áreas con alteración fílica, argílica moderada/intermedia, y argílica avanzada relacionado con brechas y stock en areniscas. Además, se reconocieron zonas donde se encuentra el pórfido andesítico intemperizado con alteración clorítica débil.

Los ensambles mineralógicos identificados en campo son:

Qz en vetillas con sericita en cuerpos con alteración fílica.

Arcillas en la matriz de brechas freato magmáticas: Argílica moderada/intermedia.

Ensamble caolinita – alunita – sílice en brechas freato-magmáticas: Argílica intermedia/avanzada.

Silicificación e brechas magmato – hidrotermales y stock en areniscas.

Cloritización de biotitas en el pórfido andesítico.

En la zona de estudio se ha reconocido zonas con brechas hidrotermales relacionadas con sistemas intrusivos sub-volcánicos:

Brechas magmato – hidrotermales: con matriz triturada y débilmente silicificada.

Brechas freato – magmáticas: con matriz fina alterada a arcillas y presencia de alunita (alteración argílica intermedia/avanzada).

## 4.2. Conclusiones

Los datos ASTER y el análisis espectral permitieron discriminar asociaciones minerales de alteración hidrotermal como son cuarzo/alunita, cuarzo/sericita y las esmectitas.

El análisis espectral no se logró identificar concentraciones anómalas de óxidos de hierro.

El mapeo espectral por el método MTMF nos permitió identificar y cartografiar minerales de alteración hidrotermal para poder identificarlos en campo.

La sílice identificada en el análisis espectral corresponde a brechas magmato – hidrotermales y a zonas de stockwork en areniscas de la formación Farrat.

La alteración fílica en la zona de estudio es la más predominante y se encuentra afectando en su gran mayoría a todos los afloramientos del cuerpo intrusivo, pero en la mayoría de la zona de estudio está bastante afectada por intemperismo, por lo que muchos minerales típicos de la alteración fílica están variando su estructura mineralógica hacia arcillas, por lo que en el análisis espectral identifica arcillas del grupo de las esmectitas (illita, montmorillonita, caolín/esmectita).

En la parte norte de la zona de estudio se encuentra un pequeño afloramiento del cuerpo intrusivo bastante afectado por intemperismo, el cual se encuentra con una débil alteración clorítica que afecta a las biotitas del cuerpo intrusivo.

### **4.3. Recomendaciones**

Se recomienda realizar espectrometría de reflectancia TERRASPEC, para identificar mejor los ensambles mineralógicos y complementar estos estudios con los análisis hechos a las imágenes ASTER.

Se recomienda campañas de exploración para reducir las áreas de interés de la zona de estudio, para realizar prospección geofísica, geoquímica para una posterior evaluación de la factibilidad de la zona de interés.

## REFERENCIAS

Arenas C. (2016). *Aplicación de la Teledetección en la exploración geo minera y de recursos naturales*. Universidad de Oviedo. España.

Azurra, Castro Godoy, Kaku, Kohno, & Marín. (2003). *Procesamiento y productos ASTER del área de Sierra de Famatina, Provincia de La Rioja, República Argentina*

Azurra, D., Marin, G., Kaku, M., Kohno, I., & Godoy, S. (2003, 5-10 de abril). Procesamiento y productos ASTER del área de sierra de Famatina, provincia de la rioja, Republica de Argentina. Anais XI SBSR. Belo Horizonte, Brasil. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/43653273\\_Procesamiento\\_y\\_productos\\_ASTER\\_del\\_area\\_de\\_Sierra\\_de\\_Famatina\\_Provincia\\_de\\_La\\_Rioja\\_Republica\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/43653273_Procesamiento_y_productos_ASTER_del_area_de_Sierra_de_Famatina_Provincia_de_La_Rioja_Republica_Argentina)

BRODIE, F. A. (2003). Depósitos epitermales en Patagonia, Argentina, usando imágenes ASTER. Brazil: International Journal of Remote Sensing.

Carrera LLaxa, D., & Terrones Mendoza, C. (2017). “PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL USANDO IMÁGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA - 2017. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de la teledetección espacial. Alcalá: Rialp,S.A.

Díaz Katherine (2012). Análisis de los sistemas Landsat ETM+ y Terra Aster como métodos de prospección de yacimientos minerales. Universidad Internacional de Andalucía. España.

Di Tommaso, I., & Rubinstein, N. (16-21 abril 2005). Mapeo de alteración hidrotermal a partir de datos ASTER. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (págs. p. 1765-1773). Goiânia, Brasil, INPE. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63578330/Di\\_Tomasso\\_\\_\\_Rubenstein\\_200520200609-68623-abwkvz.pdf?1591737043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMAPEO\\_DE\\_ALTERACION\\_HIDROTERMAL\\_A\\_PARTIR.pdf&Expires=1595095432&Signature=Bn2K~V9zdPgyN-AAIH](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63578330/Di_Tomasso___Rubenstein_200520200609-68623-abwkvz.pdf?1591737043=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMAPEO_DE_ALTERACION_HIDROTERMAL_A_PARTIR.pdf&Expires=1595095432&Signature=Bn2K~V9zdPgyN-AAIH)

Elizalde, J., Camus, E., Veloso, E., Aron, F., & Morata, D. (2018,18-20 de abril). Identificación Espectral de áreas con Potencial de Alteración Hidrotermal Utilizando Imágenes Aster en el Campo Geotérmico Licancura, Norte De Chile. XXV Congreso anual-Asociación Geotérmica mexicana, hola. Morelia, México. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/326982233\\_Identificacion\\_espectral\\_de\\_areas\\_c\\_on\\_potencial\\_de\\_alteracion\\_hidrotermal\\_utilizando\\_imagenes\\_ASTER\\_en\\_el\\_Campo\\_Geotermico\\_Licancura\\_Norte\\_de\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/326982233_Identificacion_espectral_de_areas_c_on_potencial_de_alteracion_hidrotermal_utilizando_imagenes_ASTER_en_el_Campo_Geotermico_Licancura_Norte_de_Chile)

Gonzaga Aguilar, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. Ecuador: Universidad Nacional de La Plata.

Gutiérrez C. (1993). *Teledetección geológica*. Universidad de Oviedo. España.

Hoyos, M., & Bazan, J. (2019). DETECCIÓN DE ÁREAS PARA Prospección minera metálica mediante el procesamiento de Imágenes satelitales ASTER en plan Porconcillo, Cajamarca 2019. tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2018). Teledetección. Obtenido de [https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes\\_satelitales\\_tl](https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes_satelitales_tl)

Kruse, F. A. (2004). Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections Using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, Colorado. Proceedings of 13th JPL Airborne Geoscience Workshop. Pasadena, CA, USA. Obtenido de [ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/04\\_docs/Kruse-JPL2004\\_ATM\\_Compare.pdf](ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/04_docs/Kruse-JPL2004_ATM_Compare.pdf)

Maggi, Bargiela, & Navone. (2009). *Comparación de la aplicación de imágenes ASTER y Landsat 5 TM para el mapeo de carbonatos en la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy*. Argentina.

Marchionni & Schalamuk, (2010). *Aplicación de la teledetección espacial óptica y de radar para el análisis geológico y la detección de áreas mineralizadas en el sector central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz*. Revista de la Asociación Geológica Argentina.

María, M., & Ortiz, M. (2016). Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014). Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.

Mamani, T. (2017). Aplicación de imágenes aster en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, sector titire, carumas, Moquegua. Tesis, Universidad Nacional Del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4231>

Ninomiya, Y. (2004). Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. proceedings of SPIE- The international society for optical engineering, 5234, págs. 180-190. Japan. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/253125670>

Novikova, J. (2004). Cartografía geológica con imágenes ASTER de depósitos tipo candelaria, Chile. Dialogo Andino. Obtenido de <http://dialogoandino.cl/wp-content/uploads/2016/07/DA-23-2004-01.pdf>

Ochoque, J. P. (2017). Aplicación de la teledetección en el avance de la explotación minera, centro poblado de Malenowski, distrito de Mazuco, región de Madre de Dios. Puno.

Origel, G., & Sánchez, E. (2010). Guía metodológica para la detección de áreas de alteración minera con imágenes ASTER. ResearchGate, 1-11. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Metodologia-de-Procesamiento-Digital-de-Imagenes-ASTER-para-la-deteccion-de\\_fig1\\_305467436](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Metodologia-de-Procesamiento-Digital-de-Imagenes-ASTER-para-la-deteccion-de_fig1_305467436)

Perez, D., Benites, P., & Godeas, M. (2010). Reconocimiento de alteración hidrotermal con el sensor ASTER, en el curso medio del Río Santa Cruz (34°40's), provincia de San Juan. Revista de la Asociación Argentina, 623-633. Obtenido de <https://www.scienceopen.com/document?vid=2387b389-8667-4c1b-b412-9d4607e755f7>

Vargas, C. (2009). Mapeo de minerales utilizando datos ASTER y análisis espectral. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (págs. 3213-3218). Brasil: Researchgate. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228831965\\_Mapeo\\_de\\_minerales\\_utilizando\\_datos\\_ASTER\\_y\\_analisis\\_espectral\\_en\\_el\\_distrito\\_de\\_Yura\\_Arequipa\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/228831965_Mapeo_de_minerales_utilizando_datos_ASTER_y_analisis_espectral_en_el_distrito_de_Yura_Arequipa_Peru)

Vargas, C. (2013). Identificación de depósitos utilizando el sensor ASTER. Geología Colombiana, 38, 149-157. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/22513>

Vargas, C. (2015, 5-29 de abril). Caracterización Espectral de tipos de alunita y Sílice en Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración utilizando imágenes ASTER. Anais XVII Simpósio Brasileiro de sensoramiento remoto-SBSR. Joao, Brasil. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/307577677\\_Caracterizacion\\_Espectral\\_de\\_tipos\\_de\\_Alunita\\_y\\_Silice\\_en\\_Depositos\\_Epitermales\\_de\\_Alta\\_Sulfuracion\\_utilizando\\_imagenes\\_ASTER](https://www.researchgate.net/publication/307577677_Caracterizacion_Espectral_de_tipos_de_Alunita_y_Silice_en_Depositos_Epitermales_de_Alta_Sulfuracion_utilizando_imagenes_ASTER)

## ANEXOS



Foto 1: Recolección de datos en campo



Foto 2: Pórfido de Alteración filica. Brecha magmática hidrotermal oxidado.



Foto 3: Toma de puntos GPS e identificación de pórfidos alteración filica.



Foto 4: Venillas de cuarzo Oxidado.

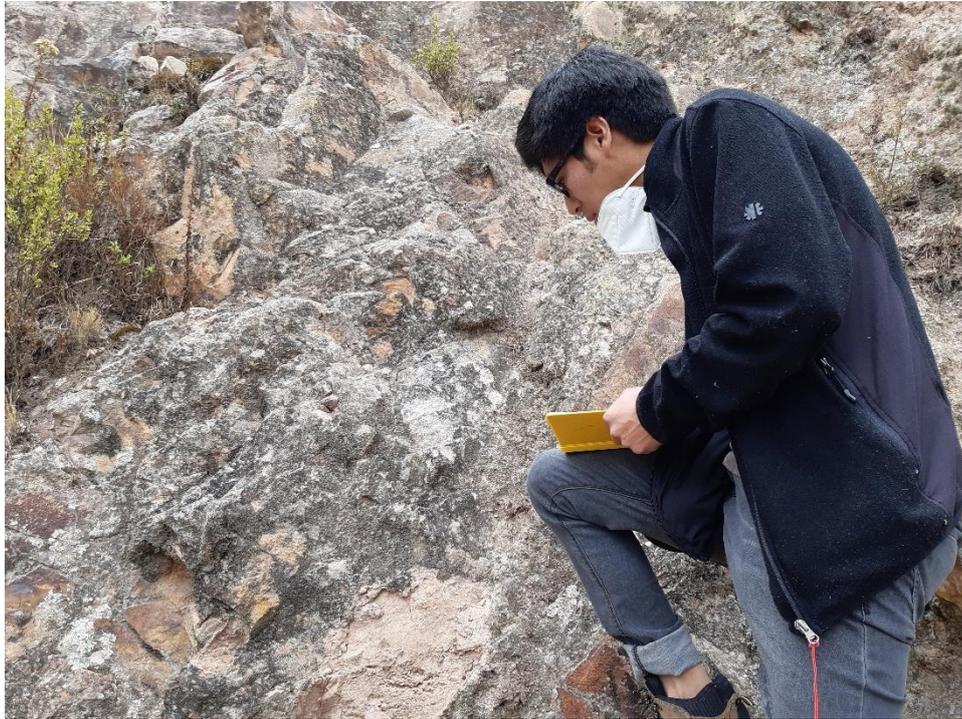


Foto 5: Alteración Filica Avanzada.



Foto 6: Brecha hidrotermal con enlace mineralógico AL-OH.



Foto 7: Formación Farrat.



Foto 8: Formación Farrat.