

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES
MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT -
ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE
CONDOROMA. ESPINAR - CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. CONDEÑA HUAMAN, CINTHIA RONILDA

Br. CORIMANYA TUNQUI, GERSON STEED

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

ING. MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREON

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHANI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO

presentado por: CINTHIA RONTIDA CONDETA HUARAN con DNI Nro.: 71983726..... presentado por: GERSON STEED CRISTIANA TUNQUE con DNI Nro.: 71950537..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 02 de Julio..... de 2024.....

[Firma]
Firma
Post firma..... Mauricio Legarra Corveani

Nro. de DNI..... 23848124

ORCID del Asesor..... 0000-0003-6716-3480

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:364170219 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDS

AUTOR

CINTHIA GERSON CONDEÑA CORIMANYA

RECUENTO DE PALABRAS

32702 Words

RECUENTO DE CARACTERES

194779 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

252 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

31.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 2, 2024 11:45 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

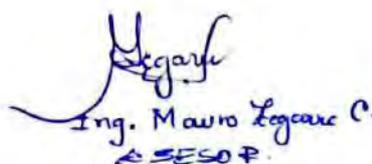
Jul 2, 2024 11:47 AM GMT-5**● 5% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Ing. Mauro Legare C.
SESOP

DEDICATORIA

Es para mí una gran satisfacción dedicarle este trabajo a mis padres quienes han sido mis pilares para seguir adelante y me enseñaron el valor del esfuerzo. A mi hermana Guina, por brindarme fortaleza en los momentos más desafiantes. A todas las personas que nos brindaron su apoyo en el desarrollo de este proyecto. A mi compañero de tesis, por su colaboración, compañerismo y gracias a su aporte, este logro no habría sido posible.

Cinthia Ronilda Condeña Huaman

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis padres Luz Marina Tunqui y Ciro Corimanya, quienes fueron apoyo incondicional en todo momento, siendo testigo de su empeño, dedicación, amor y esfuerzo de su apoyo. A mi hermano Álvaro por sus consejos, así como a mis seres queridos más cercanos. A todas las personas que nos apoyaron en el desarrollo de este proyecto. A Cinthia y a mi persona por el empeño y la dedicación por dar el siguiente paso en nuestras vidas profesionales y ser mejores personas que ayer.

Gerson Steed Corimanya Tunqui

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a Dios, por permitirnos alcanzar este objetivo en nuestra vida profesional.

Agradecemos a nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional desde estudiantes y por su compañía en el desarrollo de esta tesis.

Agradecemos a nuestro asesor, el ingeniero Mauro Zegarra Carreón por el apoyo que nos brindó teóricamente y siendo nuestro guía en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Agradecemos a Miguel Gonzales, Edmary Felix por su apoyo en campo en la realización de reconocimiento y muestreo para análisis por terraspec. A Milagros Riveros, Abraham Condori y Maritere Andrade por su apoyo en la descripción de secciones delgadas.

Agradecemos a Guina Condeña por ser nuestro soporte en los trámites administrativos, siendo un gran apoyo para nosotros.

Agradecemos a Ivan Reyna y la empresa Sample Solution por el apoyo en la lectura de nuestras muestras de terraspec.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se localiza en el departamento de Cusco, provincia de Espinar y distrito de Condorama, al NW de la laguna Pañi. Tiene como finalidad determinar zonas de alteración hidrotermal a través de imágenes satelitales LANDSAT-ASTER y análisis por TERRASPEC en un área aproximada de 149 Km^2 .

La identificación de la alteración hidrotermal se realizó mediante la aplicación y comparación de diferentes técnicas espectrales, para la imagen LANDSAT se aplicó la técnica de combinación de bandas, combinación de ratios de bandas y la técnica de cocientes de bandas; para la imagen ASTER se aplicó la técnica de combinación de bandas, cociente de ratios o de bandas, índice de Ninomiya y la técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper); al comparar los resultados de las técnicas de ambas imágenes LANDSAT Y ASTER se identificó zonas de alteración coincidentes o similares lo que prueba que estas herramientas son efectivas para detectar blancos de exploración. Una vez obtenida esa información, se realizó un muestreo para análisis por TERRASPEC. Esto se hizo para confirmar los datos obtenidos con las técnicas anteriores y mejorar los halos de alteración hidrotermal en función del ensamble mineralógico típico de los depósitos minerales. Para reforzar toda la información obtenida se realizó secciones delgadas de muestras ubicadas en puntos estratégicos y poder corroborar la presencia minerales representativos de las alteraciones hidrotermales, los cuales nos fueron de utilidad también para definir el tipo de roca y su composición. Con diferentes técnicas empleadas se determinó 11 targets, 5 de prioridad bajas, 4 de prioridad media y 2 áreas prospectivas de mayor interés.

Palabras clave: Alteración hidrotermal / LANDSAT / ASTER / TERRASPEC / Targets

ABSTRACT

The present research work is located in the department of Cusco, province of Espinar and district of Condoroma, to the NW of the Pañi lagoon. Its purpose is to determine hydrothermal alteration zones through LANDSAT-ASTER satellite images and TERRASPEC analysis in an approximate area of 149 km².

The identification of hydrothermal alteration was carried out by applying and comparing different spectral techniques. For the LANDSAT image, the band combination technique, band ratio combination and band quotient technique were applied; For the ASTER image, the band combination technique, ratio or band quotient, Ninomiya index and the Spectral Angle Mapper (SAM) technique were applied; when comparing the results of the techniques of both LANDSAT and ASTER images, coincident or similar disturbance zones were identified, which proves that these tools are effective for detecting exploration targets. Once this information was obtained, a sampling was performed for analysis by TERRASPEC. This was done to confirm the data obtained with the previous techniques and enhance the hydrothermal alteration halos based on the typical mineralogical assemblage of the mineral deposits. To reinforce all the information obtained, thin sections of samples located in strategic points were made to corroborate the presence of minerals representative of the hydrothermal alterations, which were also useful to define the type of rock and its composition. With different techniques we determined 11 targets, 5 of low priority, 4 of medium priority and 2 prospective areas of greater interest.

Keywords: Hydrothermal alteration / LANDSAT / ASTER / TERRASPEC / Targets

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Ubicación.....	3
1.1.1 Ubicación Política	3
1.1.2 Ubicación Geográfica.....	3
1.1.3 Ubicación Hidrográfica	3
1.2 Accesibilidad	4
CAPÍTULO II. PROBLEMA.....	5
2.1 Descripción del Problema.....	5
2.2 Formulación del Problema.....	6
2.2.1 Problema General	6
2.2.2 Problemas Específicos.....	6
2.3 Objetivos.....	6
2.3.1 Objetivo General	6
2.3.2 Objetivos Específicos	7
2.4 Hipótesis	7
2.4.1 Hipótesis General	7
2.4.2 Hipótesis Específicas.....	7
2.5 Sistema de Variables.....	8
2.6 Justificación	10
2.6.1 Justificación Teórica.....	10
2.6.2 Justificación Práctica	10
2.6.3 Justificación Metodológica.....	10
CAPÍTULO III. BASES TEÓRICAS.....	12
3.1 Marco Referencial (Antecedentes)	12
3.2 Marco teórico.....	13
3.2.1 Principios de la Teledetección.....	13
3.2.2 Teledetección.....	14
3.2.3 Principios Básicos de Teledetección	14
3.2.4 El Espectro Electromagnético	14
3.2.5 Mecanismos de Interacción	14
3.2.6 Sistema de Teledetección	15

3.2.7	Resolución de un Sistema de Sensor	15
3.2.8	Tipos De Imágenes De Teledetección	16
3.2.9	Tipos de Imágenes Satelitales.....	17
3.2.10	Comparativa de Imágenes Satelitales	18
3.2.11	Teledetección en Exploración de Recursos Minerales	18
3.2.12	TERRASPEC	19
3.2.13	Yacimiento Mineral.....	19
3.2.14	Depósito del Tipo Epitermal	19
3.2.15	Depósito del Tipo Pórfido Cuprífero.....	20
3.2.16	Alteración Hidrotermal.....	20
3.2.17	Tipos de Alteraciones Hidrotermales	21
3.2.18	Depósito Del Tipo Skarn	22
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO.....		24
4.1	Tipo de Investigación.....	24
4.2	Nivel de investigación	24
4.3	Método de Investigación.....	24
4.4	Diseño de Investigación.....	24
4.5	Materiales y Equipos	24
4.6	Etapas de Elaboración del Estudio.....	26
4.6.1	Recopilación Bibliográfica y Base de Datos.	26
4.6.2	Procesamiento de Imágenes LANDSAT y ASTER.	26
4.6.3	Reconocimiento de Campo.....	27
4.6.4	Confirmación de Anomalías Espectrales.....	28
4.6.5	Análisis e Interpretación de Resultados.	28
4.6.6	Redacción Final del Trabajo de Tesis.	28
CAPÍTULO V. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL		29
5.1	Montaña de material volcánico (MmV).....	29
5.1.1	Sub Paisaje.....	29
5.2	Montaña de material Hipabisal (MmH).....	30
5.2.1	Sub Paisaje.....	31
5.3	Montaña de material de alteración (MmA).....	31
5.3.1	Sub Paisaje.....	31
5.4	Montaña de material glaciario (MmG)	32
5.4.1	Sub Paisaje.....	32
5.5	Montaña de material cuaternario (MmC)	32

5.6	Colina de material volcánico (CmV)	32
5.6.1	Sub Paisaje.....	33
5.7	Colina de material de alteración (CmA)	33
5.7.1	Sub Paisaje.....	34
5.8	Colina de material cuaternario (CmC).....	34
CAPÍTULO VI. GEOLOGÍA REGIONAL		35
6.1	Grupo Tacaza.....	35
6.1.1	Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 1 (Po-choE1)	35
6.1.2	Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 4 (Po-choE4)	35
6.1.3	Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 5 (Po-choE5)	36
6.1.4	Centro Volcánico Ajopichaca – Evento 1 (Po-ajE1).....	37
6.2	Grupo Palca.....	38
6.2.1	Centro Volcánico Luli – Evento 1 (Nm-luE1)	38
6.2.2	Centro Volcánico Luli – Evento 5 (Nm-luE5)	39
6.3	Grupo Sillapaca.....	40
6.3.1	Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 1 (Nm-colE1)	40
6.3.2	Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 2 (Nm-colE2)	41
6.3.3	Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 4 (Nm-colE4)	42
6.3.4	Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 5 (Nm-colE5)	43
6.3.5	Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 6 (Nm-colE6)	44
6.4	Rocas Intrusivas	44
6.4.1	KP-3-pand.....	44
6.4.2	Peo-3-pda.....	45
6.4.3	Nm-da	45
6.4.4	Nm-3-pand.....	46
6.5	Depósitos Cuaternarios	47
6.5.1	Depósito Fluvioglacial – (Qh-fg)	47
6.5.2	Depósito Coluvial – (Qh-cl)	48
6.5.3	Depósito Aluvial – (Qh-al).....	49
6.5.4	Depósito Biogénico – (Qh-bi)	50
CAPÍTULO VII. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL		53
7.1	Falla Huaytacucho – Condoroma	53
7.2	Subsistema de Fallas Luli	54
7.3	Lineamientos.....	55

CAPÍTULO VIII. PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES Y ANÁLISIS POR TERRASPEC.....	58
8.1 Generalidades.....	58
8.2 El Espectro Electromagnético.....	59
8.3 Efectos Atmosféricos.....	61
8.3.1 Dispersión Atmosférica.....	62
8.3.2 Absorción Atmosférica.....	62
8.4 Sensor Landsat.....	64
8.4.1 Características del LANDSAT-8.....	65
8.5 Sensor Aster.....	67
8.5.1 Características del ASTER.....	69
8.5.2 Subsistema Infrarrojo visible y cercano (VNIR).....	69
8.5.3 Subsistema Infrarrojo de onda corta (SWIR).....	70
8.5.4 Subsistema Termal de la onda corta (TIR).....	71
8.5.5 Resolución.....	74
8.5.6 Nivel de data.....	76
8.6 Análisis por Terraspec Halo.....	79
8.6.1 Análisis Mineralógico.....	79
8.6.2 Espectroscopia de Reflectancia.....	79
8.6.3 Espectro de reflectancia o Curva Espectral.....	80
8.6.4 Factores que controlan la Reflectancia.....	81
8.6.5 Rangos VNIR – SWIR.....	83
8.6.6 Terraspec Halo.....	84
8.6.7 Recolección de datos.....	85
8.6.8 Niveles de Confianza.....	86
8.6.9 Escalares.....	86
8.6.10 Tabla de resultados.....	87
CAPÍTULO IX. PREPROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT – ASTER - TERRASPEC.....	89
9.1 Pre - Procesamiento Landsat - Aster.....	92
9.1.1 Crear Layerstacking.....	96
9.1.2 Técnica de Corrección Atmosférica-radiométrica.....	96
9.1.3 Elaboración de Máscaras (vegetación (AL), sombra y agua(L), nubes y nieve (L).....	97
9.2 Procesamiento Landsat.....	99
9.2.1 Flujo de trabajo.....	99

9.2.2	Técnica de Combinación de Bandas.....	100
9.2.3	Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas	101
9.2.4	Técnica de Cocientes/Índices de Identificación de bandas	103
9.3	Procesamiento Aster	104
9.3.1	Flujo de trabajo.....	104
9.3.2	Muestreo Aleatorio	105
9.3.3	Técnica de Combinación de Bandas.....	107
9.3.4	Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas	108
9.3.5	Técnica de Índices de Identificación Litológica – SWIR.....	108
9.3.6	Técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper) 109	
9.4	Comparación y Correlación LANDSAT - ASTER	110
9.5	Procesamiento Terraspec	112
9.5.1	Flujo de trabajo.....	112
9.6	Comparación y Correlación LANDSAT – ASTER - TERRASPEC.....	114
CAPÍTULO X. PRESENTACIÓN DE DATOS		116
10.1	Presentación de Datos Obtenidos con Imágenes Landsat.....	116
10.1.1	Aplicación de Máscaras.....	117
10.1.2	Combinación de Bandas	118
10.1.3	Combinación de Ratios de Bandas	121
10.1.4	Cocientes/Índices de Identificación de Bandas	125
10.2	Presentación de Datos Obtenidos con Imágenes Aster.....	127
10.2.1	Aplicación de Máscaras.....	129
10.2.2	Combinación de Bandas	130
10.2.3	Cocientes o Ratios de Bandas.....	133
10.2.4	Índices de Identificación Litológica – SWIR	135
10.2.5	Mapeo Espectral por el Método SAM (Spectral Angle Mapper).....	140
10.3	Presentación de Datos Obtenidos don Terraspec.....	153
10.3.1	Secado de muestras.....	153
10.3.2	Lectura de muestras	153
10.3.3	Obtención de datos	154
10.3.4	Análisis de datos.....	160
CAPÍTULO XI. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIONES		168
CONCLUSIONES.....		175
RECOMENDACIONES		177

BIBLIOGRAFÍA	178
ANEXOS	180
Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	180
Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables.....	182
Anexo 3. Mapa de Ubicación	184
Anexo 4. Mapa de Accesibilidad.....	186
Anexo 5. Mapa de Geomorfología Regional.....	188
Anexo 6. Mapa de Geología Regional.....	190
Anexo 7. Mapa de Geología Estructural Regional	192
Anexo 8. Mapa de Alteraciones Hidrotermales por Cocientes de Bandas Landsat 194	
Anexo 9. Mapa de Alteraciones Hidrotermales por Cocientes o Ratios de Bandas Obtenidas Mediante Aster	196
Anexo 10. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Aster por Índices de Identificación Litológica – SWIR	198
Anexo 11. Descripciones Macroscópicas.....	200
Anexo 12. Descripciones Microscópicas	203
Anexo 13. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Aster por Mapeo Espectral por el Método SAM	206
Anexo 14. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Terraspec por Asociación de Ensamblajes Mineralógicos	208
Anexo 15. Mapa de Distribución de Minerales de Alta Temperatura por Análisis TERRASPEC.....	210
Anexo 16. Mapa de Vectorización de Micas Blancas por Análisis TERRASPEC 212	
Anexo 17. Mapa de Targets o Blancos de Exploración LANDSAT.....	214
Anexo 18. Mapa de Targets o Blancos de Exploración ASTER.....	216
Anexo 19. Panel fotográfico.....	220

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 A) Accesibilidad desde la ciudad de Cusco, B) Accesibilidad al área de estudio desde la ciudad de Arequipa.....	4
Figura 2 Columna Estratigráfica del área de estudio.....	52
Figura 3 Se aprecia la distribución de las fallas inferidas, determinadas en campo.....	55
Figura 4 Distribución de lineamientos, determinados mediante modelo de sombras	56
Figura 5 Se aprecia las tendencias principales, marcadas en líneas de color rojo, tanto en el diagrama de rosetas como en el histograma, donde se aprecia su frecuencia	57
Figura 6 Componentes de un sistema de Teledetección.....	59
Figura 7 Espectro electromagnético	61
Figura 8 Ventanas atmosféricas.....	64
Figura 9 Promedio de la respuesta espectral relativa en valores de radiancia.....	67
Figura 10 El sensor ASTER antes de su lanzamiento	68
Figura 11 Características espectrales de algunos minerales en los subsistemas VNIR y SWIR del sensor ASTER	71
Figura 12 Características espectrales de minerales en los subsistemas de TIR del ASTER	72
Figura 13 Comparación entre las resoluciones espectrales de ASTER y Landsat 7	75
Figura 14 Ecuación de reflectancia y esquema	80
Figura 15 Ejemplo de Espectro de reflectancia, muestra CG001	81
Figura 16 A) Variación del ángulo de reflectancia debido a la textura – rugosidad del material analizado. B) Variación en el espectro de un mismo material (Calcita) debido al tamaño de grano, a mayor tamaño, mayor reflectancia.	82
Figura 17 Distribución de lecturas en el rango SWIR.....	83

Figura 18 Distribución de lecturas de los minerales más característicos del rango VNIR	84
Figura 19 Dispositivo Portátil, Terraspec Halo	84
Figura 20 Se aprecia la lectura de los minerales y los niveles de confianza	86
Figura 21 Resultados de análisis terraspec	88
Figura 22 Diagrama de Flujo de Datos Nivel 0. Metodología para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal utilizando una imagen satelital LANDSAT – ASTER.....	90
Figura 23 Diagrama de flujo de datos del proceso de delimitación de la zona de estudio y adquisición de la imagen satelital ASTER	91
Figura 24 Diagrama de flujo de datos del pre - procesamiento de la imagen satelital LANDSAT-ASTER	95
Figura 25 Diagrama de flujo de datos del procesamiento de la imagen satelital LANDSAT	99
Figura 26 Cubo cromático	103
Figura 27 Diagrama de flujo de datos del procesamiento de la imagen satelital ASTER	104
Figura 28 Ubicación de los puntos de muestreo dentro de los targets de prioridad alta.	106
Figura 29 Diagrama de flujo de datos del proceso de comparación de técnicas espectrales y correlación LANDSAT – ASTER	110
Figura 30 Diagrama de flujo de datos del procesamiento con Terraspec.....	112
Figura 31 Diagrama de flujo de datos del proceso de comparación de técnicas espectrales ya correlacionadas con los datos obtenidos con TERRASPEC.....	114

Figura 32 Imagen satelital LANDSAT 8, color natural de la zona de estudio (RGB: 432)	117
Figura 33 Aplicación de máscaras sobre la zona de estudio, vegetación en color verde, agua en color azul y nieve y nubes en color celeste	118
Figura 34 Combinaciones de bandas RGB, A) 567, B) 753 y C) 742, resultado de áreas de prioridades sobre imagen base (D)	120
Figura 35 Ratios de bandas A) 6/7 muestra zonas ricas en arcillas, B) 4/3 muestra zonas ricas en óxidos de fierro C) 5/6 muestra zona mixta de óxidos de fierro con arcillas y D) Muestra combinación RGB, zonas de prioridad alta se remarcan en cuadros de color rojo	122
Figura 36 Ratios de bandas A) 7/5 muestra zonas ricas en óxidos de fierro B) 5/4 muestra zonas de vegetación C) 6/7 muestra zonas ricas en arcillas y D) Muestra combinación RGB, zonas de prioridad alta se remarcan en cuadros de color rojo	124
Figura 37 Cocientes e índices de bandas, A) Óxidos de fierro, B) Alteración argílica avanzada, C) Alteración argílica y D) Alteración propilítica, aplicados en el área	126
Figura 38 Aplicación de los cocientes y ratios de bandas $(B5+B6)/B4$, $B6/B7$, $(B6+B7)/B5$ y $(B5+B7)/B6$ en la zona de estudio, y la selección de áreas de interés de prioridad alta	127
Figura 39 Imagen satelital ASTER, color natural de la zona de estudio (RGB: 432)	128
Figura 40 Aplicación de máscaras sobre la zona de estudio, vegetación en color verde, agua en color azul	129
Figura 41 Combinaciones de bandas RGB A) 461, B) 469, C) 531 Y D) 641, muestran zonas con minerales arcillosos, resaltadas en recuadros rojos	131

Figura 42 Combinaciones de bandas RGB A) 461, B) 641, Y C) 943, muestran zonas con óxidos, resaltadas en recuadros rojos.....	132
Figura 43 Resultado de áreas de prioridades sobre imagen base	132
Figura 44 Cocientes de bandas a) 4/6 - alteración argílica a fílica, b) 4/5 - alteración argílica avanzada, c) 5/8 - alteración propilítica, y d) 2/1 - óxidos, aplicados en la zona de estudio	134
Figura 45 Aplicación de cocientes de bandas 4/6, 4/5, 5/8 y 2/1 en la zona de estudio, nuevas áreas de interés se encuentran en recuadros rojos	135
Figura 46 Índices de Ninomiya A) OH1a (moscovita, illita, montmorillonita), B) KLI (caolinita, dickita), C) OH1b (pirofilita), D) ALI (alunita), E) CLI (calcita) y F) PRO (epidota, clorita, calcita) aplicados en la zona de estudio.....	137
Figura 47 Aplicación de índices de identificación litológica SWIR en la zona de estudio, resultado de áreas de interés de prioridad alta se encuentran en recuadros rojos (D)	139
Figura 48 Se muestra minerales comunes en zonas de oxidación, A) Goetita, B) Hematita y C) Jarosita	141
Figura 49 Se aprecia la asociación de minerales del primer grupo	142
Figura 50 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración argílica avanzada, A) Alunita, B) Pirofilita, C) Caolinita y D) Dickita	144
Figura 51 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del segundo grupo, formando la alteración argílica avanzada	145
Figura 52 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración argílica o argílica – fílica, A) Illita, B) Montmorillonita, C) Moscovita y D) Turmalina.....	147
Figura 53 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del tercer grupo, formando la alteración argílica	148

Figura 54 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración propilítica, A) Calcita, B) Clorita, C) Clinoptilolita y D) Epidota	150
Figura 55 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del tercer grupo, formando la alteración propilítica	151
Figura 56 Se aprecia la distribución de todos los minerales detectados mediante el análisis SAM en nuestra área de estudios y su distribución en nuestras zonas de prioridad alta.....	152
Figura 57 Tabla de resultados, mostrando minerales y escalares.....	156
Figura 58 Se muestra la comparación entre espectro de la muestra CG-038 (parte superior), y los espectros de hematita (parte inferior izquierda), muestra en círculo rojo relación de rangos espectrales, y la Turmalina (Parte inferior derecha), en azul se muestra similitudes en rangos espectrales, gráficos extraídos del Manual de interpretación espectral.....	158
Figura 59 Descripción macroscópica de la muestra CG021	159
Figura 60 Descripción microscópica de la muestra CG021	160
Figura 61 Diagrama de Corbett y Leach (2008) modificado por D. Cooke (2021).	161
Figura 62 Se aprecia la distribución de alteraciones hidrotermales determinadas mediante terraspec, siendo la más dominante la propilítica externa	164
Figura 63 Se aprecia la distribución de minerales indicadores de temperatura, siendo más dominante la presencia de turmalina.....	165
Figura 64 Se aprecia los diferentes aspectos de vectorización a partir de alunitas, cloritas, micas blancas y cristalinidad de micas blancas	166
Figura 65 Se aprecia la distribución de cristalinidad de micas blancas, donde mayor parte de las muestras presentan valores en un rango de 0.5 a 1.5, siendo valores bajos de cristalinidad. Los valores de longitud de onda nos indican dominio de	

1900 a 2150 nm, lo cual indica minerales más hidratados, que indica el dominio de arcillas, en algunos puntos se aprecia valores favorables 2180 a 2194 nm, siendo buen indicador	167
Figura 66 Comparación entre las técnicas espectrales A) Combinación de bandas, B) Combinación de ratios de banda 1, C) Combinación de ratios de banda 2 y D) Cocientes de bandas. Se va observando que las zonas de prioridad alta se mantienen en el resultado final de cocientes de bandas, manteniendo zonas argílicas y propilíticas principalmente.....	169
Figura 67 Comparación entre las técnicas espectrales obtenidas mediante procesamiento de imágenes ASTER, A) Combinación de bandas, B) Cocientes de bandas, C) Índices de Ninomiya y D) Mapeo Espectral SAM, aplicadas sobre la zona de estudio, donde se aprecia que aún se mantiene las áreas prospectivas iniciales ..	171
Figura 68 Comparación de mapas realizados por análisis de TERRASPEC, A) Alteraciones hidrotermales en base a ensambles mineralógicos, B) Minerales indicadores de temperatura, C) Interpolación por longitud de onda y valores de cristalinidad, aplicadas sobre nuestras zonas prospectivas con prioridad alta	173
Figura 69 A)Ubicación de targets o blancos de exploración de acuerdo a las franjas metalogenéticas, B)Ubicación de targets o blancos de exploración de acuerdo a la litología de la zona de estudio	174

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Materiales y equipos	25
Fotografía 2 Afloramiento de Andesita con apariencia porfirítica correspondiente al Centro Volcánico Choquepirhua Evento 4 ubicado en el distrito de Condorama, al norte del centro poblado de Cucurani.....	36
Fotografía 3 Afloramiento de Andesita gris parduzca correspondiente al Centro Volcánico Choquepirhua Evento 5 ubicado en el distrito de Condorama, al noreste del centro poblado de Suramayo.	37
Fotografía 4 Afloramiento de Toba lítica producto de la acumulación de ceniza volcánica correspondiente al Centro Volcánico Ajopichaca Evento 1 ubicado en el distrito de Condorama, en el centro poblado de Jornillo.....	38
Fotografía 5 Afloramiento de Toba vítrea con fragmentos de vidrio volcánico correspondiente al Centro Volcánico Luli Evento 1 ubicado en el distrito de Condorama, al oeste del centro poblado de Achuyocucho.	39
Fotografía 6 Afloramiento de toba lítica con coloración blanquecina a rosácea producto de la acumulación de ceniza volcánica correspondiente al Centro Volcánico Luli Evento 5 ubicado en el distrito de Condorama, al este del centro poblado de Pupusani.	40
Fotografía 7 Afloramiento de Andesita de coloración gris oscuro correspondiente al Centro Volcánico Colquecagua Evento 1 ubicado en el distrito de Condorama, al noreste del centro poblado de Suramayo.....	41
Fotografía 8 Afloramiento de Andesita de coloración gris oscuro correspondiente al Centro Volcánico Colquecagua Evento 2 ubicado en el distrito de Condorama, al noreste del centro poblado de Suramayo.....	42

Fotografía 9 Afloramiento de Toba Lítica de coloración blanquecina correspondiente al Centro Volcánico Colquecagua Evento 4 ubicado en el distrito de Condoroma, al sureste del centro poblado de Catazuma.	43
Fotografía 10 Intrusivo Pórfido Andesítico ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Luli.	45
Fotografía 11 Intrusivo Pórfido dacítico de coloración gris blanquecina ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Suramayo.	46
Fotografía 12 Depósito Fluvio-glaciar constituido por bloques y gravas angulosas de diferentes tipos de rocas en una matriz arenosa, ubicado en el distrito de Condoroma, al este del centro poblado de Suranchaqui.....	47
Fotografía 13 Depósito Coluvial conformado por gravas y bloques rocosos angulosos heterométricos localizados al pie de taludes escarpados, ubicado al oeste del distrito de Condoroma.	49
Fotografía 14 Depósito Aluvial conformado por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limo arenosa, ubicado en el distrito de Condoroma, al noroeste de la laguna de Pañi.	50
Fotografía 15 Depósito Biogénico formado en un ambiente subacuoso con abundante vegetación conformado por arenas y limos, ubicado en el distrito de Condoroma, al este de la comunidad de Challi.	51
Fotografía 16 Embolsado y etiquetado de las muestras extraídas en campo.....	106
Fotografía 17 Muestras obtenidas en el proceso de secado, junto con el Terraspec Halo.	153
Fotografía 18 Lectura de nuestras muestras de campo con el equipo Terraspec Halo.	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación política del Proyecto.....	3
Tabla 2 Tabla de distribución de las bandas en OLI Y TIRS.....	66
Tabla 3 Se resume los rangos espectrales y resolución espacial de las bandas en los tres subsistemas del sensor	73
Tabla 4 Características de la imagen satelital LANDSAT del área de estudio	93
Tabla 5 Características de la imagen satelital ASTER del área de estudio	94
Tabla 6 Cocientes de bandas para la identificación de tipos de alteración	102
Tabla 7 Técnica de Cocientes/Índices de Identificación de bandas	103
Tabla 8 Cocientes de bandas para la identificación de tipos de alteración	108
Tabla 9 Índices de Ninomiya utilizados para la identificación de minerales de alteración	108
Tabla 10 Tipo de alteración y su ensamble mineral en base al TERRASPEC HALO e información de Corbett. (Modificado de Jaya M. y Padilla J.)	163

LISTADO DE ABREVIATURAS

VNIR: Visible Near Infrared	clti: clinoptilolita
SWIR: Short-Wave Infrared	czo: clinozoisita
NIR: Near Infrared	dik: dickita
RGB: Colores primarios R (Red - Rojo), G (Green - Verde), B (Blue - Azul)	dol: dolomita
NDWI: Índice de Diferencia Normalizada de Agua	ep: epidota
NDVI: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado	fe-ch: clorita férrica
NDSI: Índice de Diferencia Normalizada de Nieve	femg-ch: clorita ferromagnésica
SAM: Spectral Angle Mapper Mapeador de Ángulo Espectral)	fe-mnt: montmorillonita ferrica
ank: ankerita	fe-sap: ferrosaponita
azu: azurita	fe-smc: esmectita férrica
bei: beidelita	ferh: ferrihidrita
bio: biotita	frro-ac: ferroactinolita
ca: calcita	gme: gmelinita-na
cbz: cabasita	gyp: yeso
	hal: halloysita
	har: harmotoma
	has: hastingsita
	hbl: hornblenda
	heu: heulandita

hem: hematita

pal: palygorskita

hyb: hidrobiotita

par: paragonita

ill-smc: illita/esmectita

phi-ca: phillipsita-ca

ja: jarosita

phl: flogopita

ka: caolinita

pre: prehenita

k-ill: illita potásica

rec: rectorita

lau: laumontita

rie: riebeckita

mg-ch: clorita magnésica

sap: saponita

mg-ill: illita magnésica

smi: smithsonita

mnt: montmorillonita

stip: estilpnomelana

mus: moscovita

str: estroncianita

nac: nacrita

to: turmalina

non: nontronita

vrn: vermiculita

INTRODUCCIÓN

En nuestro país se tienen diversos proyectos de exploración de distintos tipos de yacimientos, en busca de algún commodity que sea rentable para su explotación, todo esto viene acompañado de la poca información previa a estudios de exploración más avanzados, lo cual lo cual limita una inversión inicial por parte de las empresas de exploración nacionales e internacionales.

El presente trabajo tiene por objetivo el determinar zonas de alteraciones hidrotermales en base al tratamiento de imágenes espectrales LANDSAT – ASTER y análisis por Terraspec en el distrito de Condoroma, sector Chañi. Además de aportar información como una técnica que puede ser usada en más proyectos de exploración inicial.

La metodología de trabajo se divide en tres etapas: pre campo, que consiste en la recolección de información previa, antecedentes y otros proyectos que estén relacionados a nuestra investigación, así como la búsqueda de técnicas espectrales para la determinación de las zonas de alteraciones hidrotermales. Seguidamente se procedió a realizar la búsqueda y descarga de las imágenes espectrales y su posterior análisis para determinar las zonas de alteraciones hidrotermales por diversas técnicas espectrales como son combinación de bandas, cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológica SWIR y metodología SAM, obteniendo zonas prospectivas de interés y dividiéndolas por prioridades, esto podemos apreciarlo en los capítulos V – X.

La etapa de campo, constó netamente de la etapa de muestreo para el análisis por Terraspec, realizando un muestreo aleatorio estratégico en nuestras zonas de mayor interés o prioridad alta determinadas previamente con el análisis de imágenes

espectrales. Así mismo se realizó la descripción macroscópica de las muestras de mano para su almacenamiento en una base de datos inicial.

En la última etapa post campo se realizó la confirmación de los resultados obtenidos con el análisis de imágenes espectrales, se puede apreciar en los capítulos X y XI, donde se compara los resultados obtenidos mediante las lecturas de las muestras de terraspec, además este último se reafirmó utilizando la librería espectral obtenida por terraspec en la metodología SAM en las imágenes ASTER y comparándolas con la librería existente de la USGS. Finalmente se realizó mapas temáticos de cada metodología espectral, tanto de imágenes LANDSAT y ASTER donde se aprecia los resultados y haciendo una comparación de los mismos. También se realizó el tratamiento de los resultados del análisis terraspec para confirmar las zonas de alteraciones hidrotermales, ver que minerales de alta temperatura podrían indicarnos zonas más prospectivas y finalmente realizando una vectorización en base a micas blancas, mediante su longitud de onda y su cristalinidad.

Finalmente se realizó una superposición de los resultados con la geología (litología y geología estructural) de la zona de estudios, así como su metalogenia, para ver el potencial que tendrían nuestras zonas de prioridad alta.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación

1.1.1 Ubicación Política

El presente proyecto está ubicado en el distrito de Condoroma al SE de la capital de provincia de Espinar a aproximadamente 87 Km de distancia y políticamente están ubicadas según la lista a continuación (Ver anexo 03: Mapa 01. Mapa de Ubicación).

Tabla 1 Ubicación política del Proyecto

DISTRITO	Condoroma
PROVINCIA	Espinar
REGIÓN	Cusco

1.1.2 Ubicación Geográfica

- DATUM: WGS84
- ZONA: 19 L
- NORTE: 8307341 m
- ESTE: 270421 m
- ALTITUD: 4737 msnm

1.1.3 Ubicación Hidrográfica

- Cuenca: Camana – Majes – Colca
- Subcuenca: Río Salado, Camana – Majes – Colca

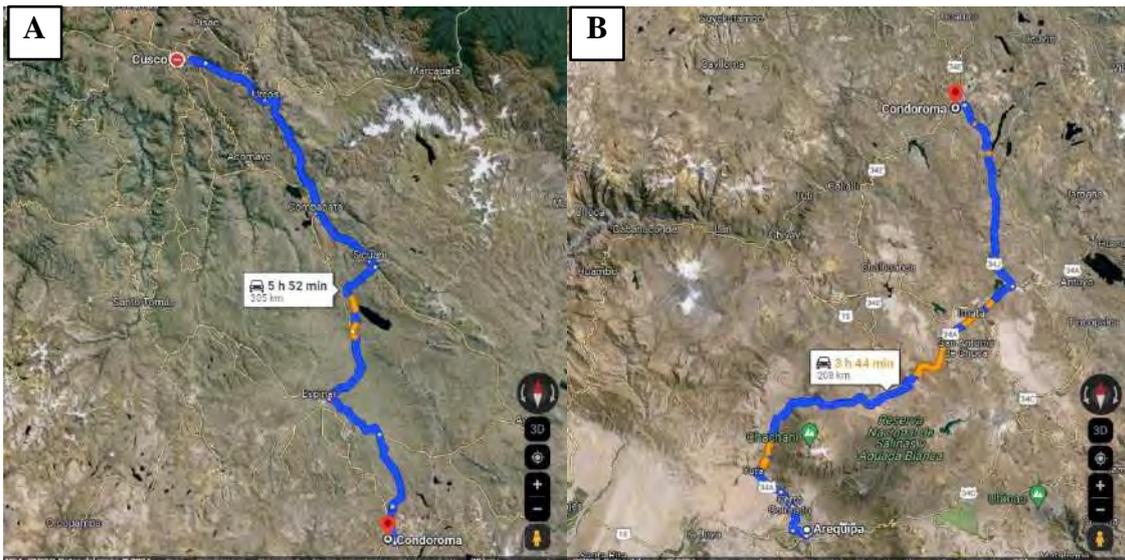
1.2 Accesibilidad

El acceso al distrito de Condoroma desde la ciudad Cusco es mediante la carretera Cusco-Sicuani-Espinar-Condoroma durante 6 horas aproximadamente y desde la ciudad Arequipa es mediante la carretera Arequipa-Pampa Cañahuas-Imata-Chichas-Condoroma durante 4 horas aproximadamente (Ver anexo 04: Mapa 02. Mapa de Accesibilidad).

La distancia que separa la capital del distrito Condoroma con la Capital Espinar es de aproximadamente 87 km cuyo tiempo de viaje se realiza en un promedio de dos horas.

Los caminos de acceso a sus comunidades son de infraestructura únicamente de trochas carrozables en su totalidad y cada una se ubica aproximadamente a un promedio de hora y media de viaje desde la Capital Distrital de Condoroma.

Figura 1 A) Accesibilidad desde la ciudad de Cusco, B) Accesibilidad al área de estudio desde la ciudad de Arequipa



Fuente. (Google Maps, s.f.)

CAPÍTULO II. PROBLEMA

2.1 Descripción del Problema

En el área de estudio no existen proyectos mineros importantes o reconocidos. Sin embargo, hay algunas pequeñas labores artesanales, así como zonas inexploradas con escasos estudios o ninguno. Esta investigación, siendo un tema de interés, tiene como objetivo procesar imágenes LANDSAT-ASTER y realizar un Análisis por TERRASPEC para identificar áreas con alteración hidrotermal en el sector de Chañi, distrito de Condoroma.

A diferencia de los métodos tradicionales, este estudio empleará técnicas de análisis de imágenes satelitales y análisis por TERRASPEC para determinar áreas potenciales para la prospección minera en la zona de estudio. Estas técnicas requieren menos tiempo de trabajo y son de bajo costo, por lo que estas tecnologías se están desarrollando cada vez más para obtener información detallada.

Investigaciones previas basadas en imágenes satelitales han arrojado resultados favorables, como en el caso de la mina Yanacocha, donde permitieron identificar zonas de alteraciones hidrotermales asociadas a este yacimiento minero, así como ejemplos en Quellaveco y otros países. Además, el análisis por TERRASPEC se ha utilizado en proyectos como Santo Domingo - Fresnillo, y en proyectos en Brasil y Perú realizados por Álvaro Crosta, demostrando que es una herramienta útil para detectar minerales relacionados con la alteración.

2.2 Formulación del Problema

2.2.1 Problema General

¿El procesamiento de imágenes espectrales LANDSAT - ASTER y el análisis por terraspec, pueden ayudar a determinar zonas de alteraciones hidrotermales en el distrito de Condoroma?

2.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuál es la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC?
2. ¿Cuál es la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC?
3. ¿Se puede identificar zonas de alteración hidrotermal mediante los métodos de combinación de bandas cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológicas SWIR, y metodología SAM?
4. ¿Se pueden elaborar mapas temáticos a partir de la interpretación de imágenes LANDSAT - ASTER análisis por TERRASPEC y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Determinar zonas de alteración hidrotermal a través de imágenes satelitales LANDSAT-ASTER Y ANÁLISIS POR TERRASPEC en el distrito de Condoroma.

2.3.2 *Objetivos Específicos*

1. Establecer la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC.
2. Establecer la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC.
3. Identificar zonas de alteración hidrotermal mediante los métodos de combinación de bandas, cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológicas SWIR, y metodología SAM.
4. Elaborar mapas temáticos a partir de la interpretación de imágenes Landsat-Aster, análisis por Terraspec y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma.

2.4 Hipótesis

2.4.1 *Hipótesis General*

La aplicación de imágenes LANDSAT-ASTER y Análisis por TERRASPEC pueden identificar zonas de alteración hidrotermal en el distrito minero de Condoroma.

2.4.2 *Hipótesis Específicas*

1. La relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC generan zonas de alteración hidrotermal más precisas.
2. La relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC generan zonas de alteración hidrotermal más precisas.

3. Mediante los métodos de combinación de bandas, cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológicas SWIR, y metodología SAM se puede identificar zonas de alteración hidrotermal.
4. A partir de la interpretación de imágenes Landsat-Aster, análisis por Terraspec y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma, se pueden elaborar mapas temáticos de zonas de alteración hidrotermal.

2.5 Sistema de Variables

- Zonas de alteración hidrotermal

DIMENSIONES

- Análisis de imágenes satelitales LANDSAT-ASTER
 - Corrección atmosférica - Radiométrica de imágenes LANDSAT – ASTER
 - Técnica de Combinación de bandas en imágenes LANDSAT - ASTER
 - Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas en imágenes LANDSAT - ASTER
 - Técnica de Índices de identificación litológica en imágenes LANDSAT – ASTER
 - Técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper) en imágenes ASTER

- Análisis por TERRASPEC
 - Determinación de ensambles mineralógicos para realizar mapa de Alteraciones Hidrotermales
 - Vectorización de zonas calientes a partir de procesamiento de micas blancas
 - Determinación de zonas caliente en base a minerales indicadores de temperatura

(Ver anexo 01: Matriz de Consistencia).

(Ver anexo 02: Matriz de Operacionalización de Variables).

2.6 Justificación

2.6.1 *Justificación Teórica*

Este estudio se fundamenta en la necesidad de promover el conocimiento sobre la identificación y evaluación de recursos mineros a través de técnicas minero-informáticas y científicas. Estas técnicas permiten identificar áreas con alteraciones hidrotermales de interés minero, a través de conceptos teóricos de geología, minería y tecnologías de información geoespacial. El fundamento teórico se centra en la aplicación de métodos avanzados para la prospección de recursos mineros, contribuyendo al desarrollo y validación de nuevos modelos y técnicas de análisis que contribuyen el conocimiento en los campos de la geología y la minería.

2.6.2 *Justificación Práctica*

Esta investigación se justifica desde un punto de vista práctico por la necesidad de mejorar la eficiencia y efectividad en identificar zonas de prospección minera con potencial económico en el distrito de Condorama. Al identificar zonas de alteraciones hidrotermales con mayor potencial económico, se optimizan los recursos utilizados, reduciendo costos y tiempo. Esto no solo beneficia a las empresas mineras al proporcionarles información necesaria para sus inversiones, sino que también minimiza los impactos ambientales y sociales negativos en la comunidad local. Además, el estudio promueve el desarrollo económico de los centros poblados aledaños al fomentar inversiones en áreas con alto potencial minero.

2.6.3 *Justificación Metodológica*

Desde un enfoque metodológico, este estudio se justifica por la implementación y validación de técnicas específicas para el mapeo de alteraciones hidrotermales mediante el análisis de imágenes satelitales LANDSAT-ASTER y TERRASPEC. Estas metodologías representan un avance significativo en las técnicas de prospección minera,

al proporcionar herramientas precisas y eficientes para identificar zonas de interés. La aplicación de estas metodologías no solo ofrece un marco práctico para profesionales y estudiantes, sino que también sirve como una valiosa guía replicable para futuras investigaciones en áreas similares.

CAPÍTULO III. BASES TEÓRICAS

3.1 Marco Referencial (Antecedentes)

Nuestra zona de estudios no cuenta con trabajos previos realizados sobre análisis de imágenes satelitales LANDSAT y ASTER, sin embargo, el estudio de estas imágenes para la determinación de anomalías o espectros es una herramienta muy utilizada en estos días. Entes geológicos de otros países, empresas privadas dedicadas a actividades como Exploración de recursos minerales utilizan estos métodos. Se cuentan con los siguientes trabajos como antecedentes en temas similares:

Antecedente 1. Rodriguez Aycho, F. G. (2008). *Determinación de Zonas de Alteración Hidrotermal Mediante Imágenes ASTER, Oeste de Cajamarca*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del cusco.

El aporte de este trabajo fue que eesta investigación evalúa el pre-procesamiento y procesamiento de imágenes satelitales ASTER utilizando el software ENVI, para la determinación de zonas con alteración hidrotermal, las cuales son validadas mediante el uso de firmas espectrales de minerales obtenidas del espectrómetro PIMA.

Antecedente 2. Caiza Cañar, E. K. (2018). *Estimación de Zonas de Alteración Hidrotermal Mediante Interpretación de Imágenes Satelitales Tipo ASTER y uso del Equipo TERRASPEC en la Zona Oriental de Cerro de Pasco, Perú*. Universidad Central de Ecuador, Quito.

El aporte de este trabajo fue que mediante el uso de las imágenes del sensor ASTER y uso del equipo TERRASPEC, se confirma la delimitación de zonas de alteración.

Antecedente 3. Acosta, J. (1999). *Correlación de Imágenes Landsat y Espectrometría con alteraciones Hidrotermales del Pórfido de Cobre de Quellaveco.*

El aporte de este trabajo fue que se concluye que las imágenes Landsat TM son útiles para la exploración de nuevos depósitos sin embargo no es capaz de discriminar minerales hidroxilados de alteración hidrotermal por su baja resolución espectral en las bandas 5 y 7.

Antecedente 4. Díaz. (2007). *Imágenes Aster en la identificación de zonas de alteración hidrotermal en los alrededores de Yunga-Moquegua.*

El aporte de este trabajo fue que se ha utilizado imágenes ASTER para determinar zonas de alteración hidrotermal.

Antecedente 5. Mamani, T. (2017). *Aplicación de imágenes Aster en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, sector Titire, carumas, Moquegua. Puno-Perú.*

El aporte de este trabajo fue que se ha utilizado imágenes ASTER para determinar zonas de alteración hidrotermal.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Principios de la Teledetección

El principio de la teledetección se basa en que cada zona emite o refleja una radiación específica según sus propias propiedades, por lo tanto, el flujo de energía es un factor importante en la obtención de información para obtener imágenes satelitales o escenas como productos (Chuvieco, 1995). Hoy en día existe una gran variedad de imágenes de satélite, subdivididas en canales o bandas del espectro electromagnético, que registran la información captada por los satélites (ASTER, Landsat, Hyperion, WorldView 3, etc.).

3.2.2 Teledetección

La teledetección es una de las formas menos comunes de exploración minera. La teledetección es la práctica de obtener información sobre la superficie terrestre mediante imágenes obtenidas desde una perspectiva aérea o espacial, utilizando radiación electromagnética en una o más regiones del espectro que es reflejada o emitida por la superficie terrestre.

3.2.3 Principios Básicos de Teledetección

La teledetección requiere cuatro elementos básicos. Consideran la fuente de radiación (el sol o el radar), los sensores que detectan la radiación emitida por el objeto de estudio, los centros receptores que envían y recogen la información y, en última instancia, la cobertura que puede incluir suelo, vegetación, nieve, cuerpos de agua, o cualquier superficie de interés correspondiente al objeto de investigación. (Chuvienco, 1995).

3.2.4 El Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético aparece como un continuo de estas longitudes de onda, que se dividen en regiones donde la radiación electromagnética muestra un comportamiento similar. El espectro electromagnético se extiende desde longitudes de onda cortas (como los rayos gamma) hasta longitudes de onda largas (como las de la región de la radio) y se divide en regiones según la longitud de onda.

3.2.5 Mecanismos de Interacción

La radiación recibida en la superficie de la Tierra puede reflejarse, transmitirse o absorberse. La energía transmitida se transfiere de un medio a otro de diferente densidad, al igual que cuando la luz se transfiere del aire al agua, provocando un cambio en la velocidad de la radiación electromagnética. La radiación absorbida convierte principalmente su energía en materia calentadora. La radiación emitida por una

sustancia, generalmente en longitudes de onda largas, en función de su estructura y temperatura. La radiación reflejada es energía devuelta por la superficie de un material con un ángulo de reflexión igual y opuesto al ángulo de incidencia. (Chuvienco, 1995).

3.2.6 Sistema de Teledetección

La energía es la fuente del flujo de energía detectado por el sensor. Puede ser un foco fuera del sensor, en cuyo caso lo llamamos detección pasiva, o puede ser un haz de energía emitido por él, correspondiente a la detección activa. La fuente de energía más importante es la energía solar, creando un sistema pasivo de teledetección. (Chuvienco, 1995).

3.2.7 Resolución de un Sistema de Sensor

Según algunos autores, podemos definir la resolución de un sistema sensor por su capacidad para registrar y distinguir información detallada. Esta definición contiene varios aspectos que merecen un comentario más detallado. Por un lado, hablamos de la resolución de un sistema de sensores, indicando que este concepto se refiere a un conjunto de dispositivos y no a cada uno de sus componentes. (Chuvienco, 1995).

3.2.7.1 Resolución Espacial.

Es la distancia correspondiente a la unidad más pequeña de información contenida en la imagen (píxel). Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño del píxel, mayor será la resolución espacial, lo que significa que el sensor obtendrá más detalles del objeto. Hay una gama de resoluciones e imágenes que las representan, estas son:

- Alta: GeoEye, PeruSat-1, 1eidades, WorldView
- Media: RapidEye, LandSat, Sentinel-2, ASTER
- Bajo: MODIS, etc.

3.2.7.2 Resolución Espectral.

Indica el número y ancho de bandas espectrales que el sensor puede distinguir.

Cuanto mayor sea la resolución, más información se podrá obtener sobre el comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales

3.2.7.3 Resolución Radiométrica.

Medido en bits (dígitos binarios) es el rango de valores de brillo disponibles que corresponde al rango máximo de DN en una imagen, por ejemplo, una imagen con una resolución de 8 bits tiene 256 niveles de brillo (RICHARDS AND JIA, 2006)

3.2.7.4 Resolución Temporal.

Para los sensores satelitales también existe la resolución temporal, que es el tiempo necesario para volver a visitar la misma zona de la Tierra (NASA, 2011). Se refiere al período durante el cual adquiere imágenes de una misma parte de la superficie terrestre. El período de cobertura es función de las características orbitales de la plataforma (velocidad, inclinación) y del diseño del sensor, tenemos:

- Alta resolución temporal: < 1 día - 3 días
- Media resolución temporal: 4 - 16 días
- Baja resolución temporal: > 16 días

En palabras más simples, es la frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie terrestre.

3.2.8 Tipos De Imágenes De Teledetección

3.2.8.1 Imagen Multiespectral (MS).

Una imagen que tiene tantos valores numéricos asociados a cada píxel como bandas espectrales que el sensor puede detectar. En primer lugar, es el tipo de producto más útil porque nos proporciona, en cierta medida, la firma espectral de los diferentes

elementos presentes en la imagen. Entre estas imágenes tenemos imágenes LANDSAT, ASTER. Como imágenes MS de alta resolución espacial tenemos WorldView-2 y WorldView-3. Estas imágenes de alta resolución se pueden combinar con imágenes más simples para producir mejores resultados.

3.2.8.2 Imagen Pancromática (PAN).

Tiene una única banda espectral que normalmente cubre la mayor parte de la luz visible e infrarroja temprana, lo que da como resultado imágenes que normalmente se representan en escala de grises (imágenes en blanco y negro). Por otro lado, tienen la ventaja de tener una resolución espacial mayor que los satélites multispectrales proporcionados por el mismo satélite. Por eso son muy interesantes para detectar pequeños elementos de la superficie terrestre que son indistinguibles en imágenes multispectrales.

3.2.9 Tipos de Imágenes Satelitales

3.2.9.1 ASTER.

El programa Earth Science Enterprise de la NASA trabaja con grupos internacionales para diseñar, construir y lanzar instrumentos avanzados para observar fenómenos relacionados con el cambio global. En el marco del programa ESE se desarrolló un sensor multispectral de gran interés para aplicaciones en exploración geológica minera (Abrams, 2000).

3.2.9.2 LANDSAT 8.

Lanzado el 11 de febrero de 2013, Landsat-8 es un satélite óptico de resolución media cuyo objetivo es proporcionar información para la agricultura, la educación, el comercio, la ciencia y las actividades a nivel nacional. Es un satélite más completo que su predecesor, el Landsat-7, con capacidades mejoradas para monitorear la calidad del

agua y las nubes atmosféricas superiores (Descripción y Corrección de Productos Landsat 8, 2013)

3.2.10 Comparativa de Imágenes Satelitales

Desde el lanzamiento del primer satélite Landsat en 1972 se ha llevado a cabo con éxito la cartografía litológica y mineral utilizando imágenes de satélite. La última versión del Landsat-8 incluye el sensor de tira reflectante OLI y el sensor infrarrojo térmico TIRS (Markhametal., 2015). Aunque Landsat TM/ETM+ y Landsat OLI/TIRS son capaces de detectar óxidos e hidróxidos de hierro, minerales que contienen OH y zonas de alteración ricas en carbonatos, no pueden identificar minerales específicos (Knight y Kvaran, 2014; Loughlin, 1991). Las bandas 1-4 de Landsat ETM+ y las bandas 1-5 de Landsat OLI registran la energía de la porción VNIR del espectro electromagnético, donde se producen las firmas de diagnóstico de hematita, goethita y jarosita.

3.2.11 Teledetección en Exploración de Recursos Minerales

La teledetección muestra un gran potencial de aplicación en diversas ramas de la geología, como la geomorfología, la geología estructural, la identificación litológica y la exploración mineral. (p. ej., Drury, 2004; Gupta, 2003; Sabins, 2007; Prost, 2013; Vincent, 1997). En el campo de la exploración minera, las imágenes de teledetección se utilizan para mapear unidades geológicas y fallas o fracturas en depósitos minerales y revelar rocas alteradas hidrotermalmente a través de sus propiedades espectrales (Sabins, 1999). Debido a las características de absorción de Al-OH (centrado en la banda 6 de ASTER) y Fe-Mg-OH (centrado en la banda 6 de ASTER) y Fe-Mg-OH (centrado en la banda 8 de ASTER), respectivamente (Tommason y Rubinstein, 2007).

Utilizaron datos de Landsat-8 para realizar una exploración de pórfido de cobre en el área minera de Sar Cheshmeh en el sureste de Irán. Utilizaron proporciones de

bandas y combinaciones de bandas para identificar áreas de alteración hidrotermal y minerales asociados con la mineralización de pórfido de cobre (Pour y Hashim, 2015c). Las bandas (7, 5 y 3) del Landsat 8 dan una imagen compuesta en falso color en la que los afloramientos rocosos aparecen como imágenes mejoradas en tonos púrpura y azul (Danboyi et al., 2016).

3.2.12 *TERRASPEC*

Se utiliza para el análisis de muestras alteradas de rocas y suelos, además analiza todo tipo de muestras como afloramientos, testigo de perforación, muestras de mano, etc. Los análisis no son destructivos y no requieren de una preparación previa; además, por su velocidad y precisión, permite determinar mayor cantidad de espectros de minerales en menor tiempo. El rango de longitud de onda es de 350-2500nm

3.2.13 *Yacimiento Mineral*

Es un depósito mineral que ha sido revisado y demostrado que tiene el tamaño, ley y accesibilidad suficientes para entrar en producción de manera rentable (generar ganancias económicas). La rentabilidad de un depósito mineral depende de sus características intrínsecas (como el tonelaje y la ley), pero a veces también de condiciones externas al yacimiento, como las tasas impositivas, los precios de los metales, etc.

3.2.14 *Depósito del Tipo Epitermal*

Los depósitos epitermales suelen formarse en las partes poco profundas de los sistemas hidrotermales de alta temperatura. Profundidades inferiores a 1,5 km, temperaturas inferiores a 300 °C, asociadas con magmatismo calco-alcalino a alcalino, ubicadas en arcos volcánicos en los márgenes de placas convergentes, así como en zonas de rift intraarco, retroarco y post-colisión (White. Stern, 1995; Simmons et al., 2005).

Se han propuesto varios esquemas de clasificación para describir los depósitos epitermales. La clasificación más comúnmente utilizada corresponde a la que distingue (1) depósitos con bajo contenido de sulfuro de (2) depósitos con alto contenido de sulfuro según el estado de sulfuración de los conjuntos de sulfuros profundos. (Silito y Heddenquist, 2003; White y John, 2005).

3.2.15 Depósito del Tipo Pórfido Cuprífero

Los depósitos de pórfido de cobre son depósitos de baja ley (aproximadamente 0,5% Cu) y tienen un gran tonelaje. Se denominan pórfidos porque están asociados con rocas ígneas intrusivas ubicadas en los 5 a 6 km menos profundos de la corteza terrestre (Sillitoe R. , 1972). El término pórfido se refiere a la estructura de una roca ígnea con grandes cristales en una matriz de grano relativamente fino que puede contener cobre y otros minerales sulfurados.

Las rocas de caja intrusivas pueden ser de cualquier tipo, pero la composición de las rocas intrusivas porfídicas multifásicas varía desde granítica hasta diorita, con conjuntos de fenocristales correspondientes a cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasa, feldespatos angulares en una matriz de grano fino y biotita. Los minerales de mena y ganga pueden presentarse como vetas diseminadas, vetillas y grupos de vetillas (estructuras reticulares), brechas y rellenos de vesículas.

3.2.16 Alteración Hidrotermal

La alteración mineral es el resultado de un desequilibrio químico entre las condiciones originales de formación de la roca y las condiciones del fluido que alteran la roca, dando como resultado cambios en la composición, temperatura y pH, lo que resulta en una serie de reacciones de hidrólisis que forman minerales secundarios (Henley y Ellis, 1983).

La alteración hidrotermal asociada con intrusiones de tipo pórfido está muy extendida y generalmente se divide en zonas de escala sedimentaria (Lowell y Guilbert, 1970). En muchos depósitos de pórfido, la zona de alteración consiste en una zona interna de potasio caracterizada por feldespato potásico y/o biotita y una zona de albita compuesta de cuarzo, clorita, epidota, calcita y asociada localmente con pirita. Está compuesta por una zona de alteración de piedra azul. Las zonas de alteración fílica y la alteración argílica pueden ser parte del patrón zonal entre las zonas potásicas y propilíticas, o pueden ser más jóvenes, irregulares, superpuestas al conjunto de sulfuros y a la alteración antigua o franjas en forma de placas antiguas (e.g, Moyle et al., 1990; Sillitoe, 1993b).

3.2.17 Tipos de Alteraciones Hidrotermales

Se presenta a continuación un breve resumen de los tipos de alteración más comunes y sus respectivas asociaciones mineralógicas (Corbett y Leach, 1998; Meyer y Hemley, 1967; Reed, 1997; Titley, 1992; Rose y Burt, 1979).

A. Alteración Argílica avanzada: Gran parte de los minerales de las rocas son transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo a las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). Ocurre dentro de un amplio rango de temperatura, pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5 y alta temperatura (sobre 350°C).

B. Alteración Argílica Intermedia: Importantes cantidades de caolinita, esmectita, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las

rocas. Ocurre en rangos de pH entre 4 y 5 y puede coexistir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4. La caolinita se forma a temperaturas bajo 300°C, típicamente en el rango <150°-200°C. Sobre los 300°C la fase estable es pirofilita.

C. Alteración Fílica: También identificada como sericitica o cuarzo-sericitica.

Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) son transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración. La alteración cuarzo-sericita ocurre en un rango de pH 5 a 6 a temperaturas sobre los 250°C. A temperaturas más bajas se da illita (200°-250°C) o illita-esmectita (100°-200°C).

D. Alteración Propilítica: Presenta epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable

metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Baja hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal. Esta alteración se forma a condiciones de pH neutro a alcalino a rangos de temperatura bajo (200°-250°C).

E. Alteración potásica: Caracterizada principalmente por feldespato potásico y/o

biotita, con minerales accesorios como cuarzo, magnetita, sericita, clorita. La alteración potásica de alta temperatura (400° a 800°C).

3.2.18 Depósito Del Tipo Skarn

Los skarns son sedimentos que generalmente se presentan en halos metamórficos de contacto alrededor de cuerpos rocosos (mineralizados o estériles) que intruyen secuencias calcáreas. La producción mundial de estos depósitos suele incluir

Fe, Cu, W, C, Zn, Pb, Mo, Sn, U, Au, granate, talco y wollastonita; mientras que en Chile predominan los skarn de Cu y también se explotan skarn de Zn-Pb, Lapislázuli y Fe (Maksaev, 2001).

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de Investigación

Por su fin será de tipo aplicada, debido a que buscará definir propuestas prácticas para mapeo de alteraciones y será cuantitativa ya que implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados en la teledetección.

4.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación del proyecto, según la clasificación de Dankhe (1986), es descriptiva porque se busca estudiar imágenes espectrales y determinar zonas de alteraciones hidrotermales en nuestra zona de estudio

4.3 Método de Investigación

- a) **Experimental:** De acuerdo a los datos obtenidos por diferentes procesamientos de imágenes satelitales realizados y el análisis por TERRASPEC.

4.4 Diseño de Investigación

La investigación se basará en el análisis de imágenes espectrales utilizando diversas técnicas para determinar las zonas de alteraciones hidrotermales y obtener zonas prospectivas tentativas.

4.5 Materiales y Equipos

- Brújula
- GPS
- Picota
- Lupa 8x y 10x
- Rayador
- Ácido
- Protactor
- Cuaderno de campo
- Laptop
- Cámara fotográfica
- Imagen satelital
- Tableros
- Bolsas para recolección de muestras
- TERRASPEC Halo
- Microscopio de polarización

Fotografía 1 Materiales y equipos



4.6 Etapas de Elaboración del Estudio

Con el objetivo de alcanzar los resultados, se desarrolló de manera secuencial el siguiente procedimiento:

4.6.1 *Recopilación Bibliográfica y Base de Datos.*

- Recopilación y sistematización bibliográfica de información geológica – sensores remotos aplicados al campo de exploración minera.
- Instalación de software: ENVI 5.3, ARCGIS, GOOGLE EARTH, etc.
- Descarga de base de datos del sensor LANDSAT.
- Descarga de base de datos del Sensor ASTER.
- Elaboración de mapa base de la zona de estudio a escala 1:50 000.

4.6.2 *Procesamiento de Imágenes LANDSAT y ASTER.*

- **Pre procesamiento de las imágenes LANDSAT y ASTER:** La imagen cruda necesita ser preparada para tener mejor realce al momento de procesar, por los cuales se siguió los siguientes pasos:
 - **Corrección geométrica:** Se ajustó las variaciones espaciales que ocurren al momento de la captura de dicha imagen.
 - **Corrección radiométrica:** Se ha mejorado los niveles digitales originales de la imagen.
 - **Correcciones atmosféricas:** Se ha corregido de Radiancia a reflectancia, la radiación transmitida entre la superficie terrestre y el sensor.

- **Procesamiento de imágenes para determinar anomalías:**
 - **Elaboración de máscaras:** Se elaboraron las máscaras de vegetación, nubes, agua, sombra para separar del procesamiento de la imagen.
 - **Composición de bandas y cocientes:** se analizaron la combinación de bandas y ratios en donde permitió discriminar zonas de alteración hidrotermal.
 - **Identificación visual de zonas de alteración:** se identificó posibles zonas de alteración con respecto al resultado de la combinación y ratio de bandas interpretado por colores registrados en la imagen.
 - **Análisis espectral:** Se determinó la similitud entre dos espectros (Imagen LANDSAT Y ASTER con imagen USGS).
- Documentación y elaboración de mapas de zonas anómalas de alteraciones hidrotermales.

4.6.3 Reconocimiento de Campo.

- El reconocimiento de campo se focalizará en las zonas que presentan anomalías espectrales, el mismo que se realizó a una escala 1: 50000.
- En las zonas de anomalías se realizará levantamiento de información de campo concerniente al aspecto litológico en base a puntos de control, estructural y alteraciones hidrotermales.
- Se recolectarán las muestras de campo para análisis por TERRASPEC.

4.6.4 Confirmación de Anomalías Espectrales.

- Se obtuvieron firmas espectrales de las muestras tomadas del campo con el TERRASPEC: Luego de la extracción de muestra, se procedió a limpiar una pequeña parte del afloramiento de tal forma que la muestra de mano tenga la mayor parte de caras frescas, en el caso que se presente humedad se procede al secado al horno de 30 a 60 grados centígrados; finalmente se procedió a la lectura del espectro de la muestra con el TERRASPEC e identificación del espectro.
- Comparación de las firmas espectrales obtenidas del espectrómetro TERRASPEC y firmas de la librería de la USGS con las firmas espectrales anómalas, obtenidas de la imagen LANDSAT y ASTER.

4.6.5 Análisis e Interpretación de Resultados.

- Una vez obtenidos los resultados, se procedió a analizar e interpretar dichos resultados del procesamiento.

4.6.6 Redacción Final del Trabajo de Tesis.

- Se elaboraron mapa de anomalías espectrales, redacción de las discusiones y la edición final de la tesis.

CAPÍTULO V. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Debido a la escala de nuestra zona de estudio, se optó por considerar solamente una geomorfología regional, considerando una geoforma general donde se encontraron montañas y colinas separadas por el tipo de material y un subtipo en base a la topografía donde se considera altura y pendiente, teniendo así, cimas, fondos de valle y laderas. Estas geoformas se pueden apreciar de mejor manera en nuestro plano geomorfológico.

(Ver anexo 05: Mapa 03. Mapa de Geomorfología Regional).

5.1 Montaña de material volcánico (MmV)

Las montañas son geoformas elevadas de la superficie terrestre, que se eleva más de 300 metros sobre un nivel de referencia base, generalmente con un área de cumbre nominal en relación con las laderas delimitantes y con laderas empinadas con o sin considerable roca desnuda expuesta. Una montaña puede ocurrir como una masa única y aislada o en un grupo formando una cadena o cordillera. Las montañas se forman principalmente por actividad tectónica y/o acción volcánica y en segundo lugar por erosión diferencial (Schoeneberger, 2012). Estas montañas se han formado a partir de material volcánico. Dentro de esta unidad se diferenciaron los siguientes Sub Paisajes:

- Cima de montaña
- Fondo de valle de montaña
- Ladera de montaña

5.1.1 Sub Paisaje

5.1.1.1 Cima de montaña.

Las cimas o cumbres, vienen a ser la posición topográficamente más alta del perfil de una ladera con una superficie casi nivelada (plana o solo ligeramente convexa).

En si son la parte superior o el área más alta de una forma de relieve, como una colina, una montaña o una meseta. Por lo general, se refiere a un área interfluvial alta de pendiente relativamente suave que está flanqueada por pendientes más pronunciadas, por ejemplo, frentes de montaña o escarpes de meseta (Schoeneberger, 2012). Se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente inclinada, moderadamente empinada, fuertemente inclinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.1.1.2 Fondo de valle de montaña.

Este tipo de geoformas son aquellas, son superficies estrechas en “V”, son relieves ondulados, formados por proceso denudacional o estructural, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente inclinada, moderadamente empinada y fuertemente inclinada.

5.1.1.3 Ladera de montaña.

Son geoformas representadas por la parte más empinada de una montaña, entre su cumbre y la base de la montaña (Schoeneberger, 2012). Se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.2 Montaña de material Hipabisal (MmH)

Estas montañas, definidas anteriormente, se han formado a partir de materiales hipabisales. Dentro de esta unidad se diferenciaron los siguientes Sub Paisajes:

- Cima de montaña
- Ladera de montaña

5.2.1 Sub Paisaje

5.2.1.1 Cima de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.2.1.2 Ladera de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.3 Montaña de material de alteración (MmA)

Estas montañas, definidas anteriormente, se han formado a partir de materiales de alteración. Dentro de esta unidad se diferenciaron los siguientes Sub Paisajes:

- Cima de montaña
- Ladera de montaña

5.3.1 Sub Paisaje

5.3.1.1 Cima de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente inclinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.3.1.2 Ladera de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes Elementos de Paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.4 Montaña de material glaciario (MmG)

Son geoformas planas alargadas formadas efecto de la erosión glaciártica, que actúa de diferentes formas, como abrasión, fracturamiento del lecho rocoso y erosión por el agua del deshielo que corre debajo del glacial. Dentro de esta unidad se diferenciaron tres Sub Paisaje:

- Ladera de montaña

5.4.1 Sub Paisaje

5.4.1.1 Ladera de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.5 Montaña de material cuaternario (MmC)

Las montañas son geoformas elevadas de la superficie terrestre, que se elevan más de 300 metros sobre un nivel de referencia base, con presencia de material aluvial, biogénico, coluvial y fluvio-glaciario.

5.6 Colina de material volcánico (CmV)

Las colinas vienen a ser geoformas elevadas de la superficie terrestre, que se elevan al menos 30 m hasta 300 metros sobre un nivel de referencia base, generalmente con un área de cumbre nominal en relación con las laderas delimitantes, un contorno bien definido y redondeado y pendientes que generalmente superan el 15 %. Una colina puede ocurrir como una sola masa aislada o en un grupo. Una colina se puede

especificar más en función de la magnitud del relieve local: colina baja (30 a 90 m) o colina alta (90 a 300 m) (Schoeneberger, 2012).

En este caso las colinas se han formado a partir de materiales volcánicos. Dentro de esta unidad se ha diferenciado los siguientes Sub Paisajes:

- Cima de colina
- Ladera de colina

5.6.1 Sub Paisaje

5.6.1.1 Cima de colina.

Esta superficie es la zona más alta de una colina. Se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente inclinada, fuertemente empinada y empinada.

5.6.1.2 Ladera de colina.

Son geoformas representadas por la parte más empinada de una colina, entre su cumbre y la línea de drenaje, valle plano o el fondo de una depresión en la base de la colina (Schoeneberger, 2012). Se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.7 Colina de material de alteración (CmA)

Estas colinas, definidas anteriormente. En este caso estas geoformas se han formado a partir de materiales de alteración. Dentro de esta unidad se diferenciaron los siguientes Sub Paisajes:

- Cima de montaña

- Ladera de montaña

5.7.1 Sub Paisaje

5.7.1.1 Cima de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes elementos de paisaje: moderadamente empinada, fuertemente inclinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.7.1.2 Ladera de montaña.

Esta geoforma definida anteriormente, se han diferenciado los siguientes Elementos de Paisaje: moderadamente empinada, fuertemente empinada, extremadamente empinada y empinada.

5.8 Colina de material cuaternario (CmC)

Las colinas vienen a ser geoformas elevadas de la superficie terrestre, que se elevan al menos 30 m hasta 300 metros sobre un nivel de referencia base, con presencia de material biogénico, coluvial y fluvioglacial.

CAPÍTULO VI. GEOLOGÍA REGIONAL

Al igual que en la geomorfología, se consideró solamente la geología regional debido a la escala en la que se desarrolló el proyecto. Dentro de nuestra área de estudio podemos ver la predominancia del Grupo Palca con el primer evento del Complejo Volcánico Luli constituido principalmente por flujos piroclásticos de pómez y ceniza, bloques y tobas de ceniza. Posteriormente se encuentra el Grupo Tacaza, se encuentra infrayaciendo al Grupo Palca y está compuesta principalmente por flujos piroclásticos más ricos en cristales y tobas de ceniza y lapilli. Como cuerpos subvolcanicos podemos encontrar pórfidos andesíticos y stock dacíticos del mesozoico, así como del cenozoico. Finalmente podemos encontrar depósitos cuaternarios fluvio-glaciares, aluviales, coluviales y biogénicos.

(Ver anexo 06: Mapa 04. Mapa de Geología Regional).

6.1 Grupo Tacaza

6.1.1 Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 1 (Po-choE1)

Depósitos de flujos piroclásticos de ceniza y líticos, color gris.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 115.23 ha, aflorando en el distrito de Condoroma alrededor del centro poblado de Surapata perteneciente a la comunidad de Challi.

6.1.2 Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 4 (Po-choE4)

En (Cerpa, y otros, 2011) señalaron que “está conformado por depósitos de flujos piroclásticos de ceniza de color gris” (pág. 33). En esta unidad también se presentan afloramientos de diorita.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 1594.02 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en los cerros de Yuraccasa y San Juan Saqsa perteneciente a las comunidades de Challi y Alcassana.

Fotografía 2 Afloramiento de Andesita con apariencia porfirítica correspondiente al Centro Volcánico Choquepirhua Evento 4 ubicado en el distrito de Condoroma, al norte del centro poblado de Cucurani.



6.1.3 Centro Volcánico Choquepirhua – Evento 5 (Po-choE5)

(Cerpa, y otros, 2011) indicaron que “está conformado por depósitos de flujo piroclástico rico en cristales” (pág. 33). En esta unidad también se presentan afloramientos de andesita y toba.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 1084.76 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en los cerros de Colquecahua y Choquepichua, al noreste del centro poblado de Suramayo.

Fotografía 3 Afloramiento de Andesita gris parduzca correspondiente al Centro Volcánico Choquepirhua Evento 5 ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Suramayo.



6.1.4 Centro Volcánico Ajopichaca – Evento 1 (Po-ajE1)

De acuerdo (Cerpa, y otros, 2011), “está conformado por intercalaciones de depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, de color gris a gris blanquecino con líticos porfiríticos” (pág. 34). En esta unidad también se presentan afloramientos de andesita.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 3.51 ha en el distrito de Condoroma en los cerros de Atahualpa Mocho, Isangare, Apacheta, perteneciente a la comunidad de Alclassana.

Fotografía 4 Afloramiento de Toba lítica producto de la acumulación de ceniza volcánica correspondiente al Centro Volcánico Ajopichaca Evento 1 ubicado en el distrito de Condoroma, en el centro poblado de Jornillo.



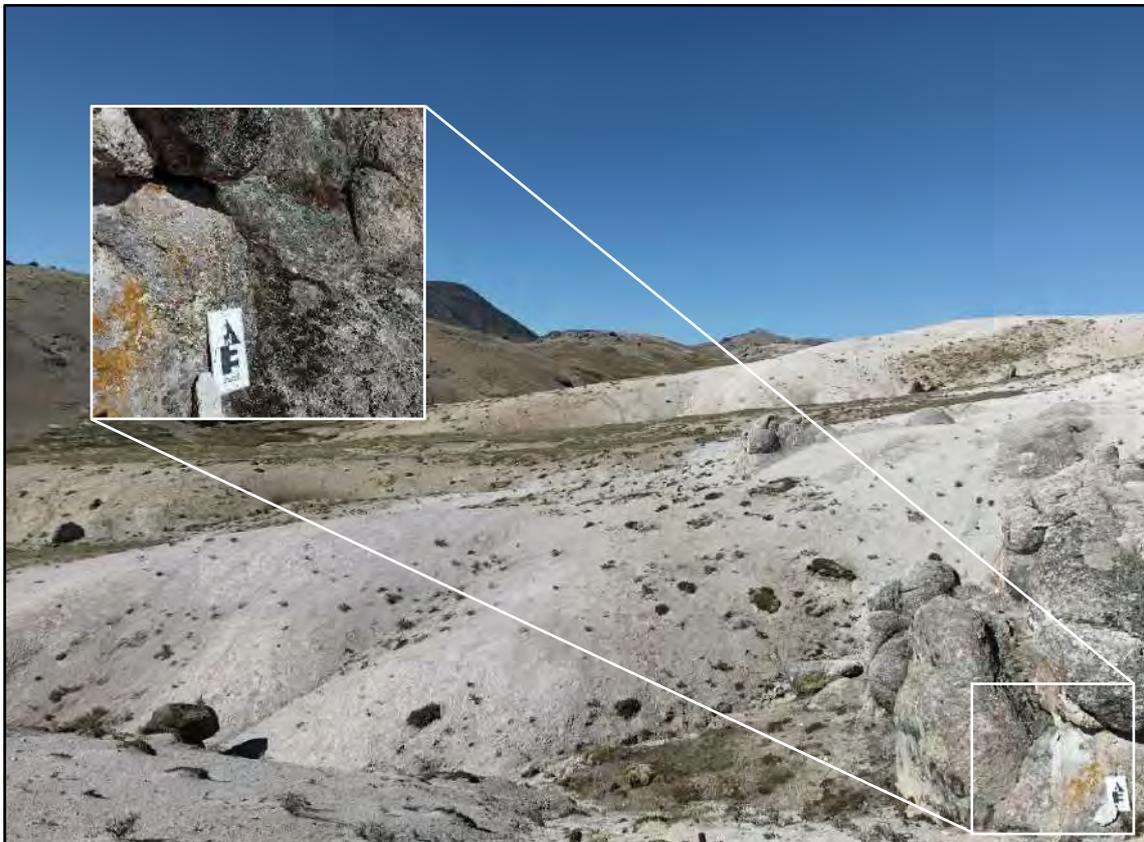
6.2 Grupo Palca

6.2.1 Centro Volcánico Luli – Evento 1 (Nm-luE1)

De acuerdo con (Cerpa, y otros, 2011), “está conformado por depósitos de flujos de lava de color gris y textura afanítica” (pág. 42).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 6529.69 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en la comunidad de Challi.

Fotografía 5 Afloramiento de Toba vítrea con fragmentos de vidrio volcánico correspondiente al Centro Volcánico Luli Evento 1 ubicado en el distrito de Condoroma, al oeste del centro poblado de Achuyocucho.



6.2.2 Centro Volcánico Luli – Evento 5 (Nm-luE5)

De acuerdo con (Cerpa, y otros, 2011), “consta de un depósito de flujo piroclástico de ceniza rico en cristales de color gris; contiene plagioclasa (30%) y biotita (5%)” (pág. 42). En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 59.36 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Ancosupa perteneciente a la comunidad Alcassana.

Fotografía 6 Afloramiento de toba lítica con coloración blanquecina a rosácea producto de la acumulación de ceniza volcánica correspondiente al Centro Volcánico Luli Evento 5 ubicado en el distrito de Condoroma, al este del centro poblado de Pupusani.



6.3 Grupo Sillapaca

6.3.1 Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 1 (Nm-colE1)

En (Aguilar Contreras, Cerpa Cornejo, & Cereceda Quintanilla, 2010). señalaron que está “conformado por un depósito de flujos piroclásticos de bloques y ceniza con fragmentos líticos monomícticos, cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo.” (pág. 2).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 174.75 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Choquepirhua perteneciente a la comunidad Challi.

Fotografía 7 Afloramiento de Andesita de coloración gris oscuro correspondiente al Centro Volcánico Colquecahua Evento 1 ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Suramayo.



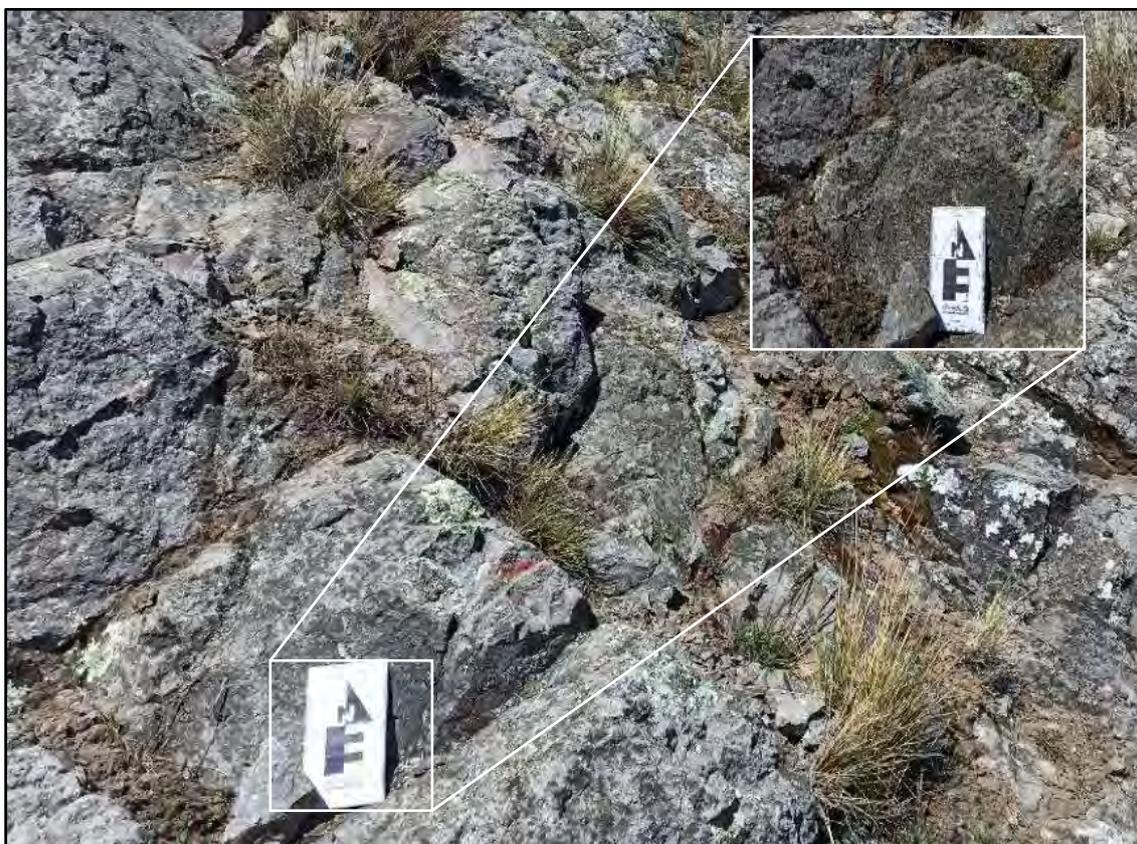
6.3.2 Centro Volcánico Colquecahua – Evento 2 (Nm-colE2)

Depósito de flujos de lava y flujos piroclásticos de cenizas rico en cristales y líticos sobre yacidos por depósitos de bloques y cenizas. Contiene líticos monomícticos de 60 cm., cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo.

En (Aguilar Contreras, Cerpa Cornejo, & Cereceda Quintanilla, 2010). señalaron que está “compuesto por lavas grises con cristales de plagioclasa, flujos piroclásticos de cenizas y flujos piroclásticos de bloques y ceniza” (pág. 2).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 577.23 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Choquepirhua y Colquecahua perteneciente a la comunidad Challi.

Fotografía 8 Afloramiento de Andesita de coloración gris oscuro correspondiente al Centro Volcánico Colquecagua Evento 2 ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Suramayo

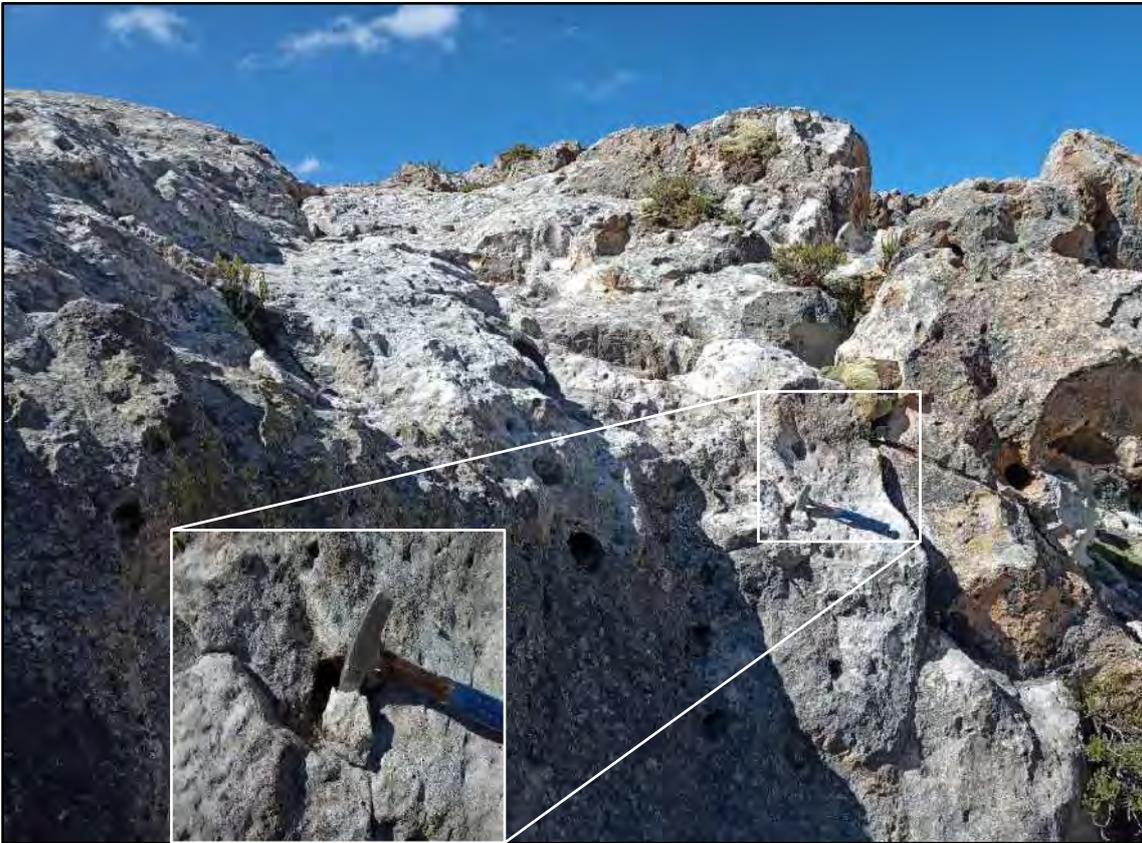


6.3.3 Centro Volcánico Colquecagua – Evento 4 (Nm-colE4)

“Está constituido por depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, ricos en líticos; contiene pómez de textura fibrosa y tamaños menores a 2 cm” (Cerpa, y otros, 2011), (pág. 44).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 298.70 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el centro poblado de Oquehuaraya, perteneciente a la comunidad Patacollana, en el cerro Huatapata ubicada en la comunidad Alto Andino Yungarasi y en el cerro Tutarane perteneciente a la comunidad de Challi.

Fotografía 9 Afloramiento de Toba Lítica de coloración blanquecina correspondiente al Centro Volcánico Colquecagua Evento 4 ubicado en el distrito de Condoroma, al sureste del centro poblado de Catazuma.



6.3.4 Centro Volcánico Colquecagua – Evento 5 (Nm-colE5)

Intercalaciones de depósitos de flujos de lavas color gris, con depósitos de flujos piroclásticos de cenizas rico en líticos, en estratos delgados.

(Aguilar Contreras, Cerpa Cornejo, & Cereceda Quintanilla, 2010) afirmaron que está “conformado por una secuencia de lavas gris violáceas con fenocristales de plagioclasa, fracturas rellenas por calcita, óxidos de Cu y cuarzo opalino, intercalada con flujos piroclásticos de cenizas con líticos” (pág. 2).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 907.02 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Choquepirhua y Colquecagua perteneciente a la comunidad Challi.

6.3.5 Centro Volcánico Colqueccahua – Evento 6 (Nm-colE6)

Depósito de flujos de lavas de color gris y textura afanítica, presenta ligera alteración clorítica.

De acuerdo con (Aguilar Contreras, Cerpa Cornejo, & Cereceda Quintanilla, 2010), son “lavas grises de textura afírica y amigdaloides con leve alteración clorítica” (pág. 2).

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 459.69 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Choquepirhua perteneciente a la comunidad Challi.

6.4 Rocas Intrusivas

6.4.1 KP-3-pand

Está conformado por un Pórfido andesítico y Andesitas de tipo Hipabisal.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 321.03 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Colqueccahua perteneciente a la comunidad de Challi.

Fotografía 10 Intrusivo Pórfido Andesítico ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Luli.



6.4.2 Peo-3-pda

Está conformado por un intrusivo Pórfido dacítico/ stock de Dacita de tipo Hipabisal.

En el área geográfica de la provincia de Espinar esta unidad ocupa una extensión de h 177.93 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro San Juan Sausa perteneciente a la comunidad Challi.

6.4.3 Nm-da

Está conformado por Domos dacíticos y porfíricos de coloración gris verdosa, con cristales de plagioclasa, cuarzo y anfíboles; con estructura flow banding.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 134.33 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Colquecahua perteneciente a la comunidad de Challi.

Fotografía 11 Intrusivo Pórfido dacítico de coloración gris blanquecina ubicado en el distrito de Condoroma, al noreste del centro poblado de Suramayo.



6.4.4 Nm-3-pand

Está conformado por Andesitas y domos andesíticos de tipo Hipabisal.

En el área geográfica de trabajo esta unidad ocupa una extensión de 111.81 ha, aflorando en el distrito de Condoroma en el cerro Colquecahua perteneciente a la comunidad Challi.

6.5 Depósitos Cuaternarios

6.5.1 Depósito Fluvioglacial – (Qh-fg)

Esta unidad está constituida por bloques y gravas angulosas de diferentes tipos de roca en una matriz arenosa.

En el área geográfica de trabajo estos depósitos ocupan una extensión de 926.20 ha, encontrándose en mayor predominancia en los cerros Suranchaca, Puca Puncho, Choquepirhua, Chuquipirua pertenecientes a la comunidad Challi.

Fotografía 12 Depósito Fluvio-glacial constituido por bloques y gravas angulosas de diferentes tipos de rocas en una matriz arenosa, ubicado en el distrito de Condoroma, al este del centro poblado de Suranchaqui



6.5.2 Depósito Coluvial – (Qh-cl)

En la provincia de Espinar esta unidad se encuentra emplazada por toda la provincia de Espinar, los cuales están condicionados por sus agentes formadores principalmente la gravedad seguido de la meteorización, la humedad y precipitaciones intensas, dando origen a depósitos constituidos por partículas de roca angulosa heterométricos y de composición homogénea en relación a la unidad geológica cercana y están acumulados al pie de taludes escarpados. Cabe señalar que se tienen espesores muy variables, identificándose espesores relativamente menores a un metro, estos que son productos de la meteorización intensa de la unidad maure. Unidad que se encuentra en los distritos de Alto Pichigua, Pichigua, Yauri, Ocoruro, Pallpata y en menor proporción en el distrito de Coporaque y Condorama

En el área geográfica de trabajo estos depósitos ocupan una extensión de 87.66 ha, predominan al sur del centro poblado de Tambocucho y Phausa pertenecientes a la comunidad Challi.

Fotografía 13 Depósito Coluvial conformado por gravas y bloques rocosos angulosos heterométricos localizados al pie de taludes escarpados, ubicado al oeste del distrito de Condoroma.



6.5.3 Depósito Aluvial – (Qh-al)

Esta unidad está conformada por depósitos de gravas y arenas mal seleccionadas en matriz arenolimososa producto de acumulaciones aluvionales muy extensas poco consolidados que dieron origen a las amplias altiplanicies.

En el distrito de Condoroma se encuentra emplazada en las zonas con pendiente baja como se puede apreciar; así mismo los espesores que se muestran en este depósito son variables desde 1 a 3 metros en promedio, asimismo se ha evidenciado que estas unidades se encuentran intercalados con horizontes de cenizas, horizontes de arenas y formando terrazas antiguas.

En el área geográfica de trabajo estos depósitos ocupan una extensión de 56.66 ha, se presentan en las márgenes y en sus afluentes de cursos del río Acocollo.

Fotografía 14 Depósito Aluvial conformado por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limo arenosa, ubicado en el distrito de Condorama, al noroeste de la laguna de Pañi.



6.5.4 Depósito Biogénico – (Qh-bi)

Estos depósitos se encuentran al pie de las laderas de los cerros. Y están relacionados a las nacientes de agua formando grandes acumulaciones de lodo y grama. Litológicamente están constituidas por brechas poco compactas, sueltas y envueltas en limos.

En el área geográfica de trabajo estos depósitos ocupan una extensión de 847.95 ha, encontrándose en diversos sectores en el ámbito de las comunidades de Challi y Alcassana.

Fotografía 15 Depósito Biogénico formado en un ambiente subacuoso con abundante vegetación conformado por arenas y limos, ubicado en el distrito de Condoroma, al este de la comunidad de Challi.

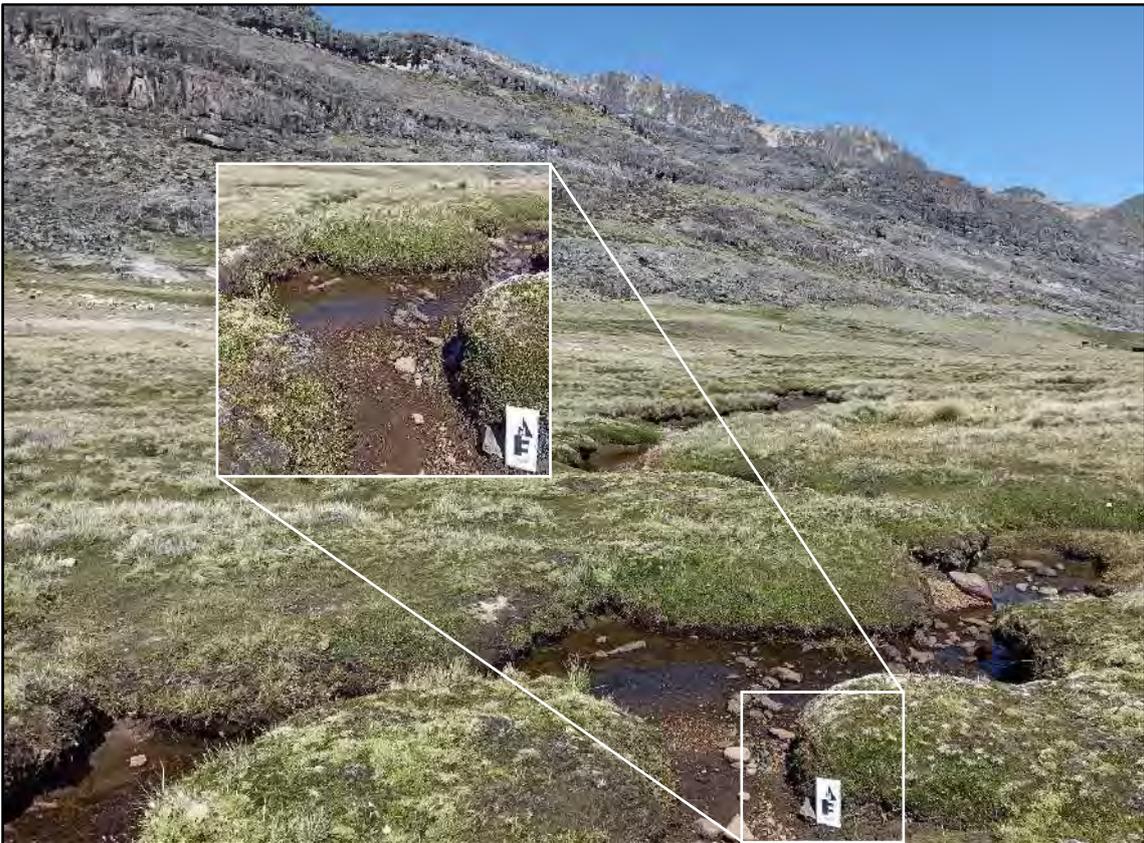
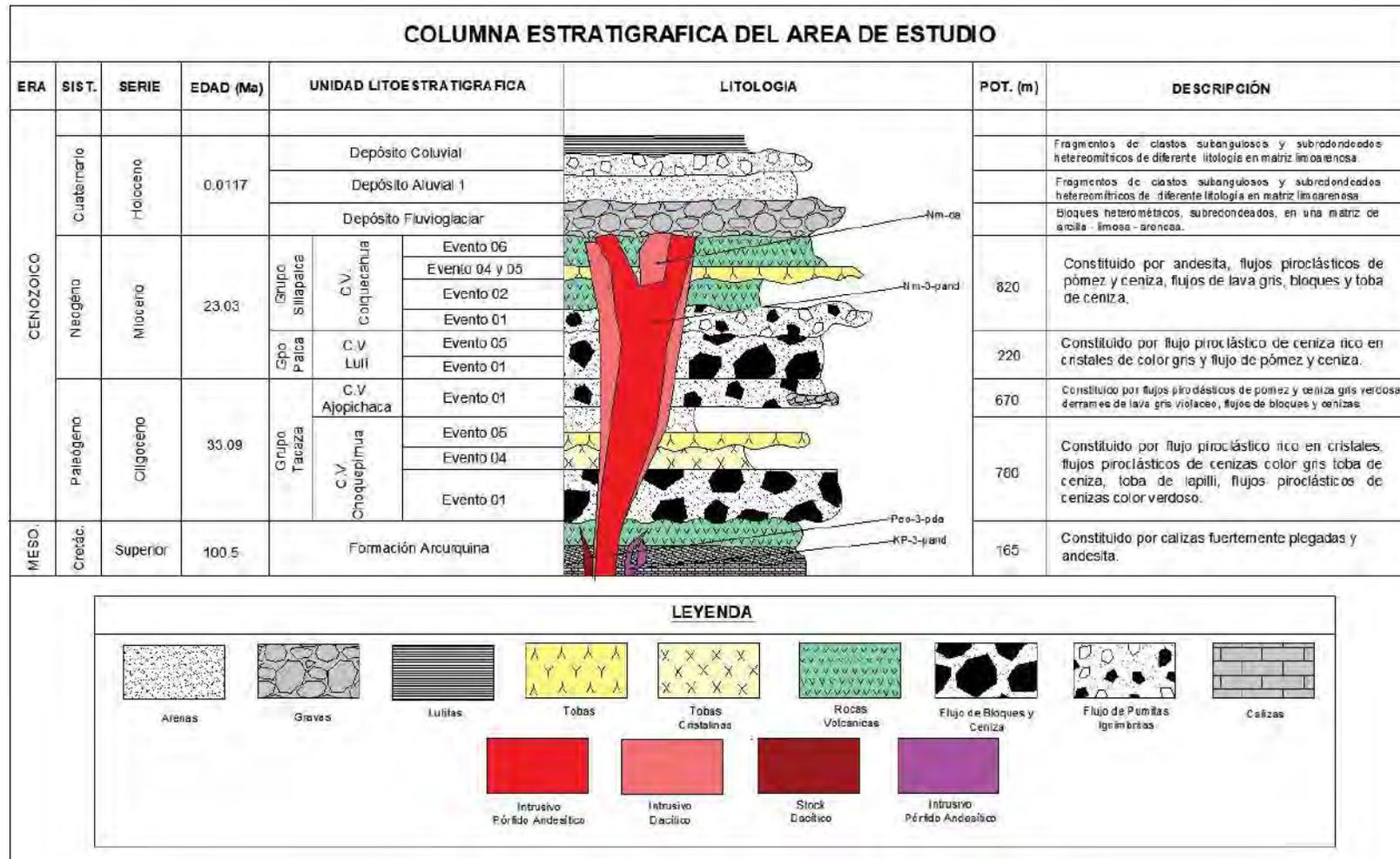


Figura 2 Columna Estratigráfica del área de estudio



Fuente. Modificado de (Espinar-Cusco E. T.-C., 2023).

CAPÍTULO VII. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

En el área de estudio se encontraron fallas regionales y lineamientos en su mayoría con tendencia NE-SW, así como NW-SE, que controlan los últimos eventos eruptivos del Tacaza y Cailloma – Barroso. Desde el punto de vista paleogeográfico, esta zona corresponde a parte de la cordillera occidental.

Dentro del área de estudio se encontró fallas que se despliegan concordante al sistema de fallas de Cusco – Lagunillas – Mañazo con una orientación NW – SE dentro de las cuales tenemos la falla Huaytacucho – Condoroma y el subsistema de fallas Luli, este último con cinemática inversa de componente sinistral. De igual forma se tienen fallas más locales producto de los esfuerzos tectónicos que genera el desplazamiento de un bloque en referencia a otra o el desplazamiento de ambos bloques a través de un plano de falla.

Dentro del área de estudios se encontró una falla principal, al norte, la falla Huaytacucho – Condoroma 2 que es discordante al sistema de fallas regionales Cusco – Lagunillas – Mañazo con una extensión de 15.431 km. En la parte occidental del área la falla Luli como parte de todo su sistema con una extensión de 7.659 km asociada a otras fallas más locales y pequeñas en su misma dirección.

(Ver anexo 07: Mapa 05. Mapa de Geología Estructural Regional).

7.1 Falla Huaytacucho – Condoroma

Tiene una dirección promedio de N 110° y una inclinación de 75° hacia el suroeste. Es una estructura antigua que afecta depósitos volcánicos miocenos continuando su actividad durante el Cuaternario y la actualidad. No existe un escarpe de

falla continuo, este al parecer fue erosionado por la actividad glacial. Por la disposición de los estratos y análisis del sistema de drenaje se puede afirmar que se trata de una falla normal con componente de rumbo sinestral; asimismo, la disposición de la sismicidad superficial de los últimos años nos grafica claramente el movimiento de la falla y el plano de ella a profundidad.

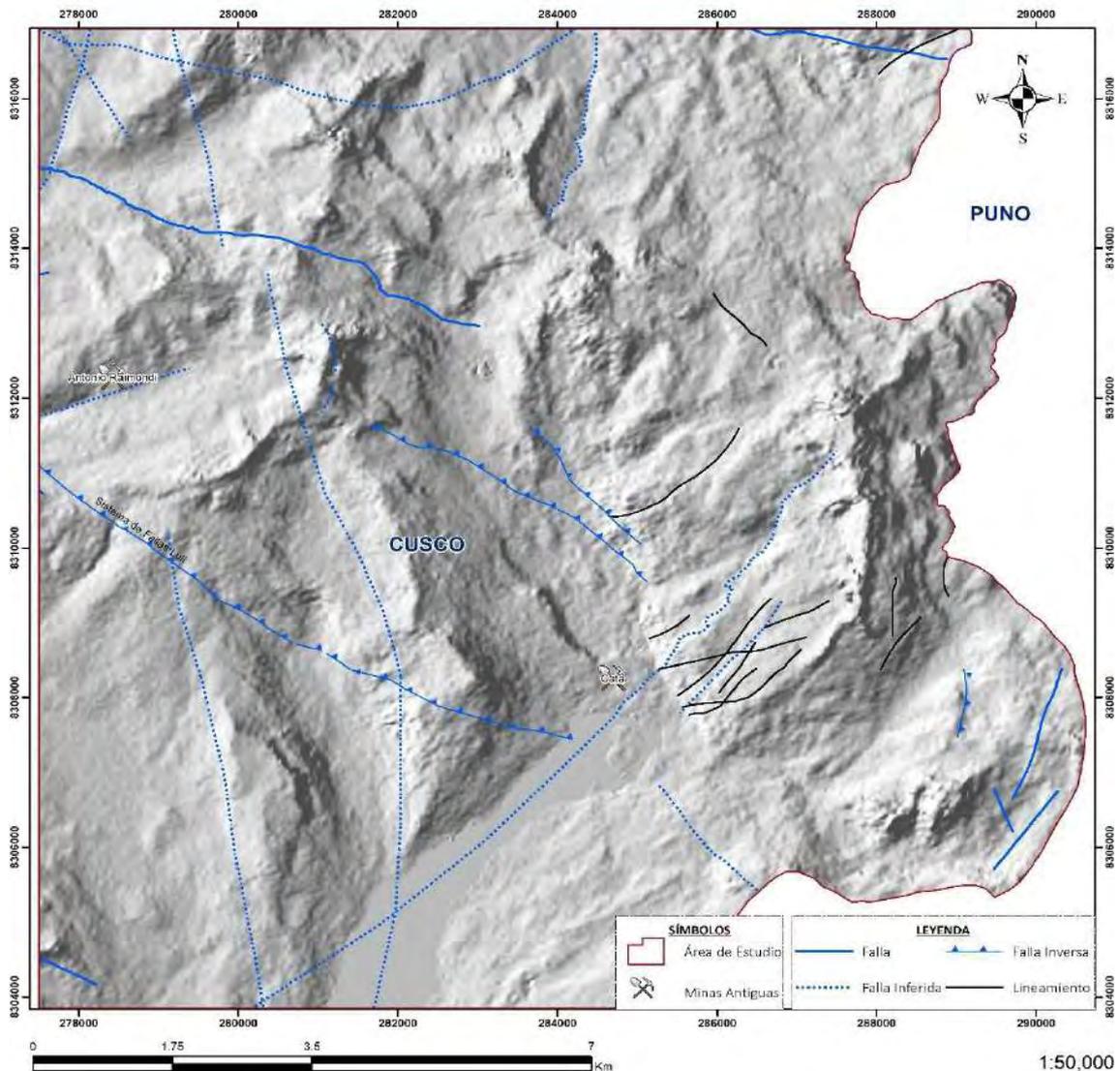
Esta falla afecta a las comunidades de Challi, Alcassana, Alto Condoroma y Ocoruro con una longitud de 14.81 km.

7.2 Subsistema de Fallas Luli

Se encuentran en la parte centro – este del cuadrángulo de Condoroma y al centro – oeste de nuestra zona de estudio. Este subsistema de fallas está formado por la falla Luli principalmente y pequeñas estructuras de rumbo E-W y N-S, en nuestro caso de forma inferida. La falla Luli posee un rumbo de N120° y un buzamiento de 70° al NE. Cortando a los complejos volcánicos de Ajopichaca del grupo Tacaza y al complejo volcánico de Luli del grupo Palca. Estudios previos indican que esta falla presenta una cinemática inversa con componente sinestral, siendo de un régimen compresivo (Aguilar Contreras, Cerpa Cornejo, & Cereceda Quintanilla, 2010). Además, podemos ver que esta falla separa en delimita dos bloques, al lado oeste un bloque sin evidencias de mineralización, con presencia de zonas argílicas, denominada corredor central y al lado oeste un bloque con evidencias de mineralización asociada a estas estructuras NW-SW y E-W, hospedadas en los cuerpos volcánicos, denominado corredor Luli-Yauri.

Dentro del área de estudio también pudimos identificar fallas inferidas, discordantes a las fallas principales por lo general con orientación NE – SW y N – S, estas fallas inferidas fueron identificadas mediante fotointerpretación y campo.

Figura 3 Se aprecia la distribución de las fallas inferidas, determinadas en campo



7.3 Lineamientos

Se identificaron 4 tendencias principales, la tendencia principal (T1) de orientación ENE – WSW y siendo las de mayor frecuencia, la segunda tendencia (T2) de orientación NW – SE, la tercera tendencia (T3) de orientación NNW – SSE y la última tendencia (T4) de orientación NNE – SSW y siendo de menor frecuencia.

Los modelos de elevación digital (DEM), son herramienta indispensable para lugares con escasa información topográfica, permitiendo generar vistas en 3D

facilitando la comprensión de ciertas geoformas y lineamientos estructurales. Las geoformas en la superficie terrestre brindan información acerca de la composición litológica de rocas, erosión, estructuras y movimientos tectónicos, dicha información se puede extraer de la interpretación de dichas imágenes procesadas mediante técnica como es: Modelo de sombras (Shaded Relief) multidireccional. Se hizo uso de los softwares QGIS, Stereonet y Past, para la elaboración de rosetas e histogramas y así determinar las tendencias principales del área de estudio.

Figura 4 Distribución de lineamientos, determinados mediante modelo de sombras

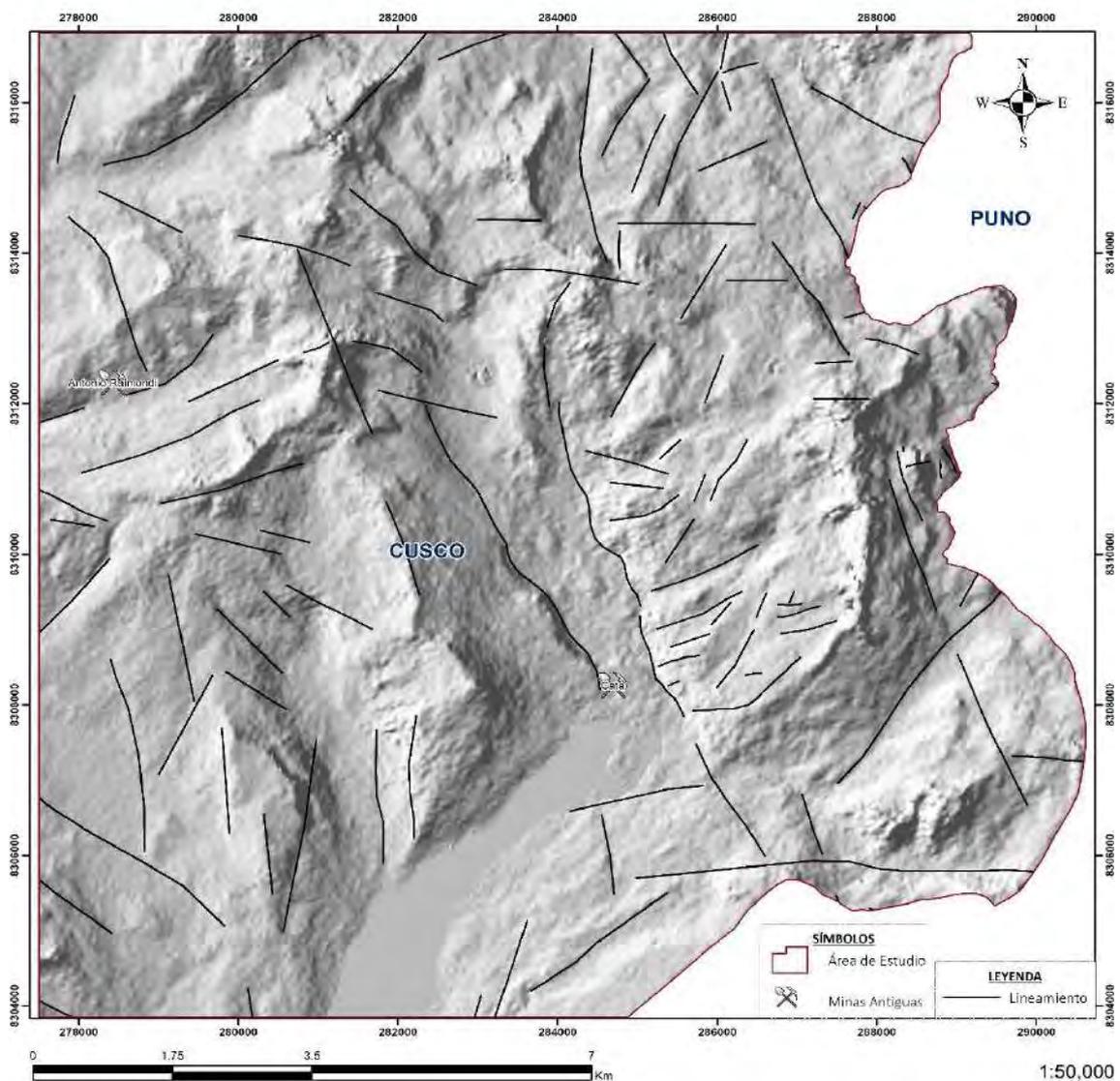
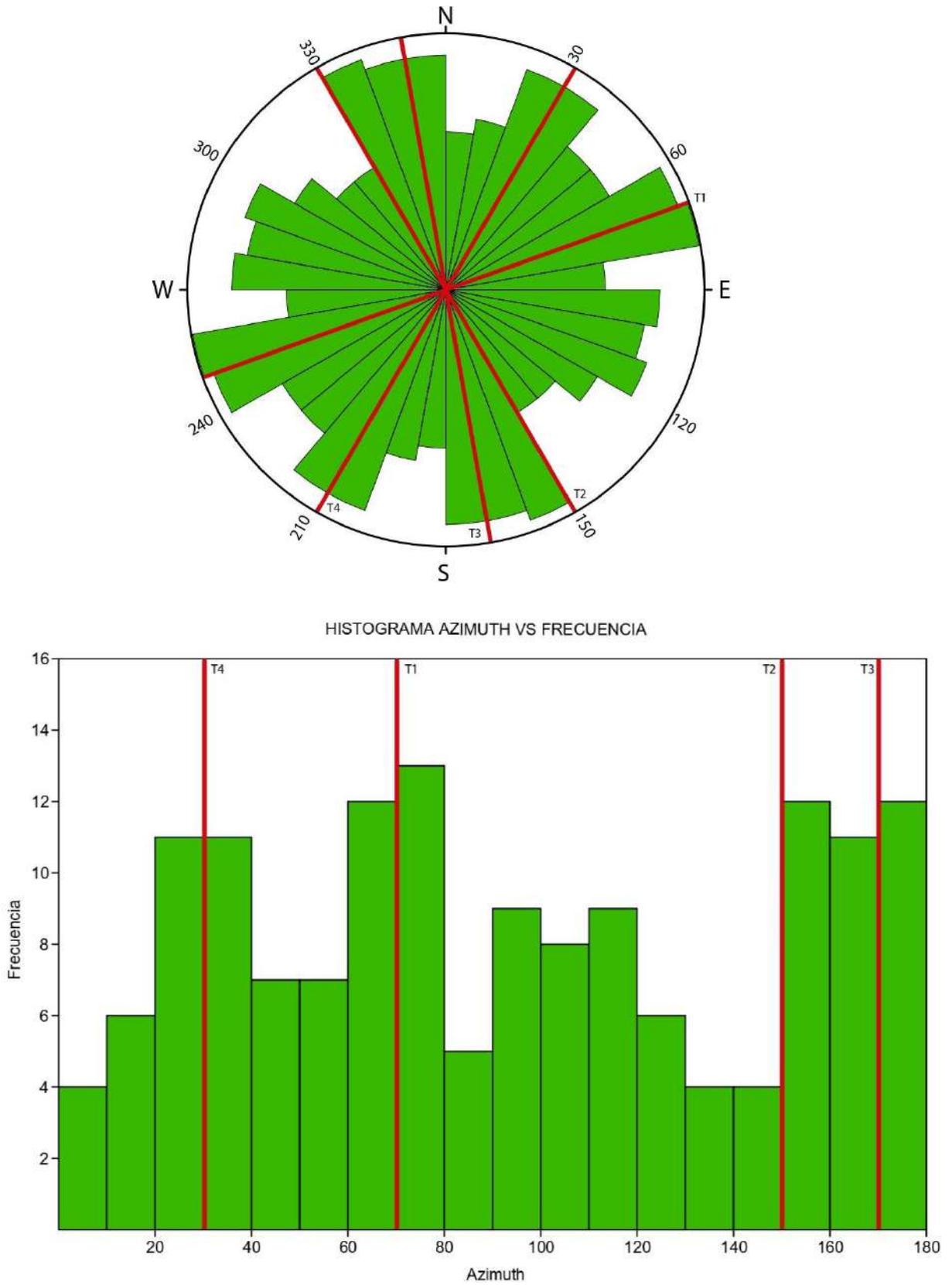


Figura 5 Se aprecia las tendencias principales, marcadas en líneas de color rojo, tanto en el diagrama de rosetas como en el histograma, donde se aprecia su frecuencia



CAPÍTULO VIII. PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES Y ANÁLISIS POR TERRASPEC

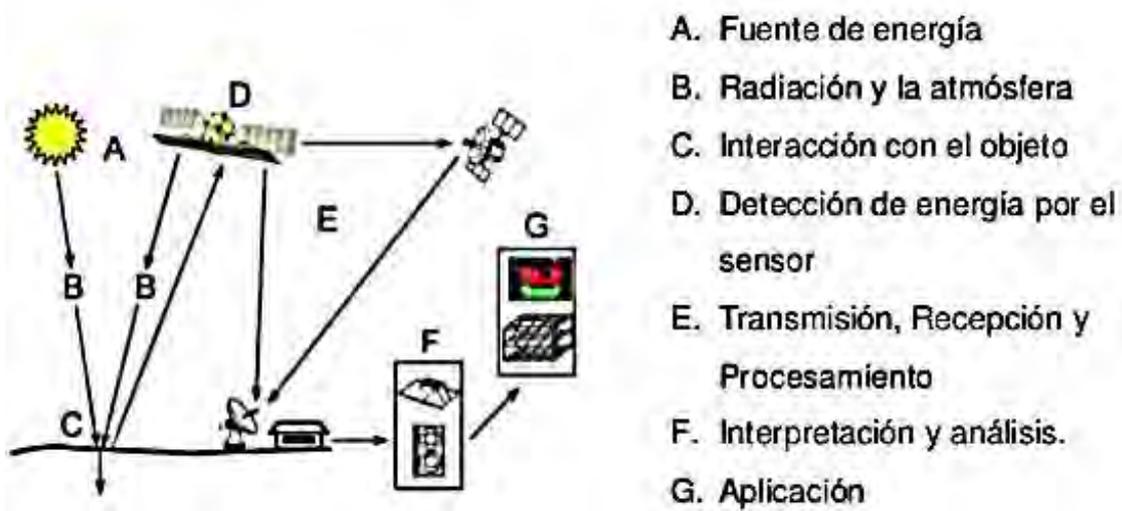
8.1 Generalidades

Un sensor remoto es un dispositivo que permite adquirir datos sobre un objeto o fenómeno sin tener contacto físico directo con el mismo, operando a cierta distancia. En este caso particular, el sensor se encuentra ubicado en la superficie terrestre. Estos instrumentos son muy útiles para aplicaciones como la agricultura, la exploración minera, el monitoreo de volcanes, la educación, la gestión catastral urbana y otras ciencias.

Para que la observación remota sea posible, debe existir algún tipo de intercambio de energía entre el objeto de interés y el sensor. Esta energía puede ser reflejada o emitida directamente por el objeto, o bien ser energía emitida que es reflejada por el objeto de vuelta hacia el sensor. Estas tres formas de transporte energético permiten obtener información sobre la superficie terrestre (Fig. 6). El principio fundamental de la teledetección se basa en que cada zona o cobertura emite o refleja una firma espectral característica según sus propiedades inherentes. Por lo tanto, el flujo de energía es un factor clave para poder capturar una imagen o escena como producto final.(Chuvienco, 1995).

Es importante considerar que entre el sensor y la superficie terrestre se encuentra la atmósfera, compuesta por diversos gases que dispersan y absorben parte de la señal original, interactuando con la radiación electromagnética detectada.

Figura 6 Componentes de un sistema de Teledetección



Fuente. (Rodríguez Aycho, 2008)

8.2 El Espectro Electromagnético

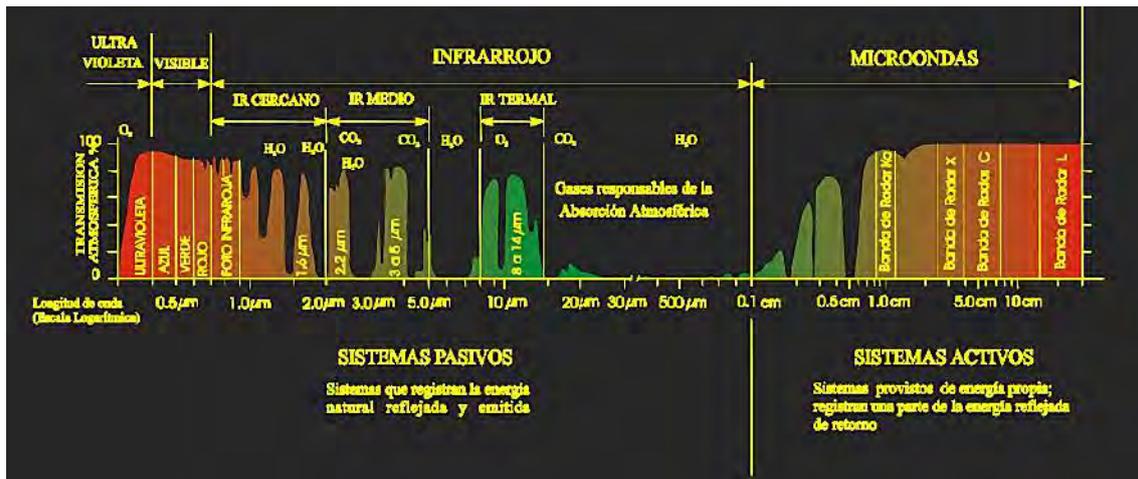
Cualquier forma de energía puede ser caracterizada mediante sus longitudes de onda o frecuencias asociadas. El espectro electromagnético (EEM) se encuentra organizado en una secuencia ordenada de diferentes longitudes de onda, dividiéndose en regiones que comparten comportamientos similares. Este espectro se extiende desde los rayos gamma (longitudes de onda extremadamente cortas, medidas en fracciones de nanómetros) hasta la región de las ondas de radio (longitudes de onda muy largas, medidas en metros). El EEM se subdivide en distintas regiones basadas justamente en los rangos de longitudes de onda que abarcan. Las principales regiones del espectro electromagnético son las siguientes (Fig. 7):

- a) **Rayos Gamma** (menores a $0.003 \mu\text{m}$): Esta radiación de alta energía es completamente absorbida por la atmósfera terrestre, por lo que no es detectable por los sensores remotos.

- b) Rayos X** (0.03nm a 30 nm): Al igual que los rayos gamma, esta porción del espectro también es absorbida totalmente por la atmósfera, imposibilitando su uso en sensores remotos.
- c) Rayos Ultravioleta** (0.03 a 0.4 μm): Esta radiación ultravioleta es absorbida en su totalidad por la capa de ozono en la atmósfera.
- d) Espectro Visible** (0.4 μm a 0.7 μm): Denominado así por ser la única radiación electro magnética perceptible por nuestra vista. Dentro de esta se tiene 3 bandas que son: Azul (0,4 μm -0,5 μm), Verde (0,5 μm -0,6 μm) y Rojo (0,5 μm -0,6 μm) que son los colores primarios.
- e) Infrarrojo cercano** (0,7 μm -1,3 μm): También conocido como infrarrojo fotográfico, es útil para discriminar masas de vegetación.
- f) Infrarrojo medio** (1,3 μm -8 μm): Permite obtener información sobre el contenido de humedad en la vegetación y detectar focos de alta temperatura.
- g) Infrarrojo lejano o térmico** (8 μm -14 μm): Abarca la porción emisiva del espectro, detectando el calor proveniente de la superficie terrestre.
- h) Microondas:** (a partir de 1mm) Estas longitudes de onda tienen la capacidad de penetrar nubes, neblina y lluvia. Las imágenes se obtienen mediante scanning systems activos y pasivos.

De todas las regiones que componen el espectro electromagnético, las más relevantes para el estudio de los sensores remotos son el espectro visible y las porciones del infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano. Estas son las regiones del espectro donde operan los denominados sensores remotos pasivos, que son clave para las aplicaciones de teledetección.

Figura 7 Espectro electromagnético



Fuente. (Rodríguez Aycho, 2008)

8.3 Efectos Atmosféricos

La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por los siguientes gases en las proporciones indicadas: nitrógeno (N_2) 78%, oxígeno (O_2) 21%, argón (Ar) 1%, además de cantidades menores de vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y ozono (O_3).

De todos estos componentes gaseosos, los que interactúan principalmente con la radiación electromagnética que atraviesa la atmósfera son el dióxido de carbono, el vapor de agua y el ozono.

Los principales efectos que produce la atmósfera sobre la radiación electromagnética que la atraviesa son la dispersión atmosférica y la absorción atmosférica de parte de dicha radiación. Estos fenómenos modifican las características de la radiación original proveniente de la superficie terrestre o de fuentes externas antes de que pueda ser detectada por los sensores remotos (Rodríguez Aycho, 2008).

8.3.1 Dispersión Atmosférica

La dispersión atmosférica se refiere a la difusión de la radiación electromagnética producida por las partículas presentes en la atmósfera. Existen dos tipos principales de dispersión (Rodríguez Aycho, 2008):

- Dispersión Rayleigh, ocurre cuando la radiación electromagnética interactúa con moléculas de los gases atmosféricos y otras partículas muy pequeñas, cuyo diámetro es menor que la longitud de onda de la radiación incidente.
- Dispersión Mie, tiene lugar cuando las partículas que interactúan con la radiación son de mayor tamaño, como por ejemplo el vapor de agua y las partículas de polvo en suspensión. Este tipo de dispersión tiende a afectar en mayor medida a las longitudes de onda más largas del espectro.

Ambos tipos de dispersión provocan que parte de la radiación electromagnética original se desvíe de su trayectoria original al interactuar con los componentes de la atmósfera terrestre.

8.3.2 Absorción Atmosférica

La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por gases como el oxígeno molecular (O₂), el dióxido de carbono (CO₂), el ozono (O₃) y el nitrógeno (N₂). Estos gases afectan la interacción entre el flujo de radiación electromagnética proveniente de la superficie terrestre y los sensores remotos, produciendo el efecto de absorción atmosférica (Sabins, 1999)

La absorción atmosférica consiste en que ciertos gases absorben específicas porciones o bandas del espectro electromagnético, atenuando la intensidad de la radiación en esas regiones espectrales particulares. Como resultado, existen ciertas

bandas o "ventanas atmosféricas" donde la transmitancia de la radiación es alta, es decir, donde la atmósfera absorbe poca o ninguna radiación. Estas ventanas son ideales para el análisis espectral desde sensores remotos.

Las principales ventanas atmosféricas se encuentran en el espectro visible, infrarrojo cercano, con varias ventanas adicionales en infrarrojo medio, infrarrojo térmico y regiones de microondas, donde la atmósfera es casi transparente a la radiación (Fig. 8).

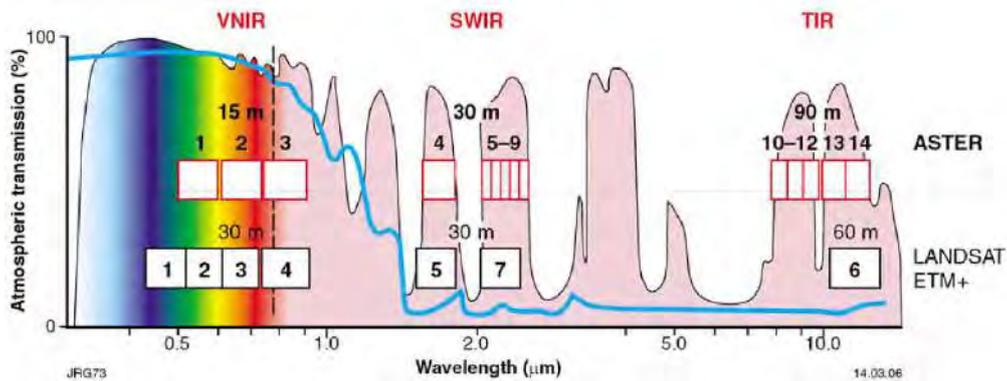
Además de la absorción, otro fenómeno que modifica la información es la dispersión atmosférica, que puede ser de distintos tipos. La dispersión Rayleigh, que afecta en mayor medida a las longitudes de onda más cortas, es la responsable del color azul del cielo y tiene un impacto importante en teledetección.

Adicionalmente, cualquier cuerpo por encima del cero absoluto emite radiación térmica, incluyendo la propia atmósfera, lo que también distorsiona los datos captados por sensores.

Todos estos efectos atmosféricos negativos sobre la adquisición de información desde sensores remotos deben ser corregidos antes de proceder al procesamiento de las imágenes captadas.

En resumen, la composición y propiedades de la atmósfera terrestre provocan fenómenos como la absorción y dispersión diferenciales de la radiación electromagnética, generando patrones espectrales característicos que deben ser considerados y compensados para una adecuada interpretación de los datos de sensores remotos.

Figura 8 Ventanas atmosféricas



Fuente. (Caiza Cañar E. , 2018)

8.4 Sensor Landsat

Después de que las primeras fotografías tomadas desde el espacio demostraran su utilidad, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de Estados Unidos diseñó el primer proyecto dedicado específicamente a la observación de recursos naturales a fines de la década de 1960. Este proyecto dio origen al lanzamiento del primer satélite de la serie Earth Resources Technology Satellite (ERTS) el 23 de julio de 1972, iniciando su órbita alrededor de la Tierra. Esta serie de satélites pasó a denominarse Landsat en 1975.

Durante 25 años, el programa Landsat desempeñó un papel fundamental al proveer datos multiespectrales de alta resolución a nivel global. A mediados de la década de 1980, su operación fue transferida al sector privado, pero debido a problemas financieros y recortes presupuestarios, regresó a la administración gubernamental en 1992. A pesar de desafíos como el fallo de la misión Landsat 6, el proyecto Landsat 7, gestionado conjuntamente por la NASA, la NOAA y el USGS, fue lanzado con éxito en 1999, aportando nuevas capacidades que facilitarían una distribución y comercialización más accesible de los datos a través de costos más bajos.

8.4.1 Características del LANDSAT-8

A lo largo del tiempo, el programa Landsat ha utilizado diferentes sensores en sus distintas misiones espaciales. Actualmente, el instrumental de teledetección a bordo de Landsat 8 comprende el Operational Land Imager (OLI), que es un radiómetro de barrido multicanal, y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), un radiómetro de dos canales en el infrarrojo térmico.

El instrumento OLI opera en nueve bandas espectrales que abarcan desde los 0.433 hasta los 2.300 μm , permitiéndole capturar imágenes con una resolución espacial máxima de 15 metros. Las imágenes resultantes pueden tener una precisión cartográfica de 12 metros o superior. Debido a que el OLI puede observar a través de dos nuevas bandas espectrales, resulta útil para estudios de nubes cirros y evaluaciones de la calidad del agua.

Por su parte, el instrumento TIRS tiene una resolución espacial de 100 metros y está destinado principalmente a generar firmas térmicas de la superficie terrestre y estudiar procesos de transferencia de calor y humedad.

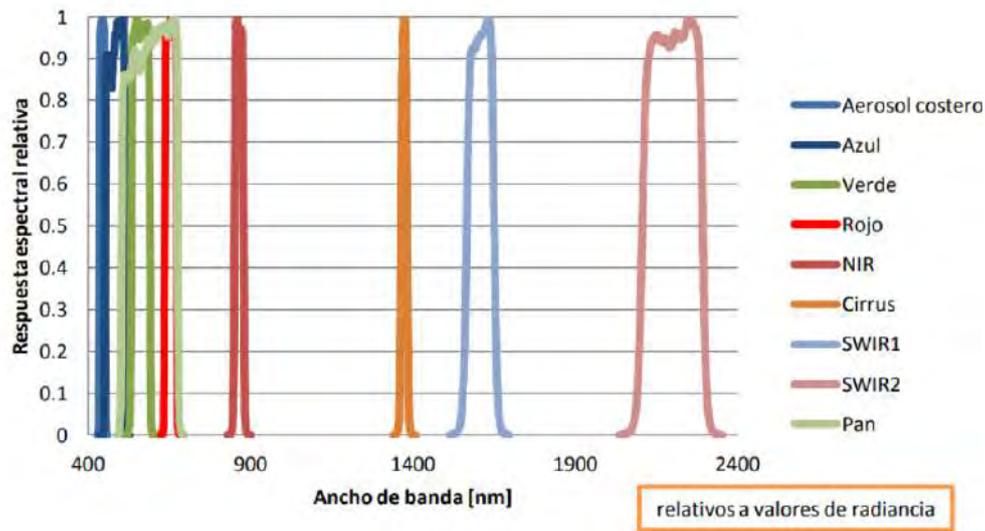
La tabla muestra la distribución de bandas espectrales tanto para OLI como para TIRS, junto con sus respectivos rangos de longitudes de onda y resoluciones espaciales. Adicionalmente, se incluyen gráficos de Respuesta Espectral Relativa (RSR) versus ancho de banda para cada canal, lo cual es importante ya que indica cómo varía la sensibilidad del sensor a la energía reflejada, permitiendo identificar características de interés en las superficies observadas.

Tabla 2 Tabla de distribución de las bandas en OLI Y TIRS

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	BANDAS	LONGITUD DE ONDA (µm)	RESOLUCIÓN (m)
	Banda 1 – Aerosol costero	0,43-0,45	30
	Banda 2 – Azul	0,45-0,51	30
	Banda 3 – Verde	0,53-0,59	30
	Banda 4 – Rojo	0,64-0,67	30
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85-0,88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1,57-1,65	30
	Banda 7 – SWIR 2	2,11-2,29	30
	Banda 8 – Pancromático	0,50-0,68	30
	Banda 9 - Cirrus	1,36-1,38	30
	Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60-11,19	100
	Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Fuente. USGS, 2013

Figura 9 Promedio de la respuesta espectral relativa en valores de radiancia



Fuente. (Descripción y Corrección de Productos Landsat 8, 2013)

8.5 Sensor Aster

El Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) consta de tres subsistemas principales. Se trata de un instrumento desarrollado conjuntamente por la NASA de Estados Unidos y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón, con la cooperación de científicos de ambos países.

ASTER fue integrado al satélite artificial Terra, lanzado por la NASA el 18 de diciembre de 1999 (Fig. 10). Terra fue el primero de una serie de satélites diseñados en el marco del Sistema de Observación Terrestre (EOS) de la NASA, con el objetivo de monitorear la superficie, biosfera, atmósfera y océanos del planeta para comprender mejor el sistema Tierra como un todo.

Además de ASTER, Terra transporta otros instrumentos clave como MODIS (Espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada) para seguimiento de volcanes, CERES (Sistema de energía radiante de nubes y Tierra) para estudios

climáticos, y MOPITT (Mediciones de contaminación en la troposfera) para detectar polución atmosférica.

ASTER destaca por ser el único sensor de alta resolución espacial a bordo de Terra, complementando las capacidades de los otros instrumentos. Proporciona suficiente resolución espacial y espectral para distinguir diferentes clases de minerales en la superficie terrestre.

En cuanto a sus parámetros orbitales, Terra tiene una órbita heliosincrónica similar a Landsat 7, pero cruza el Ecuador a las 10:30 am hora local, repitiéndose cada 16 días y 30 minutos después que Landsat (ERSDAC, 2002)

Figura 10 El sensor ASTER antes de su lanzamiento



Fuente. (ERSDAC, 2002)

8.5.1 Características del ASTER

Los sensores ASTER tienen la capacidad de recopilar hasta 650 escenas por día, logrando una cobertura global. Cada escena individual capturada tiene un ancho de barrido de 60 x 60 kilómetros y son adquiridas desde una altitud orbital de 705 kilómetros.

Las escenas ASTER se organizan en diferentes niveles de procesamiento, dependiendo del tratamiento que han recibido. Cuando son inicialmente capturadas y recibidas en la estación terrena, se encuentran en el nivel cero. Luego, mediante ciertos procedimientos, son promovidas al nivel 1A. Posteriormente, entre 200 y 300 escenas son procesadas adicionalmente al nivel 1B.

Sólo las escenas que han alcanzado el nivel 1B están disponibles para su distribución comercial. Los datos en este nivel, en formato HDF, son los que se procesan posteriormente según los requerimientos de los usuarios.

El período de revisita u obtención de nueva información multiespectral de un mismo punto en la superficie terrestre por parte de ASTER es cada 16 días, coincidiendo con su ciclo orbital.

8.5.2 Subsistema Infrarrojo visible y cercano (VNIR)

El subsistema VNIR de ASTER está diseñado para capturar las firmas espectrales asociadas a las vibraciones de metales de transición, particularmente el hierro, así como algunos elementos de tierras raras (Fig. 11). Consta de tres bandas espectrales que adquieren imágenes en la vista nadir o vertical (denominadas 3N).

Adicionalmente, cuenta con un telescopio adicional que permite obtener una vista trasera u oblicua (3B), utilizando las mismas tres bandas para construir pares estéreo (Rodríguez Aycho, 2008). Esta configuración de visión estéreo proporciona una perspectiva tridimensional que permite generar modelos de elevación digital (DEM) e imágenes orto-rectificadas, muy útiles para aplicaciones en cartografía, geología y definición de relieves.

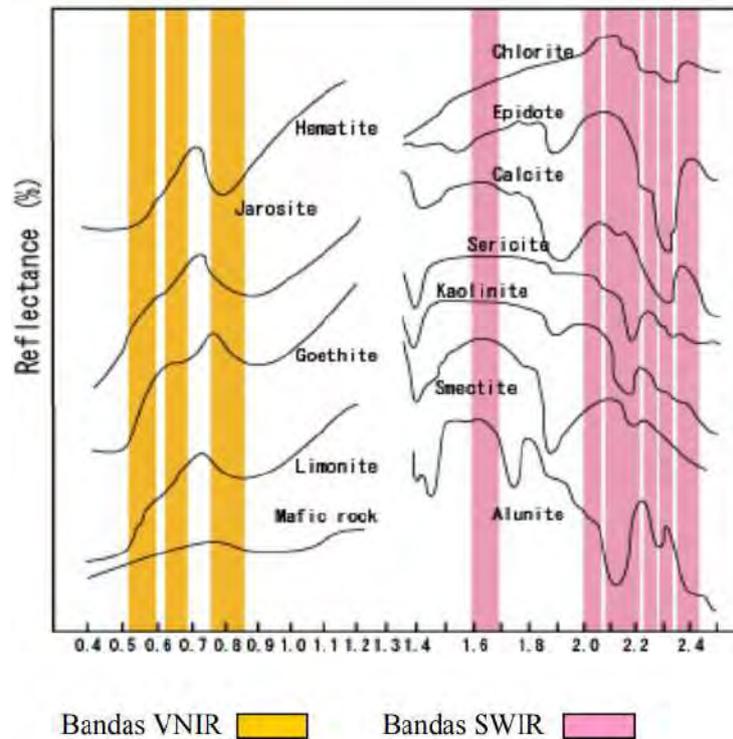
El subsistema VNIR de ASTER tiene una resolución espacial de 15 metros en las imágenes que captura.

8.5.3 *Subsistema Infrarrojo de onda corta (SWIR)*

El subsistema SWIR de ASTER está diseñado para detectar las firmas espectrales asociadas a las vibraciones moleculares de hidratos, hidróxidos de aluminio, hierro, magnesio y carbonatos. Consta de seis bandas espectrales estratégicamente ubicadas en esta región del espectro electromagnético (Fig. 11). Las seis bandas SWIR pueden relacionarse con las longitudes de onda de absorción características de minerales típicos de alteraciones argílicas avanzadas, argílicas a fílicas y propilíticas de alto grado. Específicamente, los picos de absorción en 2.165 μm , 2.209 μm y 2.360 μm son clave para identificar este tipo de minerales de alteración hidrotermal (Rodríguez Aycho, 2008)

Esta región espectral del infrarrojo de onda corta es ampliamente utilizada por los sensores hiperespectrales para mapear áreas mineras, convirtiéndola en una de las más importantes para estas aplicaciones. El subsistema SWIR de ASTER tiene una resolución espacial de 30 metros.

Figura 11 Características espectrales de algunos minerales en los subsistemas VNIR y SWIR del sensor ASTER

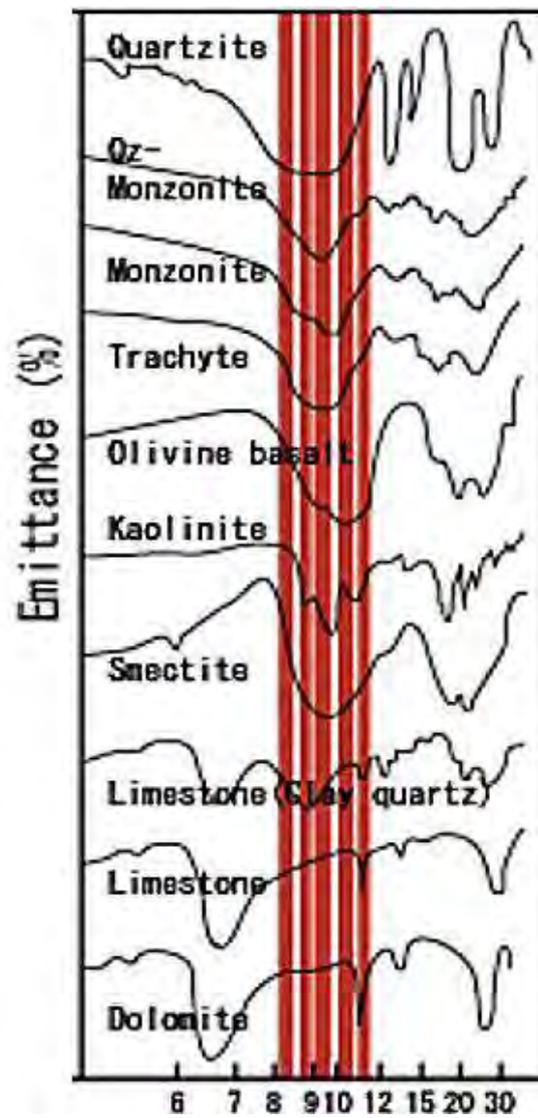


Fuente. (Rodríguez Aycho, 2008)

8.5.4 Subsistema Termal de la onda corta (TIR)

En el rango espectral del infrarrojo térmico se encuentran los picos de absorción característicos de los principales minerales formadores de rocas. Específicamente, cinco de las seis bandas de este subsistema de ASTER están dedicadas a detectar las firmas espectrales de moléculas de silicatos (Fig. 12). Además de sus aplicaciones para caracterización de minerales, el subsistema TIR es importante para el monitoreo de temperatura y gases a partir de imágenes adquiridas durante la noche, evitando así la componente de reflexión debida a la iluminación solar (Rodríguez Aycho, 2008). El subsistema infrarrojo térmico de ASTER tiene una resolución espacial de 90 metros en las imágenes que captura.

Figura 12 Características espectrales de minerales en los subsistemas de TIR del
ASTER



Fuente. (Rodriguez Aycho, 2008)

Tabla 3 Se resume los rangos espectrales y resolución espacial de las bandas en los tres subsistemas del sensor

Subsistema	Número de bandas	Rango Espectral (micrómetros)	Resolución Espacial (m)	Niveles de Cuantificación
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

8.5.5 Resolución

La salida radiactiva (ya sea emisión o reflexión) de la superficie de la Tierra es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Para realizar esta discretización, es necesario definir cuatro resoluciones a las que opera el sensor remoto:

La definición común de resolución se refiere a la agudeza y claridad de una imagen, pero para sensores remotos es bastante amplia, ya que la resolución de un sensor dependerá de sus componentes.

8.5.5.1 Resolución Espacial.

Es la mínima unidad de información incluida en la imagen denominado píxel. Este término se aplica al objeto más pequeño que puede ser captado por el sensor. También se emplean términos más complejos como effective resolution element (ERE) o effective instantaneous field of view (EIFOV).

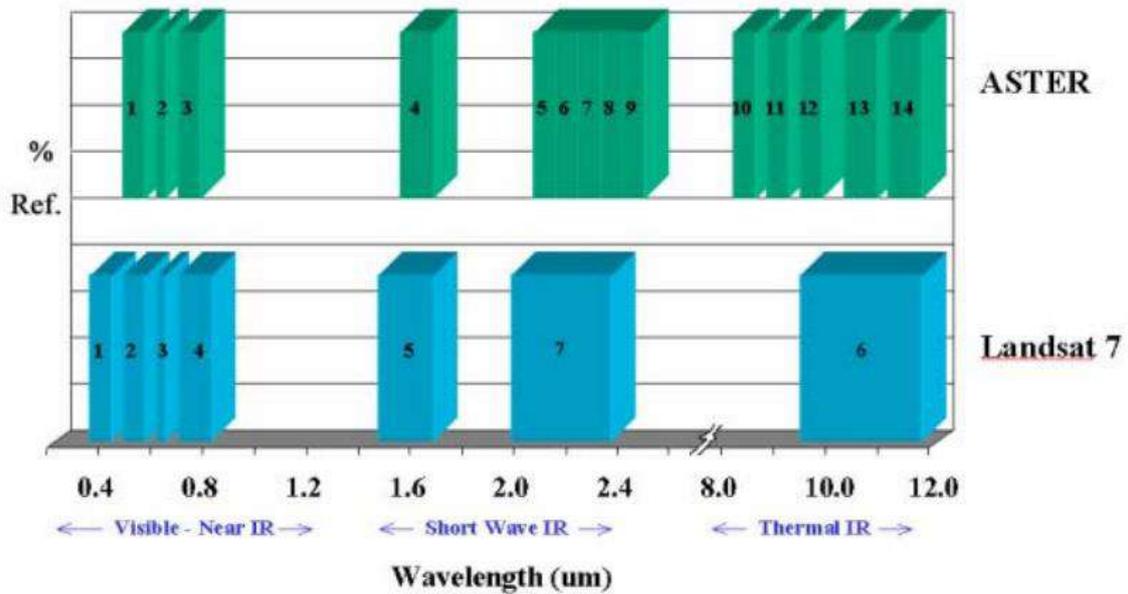
La resolución espacial está en estrecha relación con la escala de trabajo y con la fiabilidad finalmente obtenida en la interpretación. Cuanto menor sea el tamaño del píxel será menor la probabilidad de que este sea un compuesto de datos cercanos, es decir será mayor su resolución espacial.

8.5.5.2 Resolución espectral.

Indica el número y ancho de las bandas que un sensor puede discriminar. Mientras menor sea el ancho de la banda, y mayor el número de estas se tendrá mejor resolución ya que se podrá discriminar información espectral característica en dichas regiones que abarcan las bandas (Rodríguez Aycho, 2008). Los datos ASTER cuentan

con una resolución espectral de 14 bandas que nos permiten discriminar de forma más directa diferentes litologías y mineralogías asociadas, a diferencia del Landsat TM 7 que cuenta con 7 bandas con los cuales no se puede llegar a una clasificación específica (Fig. 13).

Figura 13 Comparación entre las resoluciones espectrales de ASTER y Landsat 7



Fuente. (Rodriguez Aycho, 2008)

Las 14 bandas de ASTER están divididas en 3 subsistemas, que abarcan regiones del espectro electromagnético

8.5.5.3 Resolución radiométrica.

Indica la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Esta es registrada mediante bits. En el caso de las imágenes ASTER tiene una resolución radiométrica de 8 bits ($2^8 = 256$), lo cual significa que el valor de sus píxeles tiene un rango numérico que fluctúa entre 0 y 255. Es decir que la intensidad total de la energía medida es descompuesta dentro de 256 tonos de grises (Rodriguez Aycho, 2008)

8.5.5.4 Resolución temporal.

Se refiere a la medida de la frecuencia de cobertura con que sensor capta las imágenes de un área en particular. El sensor ASTER tiene una resolución temporal de 16 días, pero se pueden tomar imágenes cada tres días si es necesario

8.5.6 Nivel de data

Como se mencionó anteriormente, los datos generados por el sensor ASTER se dividen en niveles según su procesamiento, en ocasiones denotados con la abreviatura L en inglés niveles seguida de un número (L1). Por otro lado, los grados pueden ser: 1A, 1B y 3B.

8.5.6.1 Nivel 1A.

Los datos se definen como información sin procesar reconstruida a máxima resolución y van acompañados de un archivo adicional que contiene eventos de posicionamiento satelital y un archivo adicional que contiene coeficientes de calibración radiométrica y tablas de corrección geométrica que componen los datos de la imagen, además del porcentaje de nubosidad, humedad, etc. No es necesario utilizar una imagen fuera de los datos, por lo que se conservan los valores de los datos originales. Todas las imágenes capturadas por el sensor se actualizan a este nivel (L1A).

Las principales etapas de las operaciones de procesamiento de datos desde el nivel L0 al L1A se pueden resumir de la siguiente manera:

- El sensor transmite el Nivel-0 a través de los datos de seguimiento del satélite de retransmisión de datos y del sistema (TDRSS), a estaciones receptoras terrestres en White Sands, Nuevo México en los EE. UU.
- La adquisición de información de todo un día de imágenes es procesada o genera en Japón, en ASTER GDS con aportaciones de Estados Unidos y es enviada al centro de operaciones de EOS.
- GDS procesa imágenes L0 a L0A, lo cual incluye:
 - Desempacar el Nivel-0 de datos, que como su nombre lo dice es el instrumento que tiene función de recuperar la fuente de datos; utilizando un contador secuencial, con datos de cabecera principal, que incluyen datos de tiempo que se encuentran en la cabecera secundaria.
 - Demultiplicar fuente de datos que se usa para separar los datos de la imagen en bandas espectrales en formato BSQ. Cada grupo de data (VNIR, SWIR, TIR) contiene información acerca de las imágenes y datos complementarios del sensor y otros datos auxiliares.
 - Ajuste los datos gráficos para los subsistemas SWIR y TIR, cambie la escala de los datos para compensar los errores de paralaje del detector en estos subsistemas y corríjalos utilizando una combinación de imágenes de correlación y técnicas DEM.

8.5.6.2 Nivel 1B.

Es generado aplicando esos coeficientes del archivo auxiliar, no así el suplementario.

- Transformación de coordenadas mediante la identificación de los puntos de observación en coordenadas de latitud y longitud en la superficie terrestre definida por el modelo WGS84 Tierra; usando la información de los datos complementarios.
- La calibración radiométrica, consiste en compensar la información y sensibilidad de los coeficientes a partir de una base de datos de todos los sensores, utilizando valores reales y se actualizan periódicamente.

8.5.6.3 Nivel 3A.

La información de este nivel de imagen se corrige a nivel L1A y L1B, pero también está orientada, lo que corrige los cambios en la topografía de la superficie terrestre provocados por la inclinación del sensor, lo que afecta la distancia a la que aparecen estas características en Imágenes de satélite. . Cuanto más variada es la topografía del área, mayor es la distorsión de la imagen.

Para corregir con precisión estas distorsiones de la imagen, el sensor ASTER debe utilizar un modelo de elevación digital (DEM). Los DEM son de 15 m, 30 m y 90 m y se utilizó el software SILCAST.

Al existir una atmósfera entre el sensor y el objeto que se estudia, estas interferencias deben eliminarse porque pueden alterar la recepción del mensaje. Por tanto, antes de iniciar cualquier análisis de imágenes de satélite, se deben realizar las correcciones atmosféricas necesarias para el estudio.

8.6 Análisis por Terraspec Halo

8.6.1 Análisis Mineralógico

Consiste en la identificación de minerales en una muestra, puede ser cualitativa o cuantitativa, la primera se enfoca en determinar la proporción de minerales presentes en la muestra, mientras que la segunda es la caracterización indicando el porcentaje de estos minerales.

Existen varios métodos para el análisis de minerales, en el presente trabajo se realizaron 3 formas de análisis, estas son:

- a) **Identificación visual Macroscópica:** Se realiza mediante el uso de la lupa, es una forma rápida de análisis, sin embargo, tiene un límite en la escala al momento de identificar minerales finos a muy finos, como micas y arcillas.
- b) **Petrografía:** Permite determinar minerales que forman las rocas mediante sus propiedades ópticas mediante el uso del microscopio de polarización, sin embargo, es una técnica que requiere de tiempo y tiene un límite en la cantidad de muestras a analizar.
- c) **Espectroscopia de Reflectancia VNIR - SWIR:** Es una técnica más rápida e identifica minerales en tiempo real, hace uso de equipos como el Terraspec Halo, tiene una limitación ligera en reconocer silicatos como las plagioclasas, olivino, piroxenos y granates.

8.6.2 Espectroscopia de Reflectancia

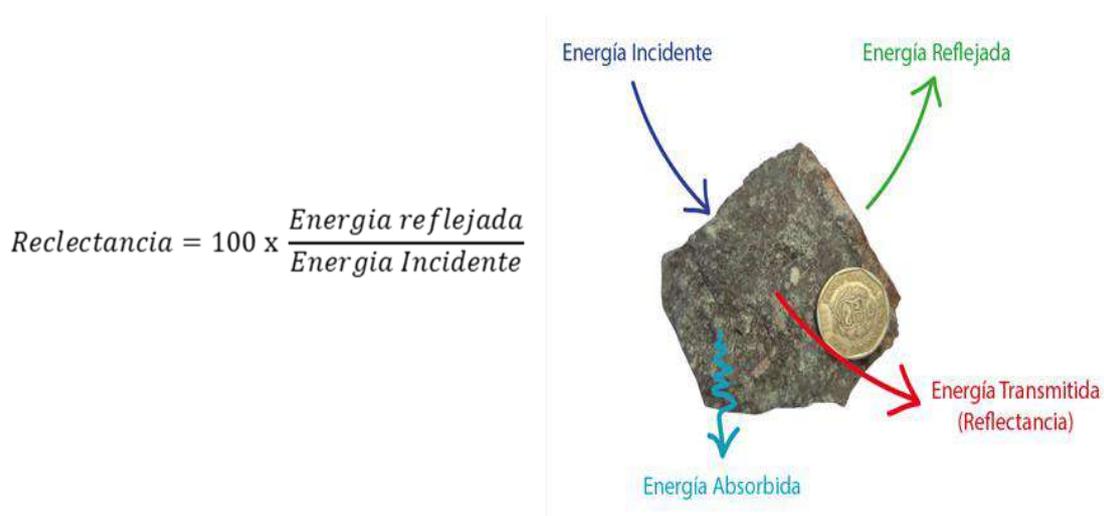
Dentro de la geología espectral, rama que abarca la teledetección y la espectroscopia de reflectancia VNIR - SWIR, nos indica que esta última se encarga de medir longitudes de onda de energía electromagnética que se refleja sobre una

superficie (agua, nieve, roca, etc.) y son captadas mediante sensores remotos o espectrómetros para posteriormente ser representadas en un gráfico denominado curva de reflectancia espectral o espectro de reflectancia.

8.6.2.1 Porcentaje de reflectancia (%).

A partir de una energía incidente que proviene de una fuente natural o artificial y al chocar con la superficie de cualquier material (agua, nieve, roca, etc.) esta puede desintegrarse en otras tres formas de energía viniendo a ser, energía absorbida, energía transmitida y la energía reflejada. La energía transmitida viene a ser la reflectancia que se obtiene en forma de porcentaje al dividir la energía reflejada entre la energía incidente multiplicado por 100.

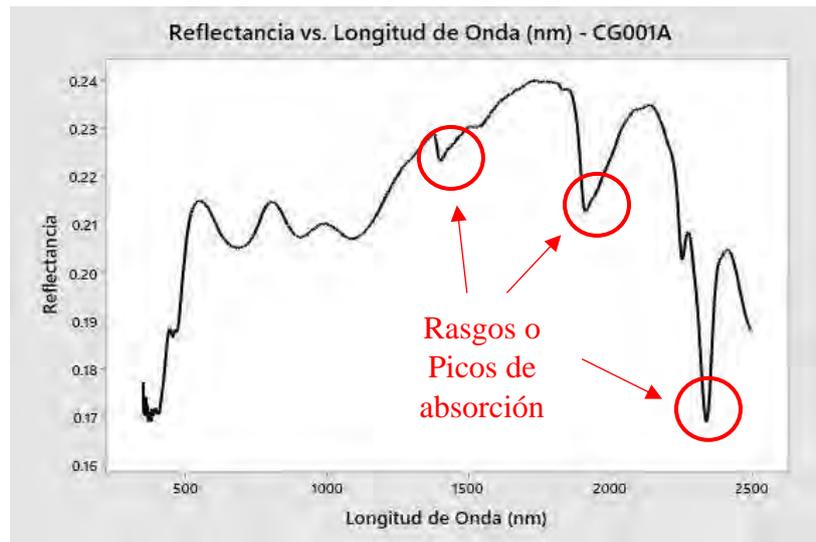
Figura 14 Ecuación de reflectancia y esquema



8.6.3 Espectro de reflectancia o Curva Espectral

Viene a ser el conjunto de reflectancia en distintas longitudes de onda, está representada en un eje de coordenadas XY, donde en X se tiene la longitud de onda y en Y la reflectancia. Dentro de la curva espectral podemos encontrar los picos de absorción y en general estas formas espectrales son propias de cada mineral.

Figura 15 Ejemplo de Espectro de reflectancia, muestra CG001



8.6.3.1 Rasgos o Picos de absorción.

Recordando conceptos anteriores, podemos agregar que existe energía absorbida debido a la presencia de minerales opacos y la energía transmitida debido a minerales transparentes. Mencionado este aspecto, podemos indicar que en minerales opacos tendríamos una reflectancia nula, sin embargo, en los minerales transparentes podemos tener picos de absorción, esto debido a la presencia de ciertos compuestos que absorben energía dentro de la estructura atómica del mineral que se está analizando.

8.6.4 Factores que controlan la Reflectancia

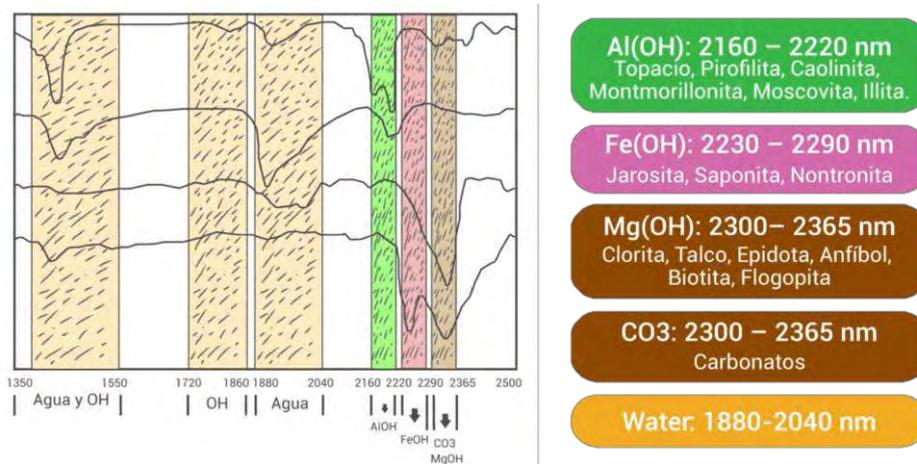
Estos factores influyen en la respuesta de la intensidad con la que un objeto refleja la radiación electromagnética, entre las más importantes tenemos:

- a) **La textura:** Representa una rugosidad topográfica de la superficie.
- b) **La rugosidad:** Genera ruido o pequeñas perturbaciones en el espectro, son lecturas bajas debido a que la superficie no es plana y genera ángulos de reflectancia muy variados.

8.6.5 Rangos VNIR – SWIR

La espectroscopia de reflectancia del SWIR, registra la energía vibracional de enlaces moleculares y es particularmente sensible a la presencia de algunos radicales como el hidroxilo, ion amonio (NH_4), ion carbonato (CO_3), también a la presencia de moléculas de agua, también cationes hidroxilo como el hidroxilo de Al, Mg y Fe. Están comúnmente asociado a algunos minerales como los filosilicatos (arcillas, micas, clorita, serpentina), silicatos hidratados (epidota y anfíbol), sulfatos (alunita, jarosita, yeso) y carbonatos (ankerita, calcita, dolomita.)

Figura 17 Distribución de lecturas en el rango SWIR

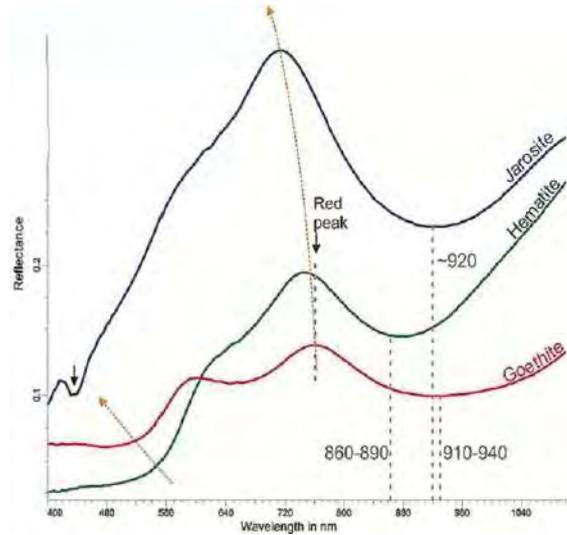


Fuente. Modificado a partir de (Caiza Cañar E. K., 2021)

La espectroscopia de reflectancia en el VNIR registra procesos electrónicos y es sensible a la presencia de Fe, Ni, Cr, Co y algunas tierras raras, los cuales comúnmente están presentes en óxidos e hidróxidos de Fe (hematita, goetita), silicatos (epidota, anfíbol, olivino, clorita, piroxeno), Sulfatos de Fe (Jarosita) y Carbonatos con Fe (siderita).

Figura 18 Distribución de lecturas de los minerales más característicos del rango

VNIR



Fuente. Modificado a partir de (Caiza Cañar E. K., 2021)

8.6.6 Terraspec Halo

El Terraspec Halo es un identificador mineral que proporciona predicciones multi minerales, otorgando puntajes a estas lecturas minerales en forma de estrellas, siendo estas el grado de confianza. Este dispositivo es un portátil NIR, quiere decir que incluye un rango completo, incluyendo al VNIR (350 – 1000 nm) y al SWIR (1000 – 2500 nm).

Figura 19 Dispositivo Portátil, Terraspec Halo



8.6.6.1 Modos de uso.

- a) Al momento de utilizarlo, se recomienda tener cargadas las baterías del equipo
- b) El equipo viene integrado con un GPS, el cual se recomienda activarlo para poder ubicar en el espacio en tiempo real al realizar cada toma de puntos.
- c) Al momento de encender el equipo se debe esperar a que este realice su diagnóstico inicial, puede demorar 30 segundos.
- d) Antes de tomar las lecturas, se debe calibrar haciendo un disparo en el espectralon externo (placa blanca)
- e) En el inicio de las lecturas, el equipo se calibrar automáticamente cada 2 minutos, después de media hora de uso, se calibrará cada 10 minutos. Cabe mencionar que mientras se esté realizando la calibración, no se pueden realizar lecturas de las muestras.

8.6.7 *Recolección de datos*

Antes de realizar los disparos, se debe tener en consideración algunos puntos, estos son:

- a) Definir el propósito del levantamiento espectral
- b) Definir ubicación y tamaño del área de estudio
- c) Diseño de muestreo, según etapa de estudio
- d) Definir tipo de muestra a analizar y su posterior secado
- e) Definir la cantidad de muestras y el número de lecturas a realizar
- f) Relacionar con el proceso de imágenes satelitales
- g) Definir el tipo de espectrómetro a usar

8.6.8 Niveles de Confianza

Terraspec Halo tiene la capacidad de reconocer hasta 7 coincidencias minerales, pero informa los 4 principales, que aparecen en la pantalla del mismo equipo, estas lecturas presentan al lado derecho un puntaje de estrellas, estas vendrían a representar los niveles de confianza, siendo estos:

- a) **Tres estrellas:** Representa el 90% de confianza
- b) **Dos estrellas:** Representa el rango de 60 - 90% de confianza
- c) **Una estrella:** Representa menos de 60% de confianza

Figura 20 Se aprecia la lectura de los minerales y los niveles de confianza



Fuente. (A., 2017)

8.6.9 Escalares

Los escalares son rasgos que describen cristalinidad o composición de un mineral, nos sirve para poder entender algunas condiciones geológicas o geotermales y así poder vectorizar hacia la potencial mineralización. Al igual que en el caso de lectura de minerales, Terraspec tiene la capacidad de detectar hasta 9 escalares, pero se aprecian las 7 principales.

- a) **AL-OH:** Se reporta cuando el mineral tiene este enlace en su estructura, indica cambios en la composición química.
- b) **Kx:** Se reporta cuando se detecta caolinita, su valor es mayor a 1 cuando se trata de caolinita supergena y es menor a 1 cuando se trata de caolinita hidrotermal.
- c) **ISM:** Se reporta cuando se detecta minerales del grupo de la Illita.
- d) **CSM:** Se reporta cuando se detecta minerales del grupo de la Clorita
- e) **Mg-OH:** Se reporta cuando el mineral posee este enlace en su estructura, ayuda a determinar gradientes geoquímicos.
- f) **Fe-OH:** Se reporta cuando el mineral posee este enlace en su estructura, también ayuda a determinar gradientes geoquímicos.
- g) **Fe3t:** Se reporta cuando se detecta un mineral Fe³⁺, ayuda a determinar mineralogía.
- h) **Fe3i:** Se reporta cuando se detecta un mineral Fe³⁺, ayuda determinar su intensidad.
- i) **AL-Fe-Mg:** Se reporta cuando se detecta estos enlaces en la estructura del mineral.

8.6.10 Tabla de resultados

Finalmente, luego de realizar las lecturas, estas pueden exportarse en formato ASD para poder ser analizadas en distintos softwares como el TSG, Halo Manager, SpectPro, entre otros. Y también se puede exportar los resultados en formato texto o ASCII, el cual se puede abrir desde el software Excel, donde podremos ver la mineralogía resultante con su respectivo nivel de confianza y los escalares que nos ayudan en la vectorización de minerales.

Figura 21 Resultados de análisis terraspec

SampleID	MineralName1	StarRating1	MineralName2	StarRating2	MineralName3	StarRating3	MineralName4	StarRating4	AlFeMg	AIOH	FeOH	MgOH
CG001	Epidote	3	Iron Saponite	3	Clinozoisite	2	/NIR - No matc	3	2337.99		INV	2337.99
CG001	Epidote	3	Iron Saponite	3	Clinozoisite	2	/NIR - No matc	3	2338.13		INV	2338.13
CG002	No match found	3										
CG002	No match found	3										
CG003	Iron Smectite	3	/NIR - No matc	3					2296.81	2201.74	2296.81	
CG003	Gmelinite-Na	3	Hornblende	2	/NIR - No matc	3			2297.55		2297.55	2315.9
CG004	Clinoptilolite	3	/NIR - No matc	3								
CG004	Clinoptilolite	3	Gypsum	3	Montmorillonit	2	/NIR - No matc	3		2206.28		
CG005	Montmorillonite	3	Rectorite	3	/NIR - No matc	3				2207.12		
CG005	Montmorillonite	3	Rectorite	3	/NIR - No matc	3				2207.17		
CG006	Montmorillonite	3	Ankerite	2	Paragonite	1	/NIR - No matc	3		2207.06		
CG006	Montmorillonite	3	Ankerite	2	/NIR - No matc	3				2207.94		
CG007	Mg-illite	3	/NIR - No matc	3					2207.97	2207.97		2332.73
CG007	Mg-illite	3	Calcite	2	/NIR - No matc	3			2205.99	2205.99		2331.82
CG008	Montmorillonite	3	Muscovite	3	/NIR - No matc	3			2208.82	2208.82		2338.1
CG008	Montmorillonite	3	Muscovite	3	/NIR - No matc	3			2208.63	2208.63		2341.37
CG009	Clinoptilolite	3	Tourmaline	2	MgChlorite	1	Gypsum	1	2208.27	2208.27	2241.96	2331.25
CG009	Clinoptilolite	3	Tourmaline	2	MgChlorite	1	Gypsum	1	2215.32	2215.32	INV	2325.19
CG010	Hematite	3	Iron Saponite	3	Palygorskite	3			INV	INV	2293.32	2319.74
CG010	Hematite	3	Iron Saponite	3					INV		2292.93	2317.93
CG011	Calcite	3	Vermiculite	2	Palygorskite	2	/NIR - No matc	3	2336.62	INV		2336.62
CG011	Calcite	3	Vermiculite	2	Palygorskite	1	/NIR - No matc	3	2336.76	INV		2336.76
CG012	Iron Saponite	3	/NIR - No matc	3					INV		INV	2317.1
CG012	Iron Saponite	3	/NIR - No matc	3					2161.93		2240.58	2317.91
CG013	Iron Saponite	3	Axinite	2	/NIR - No matc	3			2162.79		2241.62	2318.69
CG013	Iron Saponite	3	Axinite	3	/NIR - No matc	3			2163.94		2293.92	2320.13
CG014	Montmorillonite	3	/NIR - No matc	3						2207.51		
CG014	Montmorillonite	3	Ankerite	2	/NIR - No matc	3				2202.73		
CG015	Montmorillonite	3	Epidote	3	/NIR - No matc	3			2213.16	2213.16	INV	
CG015	Montmorillonite	3	Clinozoisite	3	/NIR - No matc	3				2212.63		

CAPÍTULO IX. PREPROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

LANDSAT – ASTER - TERRASPEC

En el presente estudio la metodología que se utilizó para la determinación de zonas con minerales de alteración hidrotermal mediante el procesamiento de una imagen satelital LANSAT- ASTER y análisis por TERRASPEC, establece cuatro procesos generales, donde se consideraron el conocimiento y la aplicación de diversas técnicas espectrales. La metodología está constituida por:

1. Delimitación de la zona de estudio y adquisición de imagen satelital
2. Preprocesamiento
3. Procesamiento LANDSAT
4. Procesamiento ASTER
5. Comparación y correlación LANDSAT-ASTER
6. Procesamiento TERRASPEC
7. Comparación y correlación LANDSAT-ASTER-TERRASPEC

Adicionalmente se requiere la elaboración de cartografía geológica especializada como apoyo a lo mencionado anteriormente. Los mapas necesarios son: metalogénico, geológico, de minas y estructuras geológicas.

Los diagramas de flujo se dividen en dos niveles:

- Nivel 0: Representa los procesos generales de la metodología
- Nivel 1: Detallan los subprocessos y las técnicas espectrales usadas en la metodología

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 0. Metodología para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal utilizando una imagen satelital LANDSAT - ASTER

Figura 22 Diagrama de Flujo de Datos Nivel 0. Metodología para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal utilizando una imagen satelital LANDSAT – ASTER

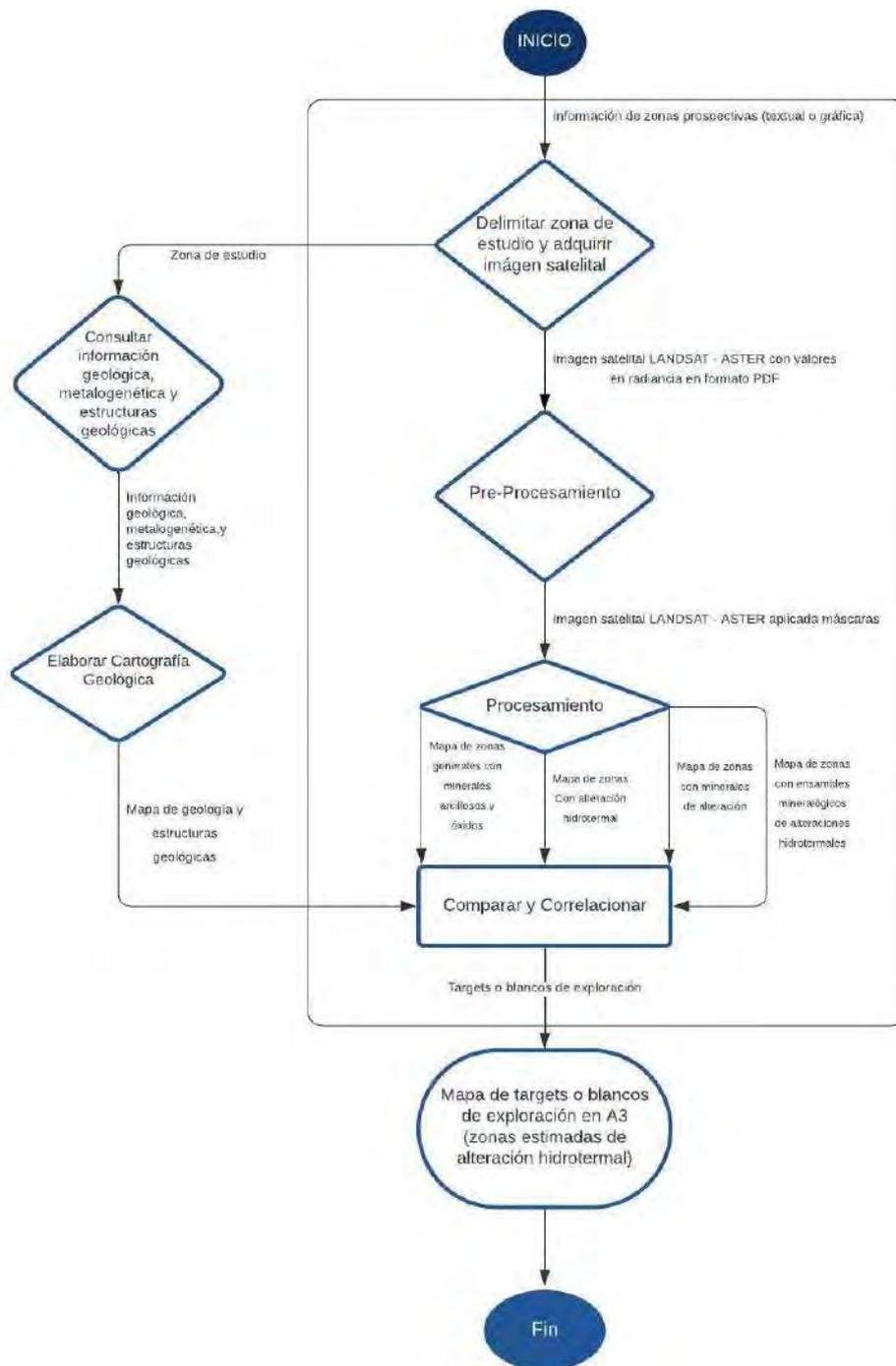
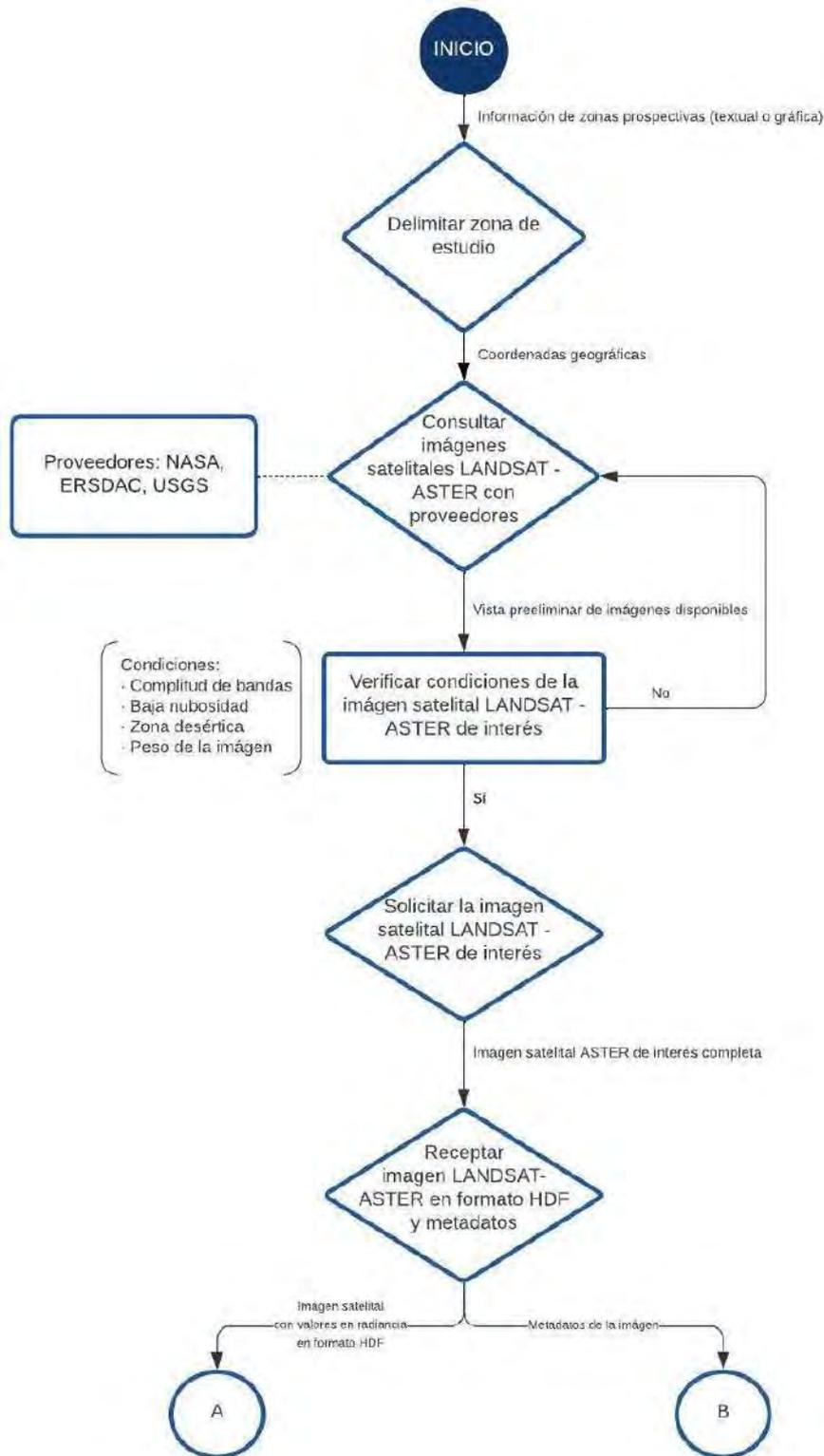


Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Delimitación de la zona de estudio y adquisición de la imagen satelital LANDSAT - ASTER

Figura 23 Diagrama de flujo de datos del proceso de delimitación de la zona de estudio y adquisición de la imagen satelital ASTER



9.1 Pre - Procesamiento Landsat - Aster

La adquisición de la imagen satelital se puede realizar mediante el acceso a varias páginas web, dentro de las más importantes se encuentra el sitio oficial de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) <https://earthdata.nasa.gov/>, el sitio web de ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center) <http://gds.ersdac.jpacesystems.or.jp/?lang=en> y el sitio oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS que también proporcionan imágenes satelitales tipo ASTER mediante su página web <http://glovis.usgs.gov/> (Fig. 23). Las características de la imagen satelital utilizada para el presente estudio se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 4 Características de la imagen satelital LANDSAT del área de estudio

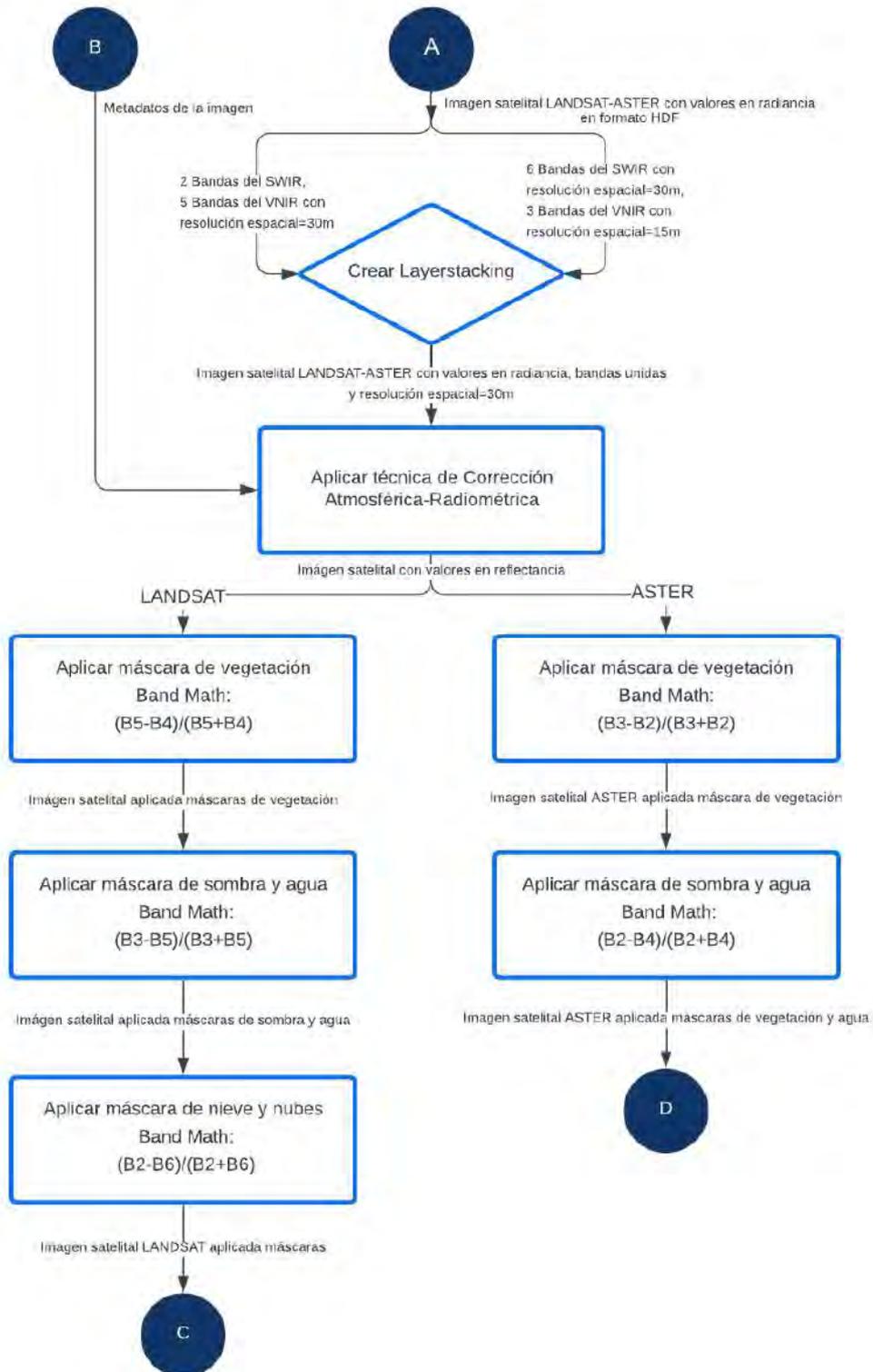
Satélite	LANDSAT 8		
Sensor	OLI/TIRS		
Fuente	EARTH EXPLORER (USGS)		
Lat/Long (Centro)	15°54'02.88"S	71°05'57.01"O	
Fecha de Adquisición	2023/09/04		
Área de Cobertura	190 x 180 Km		
Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución Espacial (m)	
Banda 1	0.43-0.45	30	
Banda 2	0.45-0.51	30	
Banda 3	0.53-0.59	30	
Banda 4	0.64-1.67	30	
Banda 5	0.85-0.88	30	
Banda 6	1.57-1.65	30	
Banda 7	2.11-2.29	30	
Banda 8	0.50-0.68	15	
Banda 9	1.36-1.38	30	
Banda 10	10.60-11.19	100	
Banda 11	11.50-12.51	100	

Tabla 5 Características de la imagen satelital ASTER del área de estudio

Satélite		TERRA		
Sensor		ASTER		
Fuente		EARTH EXPLORER (USGS)		
Lat/Long (Centro)	N	14°58'25.68"S	70°58'59.16"W	
	S	15°30'32.76"S	71°06'07.56"W	
Fecha de Adquisición		2002/05/29		
Área de Cobertura		60 x 60 Km		
Bandas	Longitud de onda (µm)		Resolución Espacial (m)	
Banda 1	0.52-0.60		15	
Banda 2	0.63-0.69		15	
Banda 3	0.78-0.86		15	
Banda 4	1.60-1.70		30	
Banda 5	2.145-2.185		30	
Banda 6	2.185-2.225		30	
Banda 7	2.235-2.285		30	
Banda 8	2.295-2.365		30	
Banda 9	2.360-2.430		30	
Banda 10	8.125-8.475		90	
Banda 11	8.475-8.825		90	
Banda 12	8.925-9.275		90	
Banda 13	10.25-10.95		90	
Banda 14	10.95-11.65		90	

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Pre-Procesamiento de la imagen satelital LANDSAT-ASTER

Figura 24 Diagrama de flujo de datos del pre - procesamiento de la imagen satelital
LANDSAT-ASTER



El preprocesamiento de la imagen LANDSAT-ASTER representado mediante el flujograma de datos (Fig. 24), requiere de la aplicación de tres técnicas espectrales, con la finalidad de preparar la imagen satelital para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal. Las técnicas utilizadas son:

- Crear Layerstacking
- Técnica de Corrección Atmosférica-Radiométrica
- Elaboración de Máscaras

9.1.1 Crear Layerstacking

Consistió en unir las 3 bandas del subsistema VNIR y las 6 bandas del subsistema SWIR en un solo archivo, donde constan las 9 bandas integradas, con resolución espacial=15m, de tal modo que sea más fácil su manipulación.

9.1.2 Técnica de Corrección Atmosférica-radiométrica

La corrección atmosférica se realizó con el fin de eliminar la influencia que tiene la atmósfera sobre la información captada por el sensor, transformando los valores de radiancia de la imagen a valores de reflectancia, eliminando de esta manera los ruidos presentes en cada una de las bandas de la imagen.

Básicamente consiste en la transformación del formato inicial de la imagen (BSQ) a formato (BILL), y considera los parámetros geográficos y temporales de la imagen satelital (metadatos), para obtener la imagen con valores en reflectancia, donde se puede visualizar los picos de absorción de parámetros ya conocidos como vegetación, cuerpos de agua, nubes y nieve.

9.1.3 *Elaboración de Máscaras (vegetación (AL), sombra y agua(L), nubes y nieve (L)*

La aplicación de máscaras, se utilizó con la finalidad de eliminar aquellas zonas con presencia de vegetación, nieve, nubes, agua y sombras; las cuales interfieren en la identificación de zonas con alteración hidrotermal, en especial la vegetación, ya que al encontrarse muy seca puede ser confundida con zonas de minerales arcillosos, cosa que en la realidad no sucede. Para resaltar las anomalías espectrales dentro de la zona de estudio es necesario emplear las siguientes máscaras:

9.1.3.1 **Máscara de Vegetación.**

1. Para crear la máscara de vegetación es necesario haber determinado el NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) mediante la fórmula establecida por Ninomiya (2004):
2. Se elige el umbral correspondiente, en este caso vamos a enmascarar las zonas con menos vegetación y así se eliminarán aquellas zonas con vegetación densa y/o robusta, por lo tanto, se consideró un umbral de $NDVI < 0.40$, ya que generalmente la vegetación densa y/o robusta tiene un $NDVI > 0.40$

$$NDVI = \frac{band5\ LANDSAT - band4\ LANDSAT}{band5\ LANDSAT + band4\ LANDSAT}$$

$$NDVI = \frac{band3\ ASTER - band2\ ASTER}{band3\ ASTER + band2\ ASTER}$$

Donde: band5 es Banda espectral 5, band4 es Banda espectral 4, band3 es Banda espectral 3 y band 2 es Banda espectral 2

3. Se crea la máscara de vegetación.
4. Finalmente se aplica la máscara de vegetación sobre la imagen satelital con valores de reflectancia anteriormente trabajada.

9.1.3.2 Máscara de Sombra y Agua.

1. Para crear esta máscara es necesario determinar áreas con presencia de sombras y agua, tomando en cuenta los valores bajos de reflectancia de la banda 5, ya que tanto las sombras como el agua absorben energía en el rango 2.145 – 2.185 μm .
2. Se elige el umbral correspondiente para esta máscara a partir de la banda 5, en este caso se consideró valores de reflectancia entre 1.6 a 4.3, cabe recalcar que este umbral es variante de acuerdo a la zona de investigación.
3. Se crea la máscara de sombra y agua.
4. Finalmente se aplica la máscara de sombra y agua sobre la imagen satelital con valores de reflectancia anteriormente trabajada.

9.1.3.3 Máscara de Nubes y Nieve.

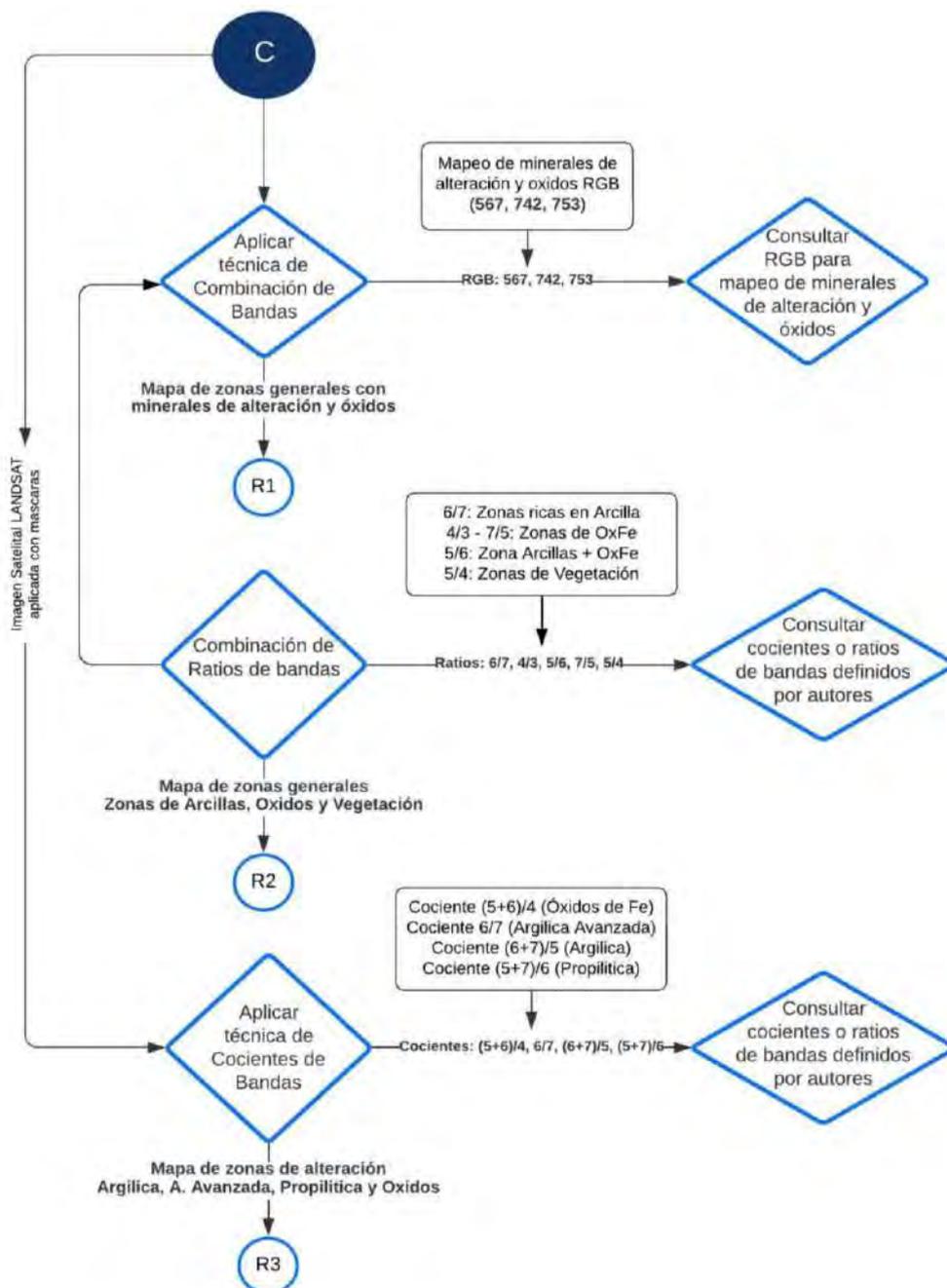
1. Para crear esta máscara es necesario determinar áreas con presencia de nubes y nieve, tomando en cuenta los valores altos de reflectancia de la banda 1, ya que tanto las nubes como la nieve no absorben energía en el rango 0.52 - 0.60 μm .
2. Se elige el umbral correspondiente para esta máscara a partir de la banda 1, se consideraron valores de reflectancia entre 0 a 4.9, este parámetro varía de acuerdo a la zona de investigación.
3. Se crea la máscara de nubes y nieve.
4. Finalmente se aplica la máscara de nubes y nieve sobre la imagen satelital con valores de reflectancia anteriormente trabajada.

9.2 Procesamiento Landsat

9.2.1 Flujo de trabajo

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Procesamiento de la imagen satelital LANDSAT

Figura 25 Diagrama de flujo de datos del procesamiento de la imagen satelital LANDSAT



El procesamiento de la imagen LANDSAT representado en el flujograma de datos (Fig. 25), consiste en la aplicación de tres técnicas espectrales necesarias para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal. Las técnicas espectrales empleadas son:

- Técnica de Combinación de Bandas
- Técnica de Combinación de Ratios de Bandas
- Técnica de Cocientes de Bandas

Los resultados obtenidos con las dos técnicas espectrales utilizadas para la estimación de zonas con minerales de alteración, serán comparados con las obtenidas con la imagen ASTER, de los cuales se pasó a seleccionar las zonas de mayor interés para posterior a ello realizar el análisis por TERRASPEC, con la finalidad de identificar zonas de alteración coincidentes o similares, corroborar información y evaluar la zona como una zona posiblemente prospectiva.

Finalmente, el mapa de zonas con alteración hidrotermal y sus respectivos ensambles mineralógicos, fue contrastado usando el sistema de folios con información geológica, franjas Metalogenéticas y estructuras geológicas de la zona de estudio, definiéndose posibles targets o blancos de exploración cartografiados en un mapa A3.

9.2.2 Técnica de Combinación de Bandas

En el área de estudio, se utilizaron combinaciones de bandas en RGB, definidas por varios autores, con la finalidad de realizar un mapeo general de zonas con minerales arcillosos y óxidos:

Drury (1987) establece la siguiente combinación:

- RGB 567 – Para mapeo de zonas de vegetación y zonas de alteración hidrotermal arcillosas – Zonas de vegetación en coloración rojiza y zonas de alteración hidrotermal arcillosas en tonalidades marrones y azulados

Boettinger et al. (2019) establece la siguiente combinación:

- RGB 753 – Para mapeo de zonas de alteración hidrotermal, vegetación y óxidos – Zonas de alteración hidrotermal en tonalidad rojiza, y zonas con óxidos de color azulado, y zonas de vegetación en tonalidades verdes.

Napiah et al. (1997) establece la siguiente combinación:

- RGB 742 – Para mapeo de minerales arcillosos, agua y vegetación – de Zonas de arcillas en coloración rojizas a magentas, zonas de agua en negro o azul y zonas de vegetación en coloraciones verdes.

9.2.3 Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas

En la zona de estudio, se aplicaron los ratios de bandas 6/7, 4/3, 5/6, 7/5 y 5/4, para luego realizar una combinación de los ratios y generar el reconocimiento de zonas de alteración hidrotermal. En la Tabla 6 se muestra el significado de cada ratio.

Tabla 6 Cocientes de bandas para la identificación de tipos de alteración

Alteración Hidrotermal	Cociente o Ratio de Bandas
Zonas ricas en Arcillas	6/7
Zonas de OxFe (Hm, Go, Jar)	4/3 – 7/5
Zonas Arcillas + OxFe	5/6
Alteración Hidrotermal	Cociente o Ratio de Bandas

Las combinaciones de ratios posteriores fueron definidas de la siguiente forma:

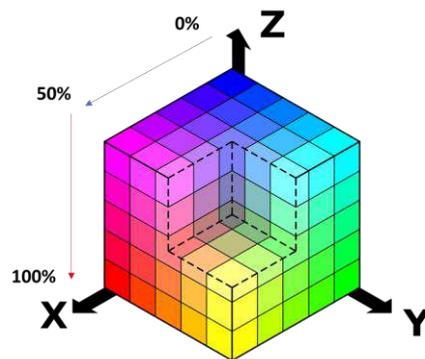
Abubakar et al., (2017) establece las siguientes combinaciones:

- RGB 6/7, 4/3 y 5/6 – Para mapeo de zonas ricas en arcillas y zonas de óxidos de hierro – Zonas ricas en arcillas de coloración rojiza y zonas de óxidos de hierro en coloraciones azuladas, una mezcla de óxidos y arcillas en tonos verdosos.
- RGB 7/5, 5/4 y 6/7 – Para mapeo de zonas ricas en arcillas, vegetación y óxidos – Zonas de óxidos de hierro en tonalidad rojiza, zonas ricas en arcillas de color azulado, y zonas de vegetación en tonalidades verdes.

Se hizo uso del cubo cromático para la comparación de coloraciones y ver el porcentaje de cada elemento y poder definir mejor el área de trabajo.

Cada coloración obtenida en la combinación de bandas, resalta el elemento que fue integrado o asignado en un respectivo color, y las variaciones de color o tonos vienen a ser un conjunto de porcentajes de ambos o los 3 elementos, se deben corroborar con muestras de mano al realizar el trabajo en campo.

Figura 26 Cubo cromático



Fuente. (Camus, 2020)

9.2.4 Técnica de Cocientes/Índices de Identificación de bandas

Los cocientes e índices de identificación litológica están definidos por distintos autores entre ellos Ninomiya (2004), Duuring (2012) y Pour (2015) que son los que se utilizaron en la presente tesis y fueron aplicados sobre la zona de estudio, obteniéndose zonas con presencia de minerales de alteración, como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7 Técnica de Cocientes/Índices de Identificación de bandas

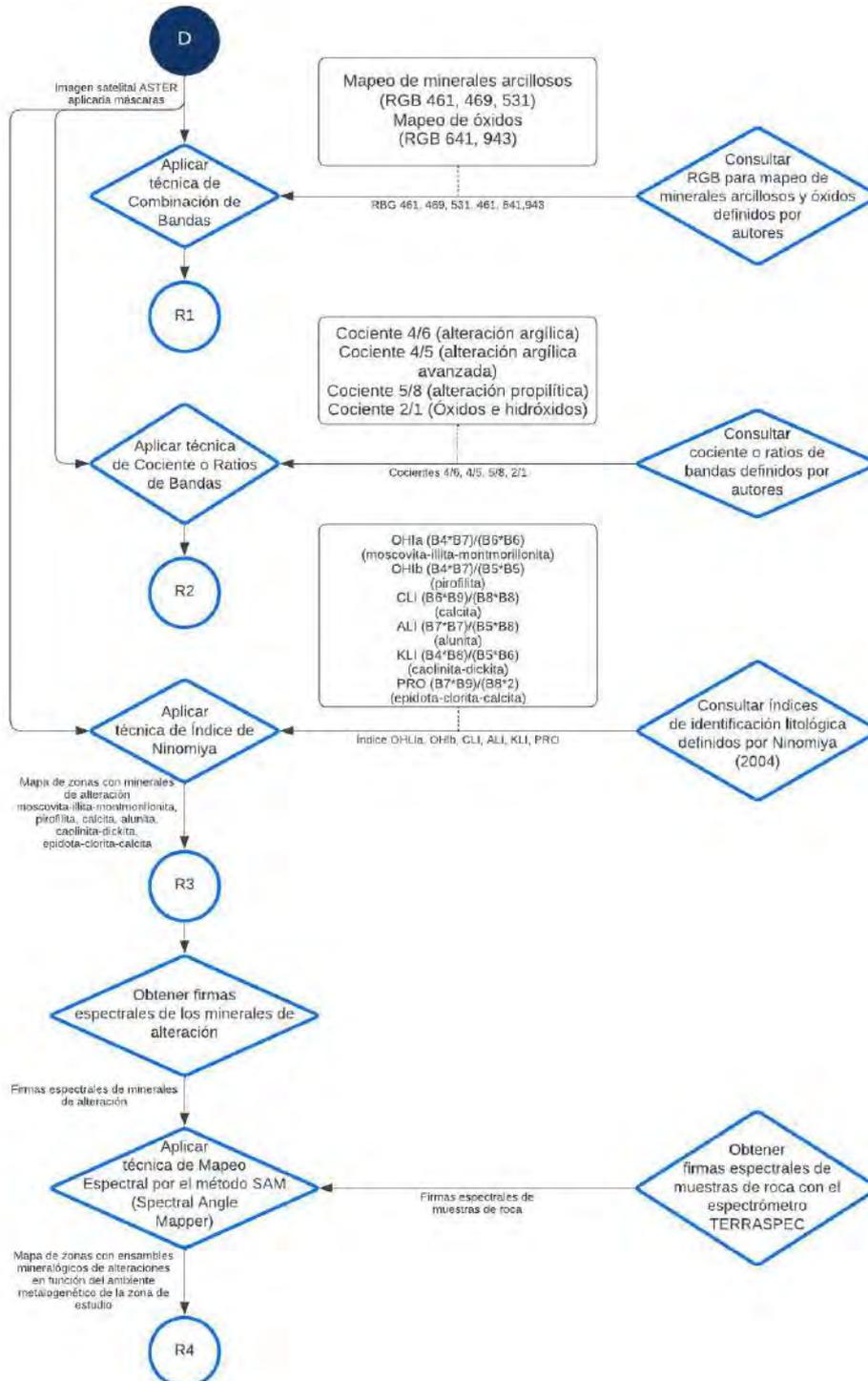
Cociente/Índice	Minerales de reconocimiento	Fórmula
OxFe (Pour et al., 2015)	Óxidos de fierro	$(B5+B6)/B4$
AAA (Ninomiya et al., 2005)	Minerales de alteración Argílica Avanzada	$B6/B7$
AAI (Ninomiya et al., 2005)	Minerales de alteración Argílica Intermedia	$(B6+B7)/B5$
APR (Pour et al., 2015)	Minerales de alteración Propilítica	$(B5+B7)/B6$

9.3 Procesamiento Aster

9.3.1 Flujo de trabajo

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Procesamiento de la imagen satelital ASTER

Figura 27 Diagrama de flujo de datos del procesamiento de la imagen satelital ASTER



El procesamiento de la imagen ASTER representado en el flujograma de datos (Fig. 27), consiste en la aplicación de cuatro técnicas espectrales necesarias para la estimación de zonas con minerales de alteración hidrotermal. Las técnicas espectrales empleadas son:

- Técnica de Combinación de Bandas
- Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas
- Técnica de Índices de Identificación Litológica – SWIR
- Técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper)

9.3.2 Muestreo Aleatorio

Las muestras de campo fueron recolectadas después de realizar un primer proceso de las imágenes satelitales LANDSAT y ASTER, que nos brindaron dos zonas de interés dentro de nuestra área de estudio. Una vez identificadas estas áreas más pequeñas o targets iniciales, se realizó el muestro, tomando en cuenta la topografía del terreno y la accesibilidad.

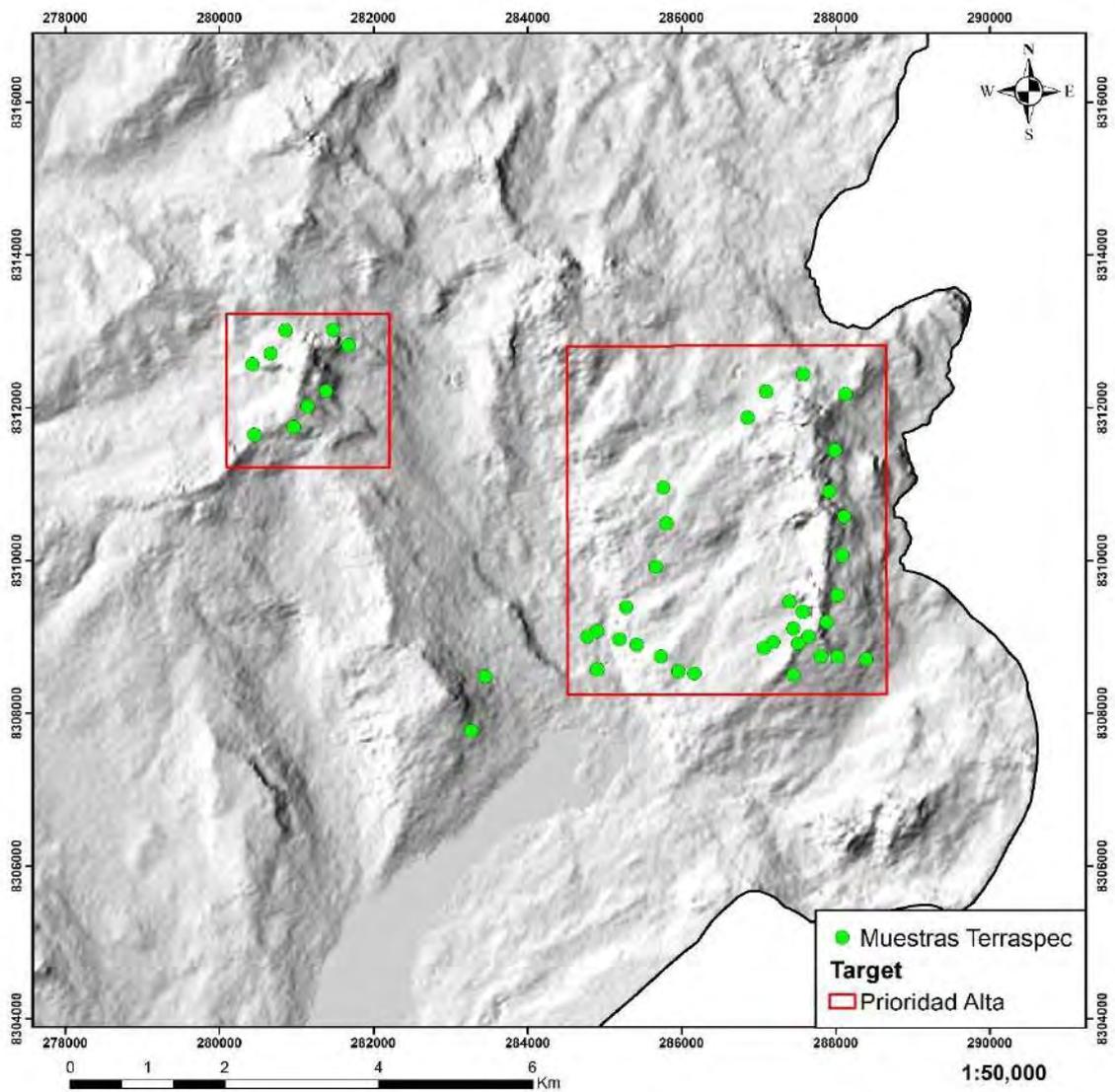
A partir de las muestras recolectadas se aprecia la predominancia de arcillas hidrotermales, clorita ± epidota, óxidos de fierro (Goetita > Jarosita). La presencia de estos minerales identificados en muestra de mano nos lleva a asociarlos a las alteraciones ARGILICA y PROPILITICA, con una posterior oxidación de estos.

Se obtuvieron un total de 44 muestras sobre terrenos volcánicos, teniendo en predominancia andesitas y en menor cantidad tobas, donde en cada punto extraído se tomaron sus datos ubicación y descripción macroscópica. Posterior a ello se procedió a realizar el etiquetado y el envío de muestras a la empresa Sample Solution quienes nos apoyaron en el préstamo del equipo.

Fotografía 16 Embolsado y etiquetado de las muestras extraídas en campo.



Figura 28 Ubicación de los puntos de muestreo dentro de los targets de prioridad alta.



9.3.3 Técnica de Combinación de Bandas

En el área de estudio, se utilizaron combinaciones de bandas en RGB, definidas por varios autores, con la finalidad de realizar un mapeo general de zonas con minerales arcillosos y óxidos:

- **Tommaso et al. (2005) establece la siguiente combinación:**
 - RGB 461 – Para mapeo de minerales arcillosos y óxidos – Zonas con arcillas en tonalidad morada, y zonas con óxidos de color amarillo pálido
- **Marquetti et al. (2004) establece la siguiente combinación:**
 - RGB 469 – Para mapeo de minerales arcillosos – Zonas con arcillas de color marrón
- **Azurra et al. (2003) establece la siguiente combinación:**
 - RGB 531 – Para mapeo de minerales arcillosos – Zonas con arcillas de color verde claro
- **Pérez et al. (2007) establece la siguiente combinación:**
 - RGB 641 – Para mapeo de minerales arcillosos y óxidos – Zonas con arcillas de color verde oscuro, y zonas con óxidos de color amarillo pálido
- **Mamani (2017) establece la siguiente combinación:**
 - RGB 943 – Para mapeo de óxidos – Zonas con óxidos de color amarillo pálido

9.3.4 Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas

En la zona de estudio, se aplicaron los cocientes de bandas 4/6, 4/5, 5/8, y 2/1, para el reconocimiento de zonas con alteración hidrotermal. En la Tabla 8 se muestra el tipo de alteración hidrotermal definida, en función de cada cociente de bandas.

Tabla 8 Cocientes de bandas para la identificación de tipos de alteración

Alteración Hidrotermal	Cociente o Ratio de Bandas
Argílica	4/6
Argílica avanzada	4/5
Propilítica	5/8
Óxidos e hidróxidos de hierro	2/1

9.3.5 Técnica de Índices de Identificación Litológica – SWIR

Los índices de identificación litológica definidos por Ninomiya (2004), fueron aplicados sobre la zona de estudio, obteniéndose zonas con presencia de minerales de alteración, como se describe en la Tabla 9.

Tabla 9 Índices de Ninomiya utilizados para la identificación de minerales de alteración

Índices de Ninomiya	Minerales de reconocimiento	Fórmula
OHIa	Moscovita-Illita-Montmorillonita	$(B4*B7)/(B6*B6)$
OHIb	Pirofilita	$(B4*B7)/(B5*B5)$
CLI	Calcita	$(B6*B9)/(B8*B8)$
ALI	Alunita	$(B7*B7)/(B5*B8)$
KLI	Caolinita-Dickita	$(B4*B8)/(B5*B6)$
PRO	Epidota-Clorita-Calcita	$(B7*B9)/(B8*2)$

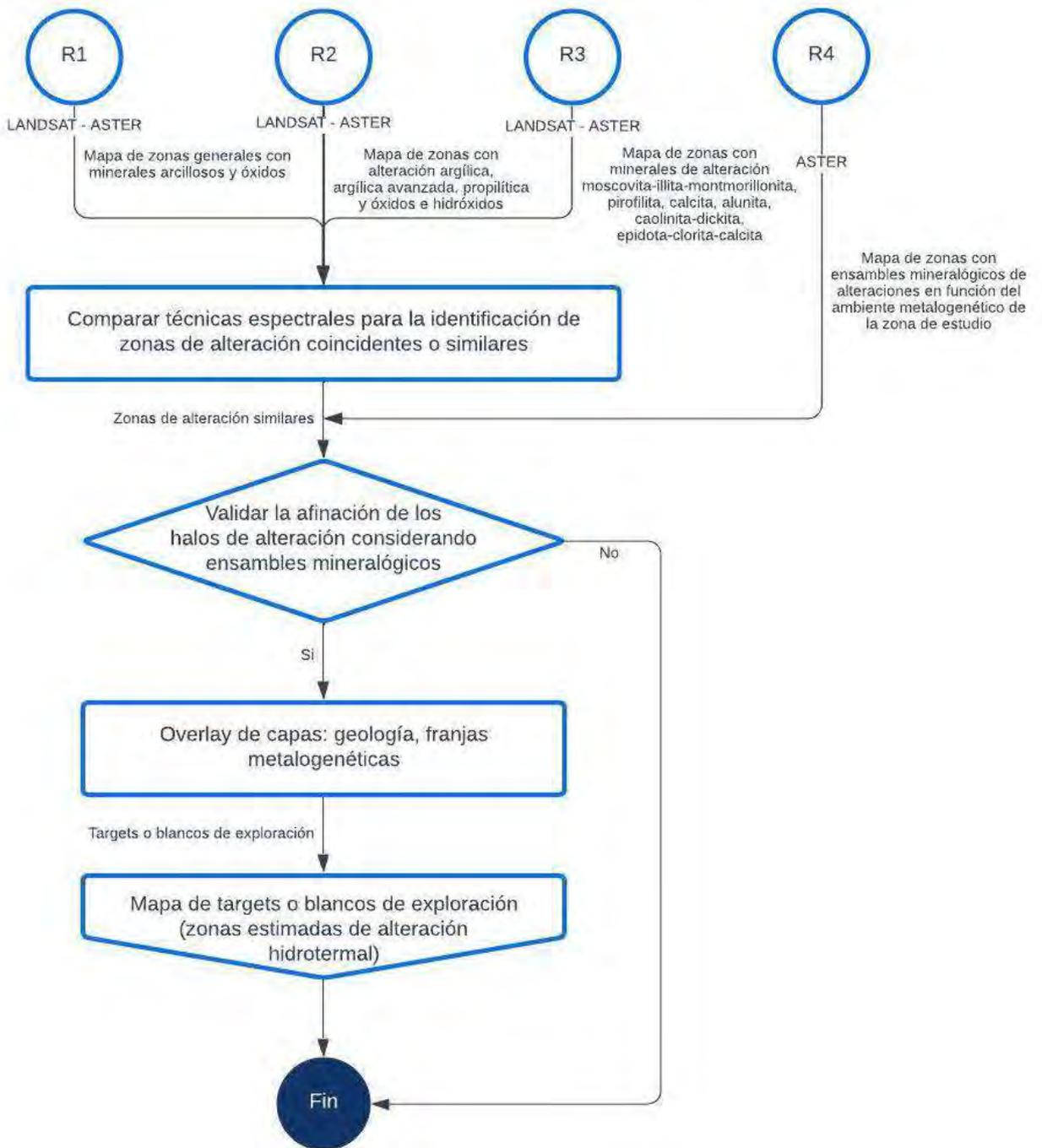
9.3.6 Técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper)

La realización del mapeo espectral por el método SAM consiste en la determinación de similitud entre dos espectros, el del pixel de la imagen ASTER y el otro del mineral de interés. El algoritmo de este método determina la similitud espectral calculando el ángulo de mejor aproximación, para lo cual se utilizan firmas espectrales de minerales de alteración hidrotermal de la imagen ASTER y los espectros obtenidos con el espectrómetro TERRASPEC como alunita, calcita, caolinita, clorita, epidota, gohetita, hematita, illita, montmorillonita, moscovita, pirofilita, turmalina. Con esta base se realiza la identificación individual de los minerales de alteración, y se obtiene un mapa de zonas con ensambles mineralógicos típicos de alteraciones hidrotermales de acuerdo al ambiente metalogénico de la zona de estudio.

9.4 Comparación y Correlación LANDSAT - ASTER

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Comparación y Correlación

Figura 29 Diagrama de flujo de datos del proceso de comparación de técnicas espectrales y correlación LANDSAT – ASTER



Los resultados obtenidos con las tres técnicas espectrales utilizadas para la estimación de zonas con minerales de alteración, fueron comparados entre sí con la finalidad de identificar zonas de alteración coincidentes o similares. Una vez determinadas dichas zonas, éstas fueron comparadas con los resultados de la técnica de mapeo espectral por el método SAM, visualizándose que existía un mejor afinamiento en la distribución de los halos de alteración considerando los ensambles mineralógicos típicos de cada alteración hidrotermal de acuerdo al tipo de depósito mineral presente en las franjas Metalogenéticas (Fig. 28).

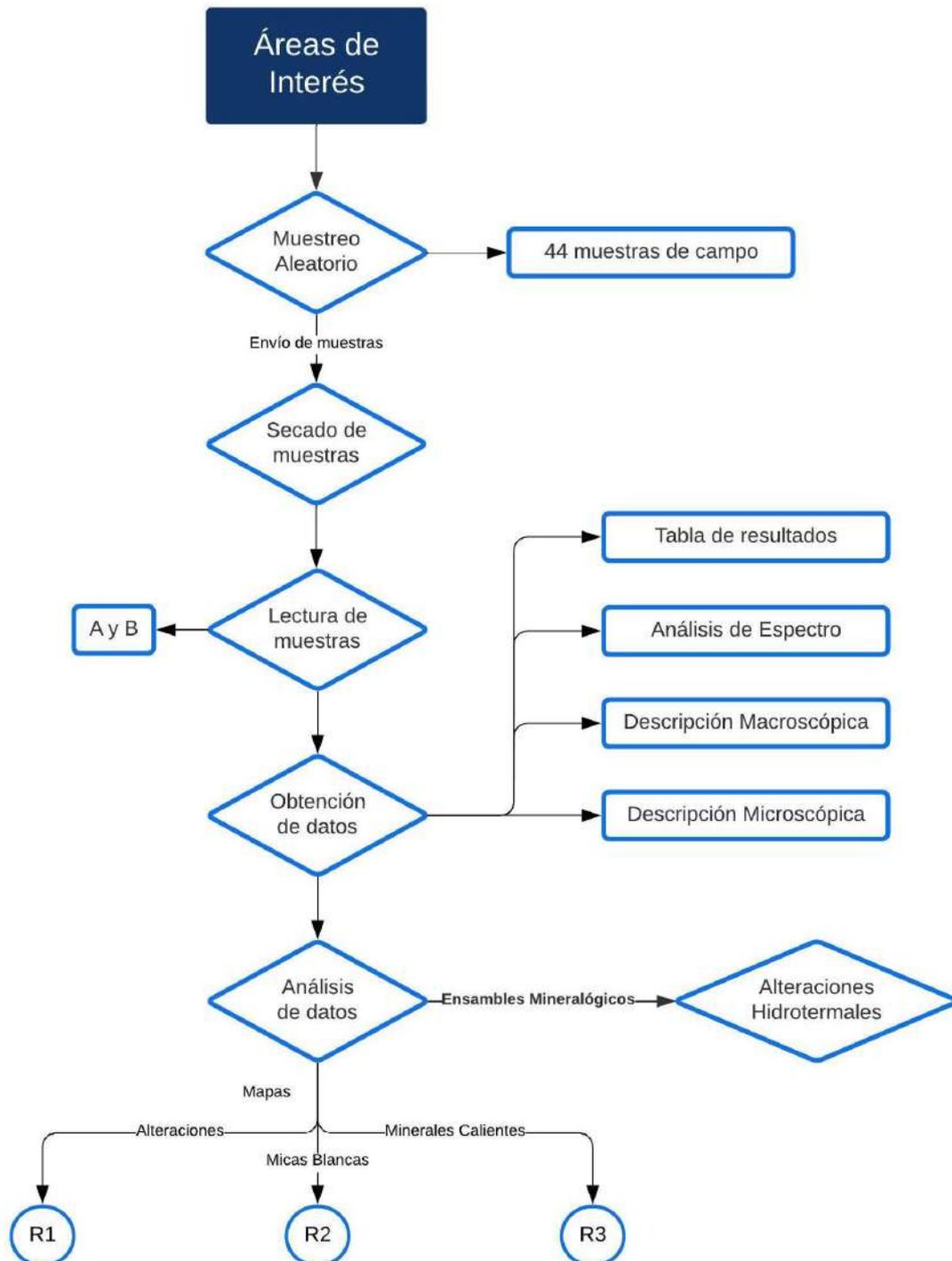
Finalmente, el mapa de zonas con alteración hidrotermal y sus respectivos ensambles mineralógicos, fue contrastado usando el sistema de folios con información geológica, franjas Metalogenéticas, minas y estructuras geológicas de la zona de estudio, definiéndose posibles targets o blancos de exploración cartografiados en un mapa A3.

9.5 Procesamiento Terraspec

9.5.1 Flujo de trabajo

Diagrama de Flujo de Datos Nivel 1. Procesamiento análisis con TERRASPEC

Figura 30 Diagrama de flujo de datos del procesamiento con Terraspec



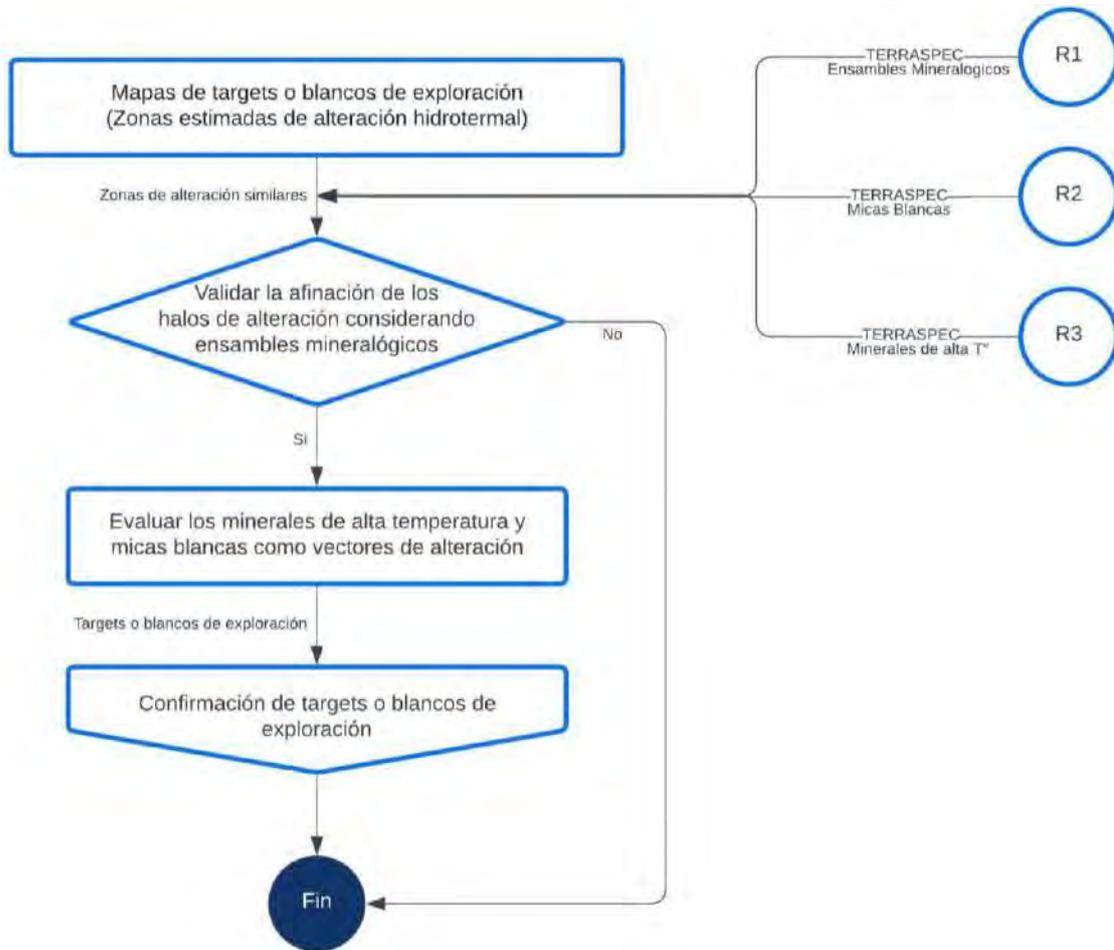
Dentro de nuestra zona de estudio se realizó un muestreo para realizar el análisis por terraspec y así determinar ensambles mineralógicos que nos dé una determinada alteración hidrotermal, para poder compararla con las obtenidas mediante el análisis de imágenes satelitales LANDSAT y ASTER. En este sentido dentro de las áreas más pequeñas marcadas por teledetección se realizó un muestreo aleatorio debido a la poca accesibilidad en algunas zonas de nuestra área de estudio.

Para determinar la alteración presente en los niveles someros de nuestra área de estudios, fue necesario recurrir a realizar un estudio con espectrómetro, en esta ocasión, mediante el espectrómetro TERRASPEC HALO, que nos ayudara en la identificación de minerales no visibles a simple vista.

El presente trabajo cuenta con la extracción de 44 muestras tomadas en el área de estudio, tomadas en zonas con presencia de alteración hidrotermal identificada en campo, esta disposición de las muestras podemos ver la en la siguiente figura.

9.6 Comparación y Correlación LANDSAT – ASTER - TERRASPEC

Figura 31 Diagrama de flujo de datos del proceso de comparación de técnicas espectrales ya correlacionadas con los datos obtenidos con TERRASPEC



Luego de realizar la comparación de los datos obtenidos con el procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT y ASTER, estas se compararon también con los datos obtenidos con TERRASPEC. Es así que una vez determinadas las zonas de alteración preferentes en las zonas de alta prioridad se realizó un muestro para realizar el análisis por terraspec y tener una mejor afinidad de las alteraciones hidrotermales obtenidas y comparándolas con las franjas Metalogénicas presentes.

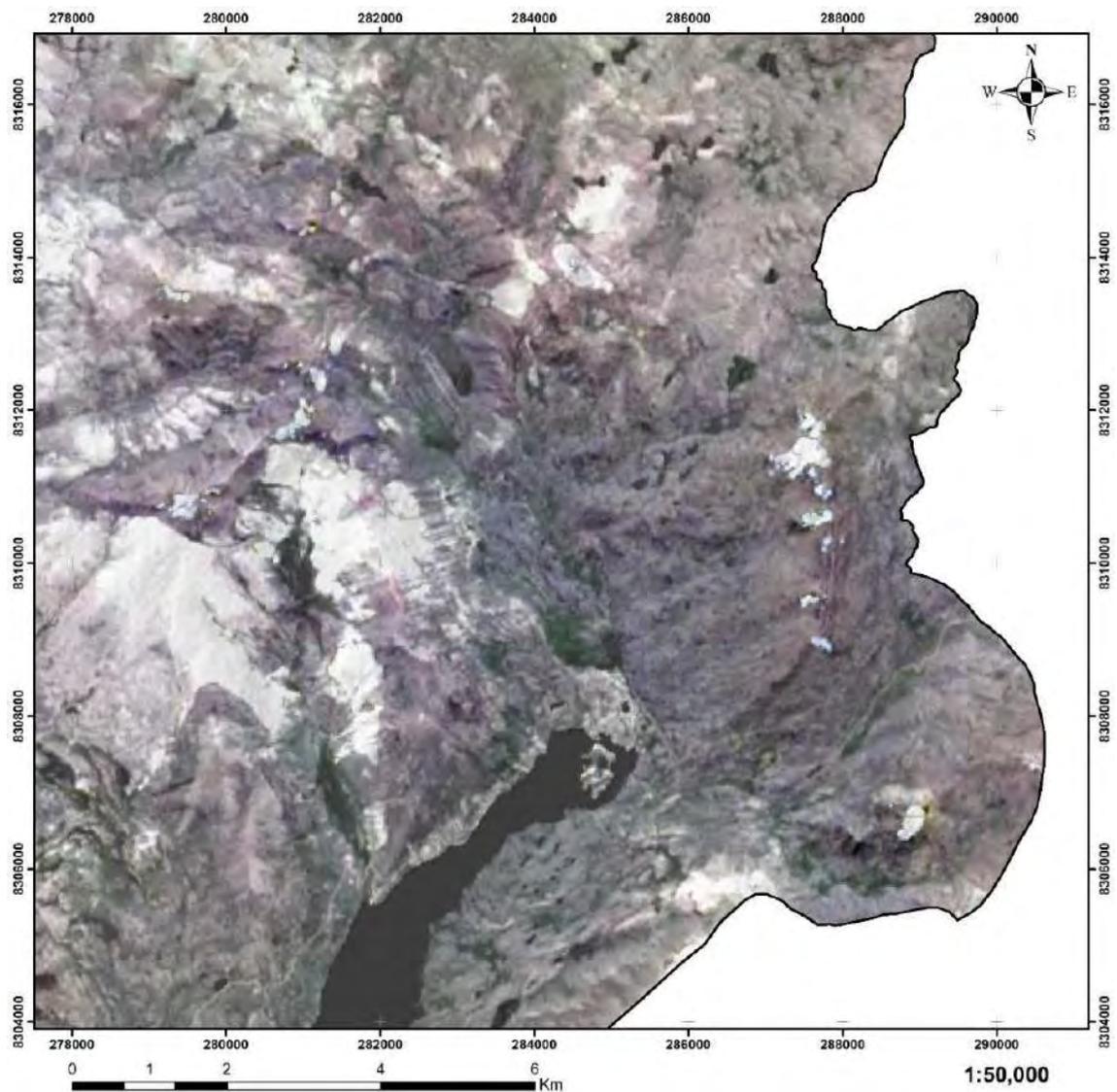
Finalmente, el mapa de zonas con alteración hidrotermal (ensambles mineralógicos), micas blancas y minerales de alta temperatura, fueron contrastados usando el sistema de folios con información geológica y franjas Metalogenéticas, de la zona de estudio, definiéndose posibles targets o blancos de exploración cartografiados en un mapa A3.

CAPÍTULO X. PRESENTACIÓN DE DATOS

10.1 Presentación de Datos Obtenidos con Imágenes Landsat

En el presente trabajo en esta etapa se utilizó una imagen satelital tipo LANDSAT – 8 OLI, correspondiente al año 2023, el cual cubre los 148.83 Km², posee 7 bandas espectrales con un pixelado de 30x30. El área procesada tiene zonas con vegetación en tonalidades rojizas, presencia de cuerpos de agua (lagos y lagunas) en coloraciones oscuras presentes en zonas de colinas y montañas con altitudes mayores a 4000 msnm, zonas de nieve se encuentran sobre los 5000 msnm, nubosidad escasa a nula. Estas características fueron detectadas mediante la combinación de bandas RGB:432 que representa un falso color o color natural (Fig. 31).

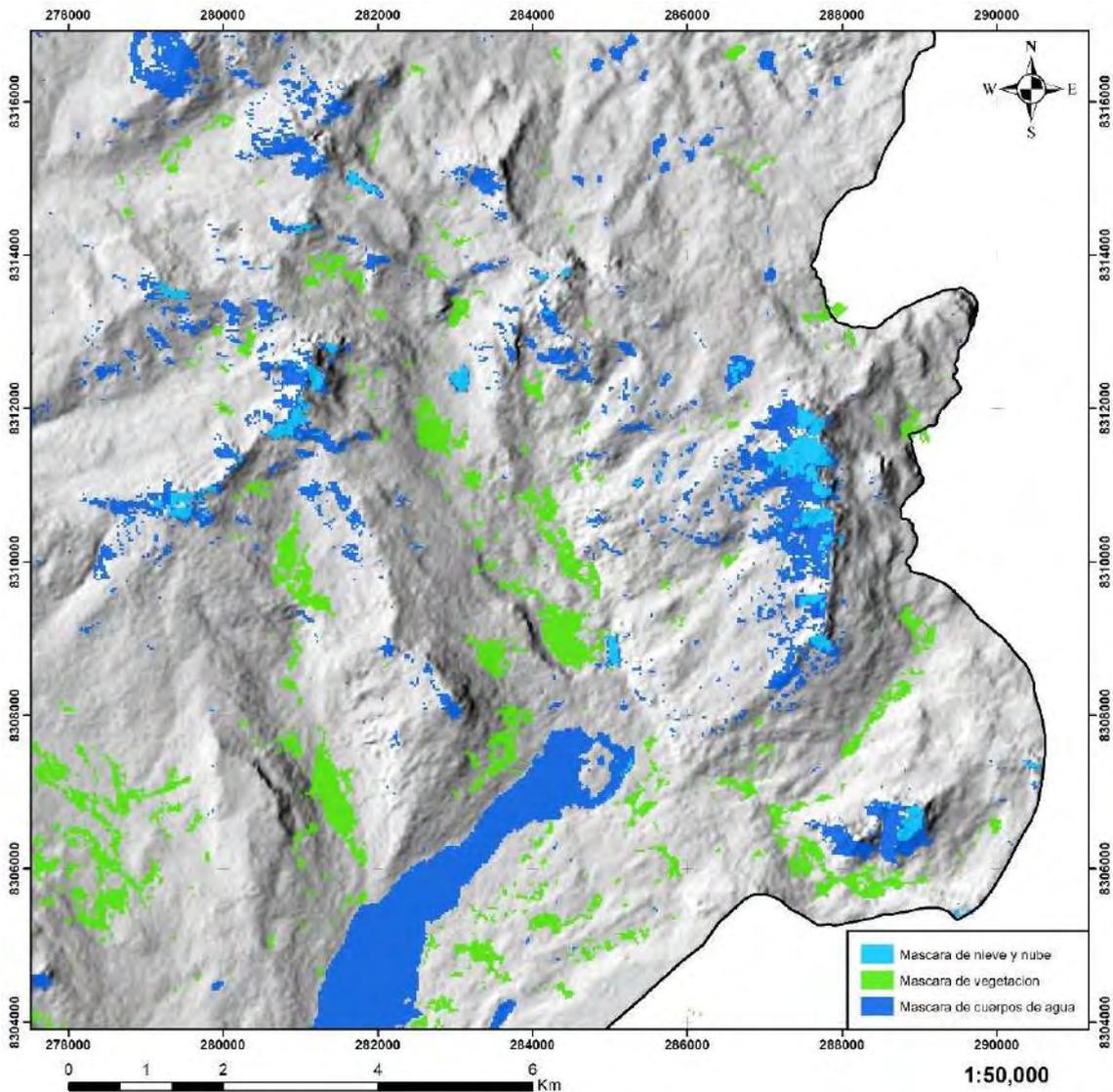
Figura 32 Imagen satelital LANDSAT 8, color natural de la zona de estudio (RGB: 432)



10.1.1 Aplicación de Máscaras

En la zona de estudios se aplicó máscaras de nube y nieve, vegetación y cuerpos de agua con la finalidad de discriminar que generen errores en la interpretación final de los espectros de reflectancia en zonas de alteración hidrotermal. Los cuerpos generados por las máscaras ocupan el 34% del área total de estudio, vegetación 17%, cuerpos de agua 15% y nieve y nube 2%.

Figura 33 Aplicación de máscaras sobre la zona de estudio, vegetación en color verde, agua en color azul y nieve y nubes en color celeste



10.1.2 Combinación de Bandas

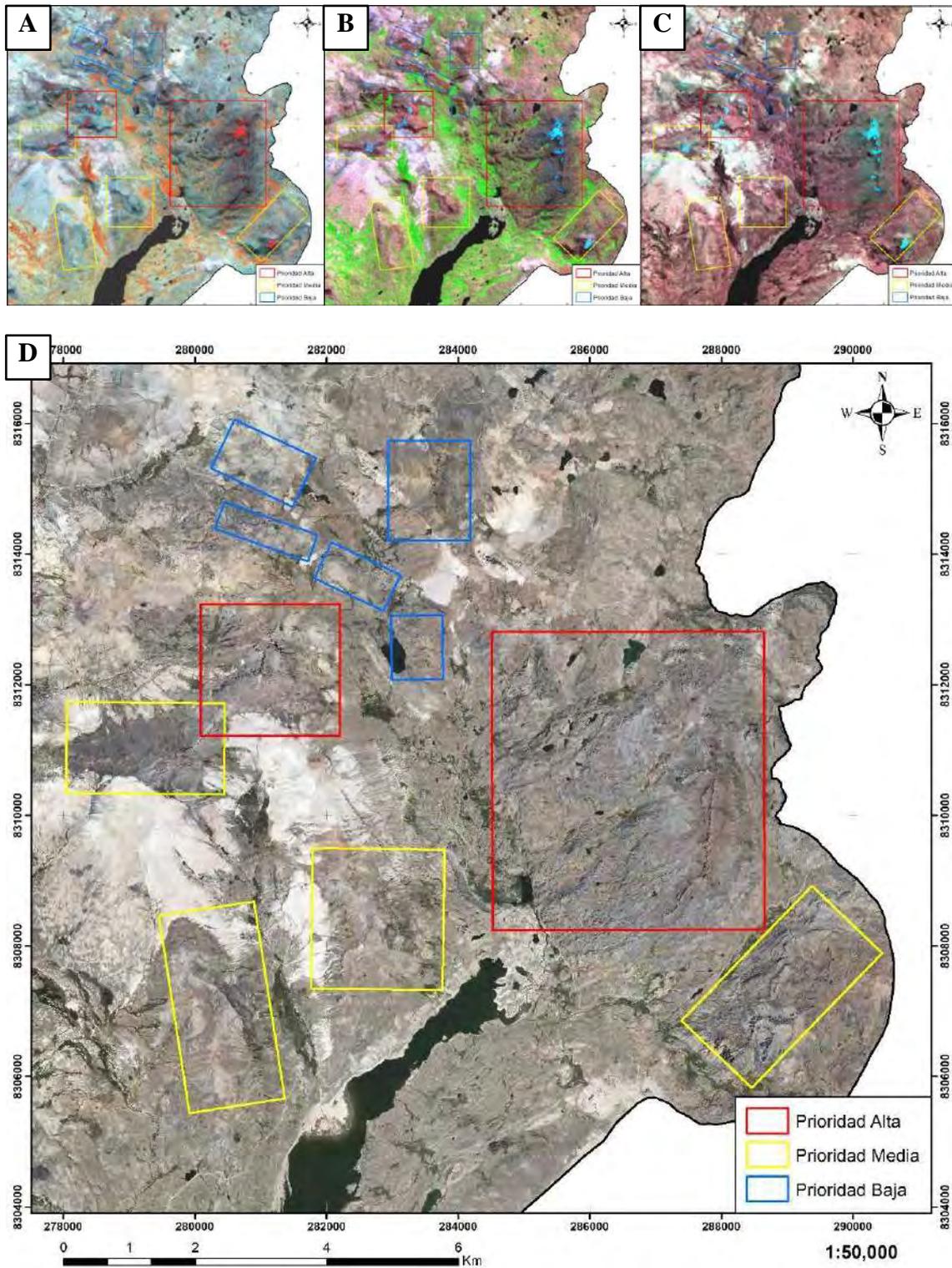
Con el propósito de reconocer zonas con presencia de minerales arcillosos por alteración hidrotermal y zonas de óxidos se utilizó combinaciones de bandas preestablecidas para este fin.

La siguiente figura muestra la comparación de las combinaciones para óxidos y minerales arcillosos, la combinación RGB 567 (Drury, 1978) presenta zonas de vegetación en coloraciones muy rojizas y zonas de alteración hidrotermal en tonalidades

marrones y azuladas a grises (Fig.33A), el RGB 753 (Boettinger et al., 2019) presenta zona de alteración hidrotermal en tonalidad rojiza, óxidos en tonos azulados y la vegetación en coloraciones verdosas (Fig.33B), finalmente el RGB 742 (Napiah et al., 1997) presenta minerales arcillosos en tonos rojizos a magentas y tonos grises, vegetación y cuerpos de agua en coloraciones negras (Fig.33C).

Los resultados indican que los tres métodos planteados por los autores coinciden en la distribución de los minerales arcillosos y óxidos, en base a esto se marcaron áreas de preferencia siendo los bordes de coloración roja los de prioridad alta, representándolo en una imagen final sobre una imagen de sombras (Fig.33D).

Figura 34 Combinaciones de bandas RGB, A) 567, B) 753 y C) 742, resultado de áreas de prioridades sobre imagen base (D)

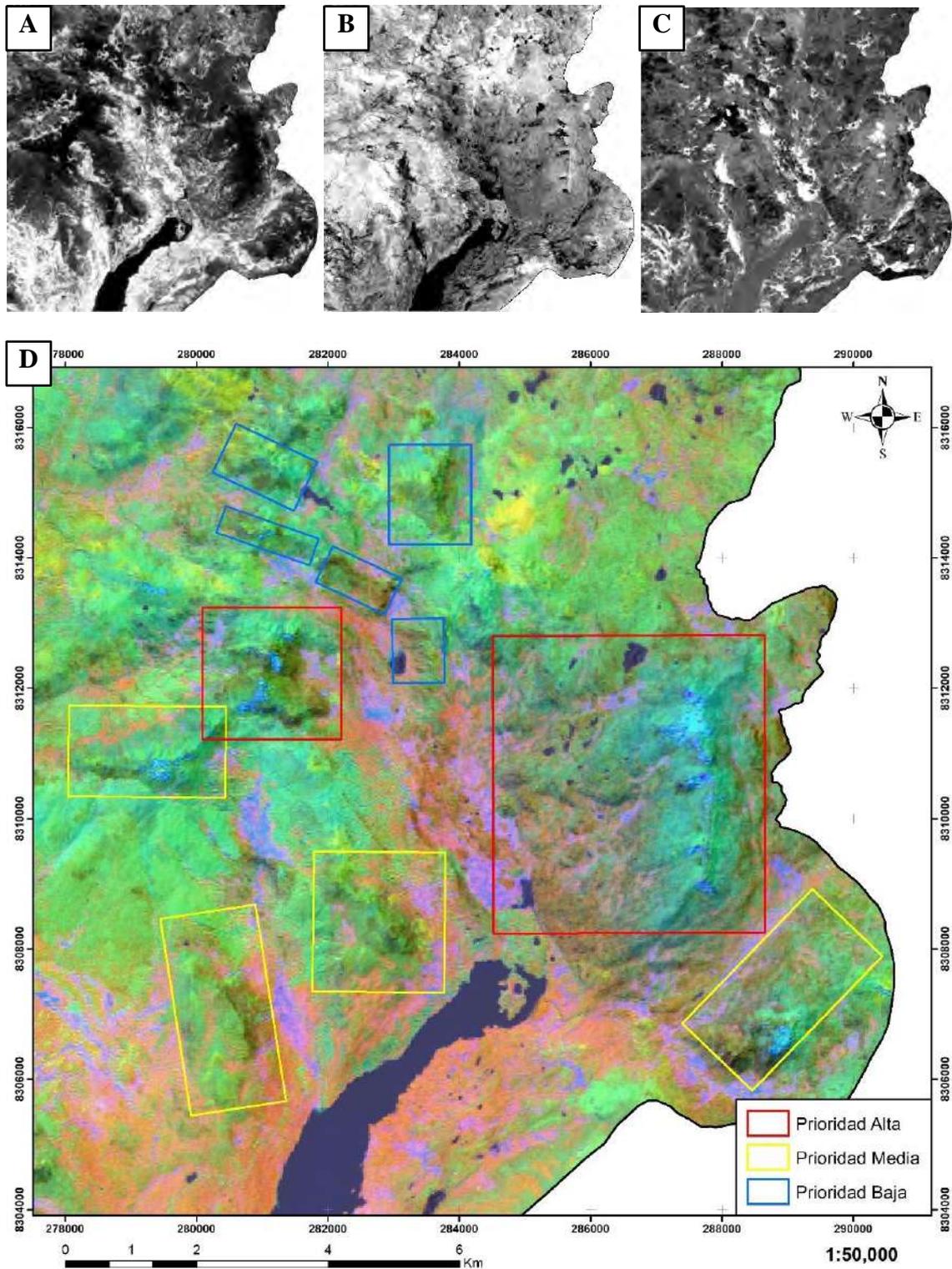


10.1.3 Combinación de Ratios de Bandas

Las ratios de bandas en imágenes LANDSAT son muy útiles para determinar zonas con presencia de minerales arcillosos y minerales de oxidación, así como zonas de vegetación. Estas ratios consideran los valores bajos de reflectancia o picos de absorción, para ello tenemos los siguientes ratios: $6/7$ identifica zonas ricas en arcillas, $4/3$ y $7/5$ identifica zonas ricas en óxidos de fierro (hematita, goetita y jarosita), $5/6$ identifica zona de mezcla entre óxidos de fierro y arcillas, finalmente el ratio $5/4$ identifica zonas de vegetación.

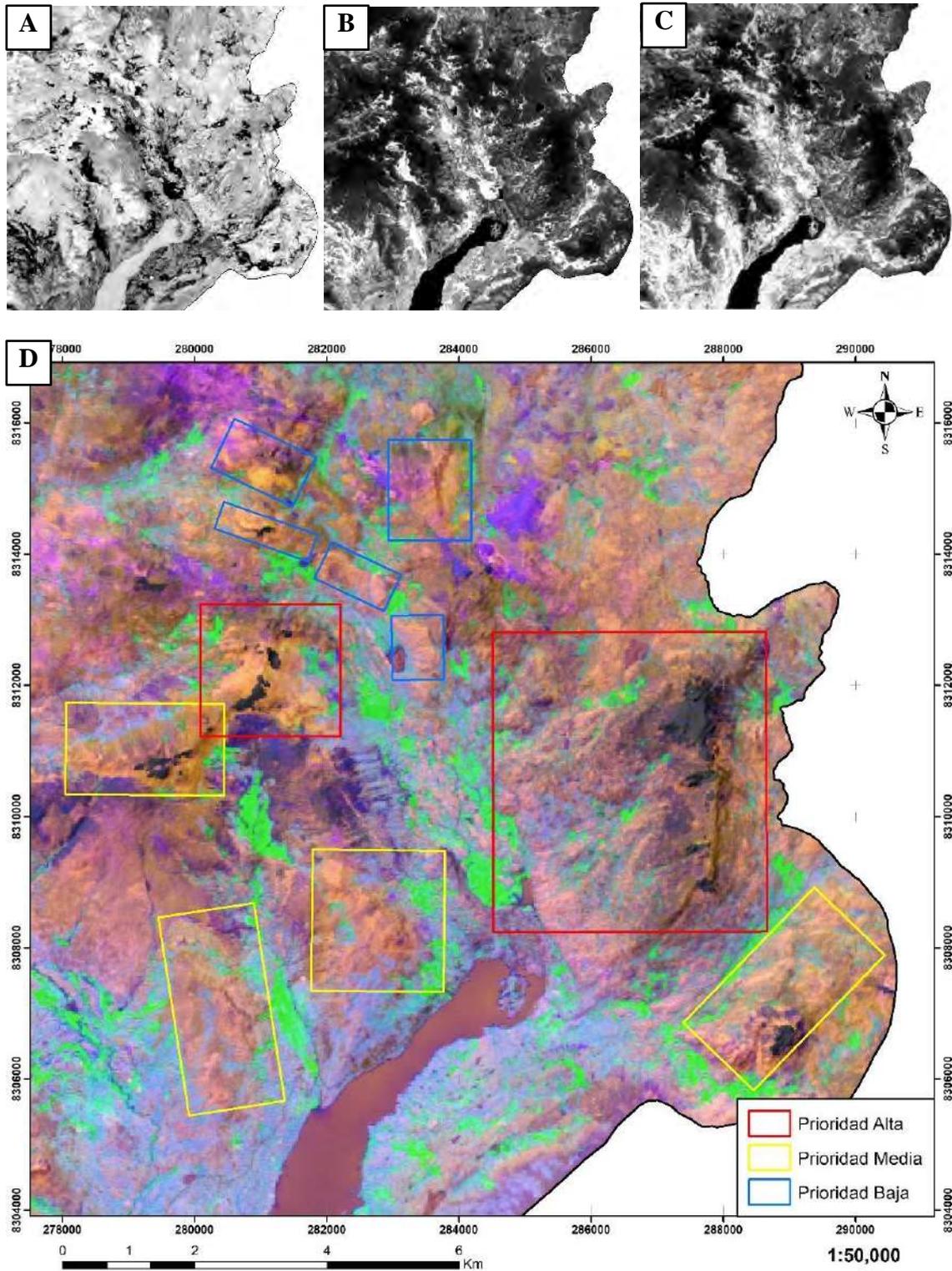
La fig. muestra la primera combinación de ratios de bandas, según el autor Abubakar et al., 2017, establece la primera combinación de ratios de bandas, siendo RGB: $6/7$, $4/3$ y $5/6$, esta combinación nos genera una nueva imagen con coloraciones resaltantes, es así que en coloraciones rojizas tenemos zonas ricas en arcillas, en tonos azulados tenemos zonas ricas en óxidos de fierro y tonos verdosos zonas mixtas de óxidos de fierro con arcillas.

Figura 35 Ratios de bandas A) 6/7 muestra zonas ricas en arcillas, B) 4/3 muestra zonas ricas en óxidos de hierro C) 5/6 muestra zona mixta de óxidos de hierro con arcillas y D) Muestra combinación RGB, zonas de prioridad alta se remarcan en cuadros de color rojo



La (fig. 35) muestra la primera combinación de ratios de bandas, según el autor Abubakar et al., 2017, establece la primera combinación de ratios de bandas, siendo RGB: 7/5, 5/4 y 6/7, esta combinación nos genera una nueva imagen con coloraciones resaltantes, es así que en coloraciones rojizas tenemos zonas ricas en óxidos de hierro, en tonos azulados tenemos zonas ricas en arcillas y tonos verdosos se remarcan zonas de vegetación.

Figura 36 Ratios de bandas A) 7/5 muestra zonas ricas en óxidos de fierro B) 5/4 muestra zonas de vegetación C) 6/7 muestra zonas ricas en arcillas y D) Muestra combinación RGB, zonas de prioridad alta se remarcan en cuadros de color rojo

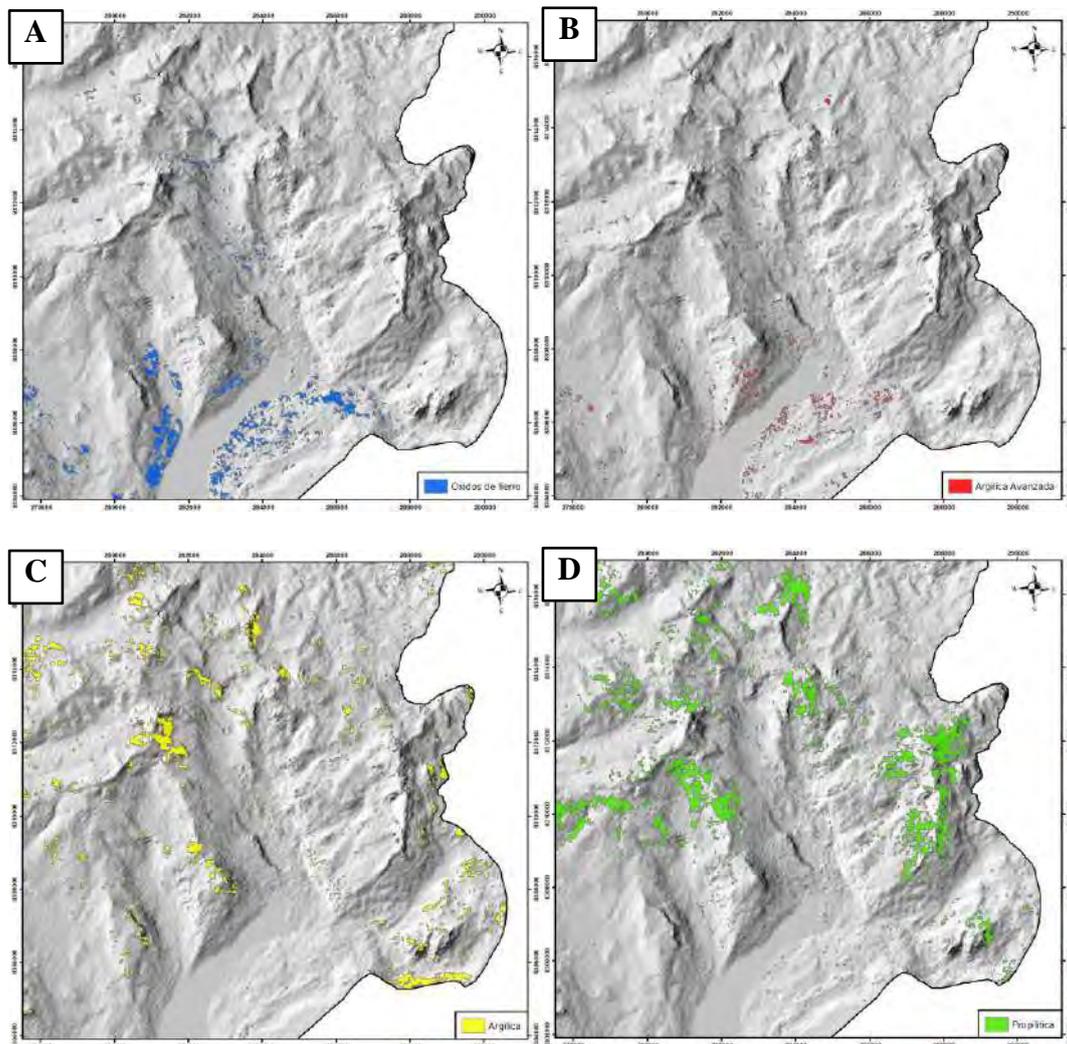


10.1.4 Cocientes/Índices de Identificación de Bandas

Los cocientes de bandas e índices de identificación, definidos por distintos autores, pueden reforzar la respuesta de aquellas zonas con presencia de minerales de alteración, en el presente estudio dichos cocientes e índices se utilizaron para identificar áreas que contengan minerales de origen hidrotermal.

En la (Fig. 36) se visualiza zonas de minerales de alteración, como alteración propilítica, argílica y argílica avanzada y zona de óxidos de fierro. Cada una de ellas presenta su fórmula previamente descrita. Podremos ver que estas también encajan dentro de nuestras áreas de prioridad.

Figura 37 Cocientes e índices de bandas, A) Óxidos de fierro, B) Alteración argílica avanzada, C) Alteración argílica y D) Alteración propilítica, aplicados en el área

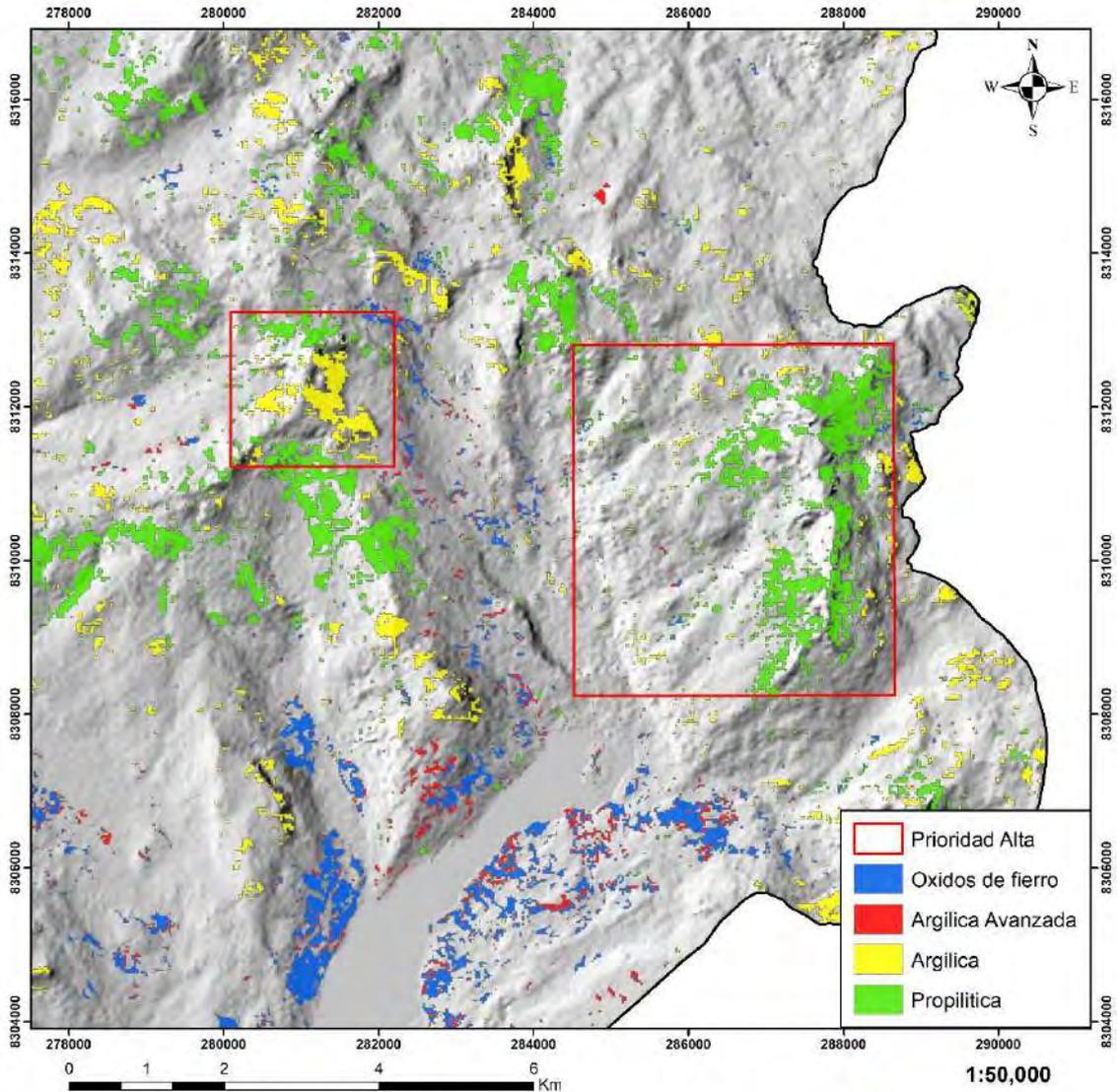


Una vez aplicado los cocientes e índices de bandas $(B5+B6)/B4$, $B6/B7$, $(B6+B7)/B5$ y $(B5+B7)/B6$, sobre el área de estudio, se visualiza como estas se concentran en el área, formando zonas de interés o atractivas, apreciamos que hay una mayor predominancia de la alteración propilítica, seguido de la alteración argílica y finalmente la argílica avanzada, también podemos apreciar que la zona tiene un alto contenido de óxidos de fierro en la parte sur del área de estudio.

En base a los resultados obtenidos, se buscó zonas de interés que coincidan con nuestras primeras propuestas de zonas por prioridad, tomando así las de alta prioridad,

ya que esta presenta zonas de alteración argílica, argílica avanzada y alteración propilítica, así también se cuenta con la presencia de óxidos de fierro.

Figura 38 Aplicación de los cocientes y ratios de bandas $(B5+B6)/B4$, $B6/B7$, $(B6+B7)/B5$ y $(B5+B7)/B6$ en la zona de estudio, y la selección de áreas de interés de prioridad alta.

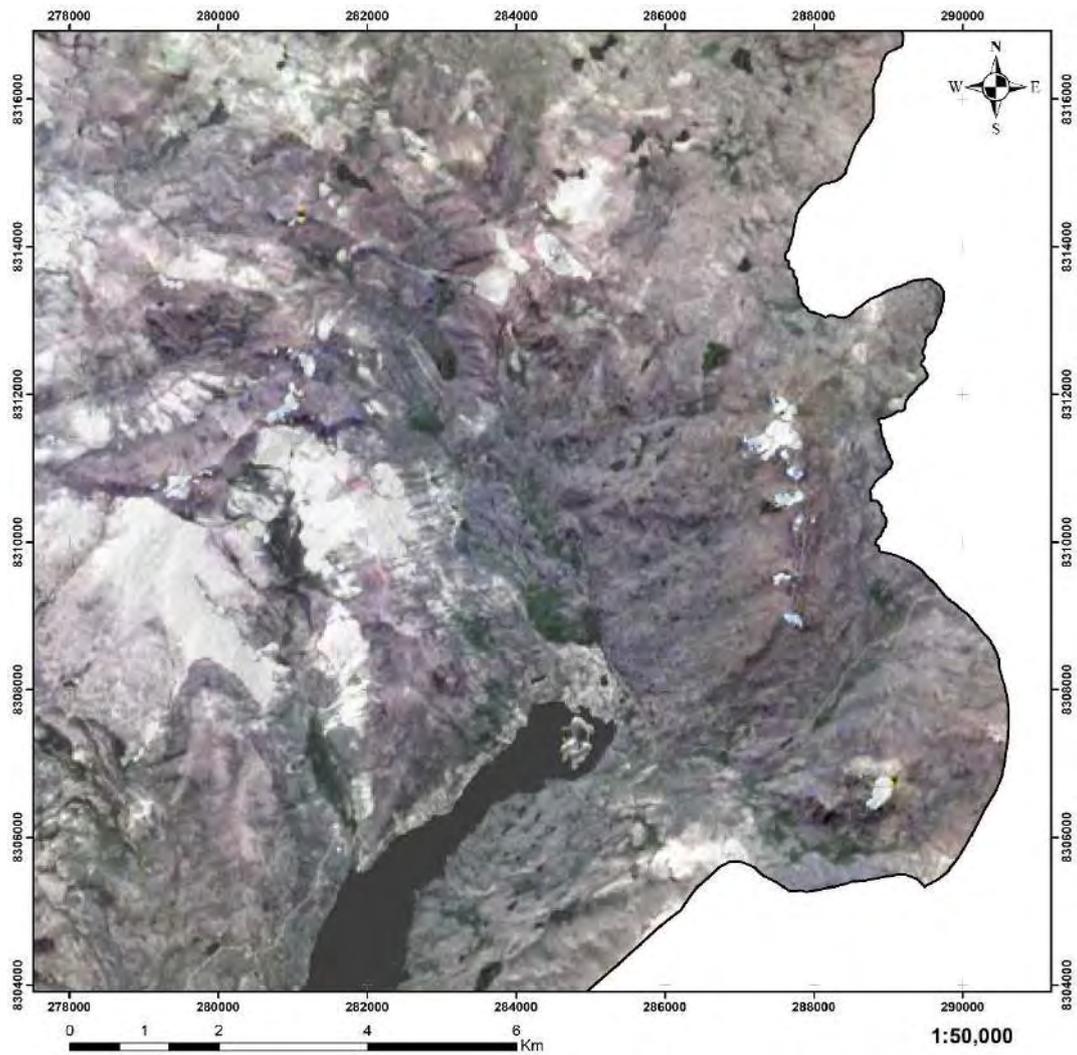


10.2 Presentación de Datos Obtenidos con Imágenes Aster

En el presente trabajo en esta etapa se utilizó una imagen satelital tipo ASTER, correspondiente al año 2002, el cual cubre los 148.83 Km², posee 14 bandas espectrales con un pixelado de 30x30. El área procesada tiene zonas con vegetación en tonalidades

rojizas, presencia de cuerpos de agua (lagos y lagunas) en coloraciones oscuras presentes en zonas de colinas y montañas con altitudes mayores a 4000 msnm, zonas de nieve se encuentran sobre los 5000 msnm, nubosidad escasa a nula. Estas características fueron detectadas mediante la combinación de bandas RGB:432 que representa un falso color o color natural (Fig. 38).

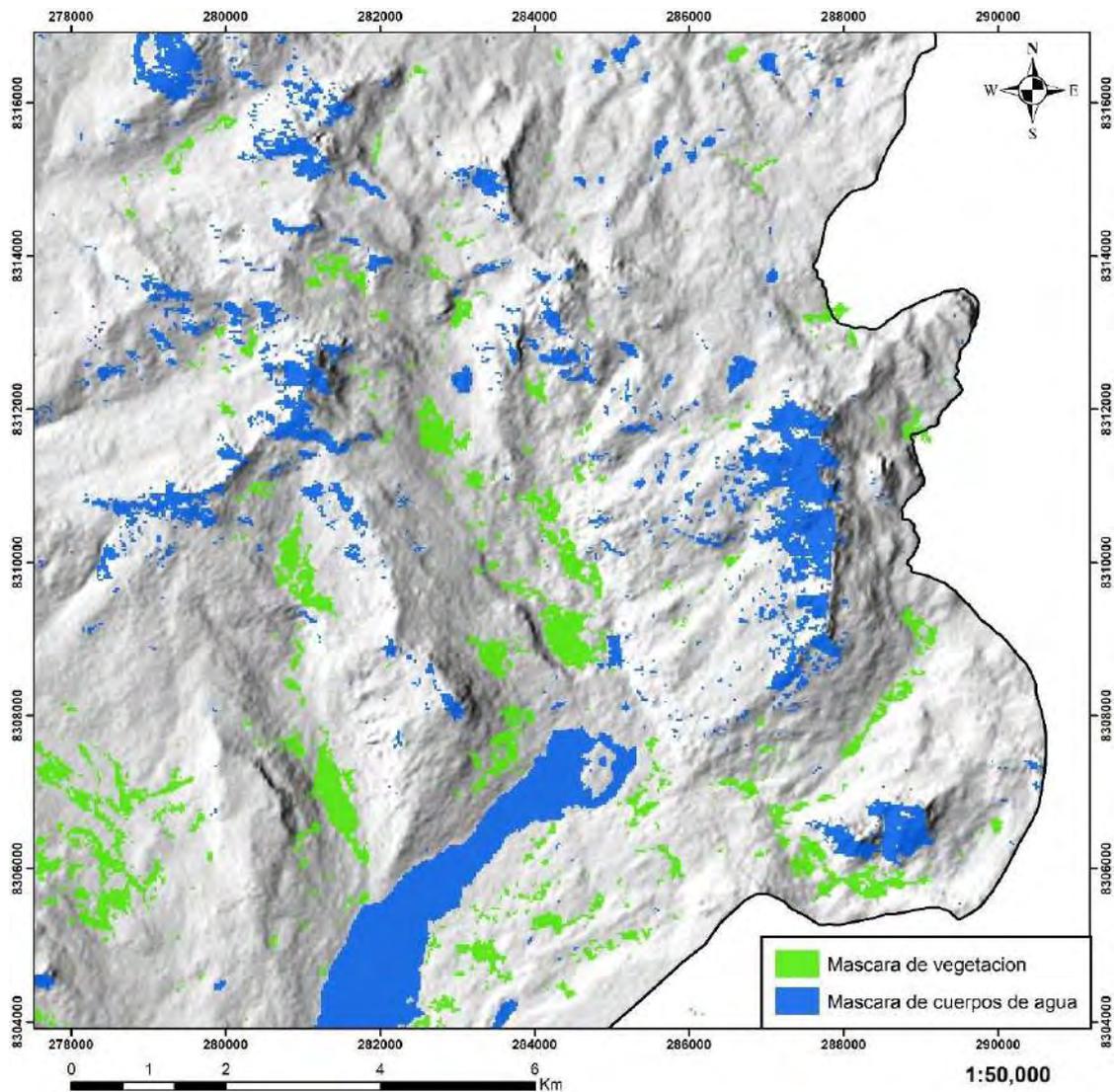
Figura 39 Imagen satelital ASTER, color natural de la zona de estudio (RGB: 432)



10.2.1 Aplicación de Máscaras

En la zona de estudios se aplicó máscaras de vegetación y cuerpos de agua con la finalidad de discriminar que generen errores en la interpretación final de los espectros de reflectancia en zonas de alteración hidrotermal. Los cuerpos de agua y las sombras, son los elementos que mayor extensión ocupan (33%). La vegetación se distribuye en sentido NE – SW ocupando el 5% de extensión en el área total.

Figura 40 Aplicación de máscaras sobre la zona de estudio, vegetación en color verde, agua en color azul



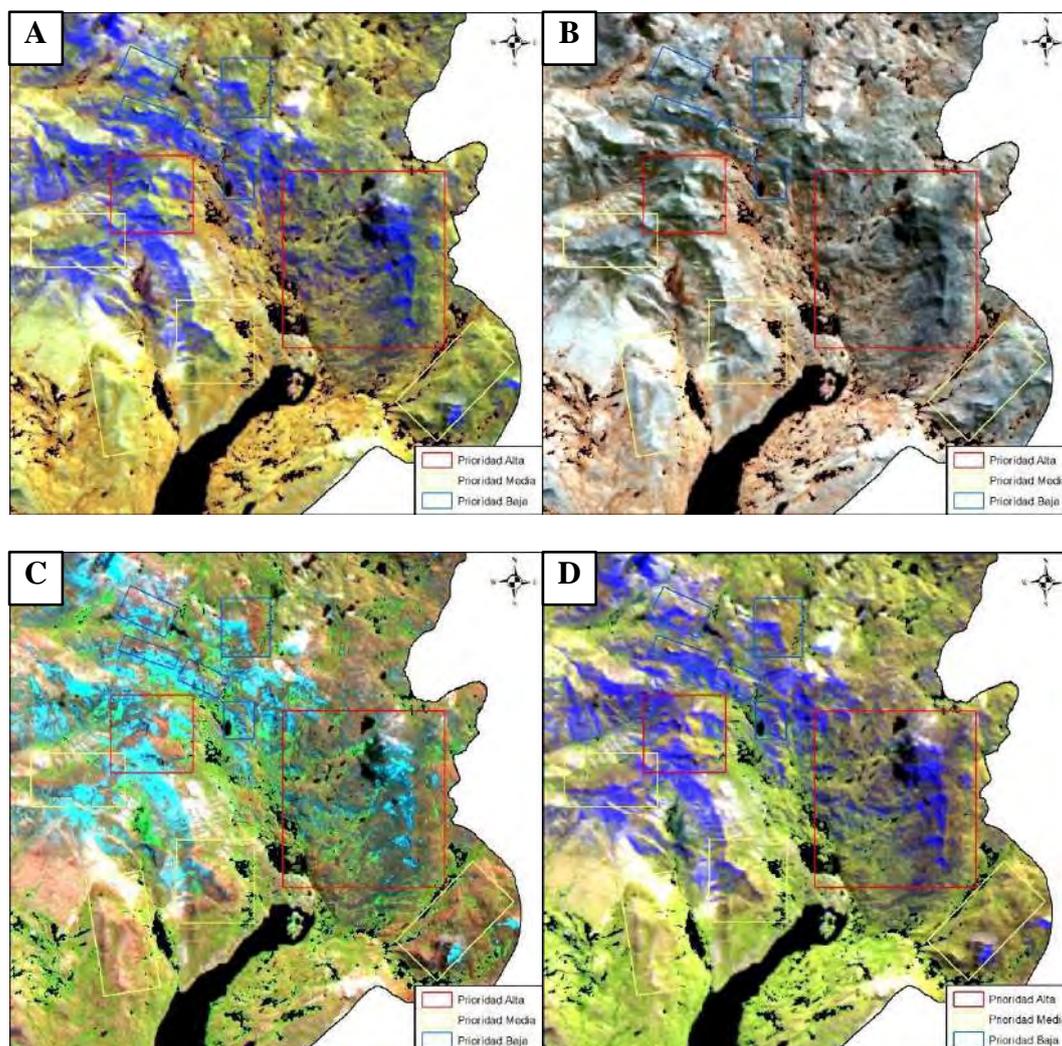
10.2.2 Combinación de Bandas

Con el propósito de reconocer zonas con presencia de minerales arcillosos y zonas de óxidos, se utilizó combinaciones de bandas preestablecidas para este fin.

La siguiente figura muestra la comparación de las combinaciones para minerales arcillosos, la composición RGB 461 (Tommaso et al., 2005) presenta zonas arcillosas de tonalidad morada (Fig.40A), el RGB 469 definido por Marquetti et al. (2004) exhibe zonas en tonalidades marrón (Fig.40B). Azcurra et al. (2003) indica que el RGB 531 muestra zonas en tonalidad verde claro (Fig.40C) y el RGB 641 definido por Pérez et al. (2007) indica minerales arcillosos en tonalidades verdosas (Fig.40D).

Los resultados indican que los cuatro métodos planteados por los autores, coinciden en la distribución de los minerales arcillosos, en base a esto se marcaron áreas de preferencia siendo los bordes de coloración roja los de prioridad alta, representándolo en una imagen final sobre una imagen de sombras (Fig.42).

Figura 41 Combinaciones de bandas RGB A) 461, B) 469, C) 531 Y D) 641, muestran zonas con minerales arcillosos, resaltadas en recuadros rojos



Varias combinaciones RGB permiten identificar óxidos como se observa en la siguiente figura, la composición RGB 461 (Tommaso et al., 2005) muestra zonas en tonalidad amarillo pálido (Fig.41A), al igual que el RGB 641 definido por Pérez et al. (2007) (Fig.41B), y el RGB 943 definido por Mamani (2017) (Fig.41C).

Los resultados indican que los tres métodos planteados por los autores coinciden en la distribución de los minerales de óxidos, en base a esto se marcaron áreas de preferencia siendo los bordes de coloración roja los de prioridad alta, representándolo en una imagen final sobre una imagen de sombras (Fig.42).

Figura 42 Combinaciones de bandas RGB A) 461, B) 641, Y C) 943, muestran zonas con óxidos, resaltadas en recuadros rojos

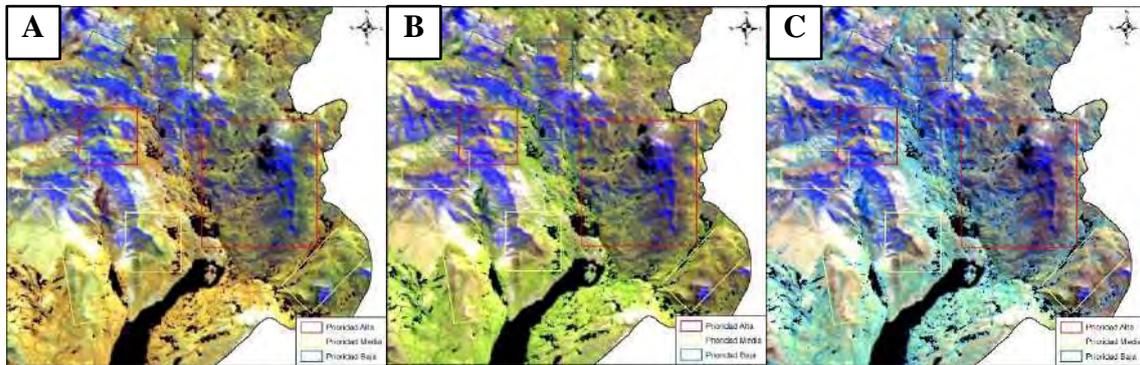
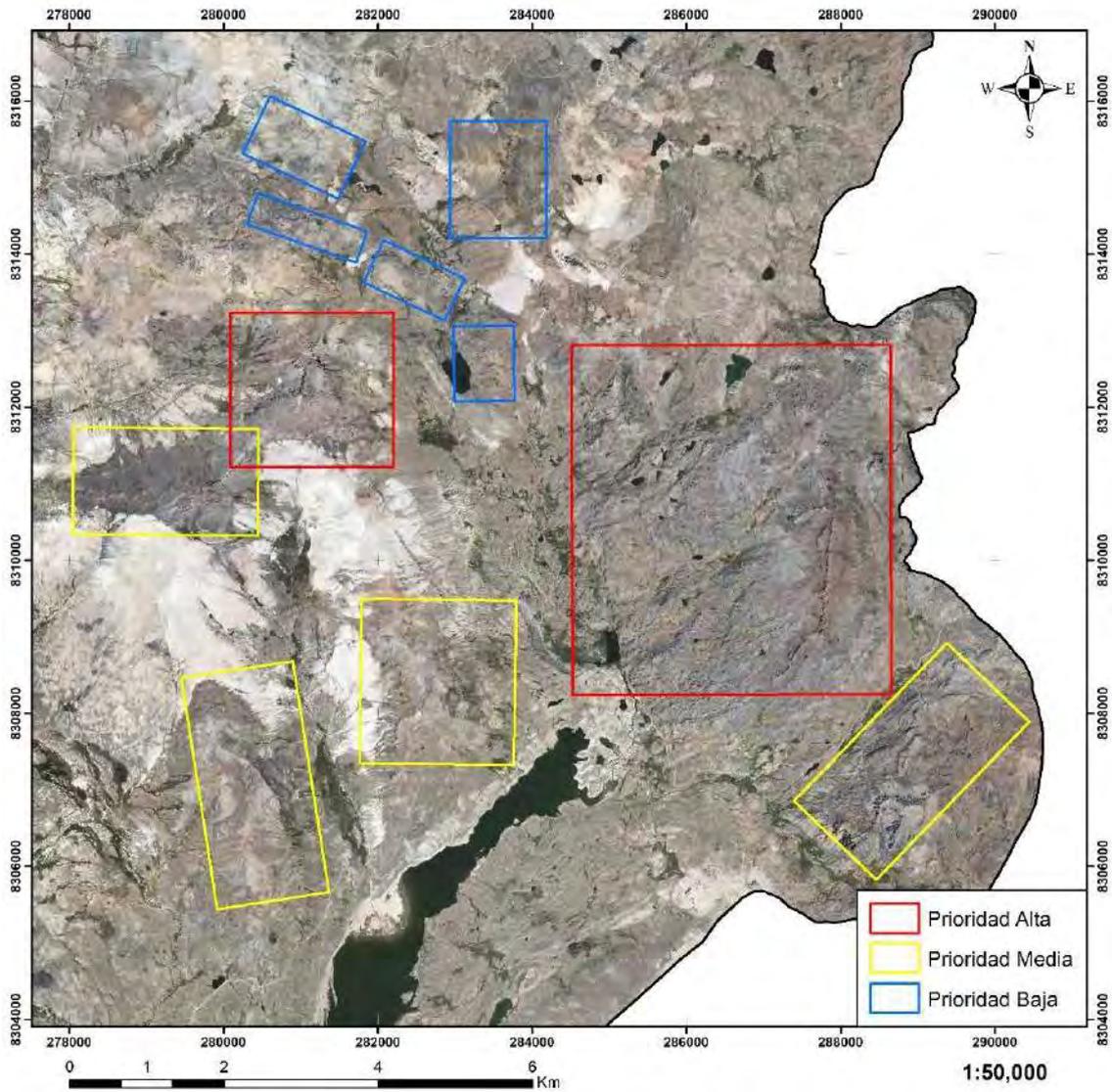


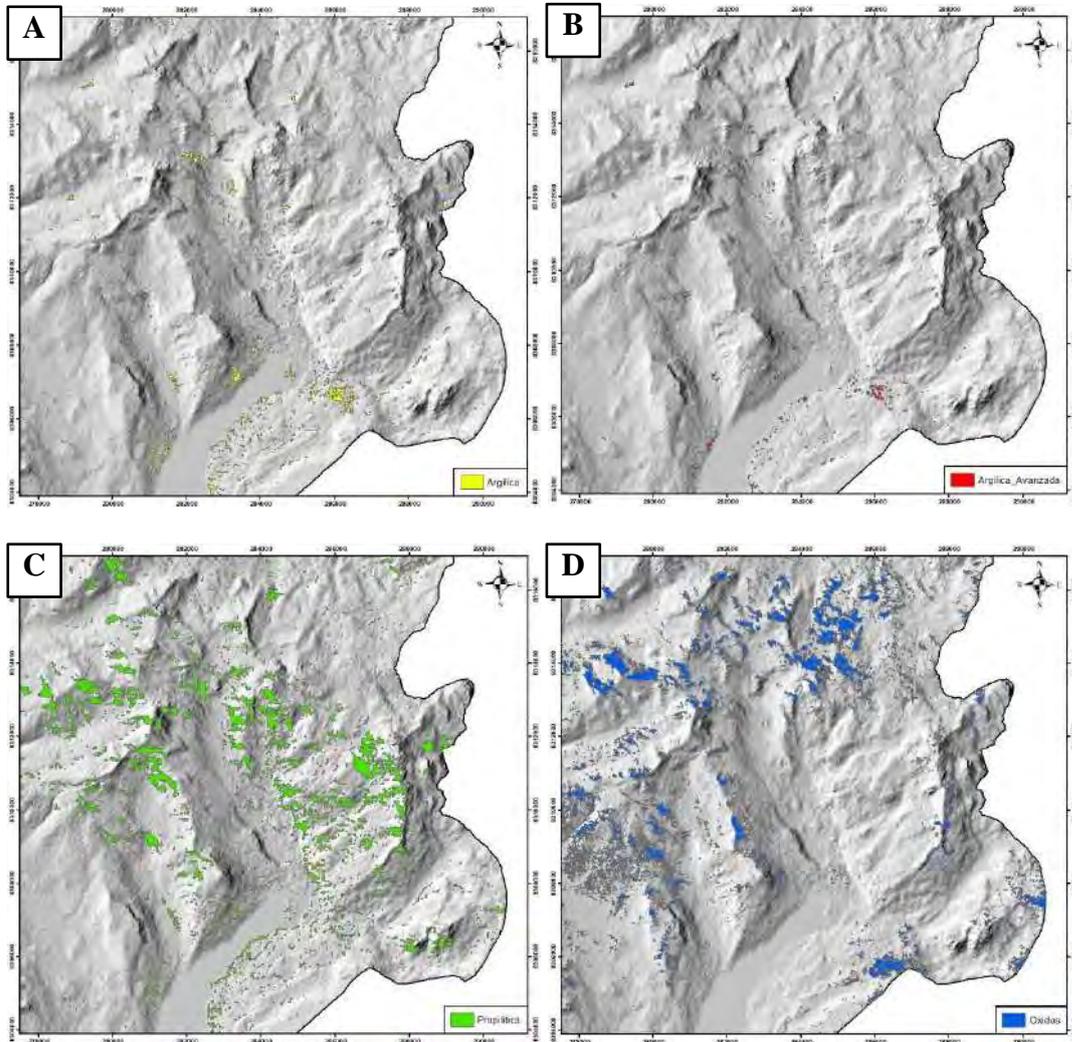
Figura 43 Resultado de áreas de prioridades sobre imagen base



10.2.3 Cocientes o Ratios de Bandas

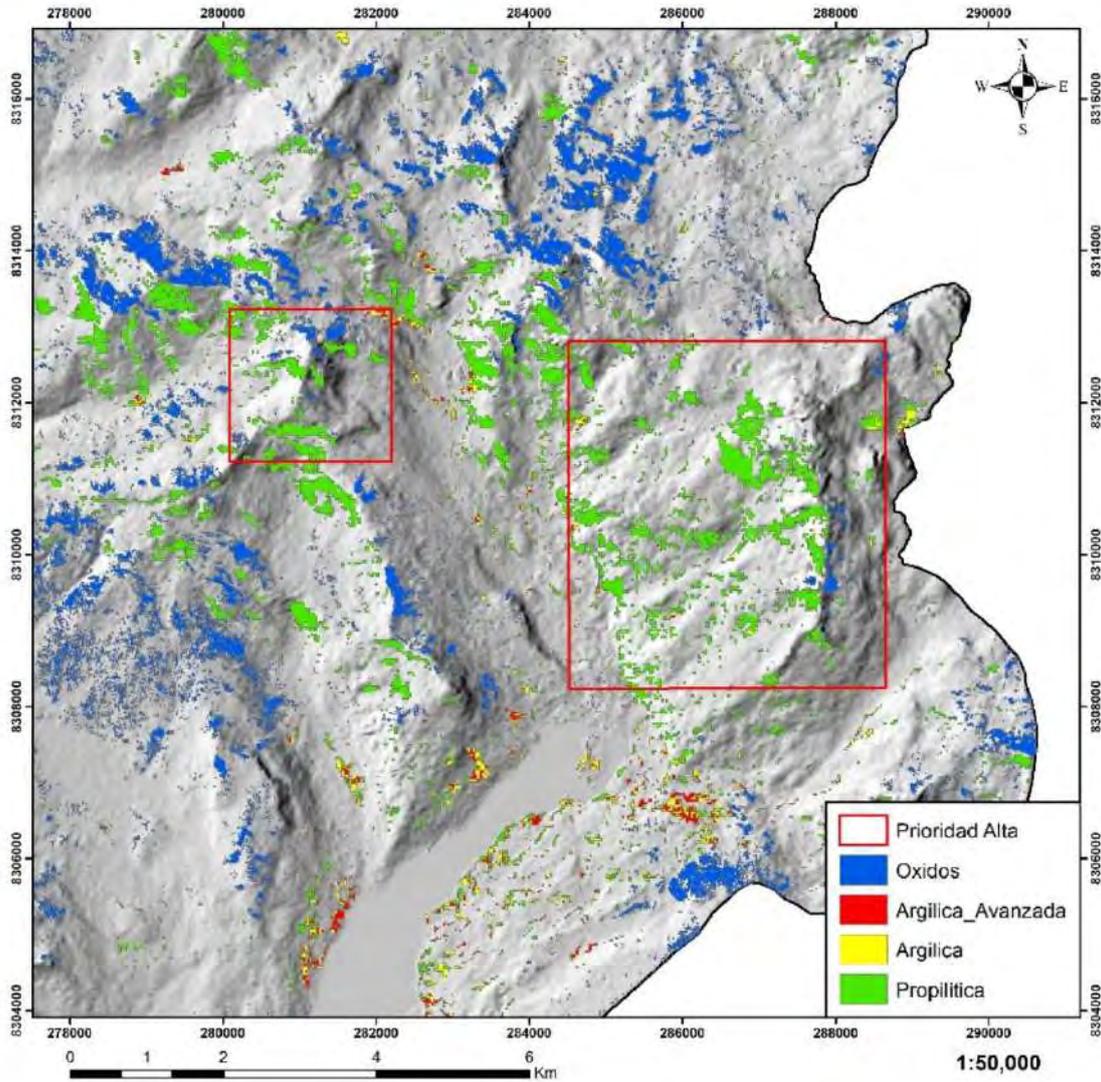
Los cocientes de bandas constituyen otra herramienta para detectar zonas con presencia de minerales arcillosos y minerales de oxidación, para lo cual, se consideran los valores bajos de reflectancia, conocidos como picos de absorción. El cociente 4/6 identifica moscovita, illita y montmorillonita y presenta zonas con alteración argílica (Fig. 43A), el cociente 4/5 identifica caolinita, dickita, pirofilita y alunita y presenta zona con alteración argílica avanzada (Fig. 43B); el cociente 5/8 identifica calcita, clorita y epidota y presenta zonas con alteración propilítica (Fig. 43C), y el cociente 2/1 identifica hematita y goethita y presenta Óxidos e hidróxidos (Fig. 43D).

Figura 44 Cocientes de bandas a) 4/6 - alteración argílica a fílica, b) 4/5 - alteración argílica avanzada, c) 5/8 - alteración propilítica, y d) 2/1 - óxidos, aplicados en la zona de estudio



La siguiente fig. muestra los cocientes o ratios de bandas y esta combinación de los minerales arcillosos y óxidos, en base a esto se marcaron áreas de preferencia siendo los bordes de coloración roja los de prioridad alta, representándolo en una imagen final sobre una imagen de sombras (Fig.44).

Figura 45 Aplicación de cocientes de bandas 4/6, 4/5, 5/8 y 2/1 en la zona de estudio, nuevas áreas de interés se encuentran en recuadros rojos

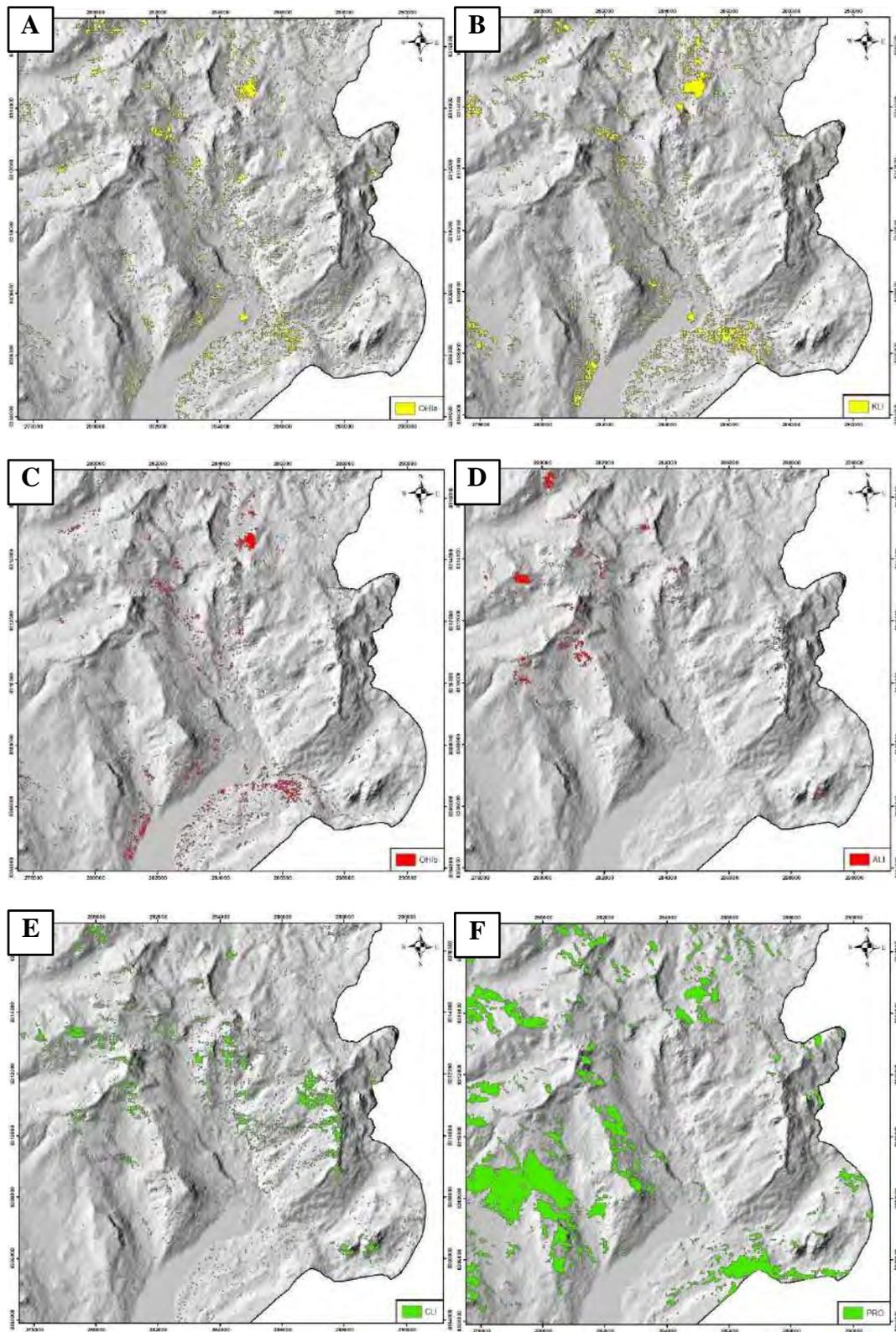


10.2.4 Índices de Identificación Litológica – SWIR

Los índices de identificación litológica definidos por Ninomiya (2004), permiten reforzar la respuesta de aquellas zonas con presencia de minerales de alteración. En el presente estudio dichos índices son utilizados con la finalidad de identificar áreas que contengan minerales de origen hidrotermal.

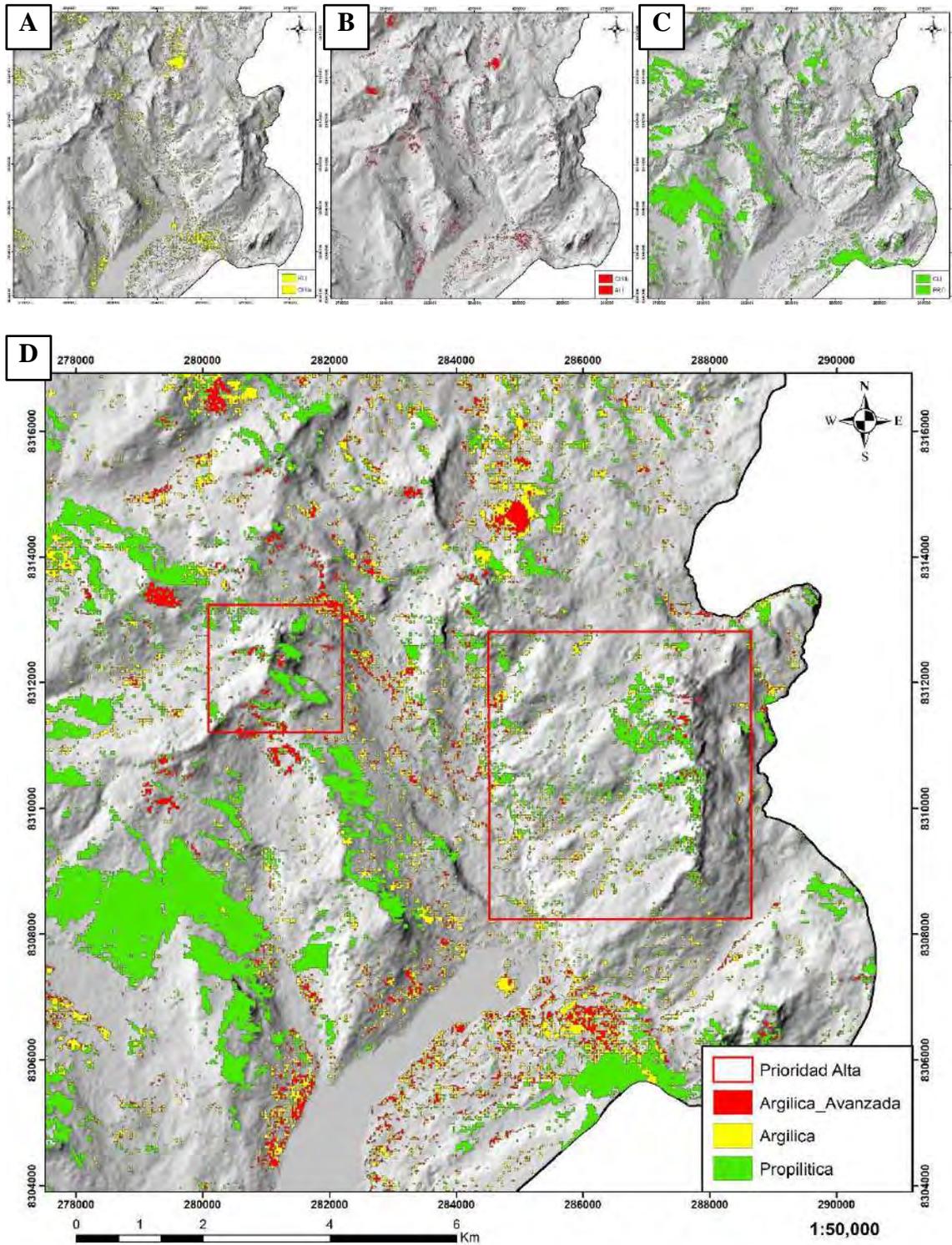
En siguiente fig. se visualiza zonas con minerales de moscovita, illita y montmorillonita representada por OH1a (Fig.45A); caolinita, dickita representada por KLI (Fig.45B); pirofilita representada por OH1b (Fig.45C); alunita representado por ALI (Fig.45D); calcita representada por CLI (Fig.45E); y epidota, clorita y calcita representado por PRO (Fig.45F).

Figura 46 Índices de Ninomiya A) OHIa (moscovita, illita, montmorillonita), B) KLI (caolinita, dickita), C) OHIb (pirofilita), D) ALI (alunita), E) CLI (calcita) y F) PRO (epidota, clorita, calcita) aplicados en la zona de estudio



En la siguiente fig. se visualiza zonas de minerales de alteración, como alteración argílica (OH1a y KLI) (Fig.46A), argílica avanzada (OH1b y ALI) (Fig.46B) y propilítica (CLI y PRO) (Fig.46C). En base a los resultados obtenidos, se buscó zonas de interés que encajan con nuestras primeras propuestas de zonas por prioridad, tomando así las de alta prioridad, ya que esta presenta zonas de alteración argílica, argílica avanzada y alteración propilítica (Fig.46D).

Figura 47 Aplicación de índices de identificación litológica SWIR en la zona de estudio, resultado de áreas de interés de prioridad alta se encuentran en recuadros rojos (D)



10.2.5 Mapeo Espectral por el Método SAM (Spectral Angle Mapper)

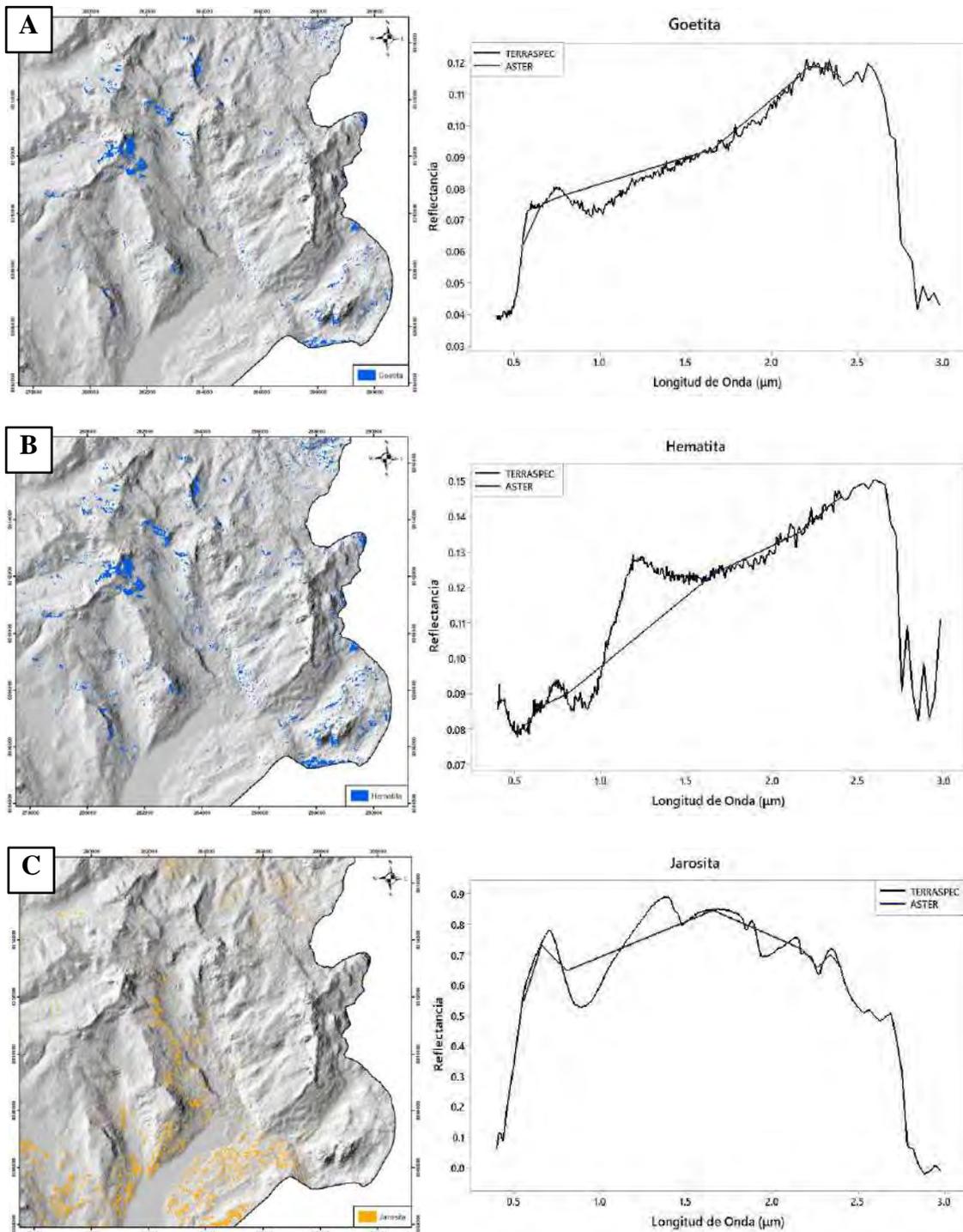
El método de mapeo espectral SAM permite realizar una comparación entre firmas espectrales de la imagen ASTER y las obtenidas con el espectrómetro TERRASPEC de muestras de campo.

Para el presente estudio se utilizaron 15 firmas espectrales de muestras de roca, y de cada una de ellas se analizaron los picos de absorción, para definir el tipo de mineral correspondiente, estas muestras fueron obtenidas de lecturas de proyectos anteriores, así como también, tomadas de la librería de espectros de la USGS y nuestras propias muestras.

Se realiza agrupación de minerales por ensamble mineral o minerales comunes, el primero grupo compuesto por minerales típicos de zonas de óxidos, como son la goetita, hematita y la jarosita. Con este método pudimos apreciar la abundancia de la hematita y la jarosita en nuestra zona de estudios.

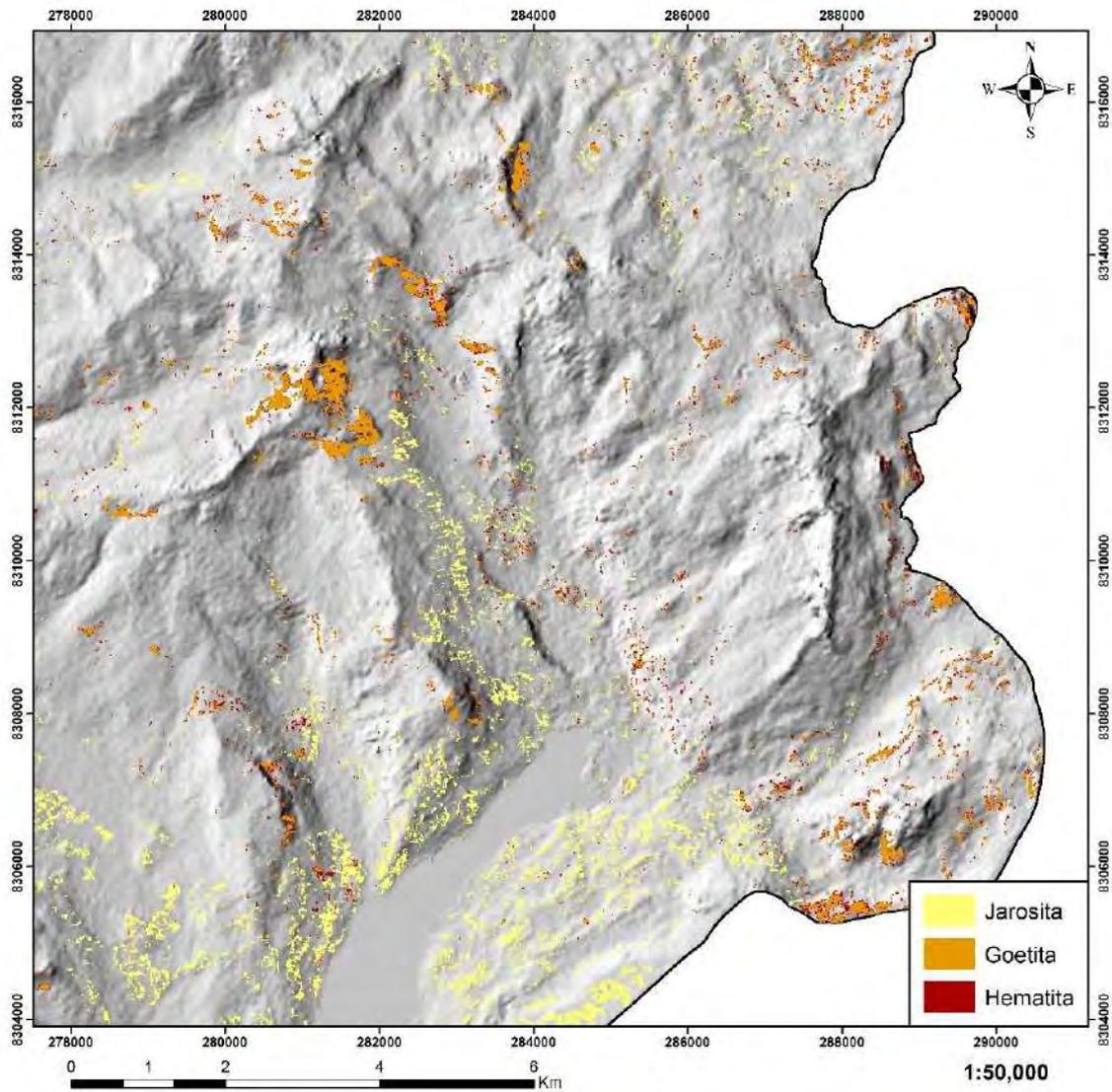
Tanto la hematita como la goetita se caracterizan por sus picos de absorción en $0.52\mu\text{m}$ aproximadamente en la banda 1. Por el contrario, la jarosita se caracteriza por tener un pico de absorción en un rango mucho menor entre 0.45 a 0.50. esto se aprecia en nuestro análisis por TerraSpec y en el análisis de imágenes satelitales por el método SAM.

Figura 48 Se muestra minerales comunes en zonas de oxidación, A) Goetita, B) Hematita y C) Jarosita



Es así que tenemos un resultado final de este grupo, donde se ve la distribución de cada uno de estos minerales en nuestro área de estudio.

Figura 49 Se aprecia la asociación de minerales del primer grupo

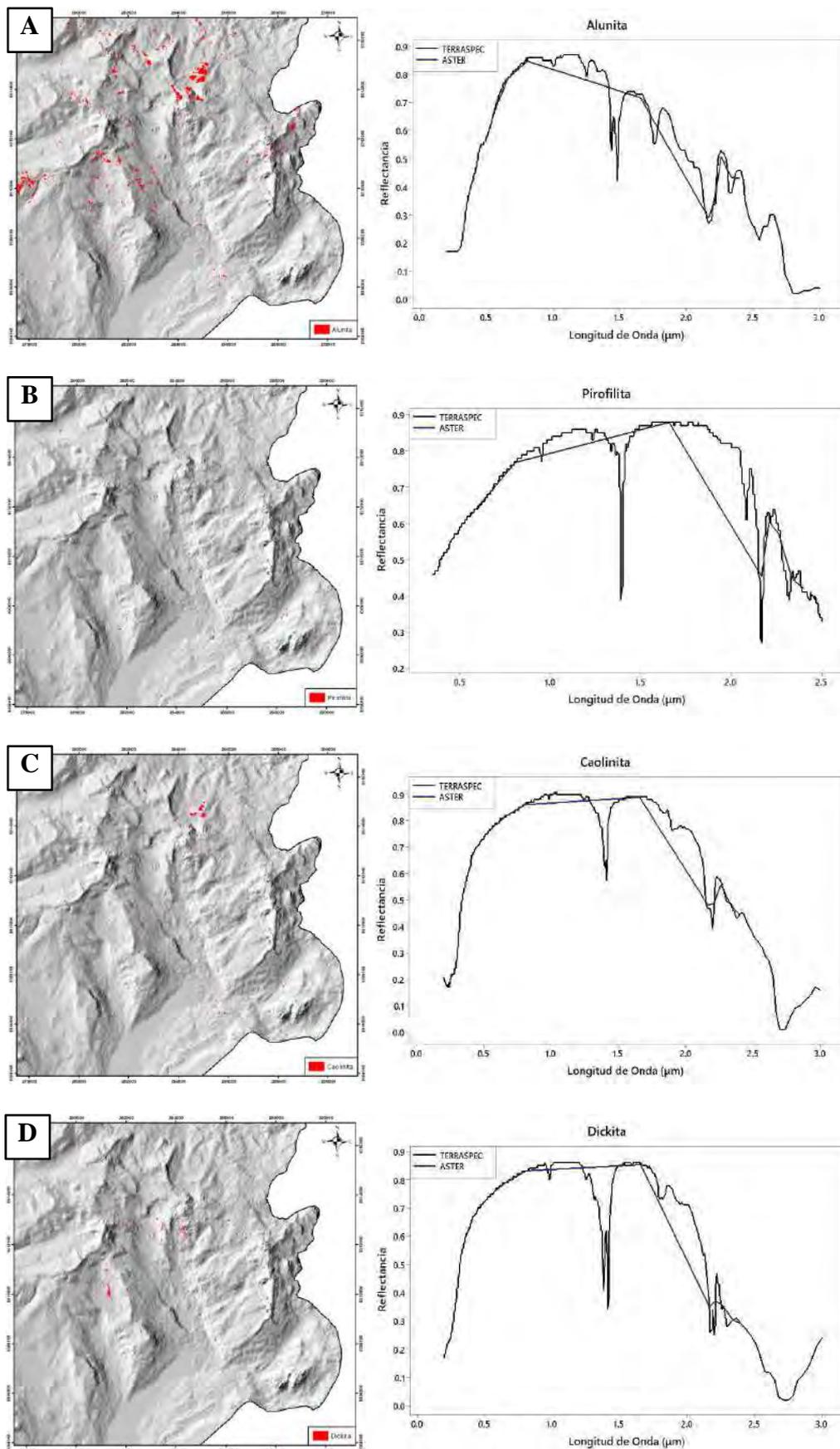


El segundo grupo esta conformado por minerales que son comunes en la alteracion argilica avanzada, estos vienen a ser la alunita, pirofilita, caolinita y dickita. Apreciamos que el mineral mas abundante viene a ser la alunita, que es un muy buen indicativo de presencia de la alteracion mencionada en nuestra zona de estudio y la poca presencia de Dickita.

La alunita se caracteriza por su doble rasgo de absorción en el rango 1.44 μ m y 1.48 μ m, y sus picos de absorción en los rangos 1.76 μ m, 2.16-2.17 μ m (Banda5) y 2.32 μ m, el pico de absorción en el rango 2.16-2.17 μ m es típico cuando existe mezcla con pirofilita, caolinita o dickita. La pirofilita presenta picos de absorción en los rangos 1.39 μ m (OH), 2.07 μ m, 2.16 μ m (Banda5) y 2.31 μ m. Los picos en el rango 2.07 μ m y 2.31 μ m son típicos cuando existe mezcla con otro mineral. El espectro de la dickita tiene dobles rasgos de absorción en los rangos 1.38 – 1.41 μ m y 2.17 – 2.20 μ m (Banda 5), y picos de absorción en los rangos 1.80 μ m y 2.30 μ m. Finalmente, la caolinita también tiene dos dobles rasgos de absorción, menos marcados que la dickita, en los rangos 1.40 - 1.41 μ m y 2.16 – 2.20 μ m (Banda 5). Se aprecia en cada muestra la correlacion y características similares con los datos ASTER.

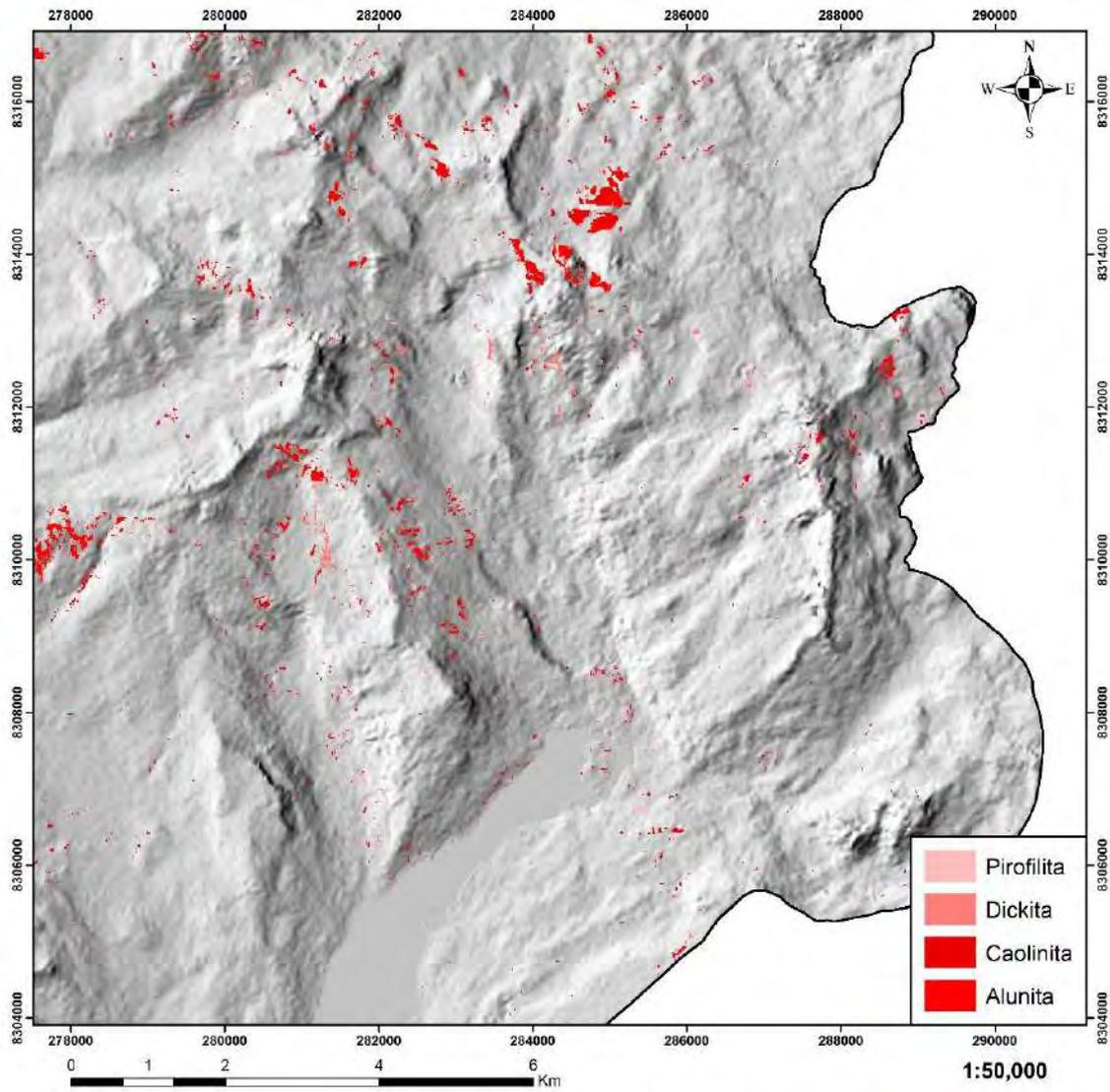
Figura 50 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración argílica avanzada, A)

Alunita, B) Pirofilita, C) Caolinita y D) Dickita



Es así que para este grupo, tenemos la siguiente imagen, donde se ve la distribución de cada uno de estos minerales en nuestro área de estudio. Conformando la alteración argílica avanzada.

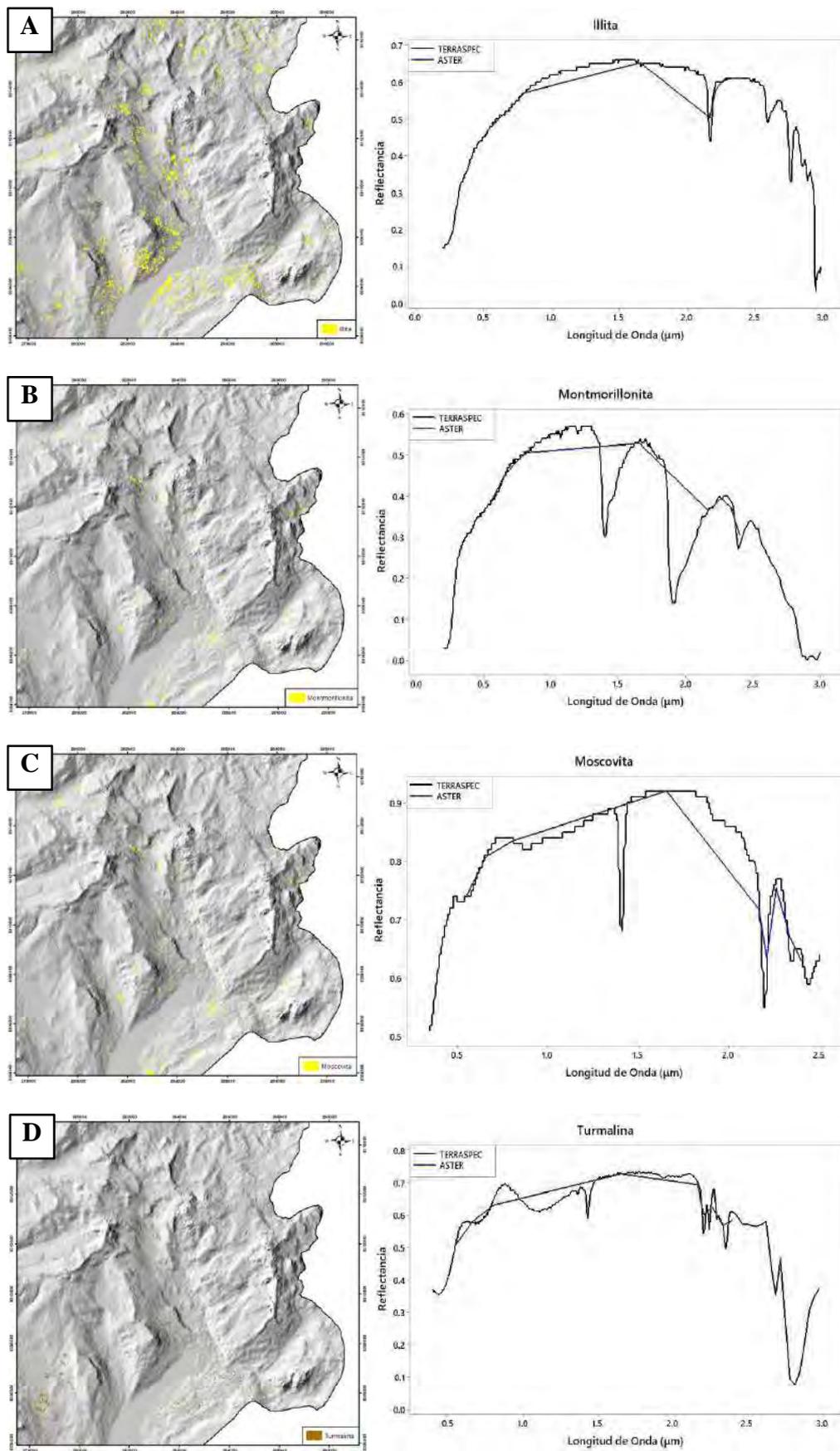
Figura 51 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del segundo grupo, formando la alteración argílica avanzada



El tercer grupo está conformado por minerales arcillosos muy característicos de zonas de alteración argílica, en transición con alteración filica tardía, estos minerales son la illita, montmorillonita y moscovita. Dentro de este grupo también se agregó la presencia de la turmalina, como indicador de puntos calientes. El mineral más abundante de este grupo viene a ser la illita, lo que indica la predominancia de la alteración argílica sobre la filica tardía.

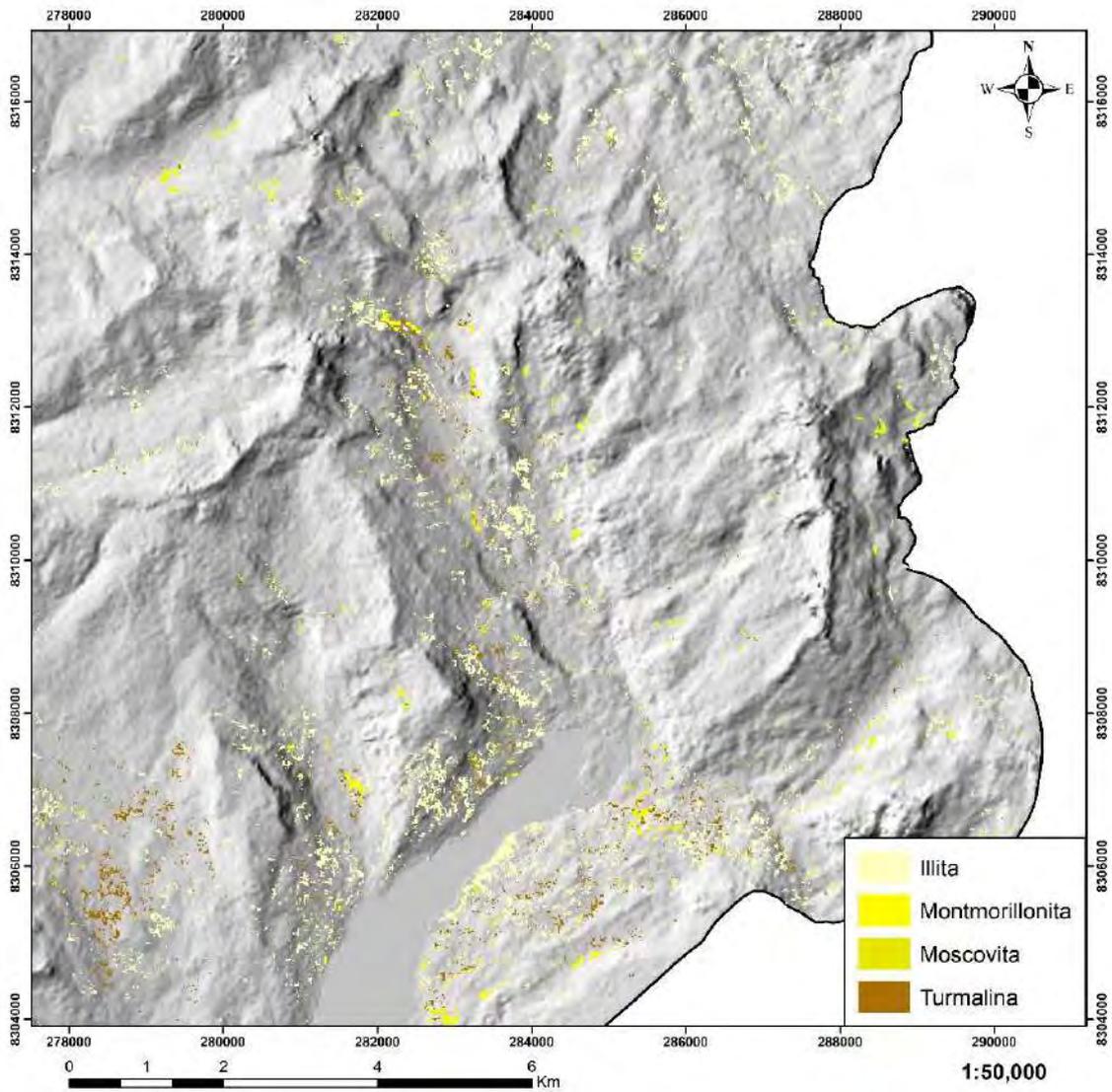
La moscovita se caracteriza por sus picos de absorción en los rangos 1.41 μm (OH), 2.18-2.20 μm (Banda6) y el doble rasgo de absorción en 2.34 μm y 2.43 μm . Adicionalmente el rasgo del H₂O (1.93 μm) es <1/4 de la profundidad del rasgo de absorción 2.18-2.20 μm , esto diferencia a la moscovita de la illita. La montmorillonita tiene picos de absorción en los rangos 1.41 μm (OH), 1.90 μm (H₂O) y 2.39 μm . Y finalmente el espectro de la turmalina tiene un pico de absorción en el rango 0.52 μm

Figura 52 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración argílica o argílica – filica, A) Illita, B) Montmorillonita, C) Moscovita y D) Turmalina



Es así que para este grupo, tenemos la siguiente imagen, donde se ve la distribución de cada uno de estos minerales en nuestro área de estudio, conformando la alteración argílica.

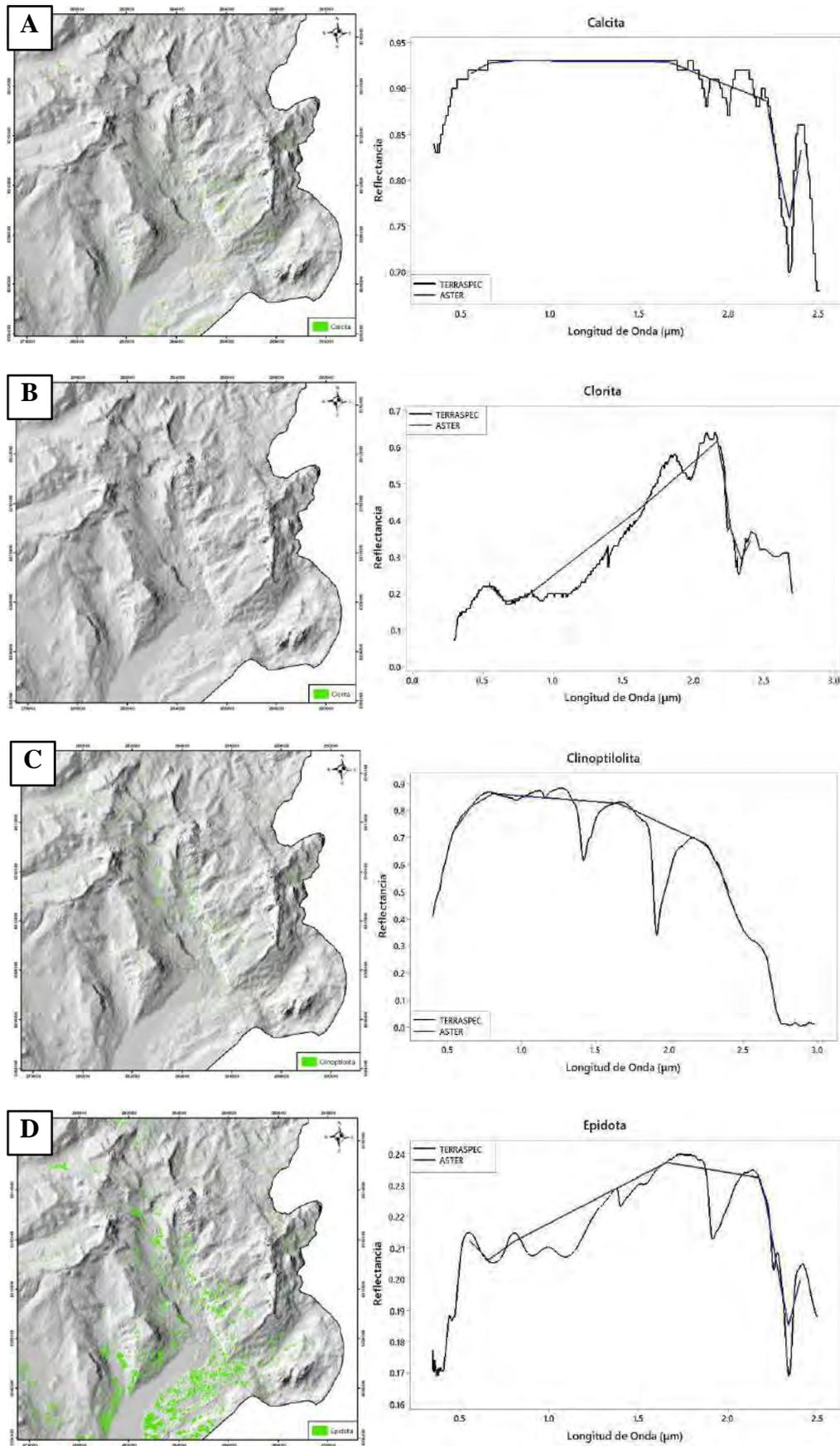
Figura 53 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del tercer grupo, formando la alteración argílica



El cuarto y último grupo está conformado por los minerales verdes, característicos de las alteraciones propilítica, calcita, clorita, clinoptilolita y epidota, los tres primeros en asociación nos indica zonas más frías de la alteración mencionada, conformando así la famosa división propuesta por Corbett, propilítica externa, y la presencia de epidota en abundancia vendría a representar la parte más caliente. Podemos apreciar la predominancia de la epidota en la zona de estudio, lo que nos indicaría el dominio de una alteración propilítica interna.

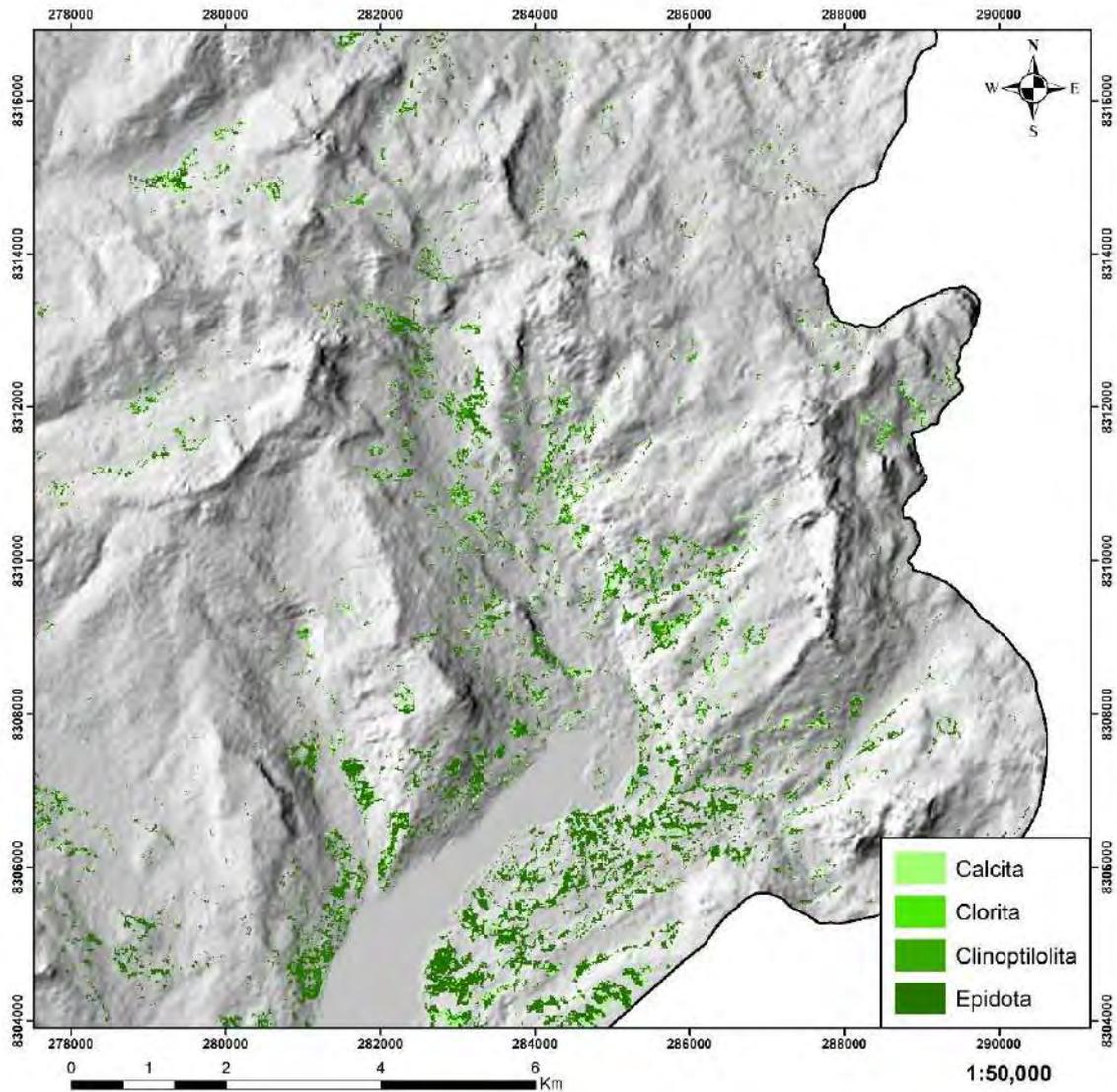
la clorita se caracteriza por sus picos de absorción en los rangos $1.39\mu\text{m}$ (OH), $1.98\mu\text{m}$, $2.25\mu\text{m}$ (FeOH) y $2.32\mu\text{m}$ (Banda 8). El pico de absorción en el rango $1.98\mu\text{m}$ es típico de cloritas hidratadas. La calcita presenta picos de absorción en los rangos $1.88\mu\text{m}$, $1.99\mu\text{m}$, $2.15\mu\text{m}$ y $2.34\mu\text{m}$ (Banda 8). El espectro de la epidota tiene picos de absorción en los rangos $1.55\mu\text{m}$, $1.83\mu\text{m}$, $1.95\mu\text{m}$ (H₂O), $2.25\mu\text{m}$ (FeOH) y $2.33\mu\text{m}$ (Banda 8). Los picos de absorción más importantes de la epidota están en los rangos $1.55\mu\text{m}$ y $1.83\mu\text{m}$ los cuales permiten diferenciarla de la clorita. Finalmente, la clinoptilolita perteneciente al grupo de las zeolitas con dos picos de absorción típicos en 1.40 y $1.90\mu\text{m}$.

Figura 54 Se muestra minerales comunes en zonas de alteración propilítica, A) Calcita, B) Clorita, C) Clinoptilolita y D) Epidota



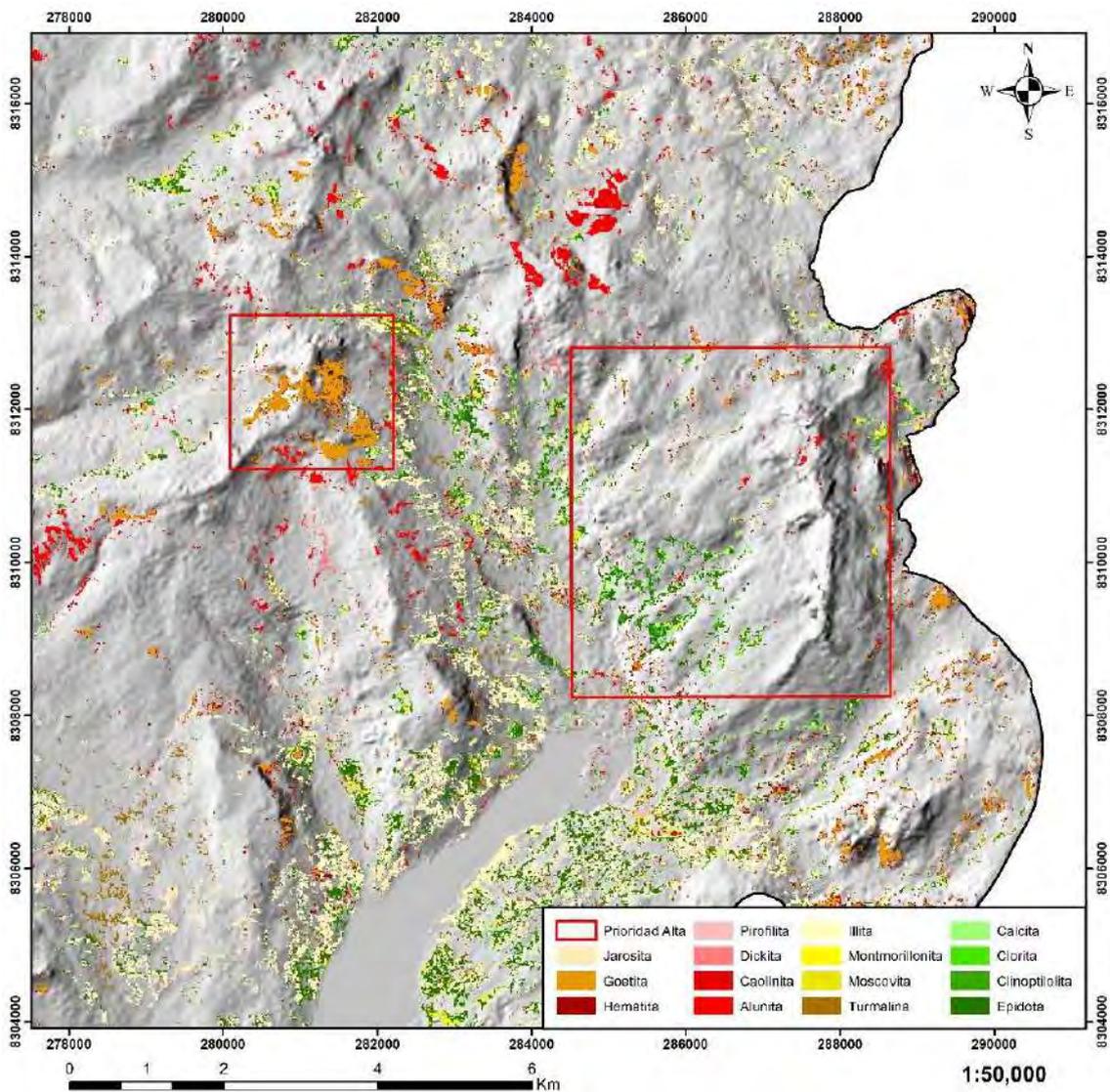
Es así que para este grupo, tenemos la siguiente imagen, donde se ve la distribución de cada uno de estos minerales en nuestro área de estudio, conformando la alteración propilitica.

Figura 55 Se aprecia la distribución de minerales de alteración del tercer grupo, formando la alteración propilitica



Finalmente se muestra la distribución del total de minerales distribuidos dentro de nuestra área de estudio y remarcando las zonas de prioridad alta, y así ver coincidencias con los anteriores procedimientos (Fig. 55).

Figura 56 Se aprecia la distribución de todos los minerales detectados mediante el análisis SAM en nuestra área de estudios y su distribución en nuestras zonas de prioridad alta



10.3 Presentación de Datos Obtenidos don Terraspec

10.3.1 Secado de muestras

Antes de realizar las lecturas se procedió a realizar un secado de las mismas. Esto debido a que el contenido de humedad puede alterar las lecturas, produciendo un espectro erróneo, lo cual puede llevar a una mala interpretación y resultado final.

Fotografía 17 Muestras obtenidas en el proceso de secado, junto con el Terraspec Halo.



10.3.2 Lectura de muestras

Una vez que nuestras muestras pasaron la etapa de secado, se realizó un total de 88 lecturas, 2 lecturas por muestra, para corroborar una primera lectura o identificar algún otro mineral y posteriormente poder realizar el análisis de estas lecturas.

Fotografía 18 Lectura de nuestras muestras de campo con el equipo Terraspec Halo.



10.3.3 Obtención de datos

Posterior a las lecturas realizadas, se obtuvieron los datos, datos que fueron enviados por la empresa Sample Solution.

Estos datos fueron enviados en formato ASD (formato de espectro de reflectancia) y en formato xls. De Excel. Los resultados en ASD fueron posteriormente transformados en formato ASCII mediante el software SpecPro para ser analizadas en Minitab y generar el espectro correspondiente mediante un diagrama de dispersión de puntos.

La tabla de resultados contiene información de hasta 7 minerales, cabe resaltar que no todas las muestras tienen todos los minerales reconocidos, algunos cuentan con

solo uno o incluso no tienen una lectura generada. Aparte de los minerales, también se cuenta con los escalares, la tabla contiene los 9 escalares previamente descritos capítulos anteriores, sin embargo, al igual que con el reconocimiento de minerales, algunos escalares no fueron reconocidos.

Muy aparte de las lecturas también se cuenta con la descripción macroscópica de las muestras extraídas en la etapa de campo, estas contienen información necesaria para poder realizar la interpretación y la correlación con los datos obtenidos en las lecturas. Para la descripción se realizaron fichas técnicas con toda la información necesaria.

10.3.3.1 Tabla de resultados.

Los resultados obtenidos fueron un total de 88 lecturas, 2 por cada muestra como vimos previamente. La tabla de resultados obtenida, fue enviada por la empresa Sample Solution, esta tabla contiene información sobre los minerales letrados, así también, contiene información sobre los escalares, que pueden ser información útil para poder vectorizar la información y encontrar puntos calientes o proximales a un cuerpo caliente profundo.

Figura 57 Tabla de resultados, mostrando minerales y escalares.

GERSON CORIMANYA		SAMPLE SOLUTION																				
21/12/2022																						
SampleID	Date	FileName	SampleType	OperatorName	Geology	MineralName1	StarRating1	MineralName2	StarRating2	MineralName3	StarRating3	MineralName4	StarRating4	AlFeMg	AlOH	CSM	Fe3i	Fe3t	FeOH	ISM		
CG001	A	14/12/2023	CG001_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Epidote	3	Iron Saponite	3	Clinozoisite	2	NIR - No match	3	2337.99					INV		
CG001	B	14/12/2023	CG001_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Epidote	3	Iron Saponite	3	Clinozoisite	2	NIR - No match	3	2338.13					INV		
CG002	A	14/12/2023	CG002_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	No match found	3														
CG002	B	14/12/2023	CG002_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	No match found	3														
CG003	A	14/12/2023	CG003_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Iron Smectite	3	NIR - No match	3					2296.81	2201.74				2296.81		
CG003	B	14/12/2023	CG003_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Gmelinite-Na	3	Hornblende	2	NIR - No match	3			2297.55					2297.55		
CG004	A	14/12/2023	CG004_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Clinoptilolite	3	NIR - No match	3												
CG004	B	14/12/2023	CG004_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Clinoptilolite	3	Gypsum	3	Montmorillonite	2	NIR - No match	3		2206.28						
CG005	A	14/12/2023	CG005_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Rectorite	3	NIR - No match	3			2207.12				INV			
CG005	B	14/12/2023	CG005_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Rectorite	3	NIR - No match	3			2207.17				INV			
CG006	A	14/12/2023	CG006_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Ankerite	2	Paragonite	1	NIR - No match	3		2207.06					0.459	
CG006	B	14/12/2023	CG006_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Ankerite	2	NIR - No match	3			2207.94							
CG007	A	14/12/2023	CG007_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Mg-illite	3	NIR - No match	3					2207.97	2207.97					0.496	
CG007	B	14/12/2023	CG007_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Mg-illite	3	Calcite	2	NIR - No match	3			2205.99	2205.99					0.474	
CG008	A	14/12/2023	CG008_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Muscovite	3	NIR - No match	3			2208.82	2208.82					0.392	
CG008	B	14/12/2023	CG008_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Muscovite	3	NIR - No match	3			2208.63	2208.63					0.395	
CG009	A	14/12/2023	CG009_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Clinoptilolite	3	Tourmaline	2	MgChlorite	1	Gypsum	1	2208.27	2208.27	0.545				2241.96	
CG009	B	14/12/2023	CG009_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Clinoptilolite	3	Tourmaline	2	MgChlorite	1	Gypsum	1	2215.32	2215.32	INV				INV	
CG010	A	14/12/2023	CG010_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Hematite	3	Iron Saponite	3	Palygorskite	3			INV	INV			1.224	INV	2293.32	
CG010	B	14/12/2023	CG010_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Hematite	3	Iron Saponite	3					INV				1.222	INV	2292.93	
CG011	A	14/12/2023	CG011_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Calcite	3	Vermiculite	2	Palygorskite	2	NIR - No match	3	2336.62	INV						
CG011	B	14/12/2023	CG011_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Calcite	3	Vermiculite	2	Palygorskite	1	NIR - No match	3	2336.76	INV						
CG012	A	14/12/2023	CG012_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Iron Saponite	3	NIR - No match	3					INV						INV	
CG012	B	14/12/2023	CG012_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Iron Saponite	3	NIR - No match	3					2161.93						2240.58	
CG013	A	14/12/2023	CG013_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Iron Saponite	3	Axinite	2	NIR - No match	3			2162.79						2241.62	
CG013	B	14/12/2023	CG013_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Iron Saponite	3	Axinite	3	NIR - No match	3			2163.94						2293.92	
CG014	A	14/12/2023	CG014_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	NIR - No match	3						2207.51						
CG014	B	14/12/2023	CG014_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Ankerite	2	NIR - No match	3			2202.73							
CG015	A	14/12/2023	CG015_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Epidote	3	NIR - No match	3			2213.16	2213.16					INV	
CG015	B	14/12/2023	CG015_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	Montmorillonite	3	Clinozoisite	3	NIR - No match	3			2212.63							
CG016	A	14/12/2023	CG016_A.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	No match found	3														
CG016	B	14/12/2023	CG016_B.ASD	Rock	SAMPLE SOLUTION SAC	Epithermal	K-illite	3	Calcite	2	NIR - No match	3			2210.29	2210.29					0.584	

10.3.3.2 Análisis de Espectros.

A partir de la tabla de resultados podemos apreciar que se identificaron gran variedad de minerales, antiguamente se tenía un geólogo especialista en espectros que pueda identificar estos minerales en base a los espectros. Hoy en día el equipo Terraspec Halo nos permite ya tener los resultados de los minerales en base a una librería interna.

En esta oportunidad realizaremos la comparación del espectro de una de nuestras muestras y como estas se analizan para poder determinar el mineral indicado.

Dentro de los espectros se considera los rangos espectrales, para ello volveremos a recordar que los rangos espectrales para el VNIR van desde 400 a 1000 nm, este rango incluye la lectura de todos los minerales óxidos, debido a la presencia de Fe y el rango para el SWIR es desde 1000 a 2500 nm donde se marcan hidroxilos y carbonatos.

10.3.3.2.1 Análisis muestra CG-038.

La lectura de la presente muestra indica la presencia de: Hematita en el rango espectral del VNIR y Clinoptilolita, Turmalina y Moscovita en el rango del SWIR.

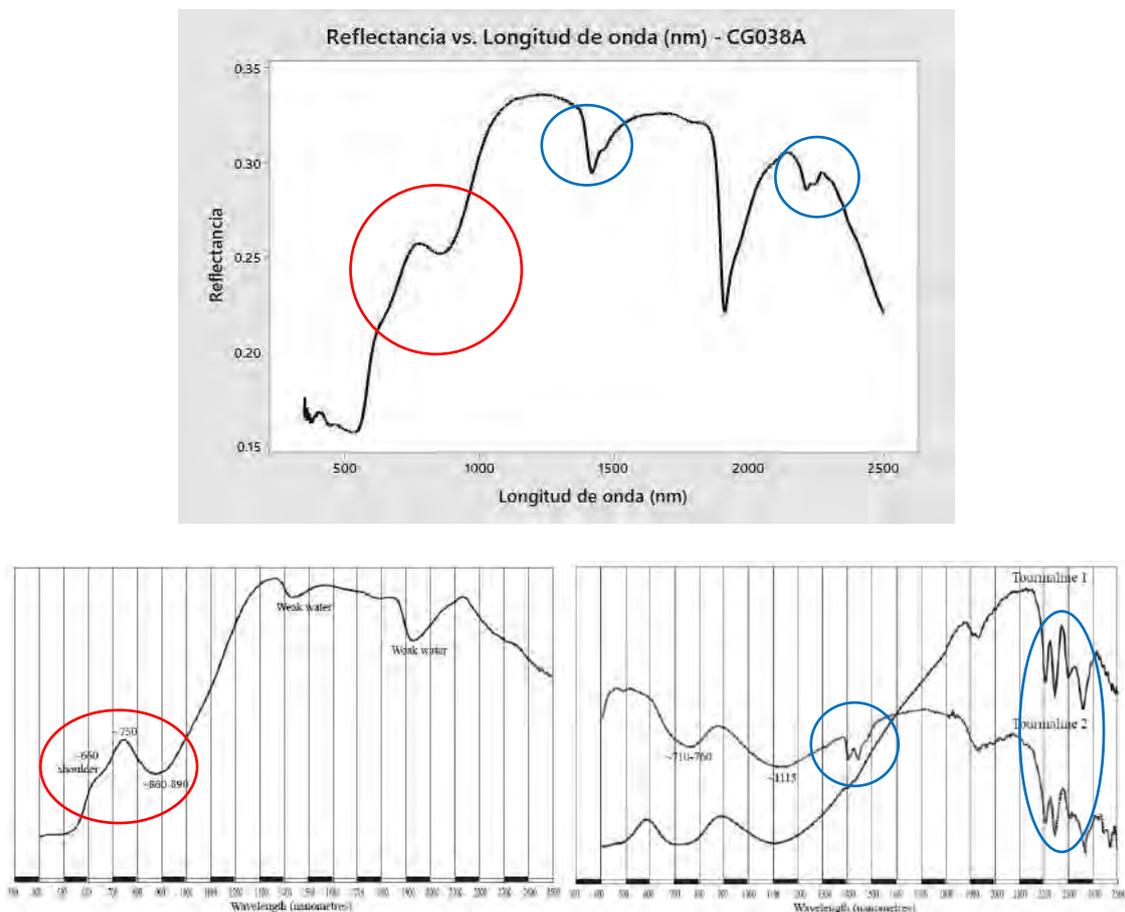
Compararemos el espectro con los espectros extraídos del Manual de interpretación espectral de la AusSpec International fundada en 1990 dedicada a la geología espectral.

Como podemos observar podemos encontrar características similares en algunos rangos espectrales, así como picos de absorción. En el caso de la hematita tenemos una caída en aproximadamente 660nm, característico en los óxidos de hierro, además indica una absorción más débil de Fe lo que lo diferencia de la goetita, el pico de

aproximadamente 750nm nos indica la coloración característica de la Hematita, finalmente tenemos un pico en el rango de 860 a 890nm lo q lo diferencia de la goetita la cual posee un pico en el rango de 950nm aproximadamente.

En el caso de la turmalina tenemos dos marcas características, la primera es en el rango 144nm aproximadamente, que nos indica que la turmalina tiene mezcla con micas blancas, en este caso nuestra muestra también incluye la presencia de moscovita, así mismo, el rango de 2206nm también nos indica este aspecto.

Figura 58 Se muestra la comparación entre espectro de la muestra CG-038 (parte superior), y los espectros de hematita (parte inferior izquierda), muestra en círculo rojo relación de rangos espectrales, y la Turmalina (Parte inferior derecha), en azul se muestra similitudes en rangos espectrales, gráficos extraídos del Manual de interpretación espectral.



10.3.3.3 Descripción Macroscópica.

Para la descripción macroscópica de nuestras muestras se consideró la textura, color, tamaño de grano, composición mineralógica (minerales principales y accesorios), alteración y otras características para poder clasificar la roca. Se mostrará la descripción de la muestra CG-021 para mantener un orden y correlación con procesos posteriores, las descripciones de todas nuestras muestras se encontrarán anexadas a la presente tesis.

(Ver anexo 11: Descripciones Macroscópicas).

Figura 59 Descripción macroscópica de la muestra CG021

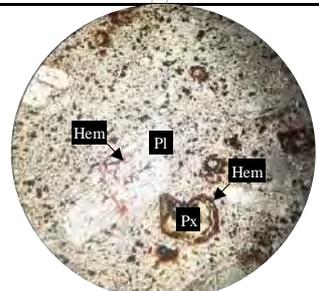
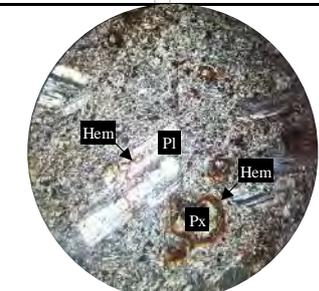
	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG021					
ESTE:	288019	NORTE:	8309547	ALTITUD:	5111
TIPO DE ROCA :	BASALTO DE BIOTITA				
FOTOGRAFIA IN-SITU:			DESCRIPCION FOTOGRAFICA:		
			<p style="text-align: center;"> Textura: Afanítica Color: Gris parduzco (Intemperizado) Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita Alteración: Epidota, propilitica Otros: biotita débilmente oxidada (Limonita, Hematita) </p>		

10.3.3.4 Descripción Microscópica.

Para la descripción microscópica de nuestras muestras se consideró las principales características para poder clasificar la roca. Se mostrará la descripción de la muestra CG-021 para mantener un orden y correlación con procesos posteriores, las descripciones de todas nuestras muestras se encontrarán anexadas a la presente tesis.

(Ver anexo 12: Descripciones Microscópicas).

Figura 60 Descripción microscópica de la muestra CG021

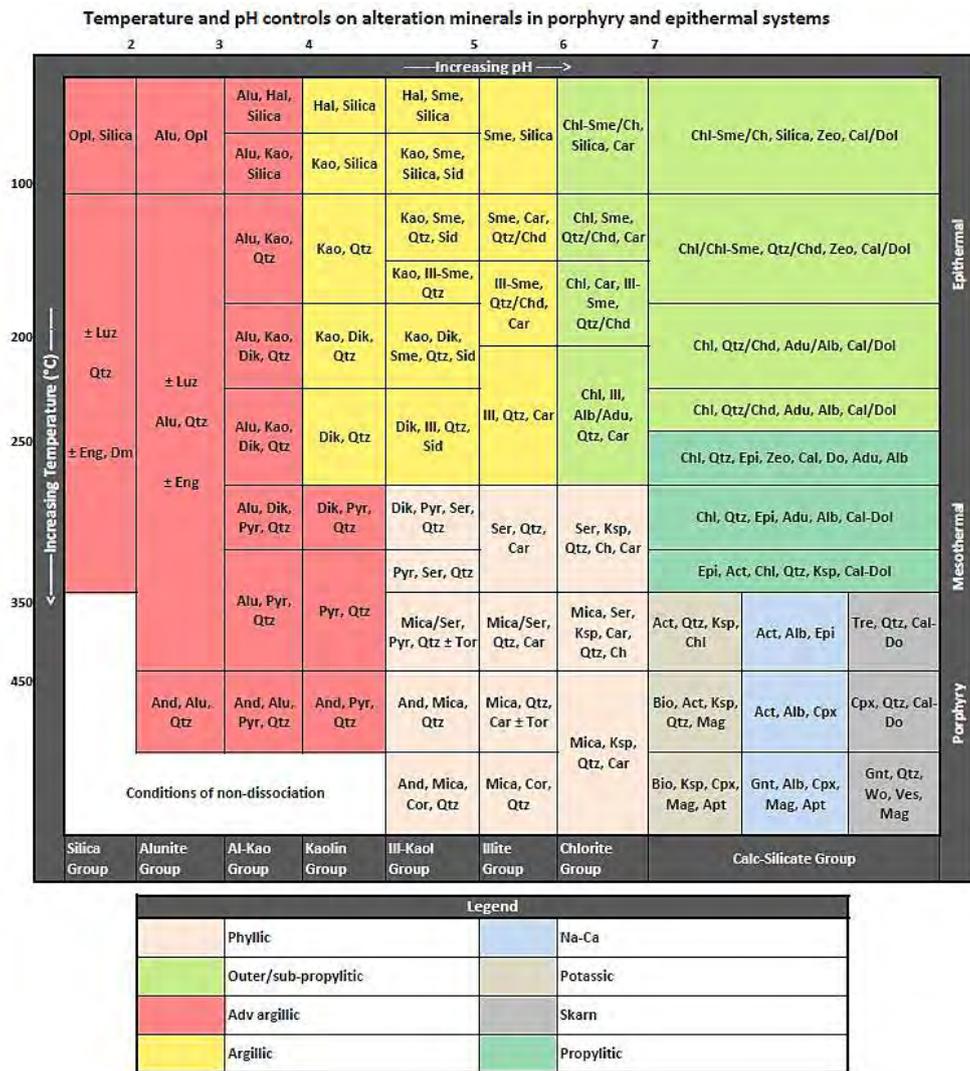
	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG021					
ESTE:	288019	NORTE:	8309547	ALTITUD:	5111
TIPO DE ROCA :	ANDESITA				
NICOLES PARALELOS	NICOLES CRUZADOS		DESCRIPCION MICROSCÓPICA:		
			<p>Basalto de piroxeno (Px), con textura porfido seriada. En una pasta microlítica (estructura fluidal) los fenos de plagioclasa (Pl) y piroxeno (Px). vista en aumento 4x, se aprecia a hematita (Hem) reemplazando al piroxeno y en fracturas a la plagioclasa (Pl).</p>		

10.3.4 Análisis de datos

10.3.4.1 Ensamblés mineralógicos de alteración hidrotermal.

Los resultados obtenidos mediante terraspec vistos en la fig. fueron clasificados y agrupados según ensamblés mineralógicos en base al diagrama de Corbett y Leach (2008) modificado por D. Cooke (2021), para poder determinar la alteración hidrotermal correspondiente.

Figura 61 Diagrama de Corbett y Leach (2008) modificado por D. Cooke (2021).



Fuente. Corbett y Leach, 2008; modificado por D. Cooke, 2021

En base a las asociaciones o ensambles mineralógicos se pudieron determinar 3 tipos de alteraciones, de mayor temperatura a menor, estas son:

- a. **Alteración Propilítica Interna:** Se forma a temperaturas entre 250 – 350° y pH > 7, se caracteriza por el ensamble mineralógico de epidota, actinolita, clorita y magnetita local (Corbett, 2018), sin embargo, las muestras analizadas de nuestra zona no mostraron adularia, albita, actinolita ni magnetita. Dentro del área de

estudios denominamos como propilítica interna a las muestras que muestren presencia de epidota – saponita – clorita magnésica ± flogopita – turmalina.

- b. Alteración Propilítica Externa:** Se forma a temperaturas menores a 250° y pH > 6, se caracteriza por la presencia de clorita, carbonatos, hematita y piritita localmente (Corbett, 2018). Dentro del área de estudios nuestras muestras no lecturaron clorita, sin embargo, la asociación mineral a respetar fue clinoptilolita – montmorillonita y saponita férrica. La presencia de fe y zeolitas en el sistema nos ayudó a definirla como propilítica externa.
- c. Alteración Argílica:** Se forma a temperaturas menores a 250° y tiene rangos de pH, de 5 a 6 en condiciones neutrales y de 4 a 5 en condiciones acidas, se caracteriza por la presencia de illita, montmorillonita y Kaolinita (Corbett, 2018). Algunos trabajos consideran la alteración argílica intermedia que se forma a temperaturas entre 200 y 250° y pH de 4 a 6, sin embargo, en esta ocasión se tomara solo como argílica.

Podremos ver una tabla de asociación de minerales lecturados por Terraspec Halo, tomada de Montalvo, María y Padilla John (2018), la cual fue ajustada para nuestra zona y en base a los minerales detectados por nuestro estudio.

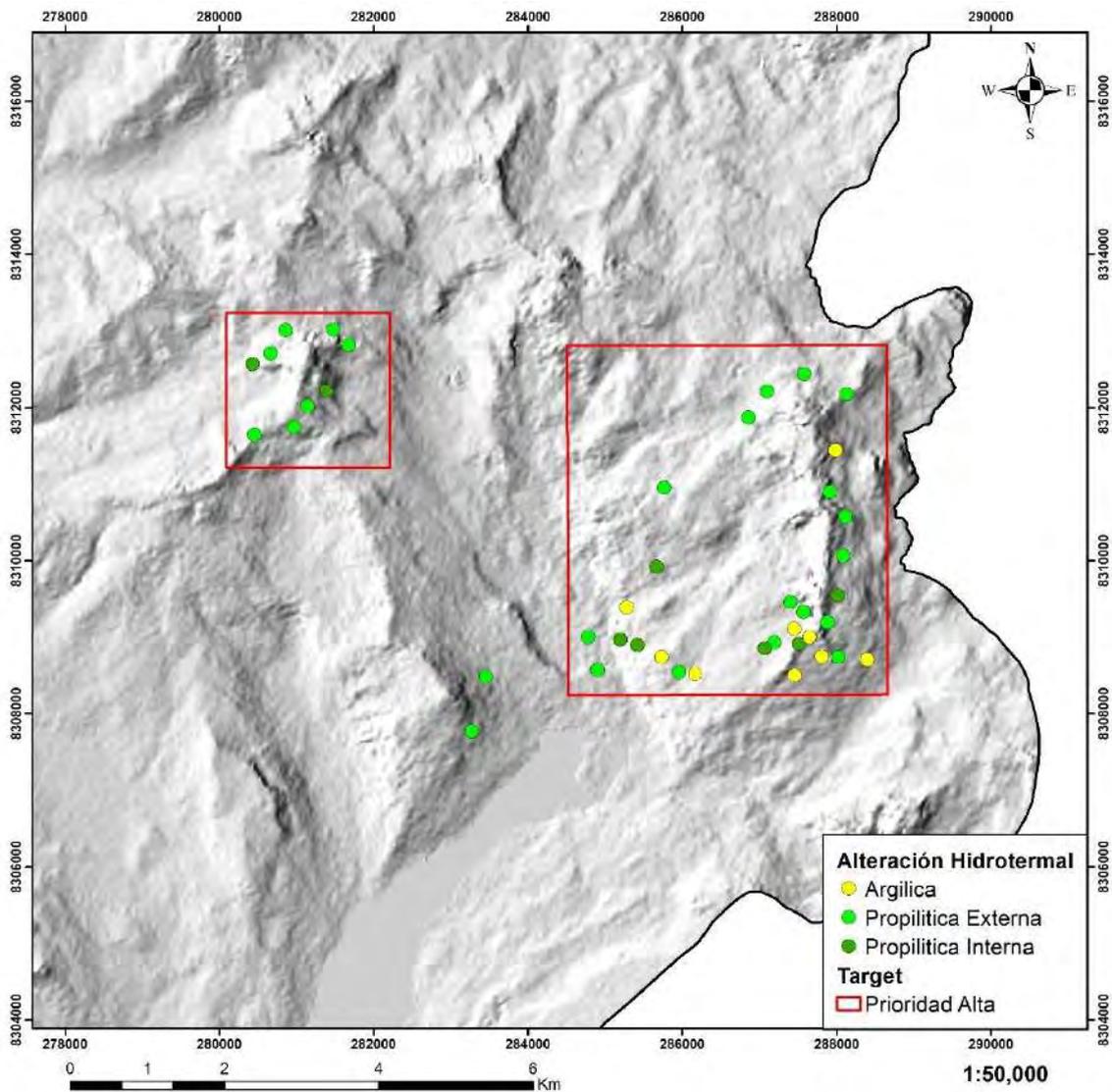
Tabla 10 Tipo de alteración y su ensamble mineral en base al TERRASPEC HALO e información de Corbett. (Modificado de Jaya M. y Padilla J.)

Tipo de Alteración	Ensamble mineral
Argílica	mnt, rec, ka, mg-ill, vrm, k-ill, ca, pal, fe-sap, smi, hem, bei, hal, dol, non, gme, to, dik, ank, ill-smc, nac, stip, str, clti, femg-ch, mus (sericita), ep, czo, cbz, fe-ch, hn, heu, phi-ca, bio, rie, pre
Propilítica Externa	fe-sap, gme, clti, mnt, fe-smc, phl, fe-mnt, to, ferh, gyp, ank, par, femg-ch, hn, ±ep, hem, ja, vrm, ca, heu, phi-ca, stip, mg-ch, lau, bei, hyb, czo, rec, hal, cbz, fe-ch, has, pre, ka, axi, azu, bio, non, sap, mus
Propilítica Interna	ep, mg-ch, fe-sap, czo, clti, heu, stip, mg-ill, to, phl, hem, ja, vrm, mnt, phi-ca, hn, femg-ch, pal, cbz, frro-ac, mus, fe-ch, ill-smc, ka, gyp, azu, bei, lau, axi, gme, har, hyb, rie, hal, rec, str

Nota. ank: ankerita; azu: azurita; bei: beidelita; bio: biotita; ca: calcita; cbz: cabasita; clti: clinoptilolita; czo: clinozoisita; dik: dickita; dol: dolomita; ep: epidota; fe-ch: clorita férrica; femg-ch: clorita ferromagnésica; fe-mnt: montmorillonita ferrica; fe-sap: ferrosaponita; fe-smc: esmectita férrica; ferh: ferrihidrita; frro-ac: ferroactinolita; gme: gmelinita-na; gyp: yeso; hal: halloysita; har: harmotoma; has: hastingsita; hbl: hornblenda; heu: heulandita; hem: hematita; hyb: hidrobiotita; ill-smc: illita/esmectita; ja: jarosita; ka: caolinita; k-ill: illita potásica; lau: laumontita; mg-ch: clorita magnésica; mg-ill: illita magnésica; mnt: montmorillonita; mus: moscovita; nac: nacrita; non: nontronita; pal: palygorskita; par: paragonita; phi-ca: phillipsita-ca; phl: flogopita; pre: prehenita; rec: rectorita; rie: riebeckita; sap: saponita; smi: smithsonita; stip: estilpnomelana; str: estroncianita; to: turmalina; vrm: vermiculita

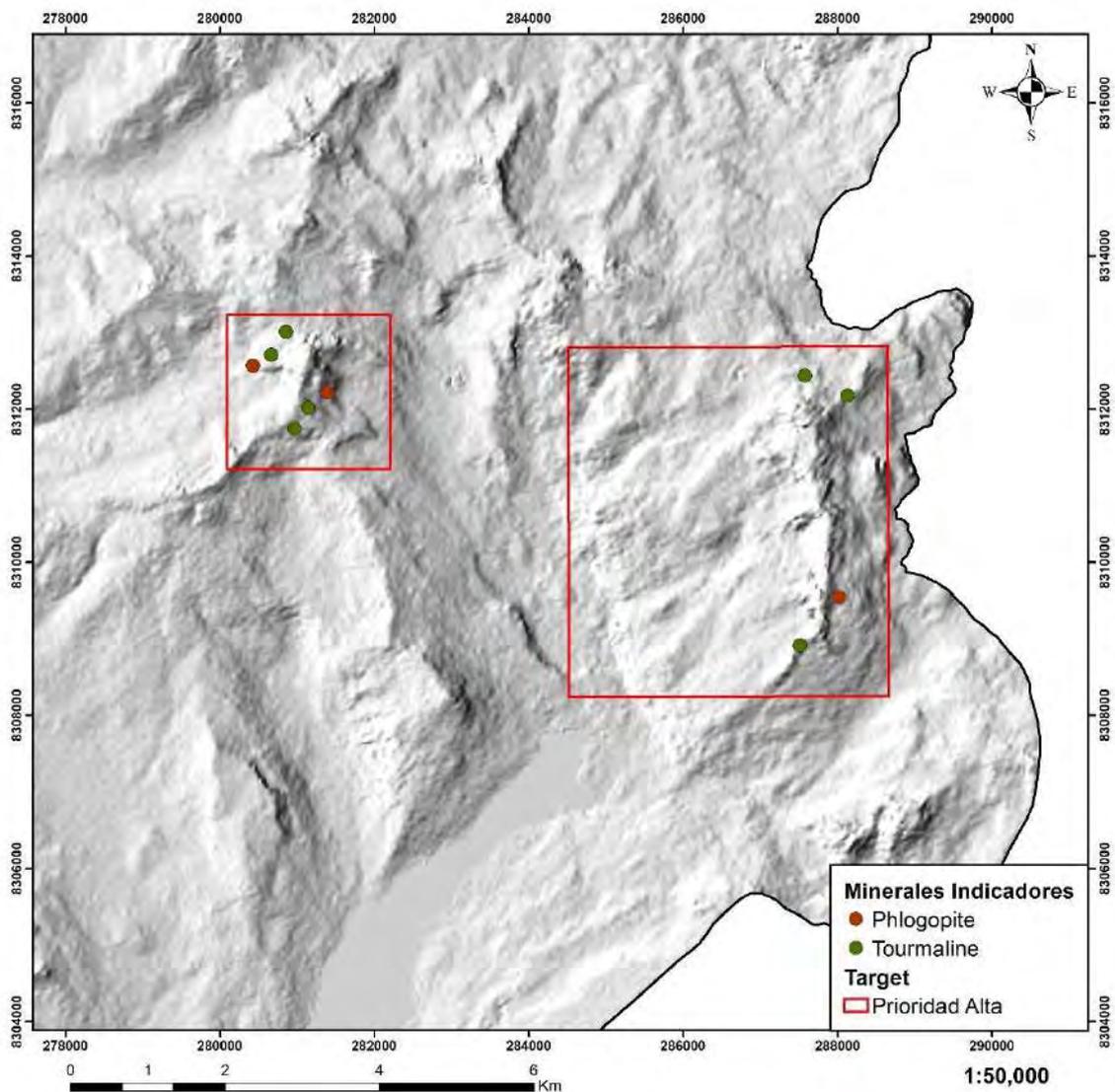
En base a la información procesada se elaboró un mapa en base a los ensambles mineralógicos que nos dan una determinada alteración hidrotermal, así también se elaboró un mapa con los minerales indicadores de temperatura alta como son la flogopita y la turmalina y finalmente un mapa con la cristalinidad y los rangos espectrales de las micas blancas, usando los respectivos escalares de ISM y AL-OH.

Figura 62 Se aprecia la distribución de alteraciones hidrotermales determinadas mediante terraspec, siendo la más dominante la propilitica externa



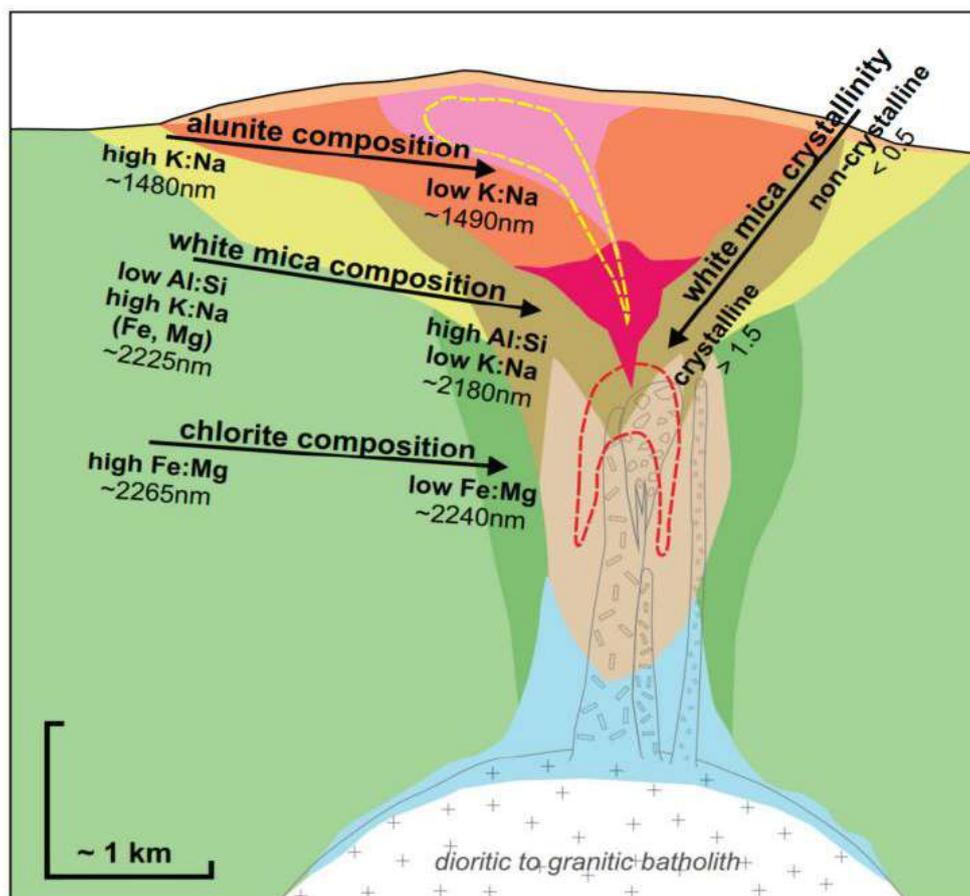
La distribución de minerales indicadores de temperatura se centra en ambos target de prioridad alta. Vemos que el mineral identificado más dominante viene a ser la turmalina y en menor cantidad la flogopita. La turmalina se encuentra en la matriz de las microbrechas.

Figura 63 Se aprecia la distribución de minerales indicadores de temperatura, siendo más dominante la presencia de turmalina



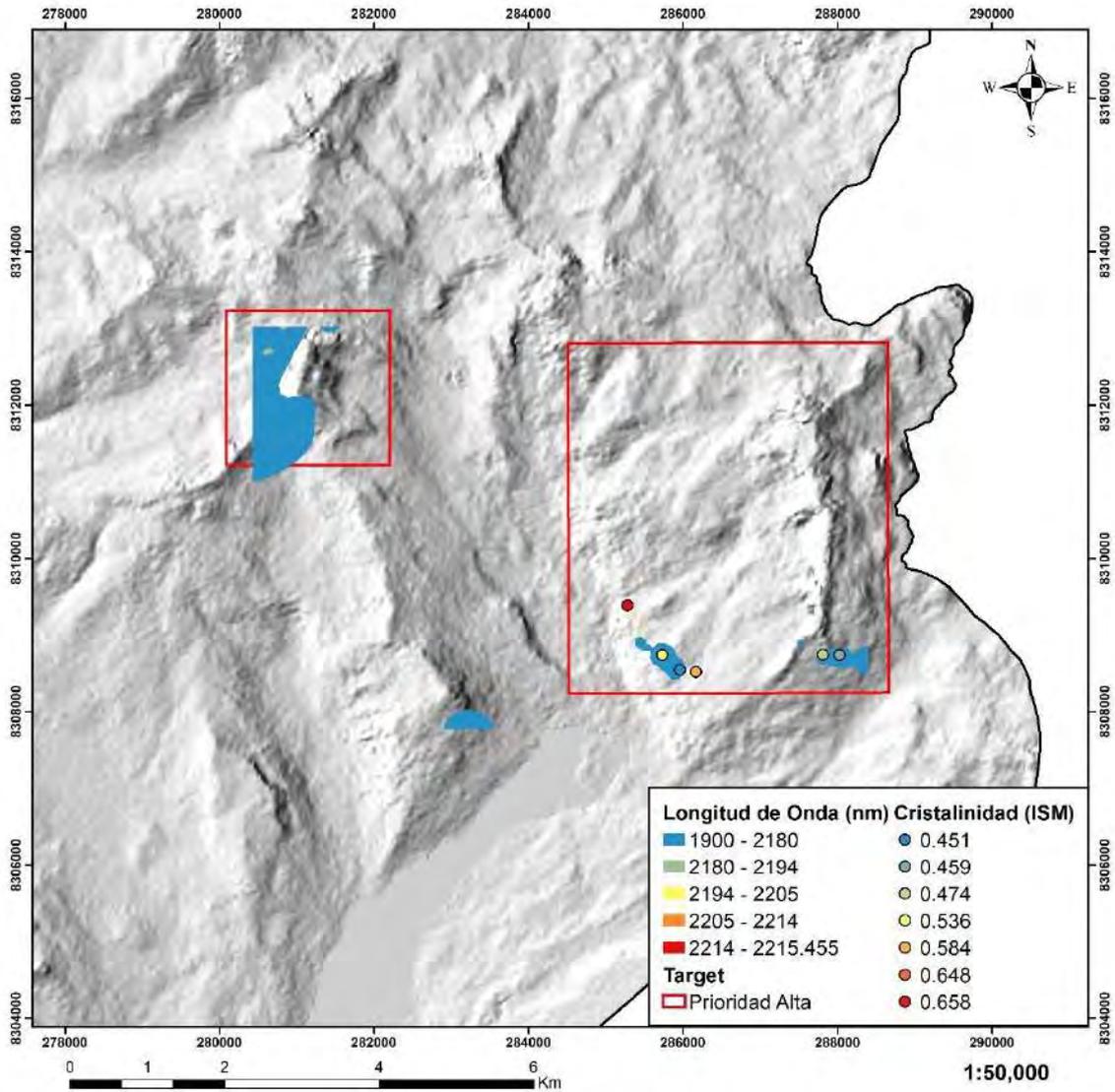
Para el caso de las micas blancas, se utilizaron los escalares para realizar una distribución de rangos y una interpolación. Se uso el escalar ISM para realizar una distribución de puntos donde los colores rojizos representan una cristalinidad más alta, lo cual representa temperatura intermedia, considerando que estos están entre el rango de 0.5 a 1.5, pero nos indica una profundidad baja, a comparación de valores mayores a 1.5 que nos indican una profundidad más alta y mayores temperaturas. En el caso de las longitudes de ondas estas nos marcan una pequeña región indicando presencia de zonas de agua en rangos de 1900 a 2180 nm, los rangos de 2180 a 2194 nm son los más favorables.

Figura 64 Se aprecia los diferentes aspectos de vectorización a partir de alunitas, cloritas, micas blancas y cristalinidad de micas blancas



Fuente. Modificado a partir de (Mxlean Trott, 2022)

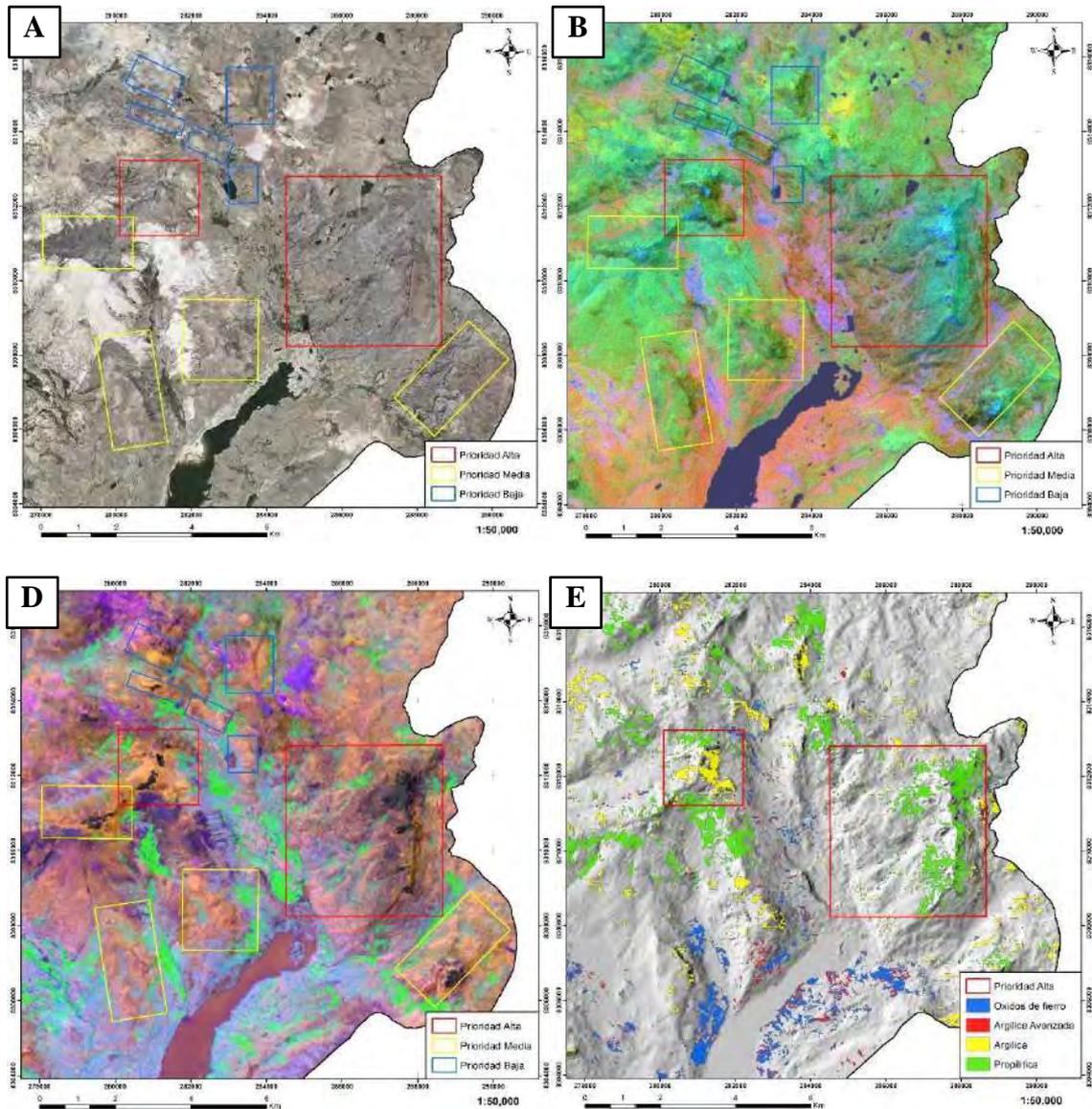
Figura 65 Se aprecia la distribución de cristalinidad de micas blancas, donde mayor parte de las muestras presentan valores en un rango de 0.5 a 1.5, siendo valores bajos de cristalinidad. Los valores de longitud de onda nos indican dominio de 1900 a 2150 nm, lo cual indica minerales más hidratados, que indica el dominio de arcillas, en algunos puntos se aprecia valores favorables 2180 a 2194 nm, siendo buen indicador



CAPÍTULO XI. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente trabajo de investigación, se aplicaron tres técnicas espectrales para la identificación de zonas de alteración hidrotermal mediante imágenes LANDSAT-08, siendo estas la **combinación de bandas**, que ayudo a determinar zonas de minerales arcillosos de origen hidrotermal y óxidos. La técnica de **combinación de ratios de banda** que ayudo de igual forma a discriminar zonas arcillosas de alteración hidrotermal, óxidos y vegetación. Finalmente, la técnica de **cocientes de bandas**, que ayudo a identificar zonas propilíticas, argílicas, argílico avanzadas y zonas de oxidación. Estas técnicas junto al procesamiento que se realizó con las imágenes LANDSAT-08, nos ayudaron a definir nuestras áreas prospectivas de mayor interés, el cual se corroboraría con el análisis de imágenes ASTER y se elegirían las de mayor interés para realizar el muestreo para análisis por TERRASPEC.

Figura 66 Comparación entre las técnicas espectrales A) Combinación de bandas, B) Combinación de ratios de banda 1, C) Combinación de ratios de banda 2 y D) Cocientes de bandas. Se va observando que las zonas de prioridad alta se mantienen en el resultado final de cocientes de bandas, manteniendo zonas argílicas y propilíticas principalmente



Para el procesamiento de imágenes ASTER se realizaron 4 técnicas espectrales, estas fueron la **combinación de bandas** que ayudo a reafirmar nuestras zonas de targetin marcadas en base al procesamiento LANDSAT. La técnica espectral de **cociente de bandas**, donde se aprecia nuevamente el dominio de la alteración propilítica sobre las demás y la presencia de óxidos de fierro. La tercera técnica fue aplicar los **índices de Ninomiya** donde empieza a resaltar pequeños sectores con más presencia de una alteración argílica avanzada, pero manteniendo el dominio de la alteración propilítica. Finalmente, se aplicó la técnica del mapeo espectral SAM, donde se utilizaron firmas espectrales obtenidas mediante terraspec prestadas de la librería de la USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), así como también algunas firmas obtenidas mediante nuestro análisis por terraspec, donde los resultados fueron asociados por ensambles mineralógicos para formar así una determinada alteración hidrotermal. Aun se logra apreciar el dominio de minerales de alteración propilítica, así como minerales de oxidación.

Mediante estas técnicas realizadas con imágenes ASTER se lograron reconfirmar la selección de nuestros targets exploratorios, donde posteriormente se realizaría un muestreo aleatorio para realizar el análisis por TERRASPEC.

Una vez obteniendo nuestros resultados en LANDSAT y ASTER, se procedió a realizar el muestreo en campo para realizar el análisis por TERRASPEC.

Las muestras obtenidas en campo nos mostraron un ensamble mineralógico que resalta la presencia de las alteraciones argílica, propilítica externa e interna, estos minerales se asociaron en función a la información obtenida por Corbett et al., así también en base a fuente bibliográfica recopilada. Aparte de esta información se decidió realizar mapas en base a elementos indicadores de temperatura, que nos ayudara a tener un área más llamativa para una futura prospección más detallada, de igual forma se realizó una interpolación de cristalinidad de micas blancas, donde se aprecian valores de 1900 nm dominante, lo cual indica la presencia de arcillas más hidratadas, que indicaría zonas más supérgenas, sin embargo, en el target de prioridad alta más pequeña al oeste se aprecia pequeños indicios de longitudes de onda de 2180 nm que indicarían un rango aceptable de indicios de mayor profundidad y temperatura, sin embargo, los valores de cristalinidad son bajos, lo cual se aconsejaría realizar una malla de muestreo a más detalle.

Figura 68 Comparación de mapas realizados por análisis de TERRASPEC, A) Alteraciones hidrotermales en base a ensambles mineralógicos, B) Minerales indicadores de temperatura, C) Interpolación por longitud de onda y valores de cristalinidad, aplicadas sobre nuestras zonas prospectivas con prioridad alta

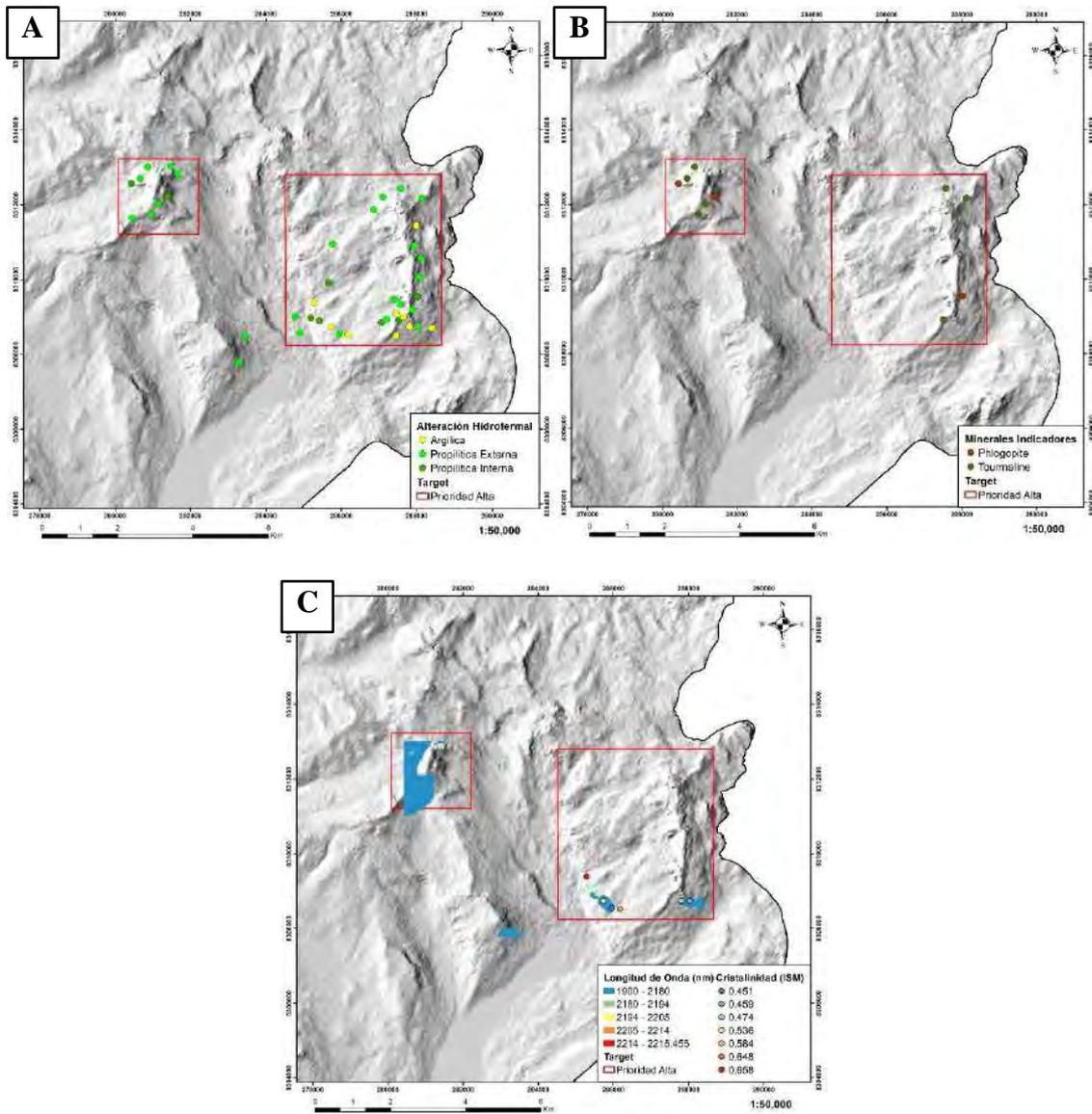
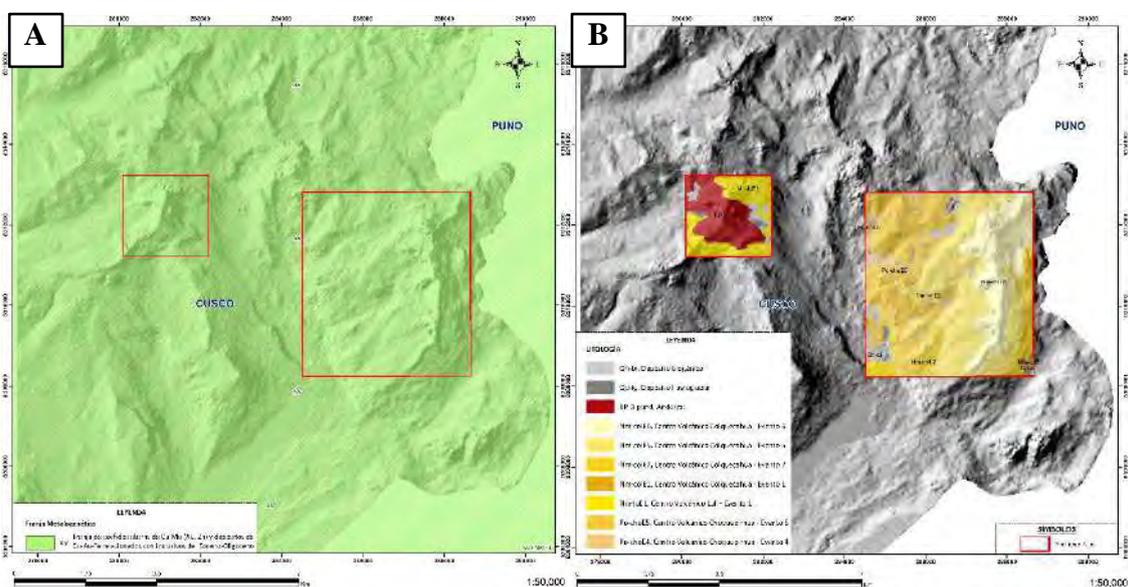


Figura 69 A)Ubicación de targets o blancos de exploración de acuerdo a las franjas metalogenéticas, B)Ubicación de targets o blancos de exploración de acuerdo a la litología de la zona de estudio



La Franja XV (Franja de pórfidos-skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusiones del Eoceno-Oligoceno), se encuentra ocupando toda la extensión de la zona de estudio. La mineralización en la franja Cu-Mo (Au) está asociada a intrusivos de composición intermedia a ácida y skarn de Cu-Zn en contacto con secuencias carbonatadas del Albiano-Turoniano. Los intrusivos básicos producen mineralizaciones de Fe-Cu-Au, presentes en cuerpos junto en contacto con secuencias carbonatadas y en vetas de Au-Cu en los intrusivos. Por otra parte, el control litológico son las andesitas, basalto y pórfidos andesíticos de las formaciones KP-3-pand, Nm-cole6 y Nm-cole5.

Tomando en cuenta el ambiente metalogenético y la litología de la zona de estudio permitió corroborar y determinar los dos posibles targets de exploración dentro de esta zona.

CONCLUSIONES

1. No se pudo realizar una relación de rangos espectrales entre las imágenes LANDSAT y la librería espectral de USGS ni las que se obtuvieron mediante análisis por terraspec, debido al pixelado que tienen estas imágenes y la poca cantidad de bandas en esta imagen. Sin embargo, con los métodos de cocientes de bandas y los índices de Ninomiya y Pour se pudieron identificar zonas de alteración Propilitica, Argílica, Argílica Avanzada y zona de Óxidos de fierro.
2. La librería espectral de la USGS y la obtenida mediante análisis TERRASPEC funciono adecuadamente en las imágenes ASTER usando la metodología SAM. Esta nos ayudó a determinar picos de absorción típicos de cada grupo mineral, minerales como moscovita-illita-montmorillonita-turmalina presentan picos de absorción en las longitudes de onda 2.19 a 2.20 μm , la asociación mineralógica de los tres primeros minerales nos dio la alteración argílica, se incluyó a la turmalina como un diferenciador de temperatura y al poseer similares rangos de absorción, alunita-pirofilita-caolinita-dickita con rangos en 2.16 a 2.19 μm formando la alteración argílica avanzada, la asociación de clorita-calcita-epidota-clinoptilolita con picos en el rango de 2.32 a 2.34 μm y para la clinoptilolita 1.40 a 1.90 μm , formando la alteración Propilítica y finalmente la asociación de hematita-goetita-jarosita con picos en 0.52 μm .
3. Se logró identificar zonas de alteración hidrotermal mediante todas las técnicas realizadas con las imágenes LANDSAT y ASTER, cada una de ellas sirvió para confirmar lo identificado, y se corroboró con muestras de campo, petrología macroscópica y microscópica y análisis por terraspec. Vimos que la técnica de cocientes de bandas con imágenes LANDSAT nos dio un resultado adecuado y fue corroborado en campo, la técnica de cocientes y SAM en imágenes ASTER

también nos dieron buenos resultados, con una mineralogía muy semejante obtenida en las muestras por terraspec. Se obtuvieron semejanzas al comparar las alteraciones propilíticas, argílicas y zona de óxidos en base a todos los métodos utilizados en la tesis.

4. Se elaboraron distintos mapas temáticos con el procesamiento de imágenes LANDSAT y ASTER, los cuales permitieron definir nuestras primeras áreas de interés, finalmente corroborada la información se realizaron mapas temáticos con los resultados por análisis de TERRASPEC, los cuales son propios de nuestros dos targets de prioridad alta, también se comparó todos los resultados obtenidos con la litología, geología estructural y la metalogenia presente en nuestra zona de estudios, los cuales nos muestran resultados atractivos para poder realizar una prospección más detallada y con más trabajo en campo. Viendo que en nuestros targets las zonas de alteraciones hidrotermales están asociadas a intrusivos porfíricos y a los volcánicos del Grupo Tacaza – Complejo Volcánico de Choquepirhua evento 5 y a los volcánicos del Grupo Silipaca – Complejo Volcánico de Choquecahua evento 5 y 6. Estos targets determinados se encuentran en el bloque techo de la falla inversa Luli dentro del bloque con evidencias de mineralización, siendo atractivo para su exploración más detallada.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un mapeo geológico local a detalle de las zonas de prioridad alta, lo que proporcionará una base más sólida para caracterizar las unidades geológicas, estructurales, además de realizar un mapeo de alteraciones hidrotermales mas detallado que permitirá discriminar de mejor manera nuestros blancos determinados y proporcionar una base más solida para una exploración más detallada.
2. Realizar mallas de muestreo geoquímico en las zonas de prioridad alta, mediante un sistema de puntos estratégicos distribuidos en los targets, teniendo en cuenta la heterogeneidad del terreno y los objetivos de la investigación para recolectar muestras representativas y analizar en el laboratorio su composición química, y con las muestras obtenidas y así entender su distribución y concentración de elementos químicos en el área.
3. Realizar mallas de muestreo para Terraspec con más detalle en las zonas de prioridad alta, mediante un sistema de puntos estratégicos distribuidos en los targets, teniendo en cuenta la heterogeneidad del terreno y los objetivos de la investigación, para poder vectorizar de mejor forma la presencia de un cuerpo mineralizado a profundidad ayudándonos también de la geoquímica.
4. Conseguir una imagen WorldView y realizar el mapeo de arcillas para indicar si estas están asociadas a depósitos epitermales, ya que esta imagen cuenta con mayor resolución espacial y espectral que las imágenes Landsat o Aster, para detectar características geológicas a una escala detallada y la resolución espectral de estas imágenes puede capturar información más detallada sobre las propiedades espectrales de los materiales en la superficie, lo que facilita la discriminación entre diferentes tipos de arcillas y otros materiales geológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- A., P. V. (2017). Introducción a la Espectroscopia de Reflectancia (VNIR-SWIR).
- Acosta, J. (1999). *Correlación de Imágenes Landsat y Espectrometría con alteraciones Hidrotermales del Pórfido de Cobre de Quellaveco*.
- Aguilar Contreras, R., Cerpa Cornejo, L. M., & Cereceda Quintanilla, I. (2010). Evolución del volcanismo Cenozoico en el corredor Pañe - Luli - Yauri, sur del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 904-906.
- Caiza Cañar, E. (2018). *Estimación de Zonas de Alteración Hidrotermal Mediante Interpretación de Imágenes Satelitales Tipo ASTER y uso del Equipo TERRASPEC en la Zona Oriental de Cerro de Pasco, Perú*. Universidad Central de Ecuador, Quito.
- Caiza Cañar, E. K. (Abril de 2021). Técnicas Espectrales en Exploración Minera con ENVI y TSG-8. *MINEXFIELD*.
- Camus, C. (2020). Cubo cromático. *Universidad de Chila*, 1-2.
- Cerpa, L., Cereceda, C., Torres, D., Muñoz, L., Aguilar, R., & Rodríguez, F. (2011). *Geología del cuadrángulo de Condorama-hoja 31-t-Boletín N°143 serie A Carta Geológica Nacional escala 1:50000*. Lima.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A.
- Corbett, G. (2018). *Epithermal Gold-Silver and Porphyry Copper-Gold Exploration*.
- Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. (2013). *INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*.
- Díaz. (2007). *Imágenes Aster en la identificación de zonas de alteración hidrotermal en los alrededores de Yunga-Moquegua*.
- ERSDAC. (2002). *ASTER Users Handbook*.
- Espinar-Cusco, E. T.-C. (2023). Estudio Fisiográfico de la Provincia de Espinar. *Municipalidad Provincial de Espinar*.
- Espinar-Cusco, E. T.-C. (2023). Memoria Descriptiva del Estudio Geológico del Proceso de Micro Zonificación Ecológica y Económica de la Provincia de Espinar. *Municipalidad Provincial de Espinar*, 79-155.
- Google Maps. (s.f.). Obtenido de <https://www.google.com/maps/@-13.68506,-71.6196155,15z?entry=ttu>
- Mamani, T. (2017). *Aplicación de imágenes Aster en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, sector Titire, carumas, Moquegua. Puno-Perú*.

- Mxlean Trott, N. J. (2022). exploration, Standardization of field-portable short-wave infrared processing for mineral. 33. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/364324880_Standardization_of_field-portable_short-wave_infrared_processing_for_mineral_exploration
- Rodriguez Aycho, F. G. (2008). *Determinación de Zonas de Alteración Hidrotermal Mediante Imágenes ASTER, Oeste de Cajamarca*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del cusco.
- Rogoberto Aguilar, L. C. (2010). *Control Estructural y Litológico en el emplazamiento de Yacimientos Minerales en el Sector condoroma-Paratia (Cusco-Puno), Sur del Perú*.
- Sabins, F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*.
- Schoeneberger, P. D. (2012). Field Book for Describing and Sampling Soils. *Natural Resources Conservation Service, National, 3.0*.
- Sillitoe, R. &. (2003). Linkages between Volcano tectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Metal Precious Deposits. *Society of Economic Geology*, 10, 18, 315-323.
- Sillitoe, R. (1972). A Plate Tectonic Model for the Origin of Porphyry Copper Deposits. *Economic Geology*, 67, 184-197.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

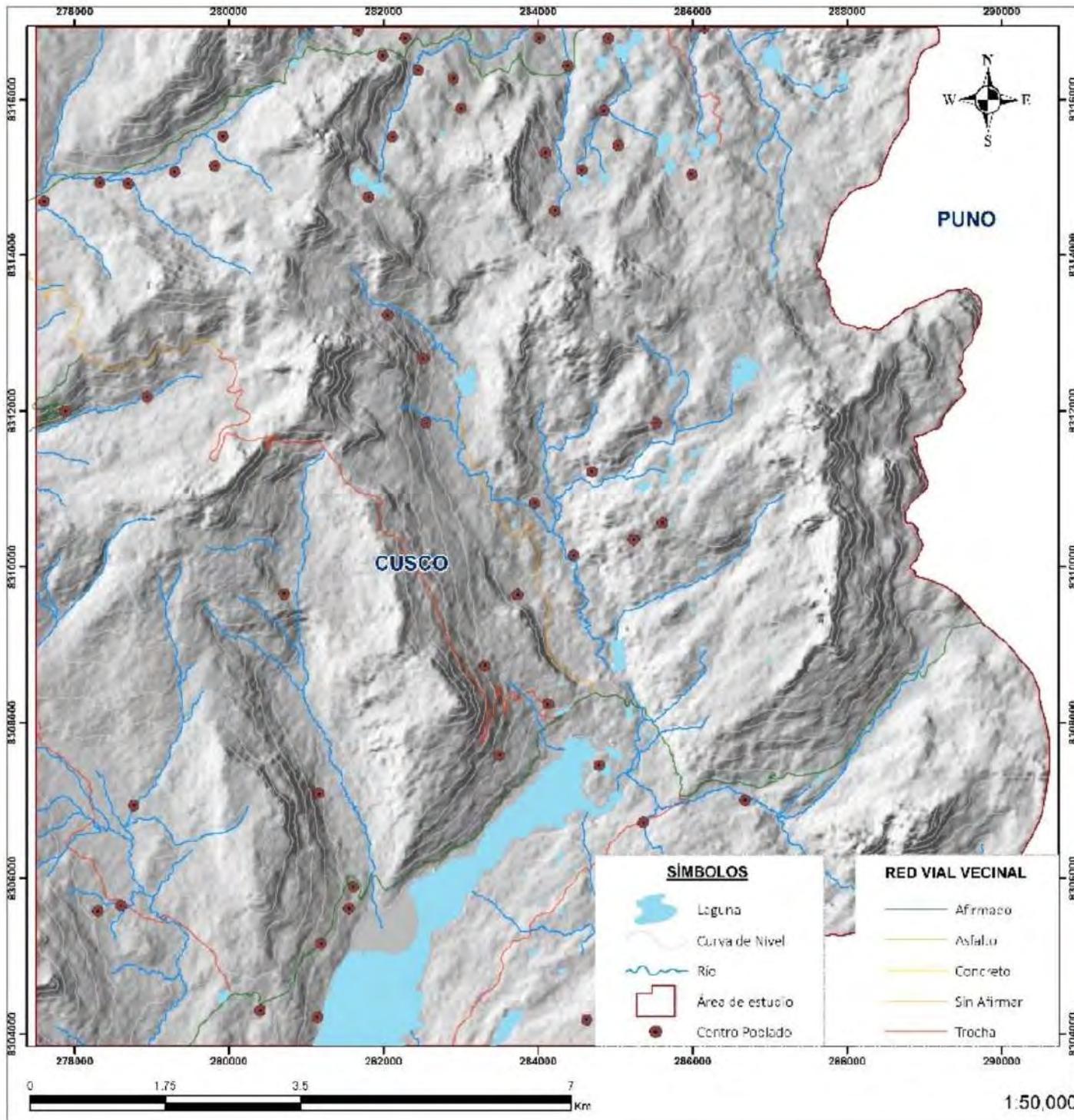
“DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTES	METODOLOGÍA
<p>General</p> <p>¿El procesamiento de imágenes espectrales LANDSAT - ASTER y el análisis por terraspec, pueden ayudar a determinar zonas de alteraciones hidrotermales en el distrito de Condoroma?</p>	<p>General</p> <p>Determinar zonas de alteración hidrotermal a través de imágenes satelitales LANDSAT-ASTER y análisis por TERRASPEC en el distrito de Condoroma.</p>	<p>General</p> <p>La aplicación de imágenes LANDSAT-ASTER y Análisis por TERRASPEC pueden identificar zonas de alteración hidrotermal en el distrito minero de Condoroma.</p>	<p>Zonas de alteración hidrotermal</p>	<p>Analisis de imagenes satelitales LANDSAT-ASTER</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Por su fin será de tipo aplicada, debido a que buscará definir propuestas prácticas para mapeo de alteraciones y será cuantitativa ya que implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados en la teledetección.</p>
<p>Específicos</p> <p>1.Cuál es la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC?</p> <p>2.Cuál es la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC?</p> <p>3. ¿Se puede identificar zonas de alteración hidrotermal mediante los métodos de combinación de bandas cocientes o ratios de bandas, índices de identificación</p> <p>4. ¿Se pueden elaborar mapas temáticos a partir de la interpretación de imágenes LANDSAT - ASTER análisis por TERRASPEC y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma?</p>	<p>Específicos</p> <p>1. Establecer la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC.</p> <p>2. Establecer la relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC.</p> <p>3. Identificar zonas de alteración hidrotermal mediante los métodos de combinación de bandas, cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológicas SWIR, y metodología SAM.</p> <p>4. Elaborar mapas temáticos a partir de la interpretación de imágenes Landsat-Aster, análisis por Terraspec y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma.</p>	<p>Específicos</p> <p>1. La relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen LANDSAT con la librería espectral obtenida por TERRASPEC generan zonas de alteración hidrotermal más precisas.</p> <p>2. La relación entre los rangos espectrales del procesamiento de la imagen ASTER con la librería espectral obtenida por TERRASPEC generan zonas de alteración hidrotermal más precisas.</p> <p>3. Mediante los métodos de combinación de bandas, cocientes o ratios de bandas, índices de identificación litológicas SWIR, y metodología SAM se puede identificar zonas de alteración hidrotermal.</p> <p>4. A partir de la interpretación de imágenes Landsat-Aster, análisis por Terraspec y firmas espectrales para determinar áreas de prospección minera en el distrito de Condoroma, se pueden elaborar mapas temáticos de zonas de alteración hidrotermal.</p>			<p>Análisis por TERRASPEC</p>
					<p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Experimental: De acuerdo a los datos obtenidos por diferentes procesamientos de imágenes satelitales realizados y el análisis por TERRASPEC.</p>
					<p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>La investigación se basará en el análisis de imágenes espectrales utilizando diversas técnicas para determinar las zonas de alteraciones hidrotermales y obtener zonas prospectivas tentativas.</p>

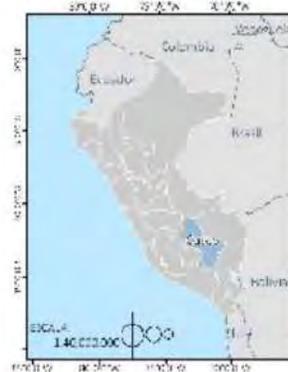
Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLE	DIMENSIÓN	SUB DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	ÍNDICE
ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL	ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER	Corrección atmosférica - Radiométrica de imágenes LANDSAT – ASTER	Imagen en alta resolución	ENVI	Imágenes LANDSAT - ASTER
		Técnica de Combinación de bandas en imágenes LANDSAT -ASTER	Zonas de alteración por coloraciones en RGB	ENVI	Imágenes LANDSAT - ASTER
		Técnica de Cocientes o Ratios de Bandas en imágenes LANDSAT -ASTER	Determinación de cocientes de alteración argílica, argílica avanzada, propilítica y óxidos e hidróxidos	ENVI	Imágenes LANDSAT - ASTER
		Técnica de Índices de identificación litológica en imágenes LANDSAT - ASTER	Determinación de los Índices de Ninomiya - Pour	ENVI	Imágenes LANDSAT - ASTER
		Técnica de Mapeo Espectral por el método SAM (Spectral Angle Mapper) en imágenes ASTER	Determinar minerales de alteración hidrotermal en base a firmas espectrales	ENVI	Imágenes ASTER
	ANALISIS DE MUESTRAS POR TERRASPEC	Determinación de ensambles mineralógicos para realizar mapa de Alteraciones Hidrotermales	Determinación de alteraciones hidrotermales	Terraspec Halo, ArcGIS, Base de Datos	Muestras de Terraspec
		Vectorización de zonas calientes a partir de procesamiento de micas blancas	Zonas indicadoras de temperatura y profundidad	Terraspec Halo, ArcGIS, Base de Datos	Muestras de Terraspec
		Determinación de zonas calientes en base a minerales indicadores de temperatura	Zonas indicadoras de temperatura	Terraspec Halo, ArcGIS, Base de Datos	Muestras de Terraspec

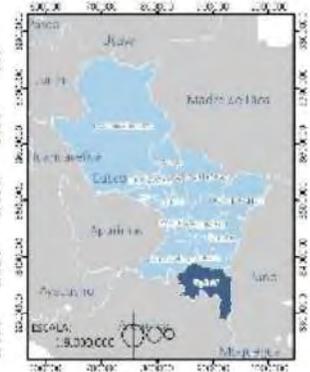
Anexo 3. Mapa de Ubicación



UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, MINERA Y VÍA ORRERA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO: DISEÑO DE ZONAS DE INTERFERENCIAS EN LOS TERREMOTOS DEL MARCS DEL INGENIEROS DEL CUSCO (CIRCUITO 150-101) DEL CUSCO (CIRCUITO 150-101) DEL CUSCO (CIRCUITO 150-101)

Autores: J. C. ...

Asesor de tesis: ...

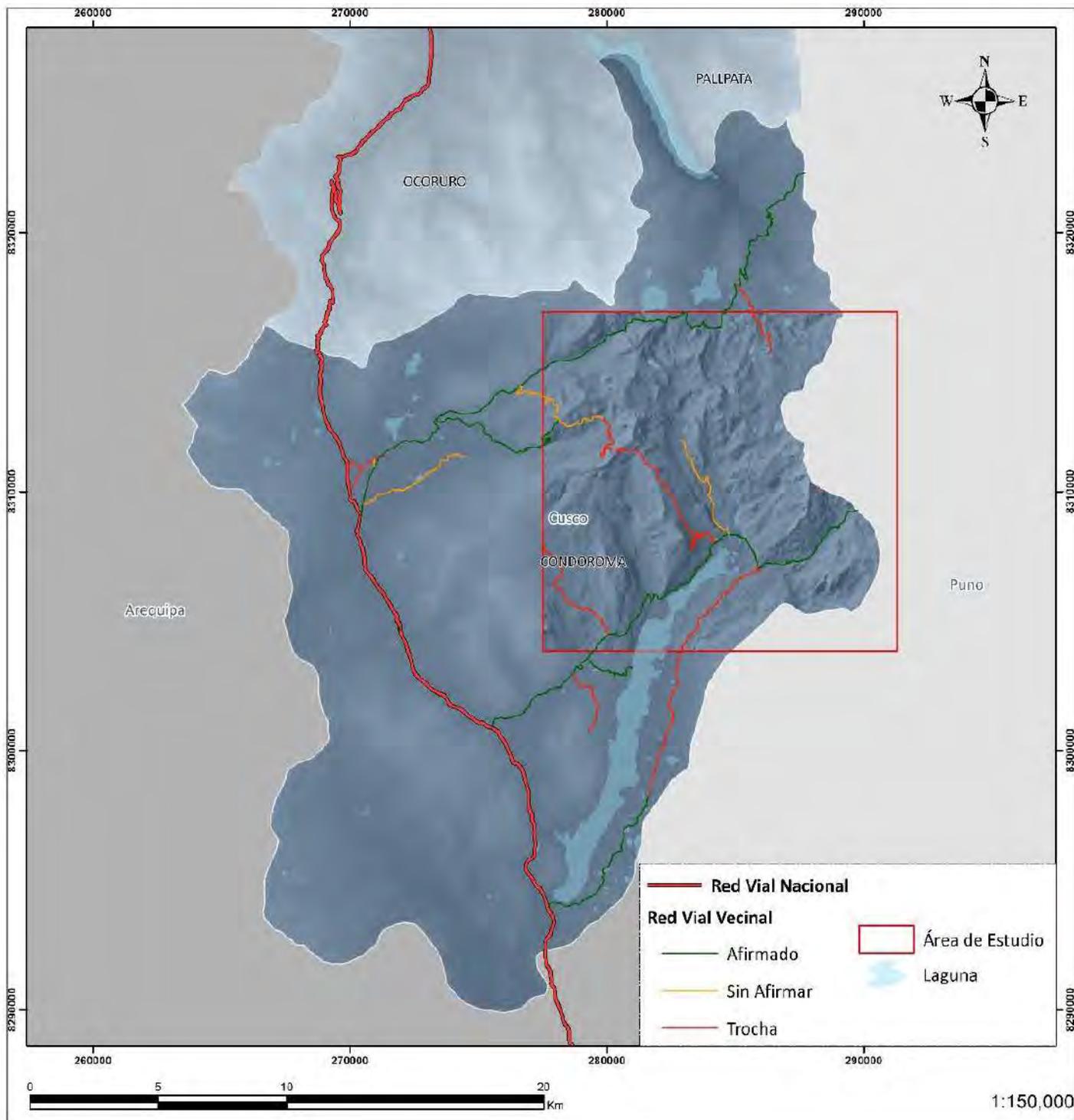
Fecha de la tesis: ...

Mapa 01

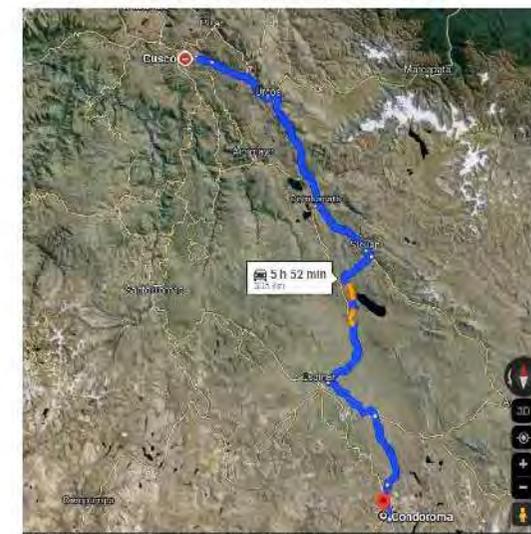
Fecha de la impresión: ...

Formato de la impresión: ...

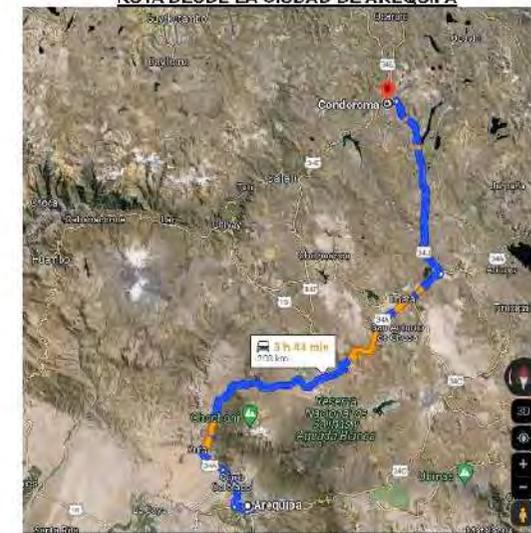
Anexo 4. Mapa de Accesibilidad



RUTA DESDE LA CIUDAD DE CUSCO

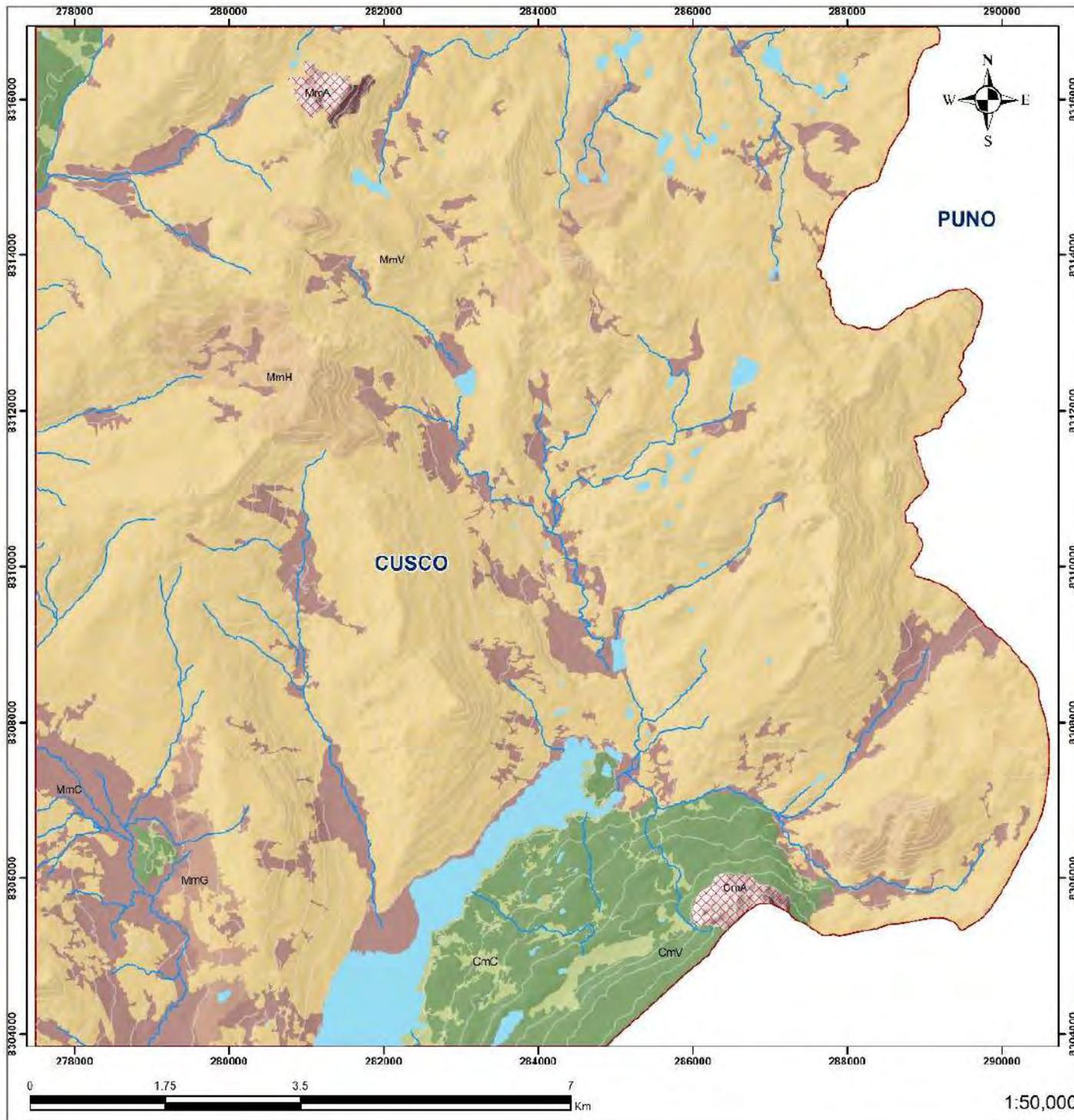


RUTA DESDE LA CIUDAD DE AREQUIPA



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tema: "DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT-ASTERY TERRESTRE EN EL SECTOR DE CHAÑ, DISTRITO DE CONDONOMA, ESPINAR - CUSCO"	
Plano: MAPA DE ACCESIBILIDAD		
Elaborado por: Dsch. Cynthia Ronilda Condoná Huaman Dsch. Gerson Sneed Corimayta Tunay	Información General: Coordinate system: WGS 1984 UTM Zone 18S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984	
Asesor de Tesis: Mauro Alberto Zegarra Cornejo	Fuente: Fuente Propia	
Mapa: 02	Escala de Impresión: 1:150,000	Formato de Impresión: A3

Anexo 5. Mapa de Geomorfología Regional



VISTA EN 3D

LEYENDA

Unidades Geomorfológicas

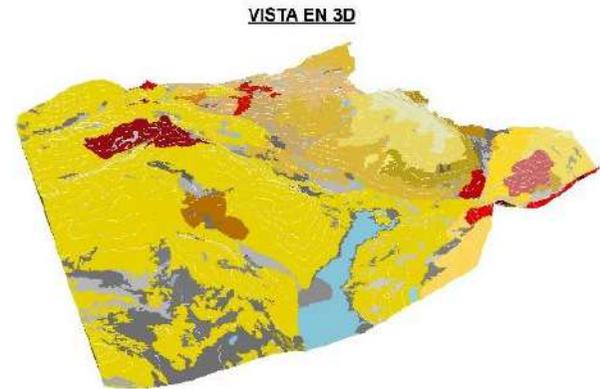
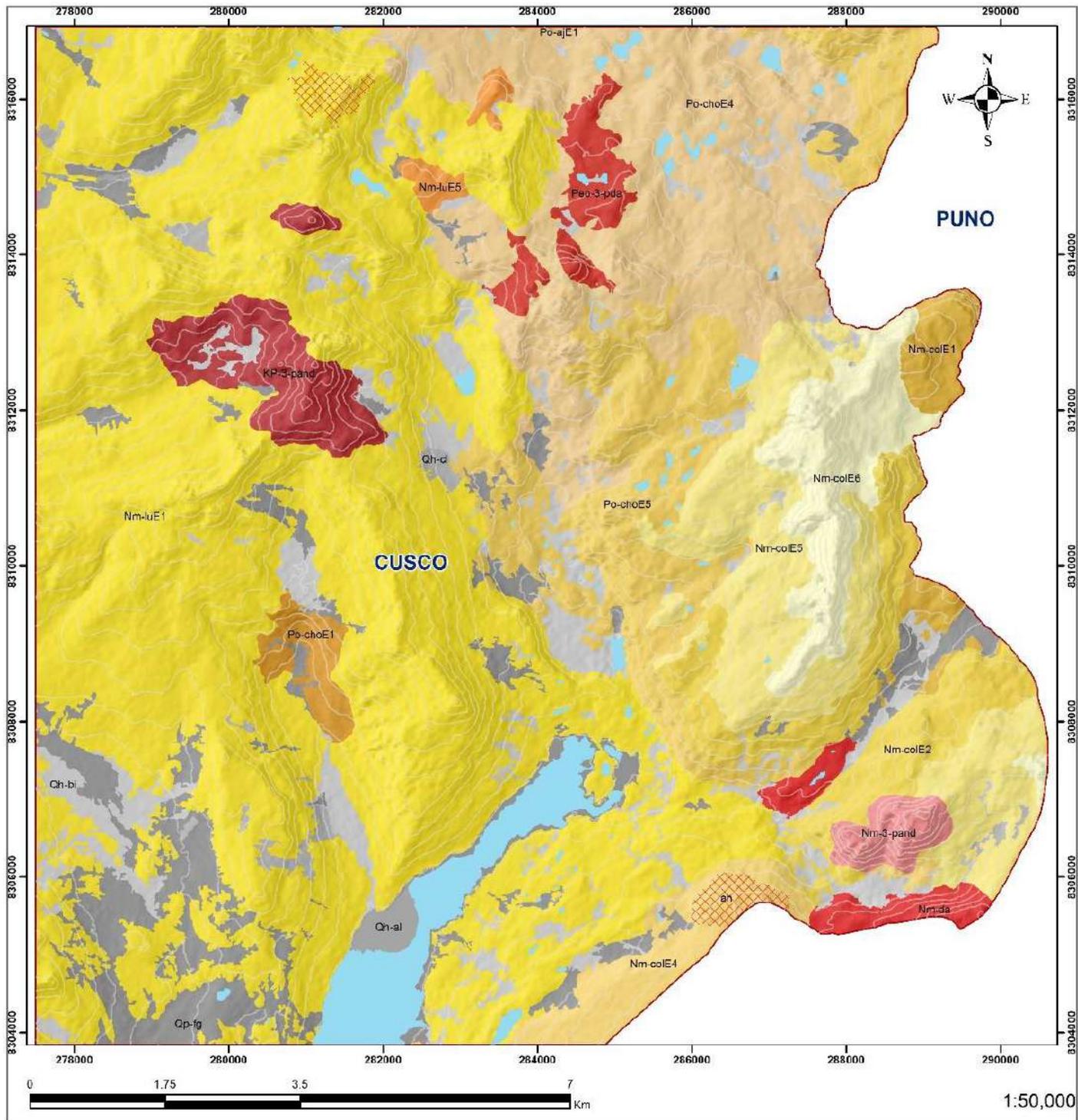
-  MmV Montaña de Material Volcánico
-  MmH Montaña de Material Hipabisal
-  MmA Montaña de Material de Alteración
-  MmG Montaña de Material Glaciar
-  MmC Montaña de Material Cuaternario
-  CmV Colina de Material Volcánico
-  CmA Colina de Material de Alteración
-  CmC Colina de Material Cuaternario

SÍMBOLOS

-  Laguna
-  Curva de Nivel
-  Río
-  Área de Estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES (HIDRO) LESIONALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES (LANDSAT - ASTER) TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO	
	Plano: MAPA DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	
	Elaborado por: Bach. Cynthia Rosalba Condeña Huaman Bach. Gerson Yared Conimanya Tunqui	Información General: Coordenada System: WGS 1984 UTM Zona 19S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984
Mapa 03	Asesor de Tesis: Miguel Alberto Zebarrá Carrón	Fuente: Equipo Técnico ZLL Usimari 2023
	Escala de Impresión: 1:50,000	Formato de Impresión: A3

Anexo 6. Mapa de Geología Regional



LEYENDA			UNIDADES GEOLOGICAS		SÍMBOLOS	
COLORES	TEXTOS	OTROS	UNIDADES GEOLOGICAS	DESCRIPCIONES	SÍMBOLOS	DESCRIPCIONES
[Yellow]	Quaternario	[Cross-hatch]	Qh-aj	Formación de arena y limo.	[Blue]	Laguna
[Orange]	Neógeno	[Cross-hatch]	Qh-bi	Formación de arena y limo.	[Red line]	Curva de Nivel
[Red]	Plógeno	[Cross-hatch]	Qh-c	Formación de arena y limo.	[Red box]	Área de Estudio
[Green]	Pre-Cámbrico	[Cross-hatch]	Qh-d	Formación de arena y limo.		
			Qh-e	Formación de arena y limo.		
			Qh-f	Formación de arena y limo.		
			Qh-g	Formación de arena y limo.		
			Qh-h	Formación de arena y limo.		
			Qh-i	Formación de arena y limo.		
			Qh-j	Formación de arena y limo.		
			Qh-k	Formación de arena y limo.		
			Qh-l	Formación de arena y limo.		
			Qh-m	Formación de arena y limo.		
			Qh-n	Formación de arena y limo.		
			Qh-o	Formación de arena y limo.		
			Qh-p	Formación de arena y limo.		
			Qh-q	Formación de arena y limo.		
			Qh-r	Formación de arena y limo.		
			Qh-s	Formación de arena y limo.		
			Qh-t	Formación de arena y limo.		
			Qh-u	Formación de arena y limo.		
			Qh-v	Formación de arena y limo.		
			Qh-w	Formación de arena y limo.		
			Qh-x	Formación de arena y limo.		
			Qh-y	Formación de arena y limo.		
			Qh-z	Formación de arena y limo.		

SIMBOLOS	
[Blue shape]	Laguna
[Red line]	Curva de Nivel
[Red box]	Área de Estudio

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>	
<p>tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALIBRACIONES (IBRO) EN LOS ALIS MILDIRN E ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES (LANDSAT-ASTERY TERRASPEC, ENI) SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO</p>	
<p>Plano: MAPA DE GEOLOGIA REGIONAL</p>	
<p>Laborado por: Bach. Cynthia Rosalba Condeña Huaman Bach. Gerson Viced Condeña Tunqui</p>	<p>Información General: Coordenada System: WGS 1984 UTM Zona 19S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984</p>
<p>Asesor de Tesis: Miguel Alberto Zebarrá Carricón</p>	<p>Tuente: Equipo Técnico ZLL Lismay 2023</p>
<p>Mapa 04</p>	<p>Formato de Impresión: A3</p>
<p>Escala de Impresión: 1:50,000</p>	

Anexo 7. Mapa de Geología Estructural Regional

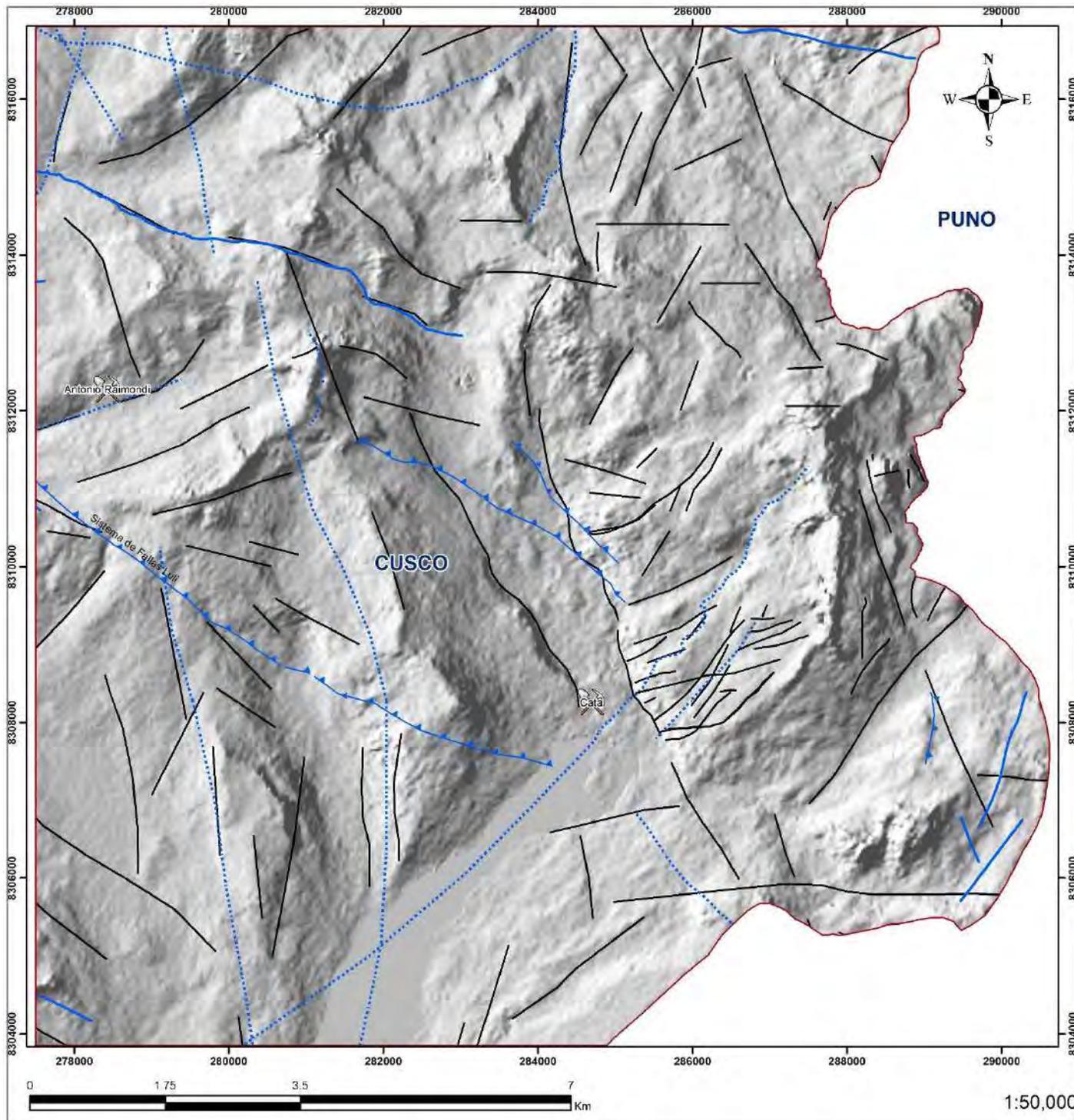
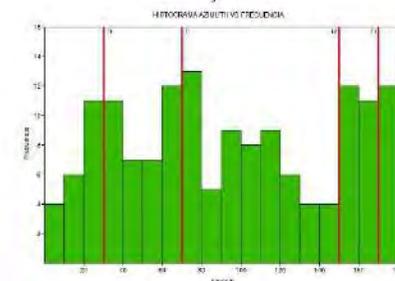
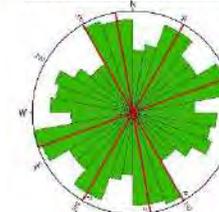


DIAGRAMA DE ROSETAS

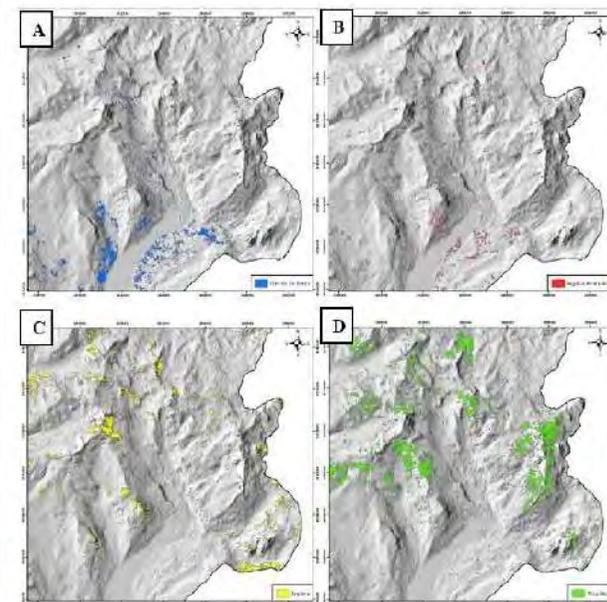
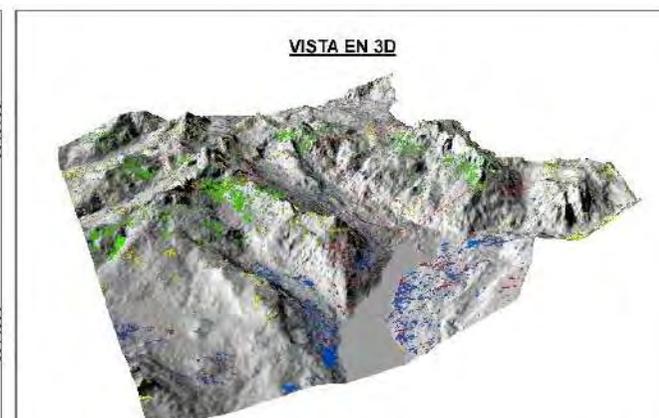
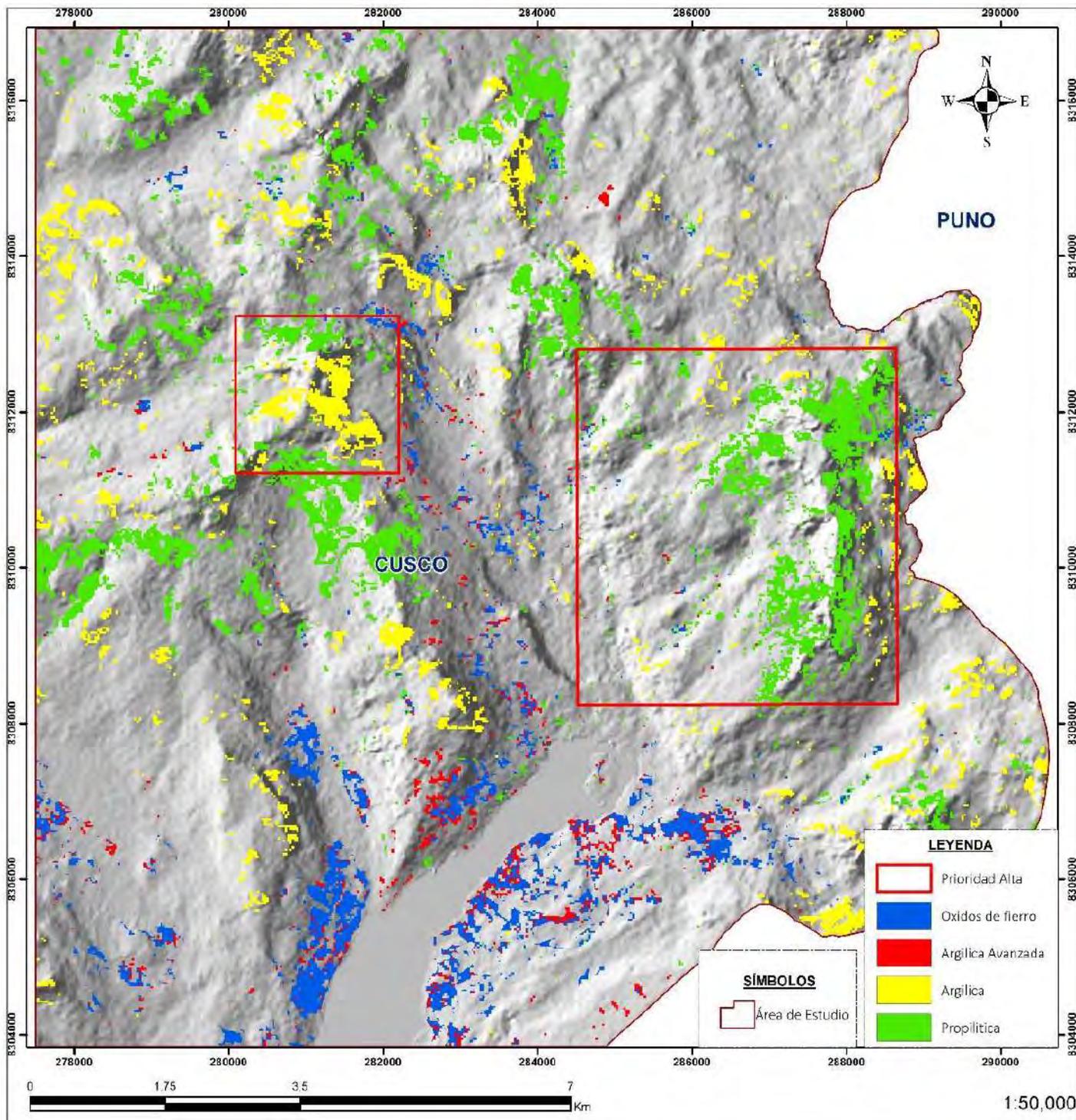


SÍMBOLOS		LEYENDA	
	Área de Estudio		Falla
	Minas Antiguas		Falla Inversa
			Lineamiento

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ATRACCIONES HIDROTÉRMICAS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOGIMA, ESPINAR - CUSCO	
	Plano: MAPA DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	
	Elaborado por: Bach. Cinthia Ronilda Cordería Huamani Bach. Gerson Steed Corimanya Tunqui	Información General: Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984
Asesor de Tesis: Mauricio Alberto Zegarra Carreón	Fuente: Fuente Propia	
Mapa 05	Escala de Impresión: 1:50,000	Formato de Impresión: A3

1:50,000

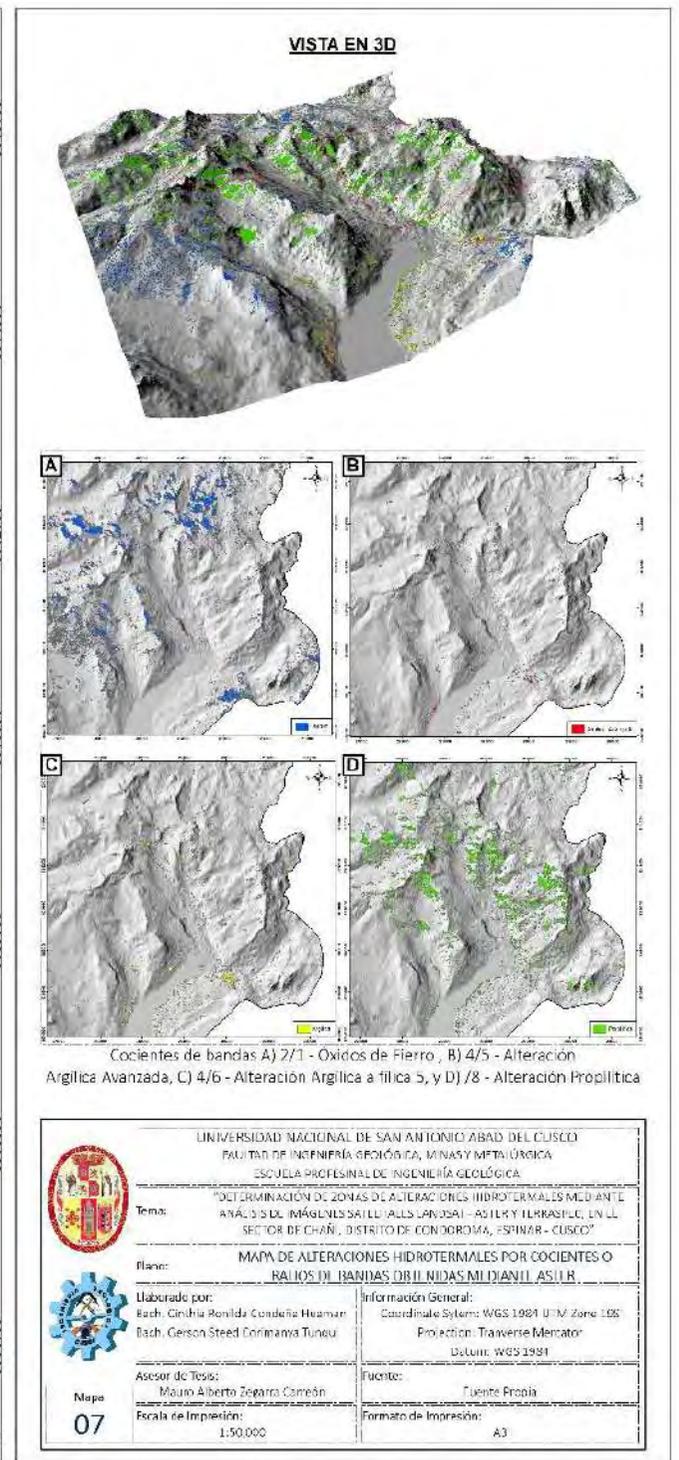
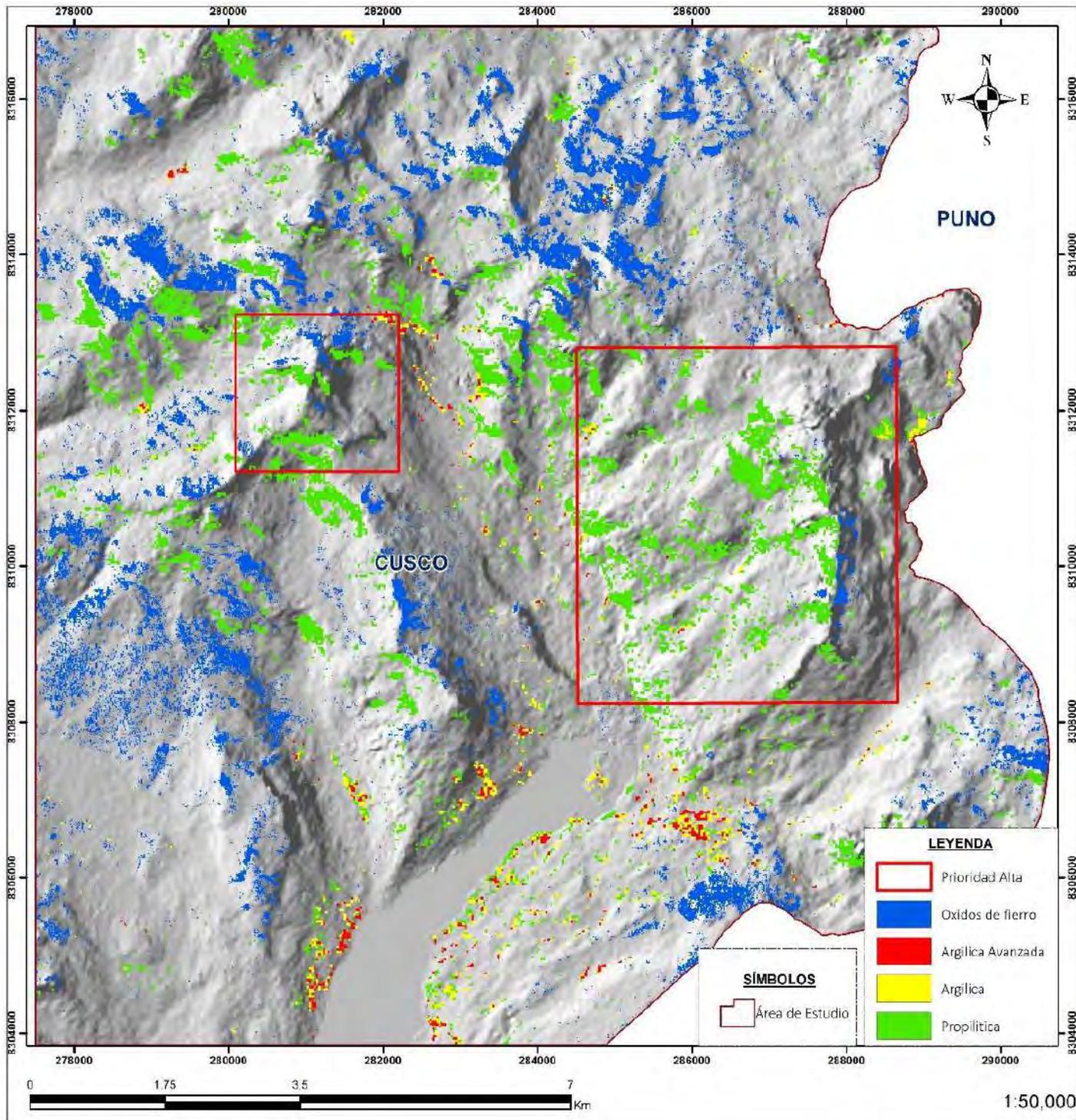
Anexo 8. Mapa de Alteraciones Hidrotermales por Cocientes de Bandas Landsat



Cocientes e índices de bandas, A) Óxidos de hierro, B) Alteración argilica avanzada, C) Alteración argilica y D) Alteración propilitica

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
	Tema: DETERMINACION DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMAGENES SATELITALES LANDSAT - TM Y TM PLUS EN EL SECTOR DE CHAÑ, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO	
	Plan: MAPA DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES POR COCIENTES DE BANDAS LANDSAT	
	Elaborado por: Bach. Cinthia Ronilda Condana Huaman Bach. Geovson Steed Connamaya Tunau	Información General: Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984
Asesor de Tesis: Mtro. Alberto Zegarra Cornejo	Fuente: Fuente Propia	
Mapa: 06	Escala de Impresión: 1:50,000	Formato de Impresión: A3

Anexo 9. Mapa de Alteraciones Hidrotermales por Cocientes o Ratios de Bandas Obtenidas Mediante Aster



Anexo 10. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Aster por Índices de Identificación Litológica – SWIR

Anexo 11. Descripciones Macroscópicas

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ATONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"</p>				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG009					
ESTE:	287510	NORTE:	8308915	ALTITUD:	5116
TIPO DE ROCA :	ANDESITA				
FOTOGRAFIA IN-SITU:			DESCRIPCION FOTOGRAFICA:		
			<p>Textura: Pórfido afanítico Color: Gris pardo (intemperizado) Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita, malaquita (tz), turmalina (¿?) Alteración: epidota>>clorita, Propilitica (moderada a fuerte)</p>		
	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ATONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"</p>				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG021					
ESTE:	288019	NORTE:	8309547	ALTITUD:	5111
TIPO DE ROCA :	BASALTO DE BIOTITA				
FOTOGRAFIA IN-SITU:			DESCRIPCION FOTOGRAFICA:		
			<p>Textura: Afanítica Color: Gris parduzco (Intemperizado) Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita Alteración: Epidota, propilitica Otros: biotita débilmente oxidada (Limonita, Hematita)</p>		

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"	
---	---	---

FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC

CODIGO DE FICHA: CG-027

ESTE:	287580	NORTE:	8312440	ALTITUD:	5035
--------------	--------	---------------	---------	-----------------	------

TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA
-----------------------	----------------------------

FOTOGRAFIA IN-SITU:	DESCRIPCION FOTOGRAFICA:
----------------------------	---------------------------------

	<p style="text-align: center;">Textura: Afanítica Color: Gris parduzco con tonos verdosos, intemperizado pardo Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: biotita, turmalina (¿) Alteración: Propilitica debil Otros: Hematita en fracturas</p>
---	---

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"	
--	---	--

FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC

CODIGO DE FICHA: CG-037

ESTE:	280963	NORTE:	8311750	ALTITUD:	5125
--------------	--------	---------------	---------	-----------------	------

TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA
-----------------------	----------------------------

FOTOGRAFIA IN-SITU:	DESCRIPCION FOTOGRAFICA:
----------------------------	---------------------------------

	<p style="text-align: center;">Textura: Fanerítica – Porfiroafanítica Color: gris parduzco (Intemperismo) Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita Alteración: propilitica débil Otros: cuarzo en oquedades</p>
---	---

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"	
---	---	---

FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC

CODIGO DE FICHA: CG-038

ESTE:	281141	NORTE:	8312018	ALTITUD:	5178
--------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-------------

TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA
-----------------------	----------------------------

FOTOGRAFIA IN-SITU:	DESCRIPCION FOTOGRAFICA:
----------------------------	---------------------------------

	<p>Textura: Fanerítica – Porfiroafanítica Color: Rojizo, intemperizado pardo Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita Alteración: arcillas, argílica</p>
---	--

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"	
--	---	--

FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC

CODIGO DE FICHA: CG-042

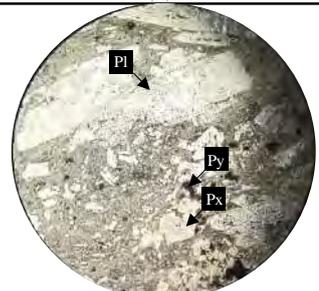
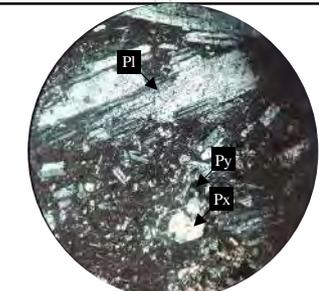
ESTE:	280853	NORTE:	8313013	ALTITUD:	5102
--------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-------------

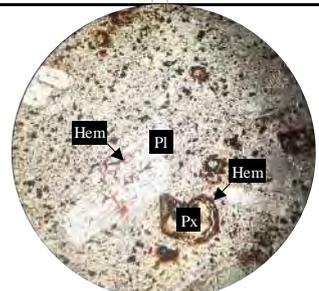
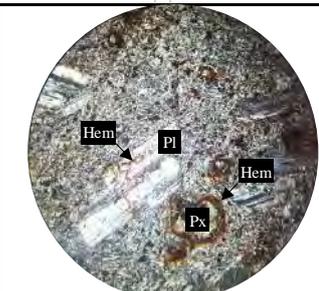
TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA
-----------------------	----------------------------

FOTOGRAFIA IN-SITU:	DESCRIPCION FOTOGRAFICA:
----------------------------	---------------------------------

	<p>Textura: Fanerítica – Porfiroafanítica, escasas vesículas rellenas de calcita Color: Gris oscuro con tonos parduzco, intemperizado pardo Composición mineralógica Principales: Plagioclasa Na-Ca Accesorios: Biotita Alteración: arcillas, argílica débil Otros: hematita en fracturas</p>
---	--

Anexo 12. Descripciones Microscópicas

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG009					
ESTE:	287510	NORTE:	8308915	ALTITUD:	5116
TIPO DE ROCA :		ANDESITA DE PIROXENO			
NICOLES PARALELOS	NICOLES CRUZADOS	DESCRIPCION MICROSCÓPICA:			
		Vista en aumento 4x, andesita de piroxeno (Px) (Augita) >> hematita (Hem) Fenos de plagioclasa (Pl) poco alterado y piroxeno (Px) reemplazados parcial o totalmente por calcita. En una matriz o pasta con escasos microlitos en medio de vidrio Moderada pirita (Py) (pirita)			

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"				
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG021					
ESTE:	288019	NORTE:	8309547	ALTITUD:	5111
TIPO DE ROCA :		BASALTO DE PIROXENO			
NICOLES PARALELOS	NICOLES CRUZADOS	DESCRIPCION MICROSCÓPICA:			
		Vista en aumento 4x, basalto de piroxeno (Px), con textura porfido seriada. En una pasta microlítica (estructura fluidal) los fenos de plagioclasa (Pl) y piroxeno (Px), se aprecia a hematita (Hem) reemplazando al piroxeno y en fracturas a la plagioclasa (Pl).			



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
 TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE
 IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE
 CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"



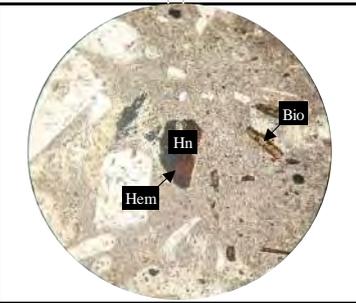
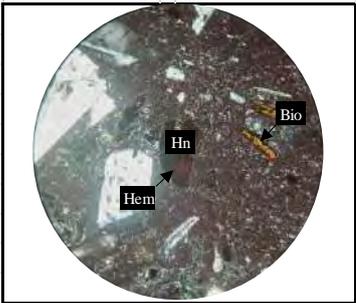
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG027					
ESTE:	287580	NORTE:	8312440	ALTITUD:	5035
TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE PIROXENO				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		DESCRIPCION MICROSCÓPICA:	
				<p>Vista en aumento 4x, andesita de Px Textura pórfido seriada en una matriz microporosa >> microlítica Granos de plagioclasa microbrechados, granos cementados con hematita (Hem) Matriz criptogranosa de cuarzo (Qz) Plagioclasa (Pl) y piroxeno (Px) penetrados por oxido de Fe (Hem) Algunos espacios vacíos (vesículas)</p>	

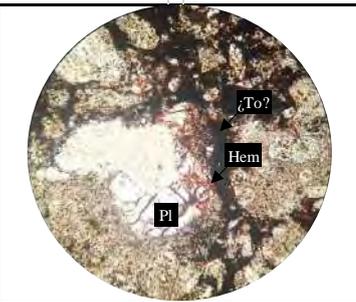
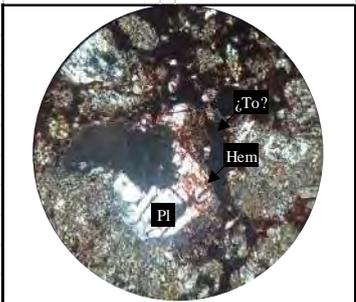


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
 TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANALISIS DE
 IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE
 CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"

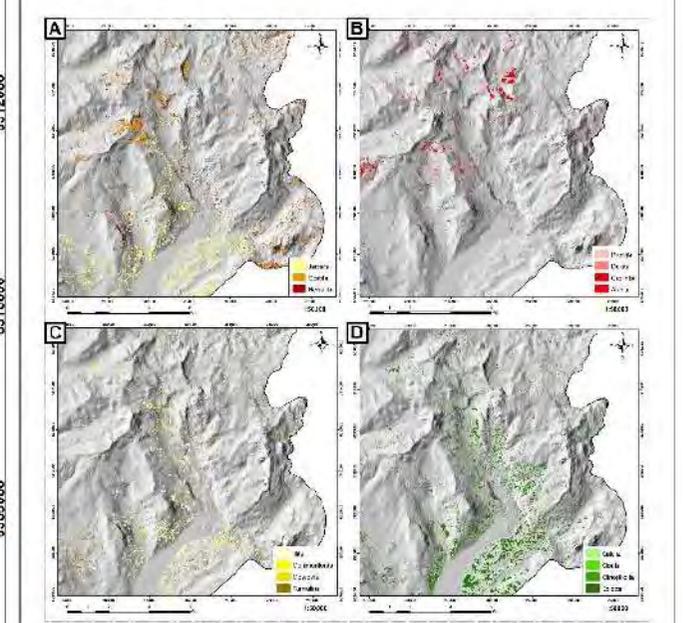
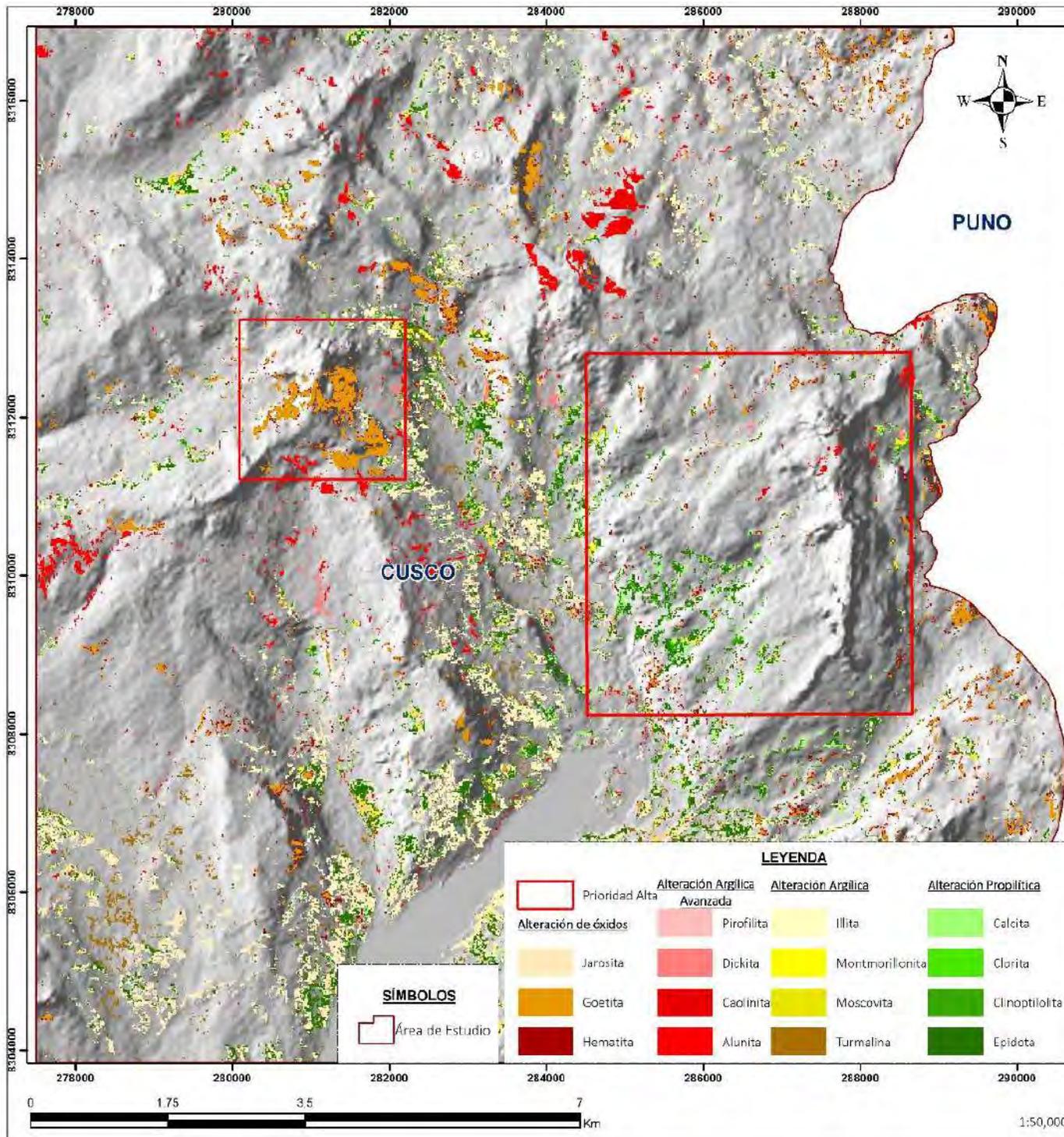


FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG037					
ESTE:	280963	NORTE:	8311750	ALTITUD:	5125
TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		DESCRIPCION MICROSCÓPICA:	
				<p>Vista en aumento 10x, andesita de biotita (Bio). Textura pórfido seriada Pórfido en pasta vítrea con criptogranos Fracturas de la plagioclasa rellenas por hematita (Hem) y hornblenda reemplazada por hematita (Hem).</p>	

		UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"			
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG038					
ESTE:	281141	NORTE:	8312018	ALTITUD:	5178
TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		DESCRIPCION MICROSCÓPICA:	
				<p>Vista en aumento 10x, Andesita de biotita (Bio). Textura pórfido seriada. Pórfido en pasta vítrea con criptogranos. Biotita (Bio) a veces reemplazado totalmente por magnetita (Mgt) en una pasta vidriosa con algunas microlitas. Hematita (Hem) reemplazando a hornblenda (Hn).</p>	

		UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS: " DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO"			
FICHA DESCRIPTIVA DE MUESTRAS TERRASPEC					
CODIGO DE FICHA: CG042					
ESTE:	280853	NORTE:	8313013	ALTITUD:	5102
TIPO DE ROCA :	ANDESITA DE BIOTITA				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		DESCRIPCION MICROSCÓPICA:	
				<p>Vista en aumento 10x, andesita de biotita (Bio). Con textura pórfido seriada. Pórfido en pasta vítrea con criptogranos. Hematita (Hem) relleno de las fracturas de la plagioclasa (Pl), posible turmalina (¿To?) en microbrechas.</p>	

Anexo 13. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Aster por Mapeo Espectral por el Método SAM



Distribución de minerales mediante el análisis SAM A) Óxidos, B) Alteración Argílica Avanzada, C) Alteración Argílica a filica, D) Alteración Propilítica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES (ANOSAT) - ASTER Y TERRASAT, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOMOMA, ESPINAR - CUSCO

Plan: MAPA DE ALTERACIONES HIDROTERMALES ASTER POR MAPEO (SPICRAL POR) (M) (OIX) SAM

Elaborado por:
 Bach. Cinthia Renilda Condina Huaman
 Bach. Geovani Steed Connamá Tunusi

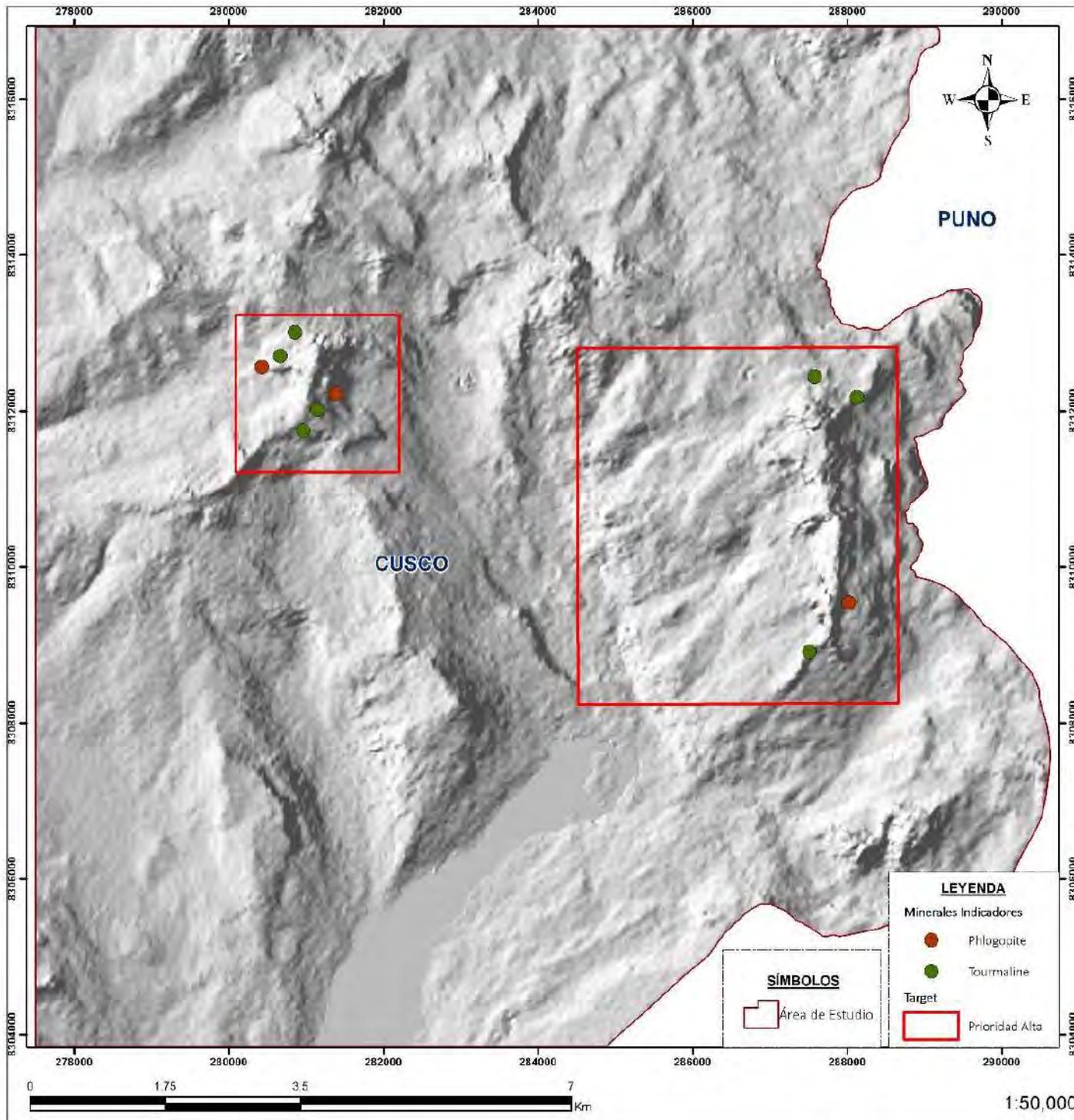
Información General:
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Asesor de Tesis: Mijain Alberto Zegarra Corrán
Fuente: Fuente Propia

Mapa 09
Escala de Impresión: 1:50,000
Formato de Impresión: A3

Anexo 14. Mapa de Alteraciones Hidrotermales Terraspec por Asociación de Ensamblajes Mineralógicos

**Anexo 15. Mapa de Distribución de Minerales de Alta Temperatura por
Análisis TERRASPEC**



Minerales Indicadores

CÓDIGO	E	N	Z	Minerales Indicadores	
CG009	A	287510	8308915	5116	Tourmaline
CG009	B	287510	8308915	5116	Tourmaline
CG021	A	288019	8309547	5111	Phlogopite
CG021	B	288019	8309547	5111	Phlogopite
CG026	A	288126	8312181	5067	Tourmaline
CG026	B	288126	8312181	5067	Tourmaline
CG027	B	287580	8312440	5035	Tourmaline
CG037	A	280963	8311750	5125	Tourmaline
CG037	B	280963	8311750	5125	Tourmaline
CG038	A	281141	8312018	5178	Tourmaline
CG038	B	281141	8312018	5178	Tourmaline
CG039	B	281381	8312220	5089	Phlogopite
CG042	A	280853	8313013	5102	Tourmaline
CG042	B	280853	8313013	5102	Tourmaline
CG043	A	280562	8312709	5083	Tourmaline
CG043	B	280562	8312709	5083	Tourmaline
CG044	A	280424	8312568	5037	Phlogopite
CG044	B	280424	8312568	5037	Phlogopite

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES (ANOSAI - ASTER Y TERRASAT) EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPIÑA - CUSCO

Plan: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE MINERALES DE ALTA (LMP) (A1) (BA) (PO) (AN) (IS) (I) (BR) (SP) (C)

Elaborado por:
 Bach. Cinthia Ronilda Condaca Huaman
 Bach. Geison Steed Condamama Tunou

Información General:
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Asesor de Tesis:
 Mtro. Alberto Zegarra Cornejo

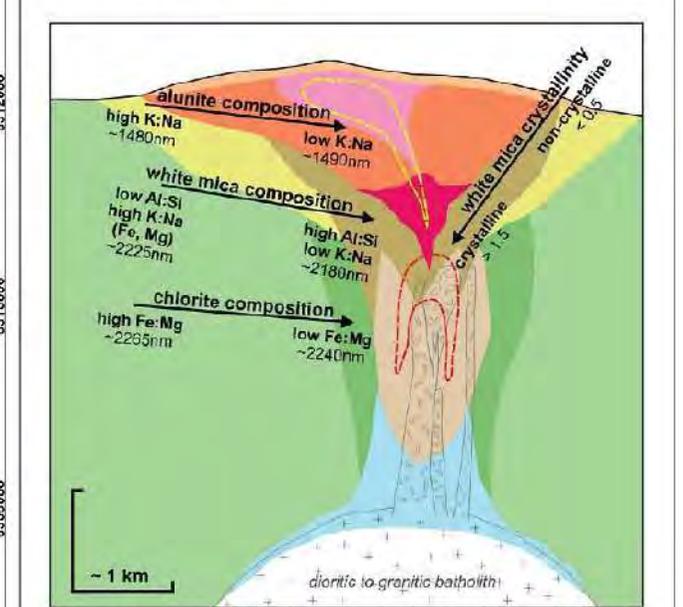
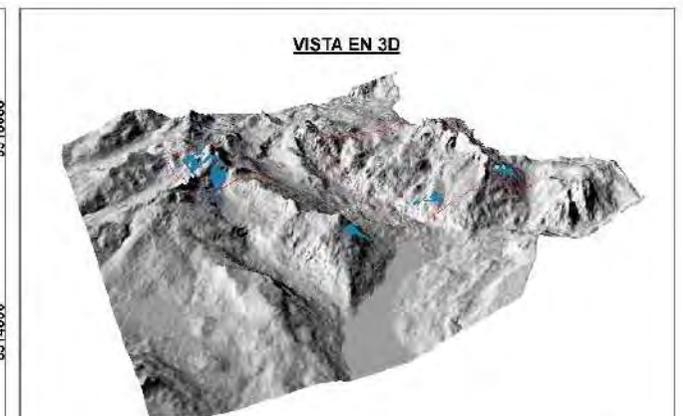
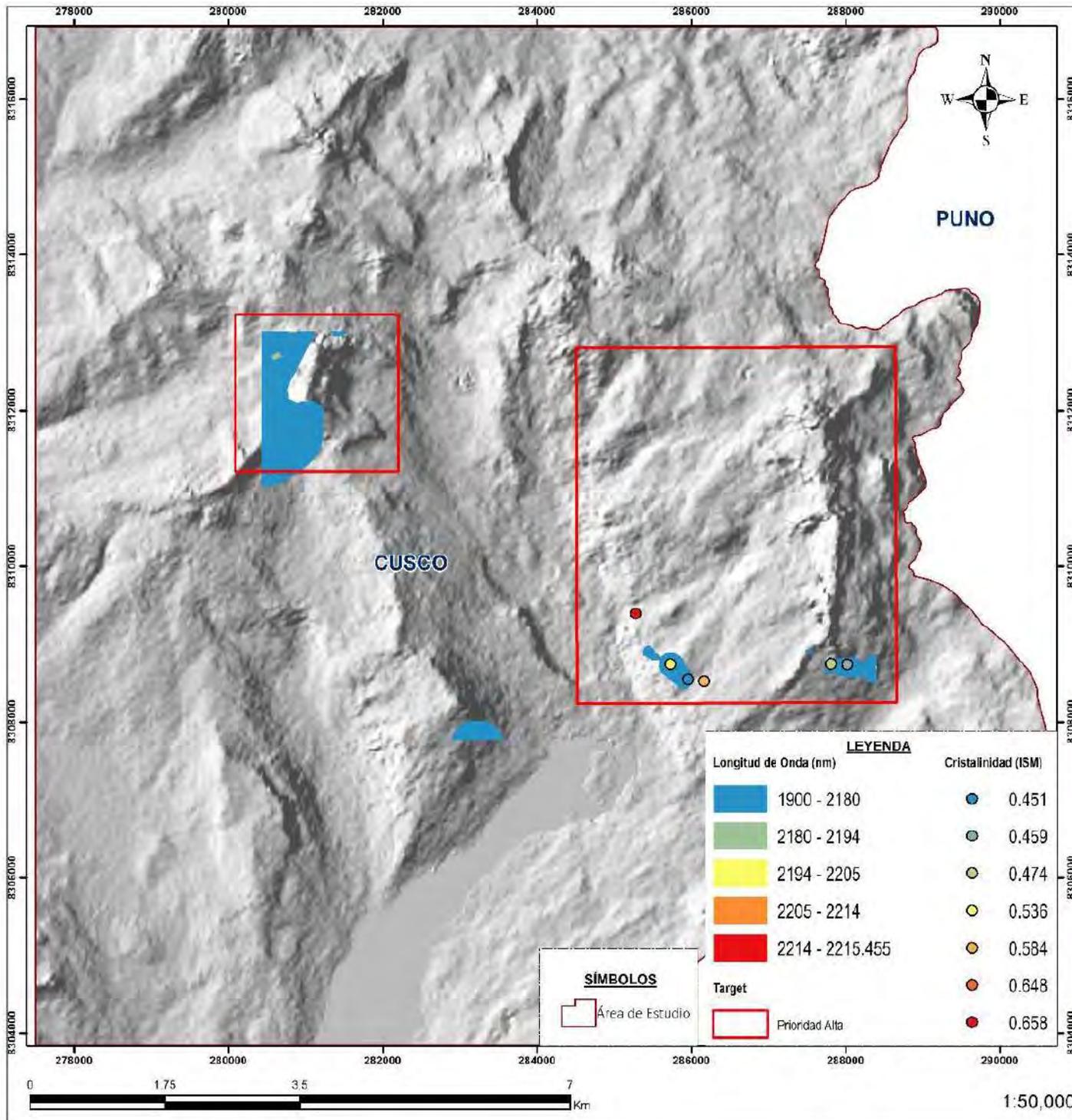
Fuente: Fuente Propia

Mapa 11

Escala de Impresión: 1:50,000

Formato de Impresión: A3

Anexo 16. Mapa de Vectorización de Micas Blancas por Análisis TERRASPEC



Se aprecia los diferentes aspectos de vectorización a partir de alunitas, cloritas, micas blancas y cristalinidad de micas blancas. Modificado a partir de Irott et al., 2022.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTHERMALES MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASTAR, EN EL SECTOR DE CHAÑI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPIÑA - CUSCO

Plano: MATA DE VECTORIZACIÓN DE MICAS BLANCAS POR ANÁLISIS TERRASTAR

Elaborado por:
 Bach. Cinthia Renilda Condori Huaman
 Bach. Gerson Steed Connamá Tunau

Asesor de Tesis:
 Mtro. Alberto Zegarra Cornejo

Escala de Impresión:
 1:50,000

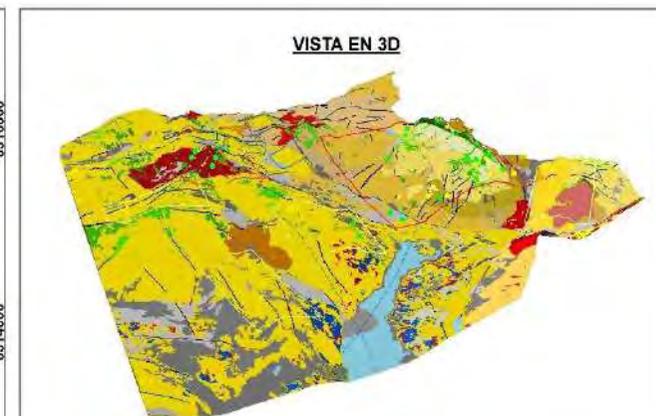
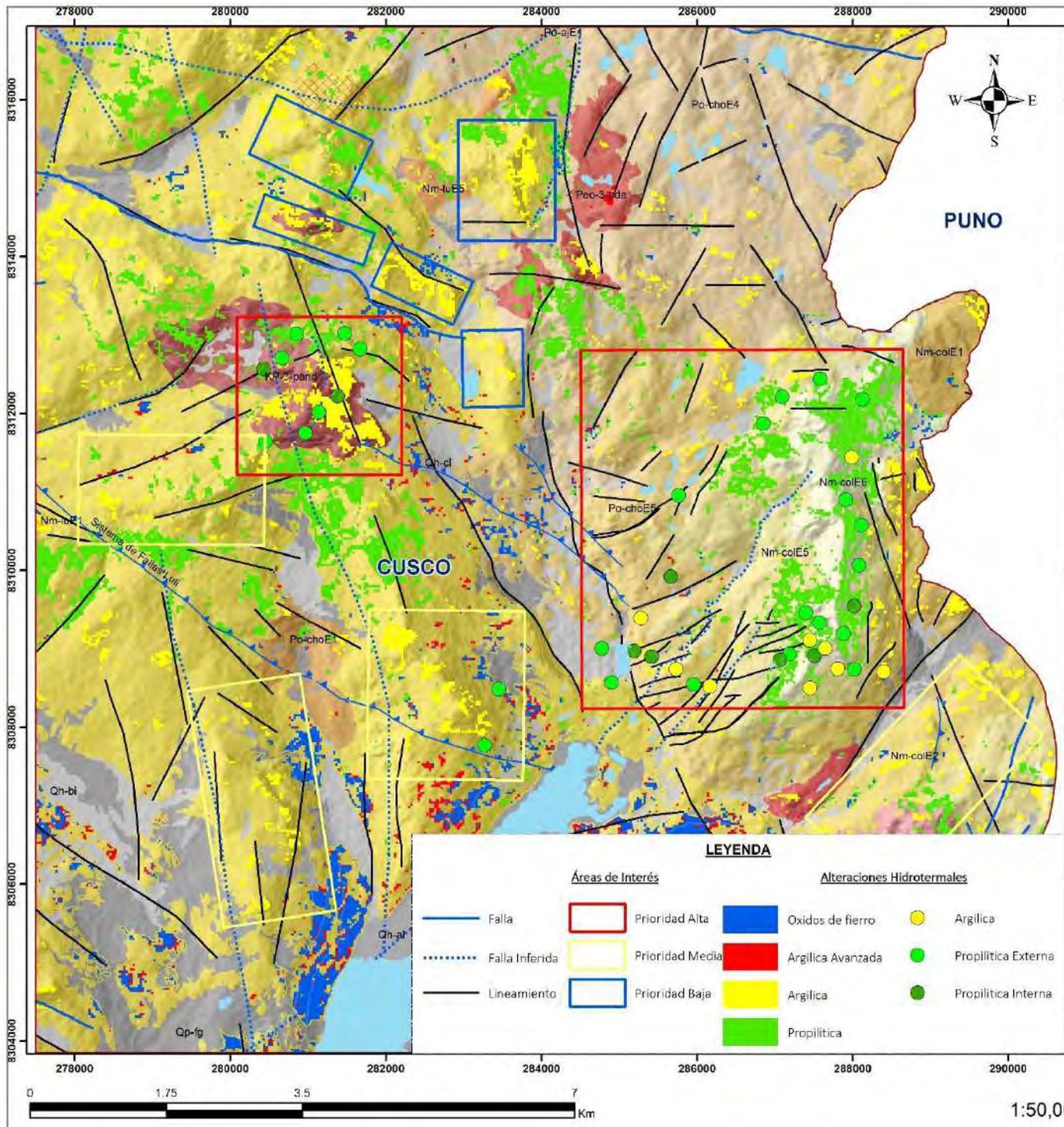
Mapa:
 12

Información General:
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Fuente: Fuente Propia

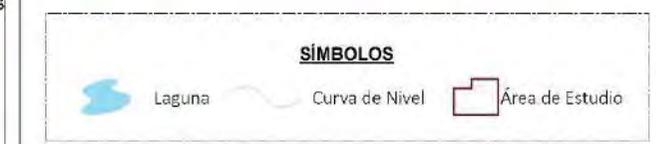
Formato de Impresión:
 A3

Anexo 17. Mapa de Targets o Blancos de Exploración LANDSAT



LEYENDA

SISTEMA	SERIE	DESCRIPCIÓN	INDICACIONES Y SU VOLUNTAD	INDICACIONES Y SU VOLUNTAD
DISTRIBUCIÓN	Colorido	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones
	Prognosis	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones
	Verdadero	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones
	Verdadero	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones
MEDIOAMBIENTE	Prognosis	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones
	Verdadero	Indicaciones	Indicaciones	Indicaciones



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHANI, DISTRITO DE CONDROMA, ESPINAR -CUSCO

Plano: MAPEO DE TARETOS O BLANCOS DE EXPLORACIÓN LANDSAT

Elaborado por:
 Bach. Cinthia Ronilda Condeña Huaman
 Bach. Gerson Steed Comaruya Tunqui

Asesor de Tesis:
 Mscro Alberto Zegarra Carricón

Mapa 13

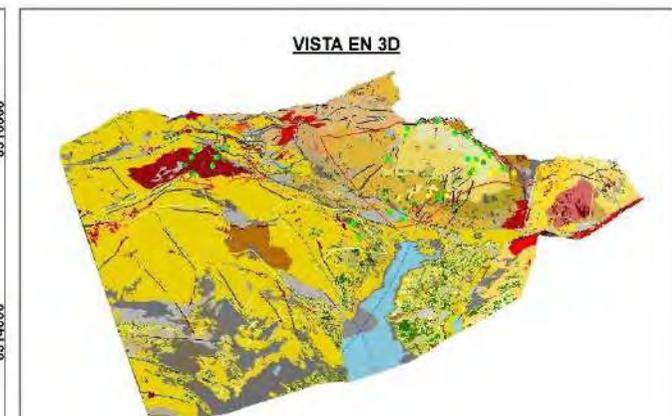
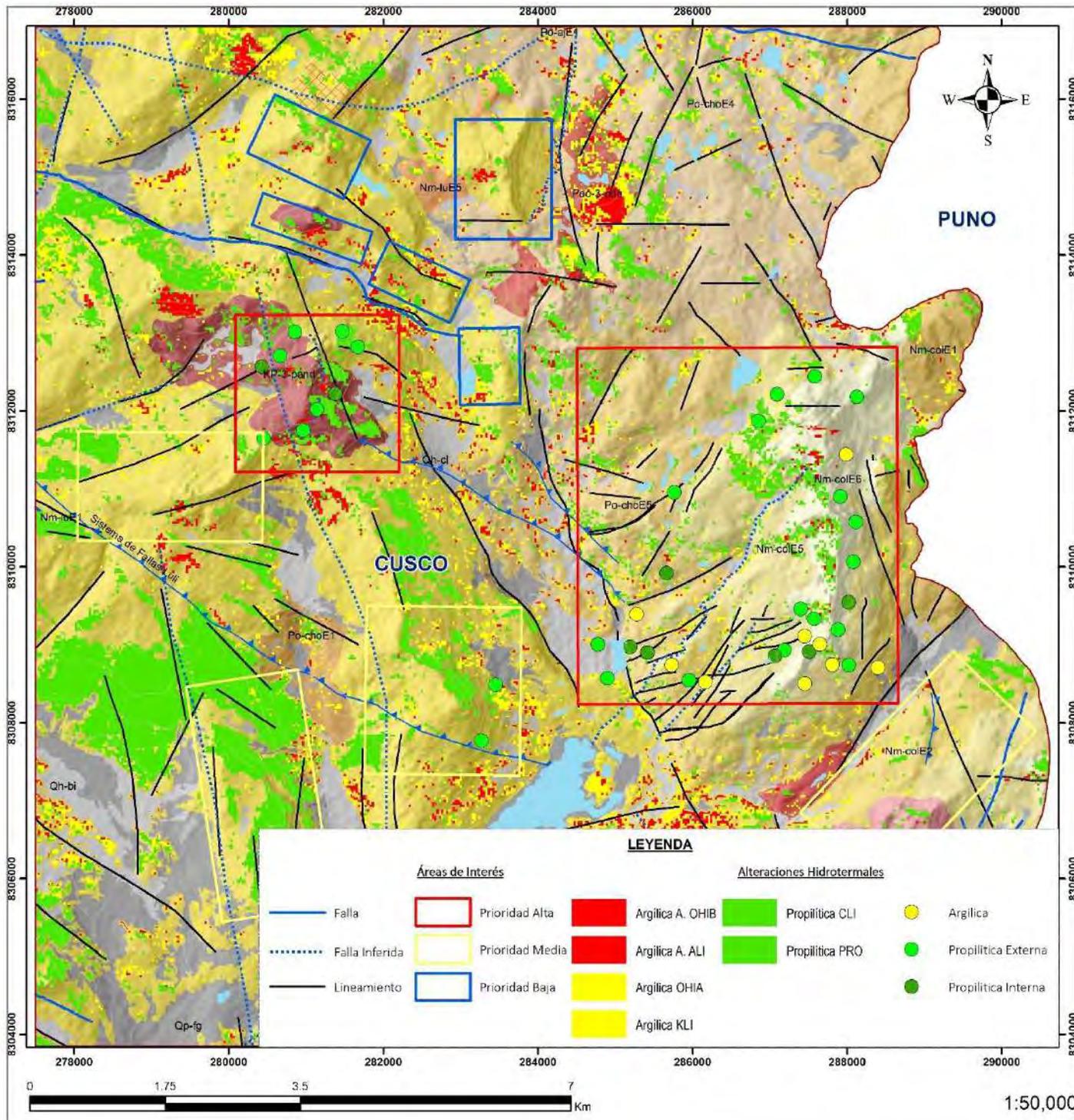
Información General:
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Fuente: Fuente Propia

Formato de Impresión: A3

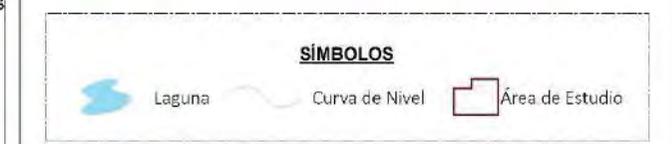
Escala de Impresión: 1:50,000

Anexo 18. Mapa de Targets o Blancos de Exploración ASTER



LEYENDA

SISTEMA	SUBSISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOLÓGICAS	DESCRIPCIÓN	INDICACIONES Y SU VOLUNTAD	INDICACIONES Y SU VOLUNTAD
SEDIMENTARIO	Cenozoico	Holoceno	Qh-1	Unidad de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-2	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-3	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
SEDIMENTARIO	Cenozoico	Holoceno	Qh-4	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-5	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-6	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
SEDIMENTARIO	Cenozoico	Holoceno	Qh-7	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-8	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)
			Qh-9	Formación de aluvión y conglomerado de aluvión reciente	■ (Red)	■ (Red)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHANI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO

Plano: MAPA DE TARGETS O BANCOS DE EXPLORACIÓN ASTER

Elaborado por: Bach. Cinthia Ronilda Condeña Huaman, Bach. Gerson Steed Comarany Tunqui

Asesor de Tesis: Mscro Alberto Zegarra Carrón

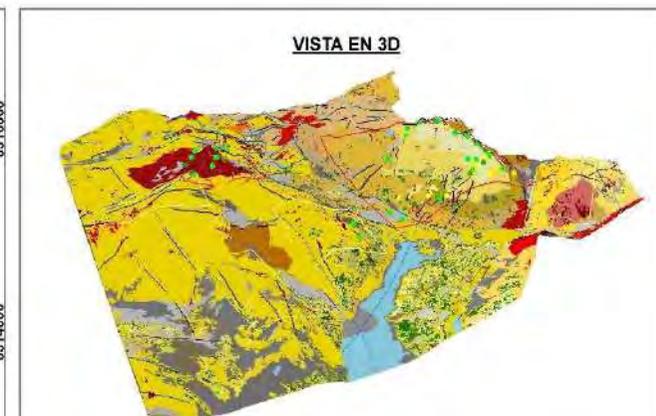
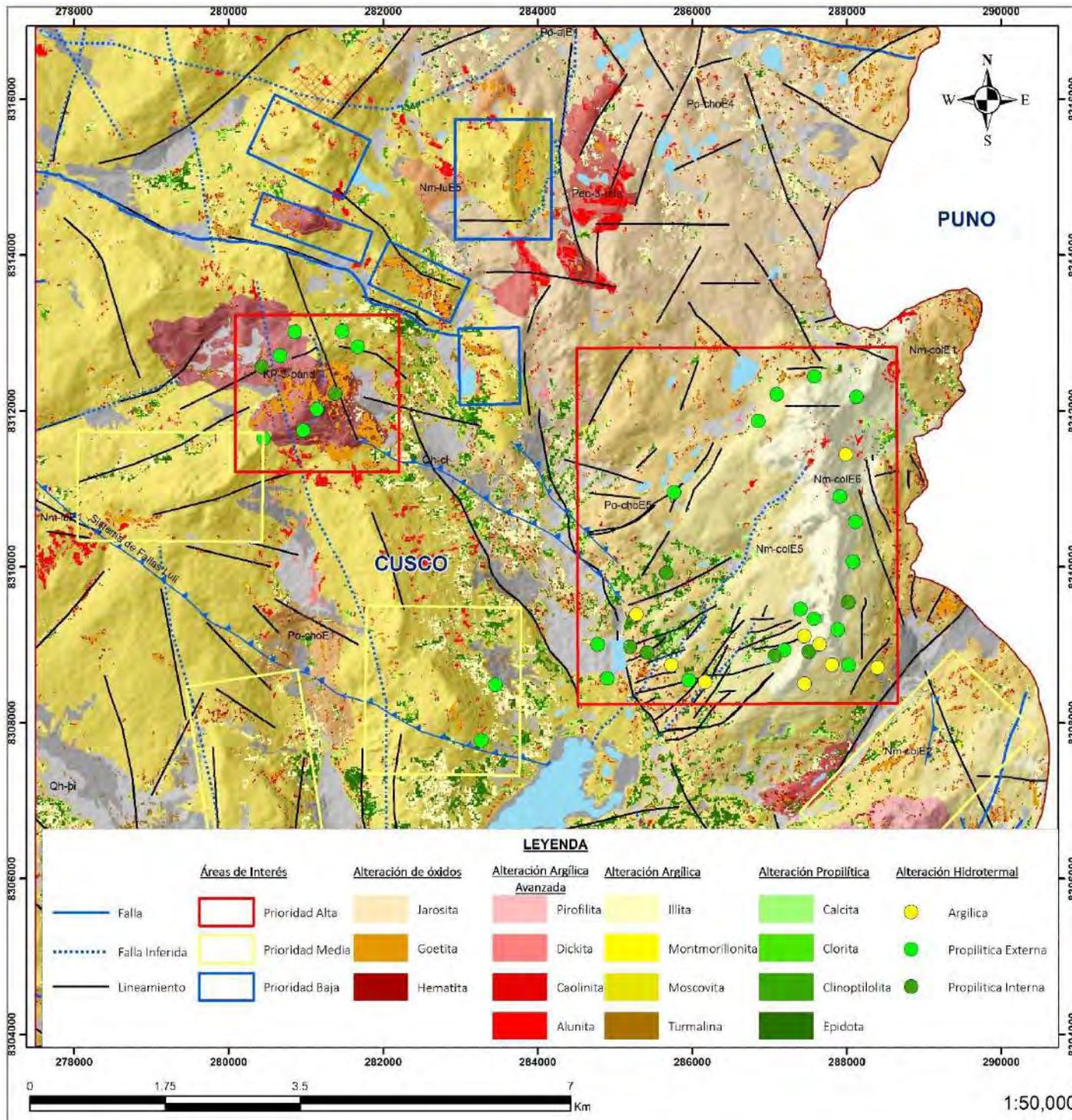
Mapa: 14.2

Escala de Impresión: 1:50,000

Información General: Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S, Projection: Transverse Mercator, Datum: WGS 1984

Fuente: Fuente Propia

Formato de Impresión: A3



LEYENDA

UNIDAD	SÍMBOLO	SERIE	UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	USOS Y RIESGOS	USOS Y RIESGOS
SEDIMENTARIA	Carpas	Holoceno	Qh-1	Unidad de sedimentos recientes	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qa	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
		Aluvial	Qb	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qc	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qd	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qe	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qf	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qg	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qh	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qi	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qj	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qk	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Ql	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qm	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qn	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qo	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qp	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qq	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qr	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qs	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qt	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qu	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qv	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qw	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qx	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		
SEDIMENTARIA	Carpas	Aluvial	Qy	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava	Alta	Punto de vista
		Aluvial	Qz	Formación aluvial y conchales, conchales de arena y grava, conchales de arena y grava		

SÍMBOLOS

	Laguna		Curva de Nivel		Área de Estudio
--	--------	--	----------------	--	-----------------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tema: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT - ASTER Y TERRASPEC, EN EL SECTOR DE CHANI, DISTRITO DE CONDOROMA, ESPINAR - CUSCO

Plano: MAPA DE TARGETS O BIANCOS DE EXPLORACIÓN ASTER

Elaborado por:
 Bach. Cinthia Ronilda Condeña Huaman
 Bach. Gerson Steed Comarany Tunqui

Asesor de Tesis:
 Mauro Alberto Zegarra Carrón

Mapa 14.3

Escala de Impresión: 1:50,000

Información General:
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Fuente: Fuente Propia

Formato de Impresión: A3

Anexo 19. Panel fotográfico

19.1. Campaña de Campo



















19.2. Lectura de nuestras muestras de campo con el equipo Terraspec Halo



19.3. Descripción microscópica de muestras

