

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

PROSPECCIÓN GEOLÓGICA MINERA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
IMÀGENES ASTER Y LANDSAT 8 EN LOS CANTONES DE GIRÓN,
NABÓN Y OÑA EN LA PROVINCIA DE AZUAY, ECUADOR.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Geología

Presentado por:

Danny Bladimir Medina Aldas

Andy Joel Peñafiel Lara

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

A Dios, por cada bendición recibida. A la memoria de mis padres. A mi hermano, Joel Medina, por su ejemplo de esfuerzo, dedicación y calidad humana. A mi tía, Mónica Medina, por su apoyo incondicional.

A mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional y forjarme como la persona que soy en la actualidad. A una chica especial por acompañarme en esta etapa a pesar de que nuestros caminos se separaron. A mis mentores los cuales me brindaron de sus conocimientos para superar esta etapa llamada vida universitaria.

Danny Bladimir Medina Aldas
Andy Joel Peñafiel Lara

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares por la confianza y el apoyo incondicional en esta etapa de desarrollo personal y académico.

Al M.Sc. Eduardo Diaz, por su guía y ayuda desinteresada durante todo este proceso universitario, por sus palabras de ánimo y la confianza en nuestras capacidades.

Al PhD. Maurizio Mulas, por la paciencia y el apoyo brindados durante la investigación y la redacción del presente estudio.

Al M.Sc. David Altamirano por su amabilidad y predisposición de ayuda ante cualquier cuestionamiento.

Danny Bladimir Medina Aldas

Andy Peñafiel Lara

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Danny Bladimir Medina Aldas* y *Andy Joel Peñafiel Lara* damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.

Danny Bladimir Medina
Aldas

Andy Joel Peñafiel
Lara

EVALUADORES

David Altamirano,M.Sc

PROFESOR DE LA MATERIA

Eduardo Díaz,M.Sc.

PROFESOR TUTOR

Maurizio Mulas,Ph.D

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

El presente estudio detalla la prospección geológica remota en los cantones de Girón, Nabón y Oña. La investigación tiene como objetivo la determinación de zonas de alteración hidrotermal mediante la aplicación de técnicas remotas de mapeo espectral en imágenes ASTER y LANSAT 8. El área de estudio presenta pocos trabajos de prospección por ese motivo es necesario el reconocimiento de áreas de interés económico.

La determinación de zonas de alteración hidrotermal se realizó a través de la aplicación y análisis de diferentes técnicas espectrales. La combinación de bandas RGB: (531,461,468,943) para el mapeo de zonas con presencia de arcilla. Las relaciones de bandas (4 / 5, 4 / 6, 4/7) y los índices espectrales ALI, OH1a, CLI, para la detección de los rasgos característicos absorción de los minerales de alteración. La técnica de análisis de componentes principales (PCA) (1357) y (1467) para el mapeo de alunita y caolín-esmectita. El mapeo espectral por el método (SAM), para la detección de zonas anómalas mediante el mapeo de las firmas. Finalmente la aplicación del mapeo espectral lineal (LSU) para la verificación de los métodos usados.

En el área de estudio se identificó varias zonas o targets de exploración localizados principalmente en los límites de Girón-Nabón y la provincia de Loja, al norte de Girón y al extremo sur de Oña corroboradas con la información catográfica, geológica, metalogenética y la verificación en campo.

Mediante la aplicación de las diferentes técnicas de mapeo espectral se ha logrado el mapeo de tres zonas de interés económico: Target 1, Target 2, Target 3, resaltando la presencia de las alteraciones argílica avanzada e intermedia con los minerales alunita, dickita, montmorillonita, caolín-esmectita, cuarzo.

Palabras Clave: ASTER, LANSAT8, Targets, Alteración hidrotermal, Firma espectral.

ABSTRACT

This study details the remote geological prospecting in the Girón, Nabón and Oña cantons. The goal of the research is to determine hydrothermal alteration zones by applying remote spectral mapping techniques in ASTER and LANSAT 8 images. The study area presents few prospecting works, for this reason it is necessary to recognize areas of economic interest.

The determination of the hydrothermal alteration zones was done through the application and analysis of different spectral techniques, the combination of RGB bands (531,461,468,943) for mapping zones with the presence of clay. Band ratios (4 / 5, 4 / 6, 4/7) and spectral indices ALI, OHIa, CLI, for the detection of absorption characteristics of alteration minerals. The principal component analysis (PCA) technique 1357 and 1467 for mapping alunite and kaolin-smectite. The spectral mapping by the method (SAM), for the detection of anomalous zones by means of the mapping of the signatures. Finally the application of linear spectral mapping (LSU) to verify the methods used.

In the study area, several exploration zones or objectives were identified, located mainly on the limits of Girón-Nabón and Loja province, north of Girón and extreme south of Oña, corroborated with cartographic, geological, metallogenetic information and field verification. .

Through the application of different spectral mapping techniques, the mapping of three areas of economic interest has been got: Target 1, Target 2, Target 3, highlighting the presence of advanced and intermediate argillic alterations with the minerals alunite, dickite, montmorillonite, kaolin- smectite, quartz.

Keywords: ASTER, LANSAT8, Targets, Hydrothermal alteration, Spectral Signature

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
CAPÍTULO 1	1
1 Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.3.3 Ubicación del área de estudio	3
CAPÍTULO 2.....	5
2 Marco Geológico	5
2.1 Geodinámica del Ecuador.....	5
2.2 Tectonismo Regional	9
2.3 Estratigrafía y sedimentología de las Cuencas.....	10
2.4 Evolución de la Cordillera Occidental	12
2.4.1 Geología Estructural.....	14
2.5 Geología Local.....	17

2.5.1	Rocas metamórficas (Jurásico)	19
2.5.2	Unidad Sacapalca (Paleoceno a Eoceno Temprano).....	19
2.5.3	Formación Saraguro (Eoceno Tardío-Mioceno Medio)	19
2.5.4	Formación Jubones (Mioceno Temprano).....	19
2.5.5	Formación La Paz (Mioceno Temprano)	20
2.5.6	Grupo Ayancay (Mioceno-Plioceno).....	20
2.5.7	Formación Turi (Mioceno Tardío)	20
2.5.8	Formación Andesita Quimsacocha (Mioceno Tardío)	21
2.5.9	Formación Nabón (Mioceno Superior)	21
2.5.10	Formación Tarqui (Mioceno Tardío)	22
2.6	Geomorfología	22
2.6.1	Geología Económica	25
CAPÍTULO 3.....		27
3	Marco Teórico	27
3.1	Alteración hidrotermal	27
3.1.1	Factores que controlan la alteración hidrotermal	28
3.1.2	Duración de la interacción del agua y roca	28
3.1.3	Procesos resultantes de la alteración hidrotermal.....	29
3.1.4	Tipos de alteraciones hidrotermales.....	30
3.2	Fundamentos de la teledetección	33
3.2.1	Espectro electromagnético	34
3.3	Tipos de resoluciones	35
3.4	Sensor ASTER	37
3.5	Sensor OLI.....	40
3.6	Preprocesamiento de imágenes satelitales Aster y Lansat 8.....	42
3.6.1	Conversión de nivel digital a reflectancia	43

3.7	Procesamiento de imagen Lansat 8	43
3.7.1	Combinación de bandas.....	43
3.7.2	Cociente de bandas	44
3.8	Procesamiento De imagen Aster	44
3.9	Análisis selectivo de componentes principales PCA.....	45
3.9.1	Mapeo espectral con el método SAM.....	46
3.9.2	Desmezcla espectral lineal LSU (Linear Spectral Unmixing)	47
3.9.3	Espectroscopia de reflectancia de minerales de alteración.....	47
CAPÍTULO 4.....		53
4	Datos y Metodología	53
4.1	Materiales y software	55
4.2	Preprocesamiento.....	60
4.3	Procesamiento	62
4.3.1	Composición de bandas.....	62
4.3.2	Cociente de bandas	63
4.3.3	Índices espectrales SWIR	65
4.3.4	SAM (SPECTRAL ANGLE MAPPER).....	68
4.3.5	PCA (PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS).....	68
4.3.6	MTMF (MIXTURE TUNED MATCHED FILTERING).....	69
4.3.7	LSU (Linear Spectral unmixing)	69
CAPÍTULO 5.....		70
5	Resultados y Análisis	70
5.1	Preprocesamiento.....	70
5.1.1	Modelo RGB.....	70
5.1.2	Máscaras.....	71
5.2	Procesamiento.....	72

5.2.1	Combinación de bandas.....	73
5.2.2	Cociente de bandas	75
5.2.3	Índices espectrales SWIR	78
5.2.4	PCA (PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS).....	81
5.2.5	SAM (SPECTRAL ANGLE MAPPER)	85
5.2.6	LSU (LINEAR SPECTRAL UNMIXING)	92
5.2.7	Mapa de alteraciones	102
5.2.8	Análisis de reflectancia espectral mediante TERRASPEC.....	104
5.2.9	Análisis de resultados	108
CAPÍTULO 6.....		111
6	Conclusiones y Recomendaciones	111
6.1	Conclusiones	111
6.2	Recomendaciones	114
BIBLIOGRAFÍA.....		115
APÉNDICES		123

ABREVIATURAS

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CEM	Constrained Energy Minimisation
DEM	Digital Elevation Model
IAR	Internal Average Reflectance
LSU	Linear Spectral Unmixing
MTMF	Mixture Tuned Matched Filtering
OLI	Operational Land Imager
PCA	Principal Components Analysis
PPI	Pixel Purity Index
RGB	Red, Green, Blue
SAM	Spectral Angle Mapper
SWIR	Shortwave Infrared
TIR	Thermal Infrared Radiometer
USGS	United States Geological Survey
VNIR	Visible and Near Infrared

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
Ag	Plata
Au	Oro
C	Carbono
Ca	Calcio
Cu	Cobre
E	Este
Eh	Capacidad oxidante
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
N	Norte
P	Fósforo
pH	Concentración de iones de hidrógeno
S	Sur
W	Oeste

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de la zona de estudio.....	4
Figura 2.1 Marco geodinámico y comportamiento de placas del margen activo del Ecuador.	5
Figura 2.2 Mapa geotectónico del Ecuador.	7
Figura 2.3 Mapa Geológico Esquemático del Sur del Ecuador.....	8
Figura 2.4 Evolución sedimentaria sintética de las cuencas de Loja, Malacatos y Cuenca.	11
Figura 2.5 Mapa geológico de la zona de estudio.....	18
Figura 2.6 Mapa Geomorfológico de la zona de Estudio.	24
Figura 2.7 Mapa Metalogenético del Ecuador.	26
Figura 3.1 Minerales de alteración común en sistemas hidrotermales.	32
Figura 3.2 Tipos de flujos energéticos.	33
Figura 3.3 Espectro electromagnético.	35
Figura 3.4 Efecto de la resolución espectral en la iscriminación de cubiertas.	36
Figura 3.5 Dispersión espacial de los pixeles de dos bandas espectrales.	45
Figura 3.6 (a) Mapeo de ángulos espectrales; (b) Soporte de máquina de vectores.	46
Figura 3.7 Espectro mixto recibido por el sensor	47
Figura 3.8 Espectro electromagnético y zona de interés de la espectrometría.....	48
Figura 3.9 Comportamiento de un haz de luz.....	49
Figura 3.10 Patrones espectrales que se relacionan con las moléculas.....	49
Figura 3.11 Principales tipos de absorción.	50
Figura 3.12 Ejemplos de rasgos de absorción del mineral y sus variaciones.....	51
Figura 3.13 Absorción de minerales de alteración.....	52
Figura 4.1 Esquema de la metodología general	54
Figura 4.2 Especificaciones técnicas del software.....	59
Figura 4.3 Rangos de absorción de la Alunita.	64
Figura 4.4 Rango de absorción de la Clorita.....	65
Figura 4.5 Rangos de absorción de la Dickita	66
Figura 4.6 Rango de absorción de la Illita.....	67

Figura 5.1 Imagen Aster en color natural de la zona de estudio.....	71
Figura 5.2 Aplicación de máscara en la zona de estudio.....	72
Figura 5.3 Combinación de bandas A.)RGB 531, B.) RGB 461, C).RGB 468, D.) RGB 943.....	74
Figura 5.4 Cocientes de bandas. A).Cociente 4/5 Alunita . B). Cociente 4/6 Caolinita. C). Cociente 4/7 Calcita.	76
Figura 5.5 Cocientes de bandas R(4/5),G(4/6),B(4/7).	77
Figura 5.6 Índices espectrales A) ALI Alunita, B) OHla Montmorillonita,C) CLI Calcita.	79
Figura 5.7 Índices espectrales R (ALI), G(OHla), B (CLI).	80
Figura 5.8 PCA caolín-esmectita.	82
Figura 5.9 Análisis de componentes principales mineral alunita A) Zona 1 B) Zona 2.	83
Figura 5.10 Análisis de componentes principales mineral alunita A) Zona 1 B) Zona 2.....	83
Figura 5.11 Análisis de componentes principales mineral caolín esmectita A) Zona 1 b) Zona 2.	84
Figura 5.12 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales alunita ,dickita y cuarzo A) Zona 1 b) Zona 2.....	85
Figura 5.13 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales alunita ,dickita y cuarzo.....	86
Figura 5.14 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales caolín-esmectita ,dickita y montmorillonita A) Zona 1 B) Zona 2	87
Figura 5.15 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales caolín-esmectita ,dickita y montmorillonita.....	88
Figura 5.16 Mapeo del ángulo espectral del mineral Jarosita A) Zona 1 b) Zona 2..	89
Figura 5.17 Mapeo del ángulo espectral del mineral Jarosita.....	90
Figura 5.18 Mapeo del ángulo espectral de las alteraciones hidrotermales:argílica avanzada;argílica intermedia y óxidos.	91
Figura 5.19 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica avanzada A) Zona 1 b) Zona 2.	92

Figura 5.20 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica avanzada A) Zona 1 b) Zona 2.....	93
Figura 5.21 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica avanzada.	94
Figura 5.22 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia A) Zona 1 B) Zona 2.	95
Figura 5.23 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia A) Zona 1 B) Zona 2.	96
Figura 5.24 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia.	97
Figura 5.25 Mapeo espectral lineal de óxidos A) Zona 1 B) Zona 2.	98
Figura 5.26 Mapeo espectral lineal de óxidos A) Zona 1 B) Zona 2.	99
Figura 5.27 Mapeo espectral lineal de óxidos.....	100
Figura 5.28 Mapeo espectral lineal de alteraciones hidrotermales	101
Figura 5.29 Zonas de alteracion Hidrotermal.....	103
Figura 5.30 Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio.	105
Figura 5.31 Mapa de targets de alteracion hidrotermal.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de depósitos de la zona de estudio	25
Tabla 3.1 Características del satélite EOS-AM1.....	38
Tabla 3.2 Características del Satelite Aster.	39
Tabla 3.3 Características de los 3 subsistemas del sensor Aster.	40
Tabla 3.4 Características del satélite Landsat 8.....	41
Tabla 3.5 Características espectrales de los sensores OLI y ETM+.....	42
Tabla 4.1 Características de la escena satelital ASTER 1.....	56
Tabla 4.2 Características de la escena satelital ASTER 2.....	57
Tabla 4.3 Características de la escena satelital LANSAT 8.....	58
Tabla 4.4 Especificaciones técnicas de le estación de trabajo.	59
Tabla 4.5 Combinación de bandas RGB Aster	63
Tabla 5.1 Combinación de bandas RGB Aster	73
Tabla 5.2 Muestras tomadas en el trabajo de campo	106
Tabla 5.3 Relación de muestras analizadas con el Terraspec.....	107

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En un proyecto minero los trabajos de prospección a diferentes latitudes están sujetos a dos variables: tiempo y dinero (Oyarzun, 2011). La teledetección satelital es una herramienta importante en la prospección de recursos minerales, se ha desarrollado con el propósito de obtener información detallada, minimizar el tiempo y los costos en la etapa de exploración. (Gonzales y otros,2012). La interpretación de imágenes multiespectrales Aster y Lansat 8 aplicadas en la prospección geológica minera, contribuye a la discriminación de diferentes tipos de: litología, minerales y unidades geomorfológicas de manera remota (Safari y otros, 2018).

Las imágenes multiespectrales brindan un paquete de información de la reflexión de la luz y las propiedades de absorción de la materia. La interacción de la energía electromagnética con la estructura cristalina superficial de cada mineral presenta rasgos característicos únicos denominadas como firmas espectrales. (Chuvieco, 1995). El análisis espectral de las imágenes Aster y Lanzar 8 a través de técnicas y metodologías de mapeo espectral permite la identificación de áreas de alteración hidrotermal y el mapeo a detalle de minerales como la illita, epidota, alunita entre otros (Safari y otros, 2018).

La zona de estudio localizada en la Sierra Austral presenta pocos trabajos de prospección mediante el análisis y tratamiento de imágenes multiespectrales para la determinación de zonas de alteración. Las características de los subsistemas: VNIR y SWIR de los sensores multiespectrales ASTER Y OLI permiten la aplicación de técnicas de composición y cociente de bandas, análisis de componentes principales y el mapeo espectral mediante el método SAM (Spectral Angle Mapper), para detectar zonas con anomalías (Safari y otros, 2018).

El sector minero se proyecta como una alternativa productiva para la reactivación económica y social del sur del Ecuador (García,2016). Es importante la investigación para el desarrollo minero en el área de estudio, por lo tanto, se plantea la aplicación de estrategias de exploración de recursos minerales de manera remota con imágenes multiespectrales para la identificación de zonas de alteración hidrotermal, que sirvan de guía preliminar para trabajos de exploración posteriores.

1.2 Justificación del problema

La prospección geológica minera tiene como objeto el reconocimiento de áreas de interés económico para la exploración avanzada en un proyecto minero. Sin embargo, las labores mencionadas involucran un alto factor económico y con frecuencia las zonas prospectables no presentan resultados prometedores, además ocasionalmente se presentan inconvenientes en los trabajos en campo debido a conflictos sociales existentes que dificultan el reconocimiento de la zona, el uso de herramientas digitales es indispensable para la realización para este tipo de trabajos.

Según el catastro minero presentado por el Ministerio de Minería del Ecuador en el año 2018, en los cantones de Girón, Nabón y Oña pertenecientes la provincia de Azuay existe cuatro concesiones mineras con potencial para convertirse en un gran distrito minero. Las franjas metalogenéticas en el Ecuador porporcionan indicios de ocurrencias mineralógicas metálicas de tipo epitermal de alta sulfuración, relacionados con Au y Cu por lo cual se plantea la utilización de herramientas de teledetección satelital para la prospección de zonas que presenten alteración hidrotermal.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Estimar zonas de alteración hidrotermal mediante la aplicación de técnicas remotas en imágenes ASTER y LANSAT8 para la prospección geológica minera.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar técnicas de mapeo espectral PCA (Principal Component Analysis) , SAM (Spectral Angle Mapper), LSU (Linear Spectral Unmixing) para la identificación de minerales de alteración hidrotermal.
- Comparar las firmas del tratamiento espectral de las imágenes Lansat 8 y Aster, con las firmas de la librería espectral de la USGS, para definir zonas de alteración hidrotermal.
- Generar un mapa de las zonas de alteración hidrotermal para delimitar posibles targets de exploración.

1.3.3 Ubicación del área de estudio

La zona de estudio está conformada por los cantones de Girón, Nabón y Oña, en el sur de la provincia de Azuay en la Republica del Ecuador, la extensión total de la zona es de aproximadamente 1.270 km² (Figura 1.1).

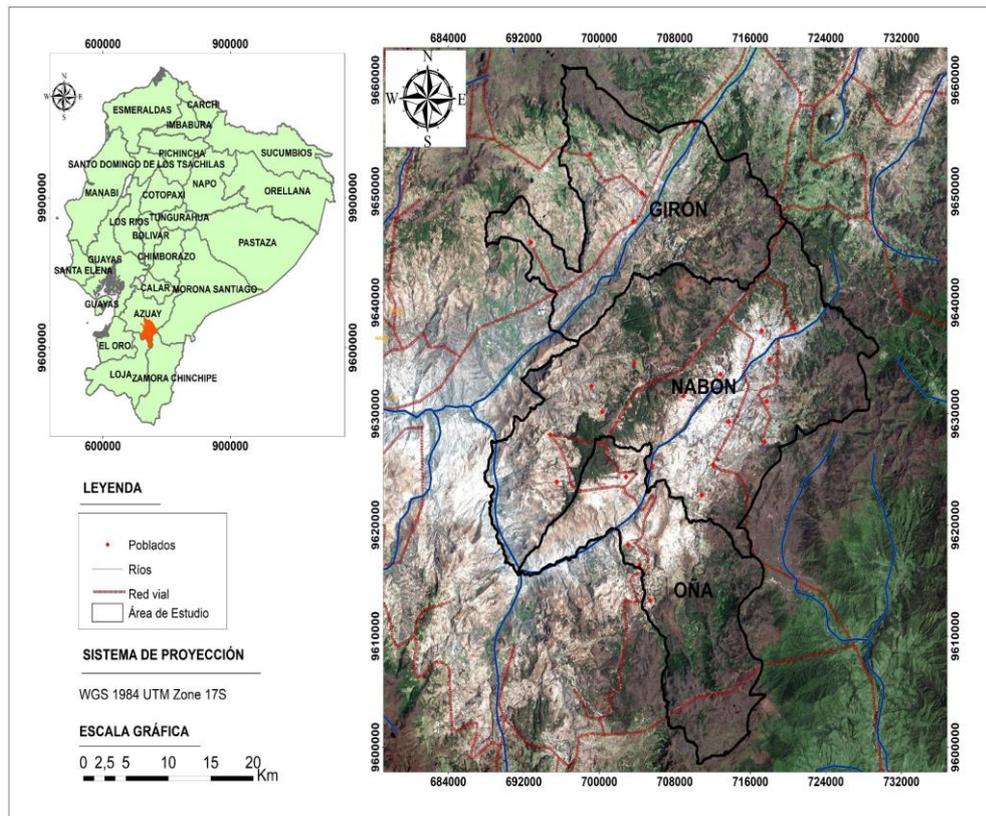


Figura 1.1 Mapa de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

La principal vía de acceso a los cantones la constituye la red vial estatal con el nombre Troncal de la Sierra (E35), dicha zona se encuentra limitada con el cantón Cuenca al Norte, el cantón Saraguro al sur y al este y oeste el cantón Yacuambi.

CAPÍTULO 2

2 MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geodinámica del Ecuador

El contexto geodinámico del Ecuador está ligado a los rasgos estructurales que se han originado debido a la disposición de las placas tectónicas del margen convergente de la zona noroccidental de América del Sur. Los principales rasgos evidentes (Figura 2.1), se encuentran asociados a la configuración de la subducción de la placas de Nazca y Sudamericana (Michaud y otros, 2009).

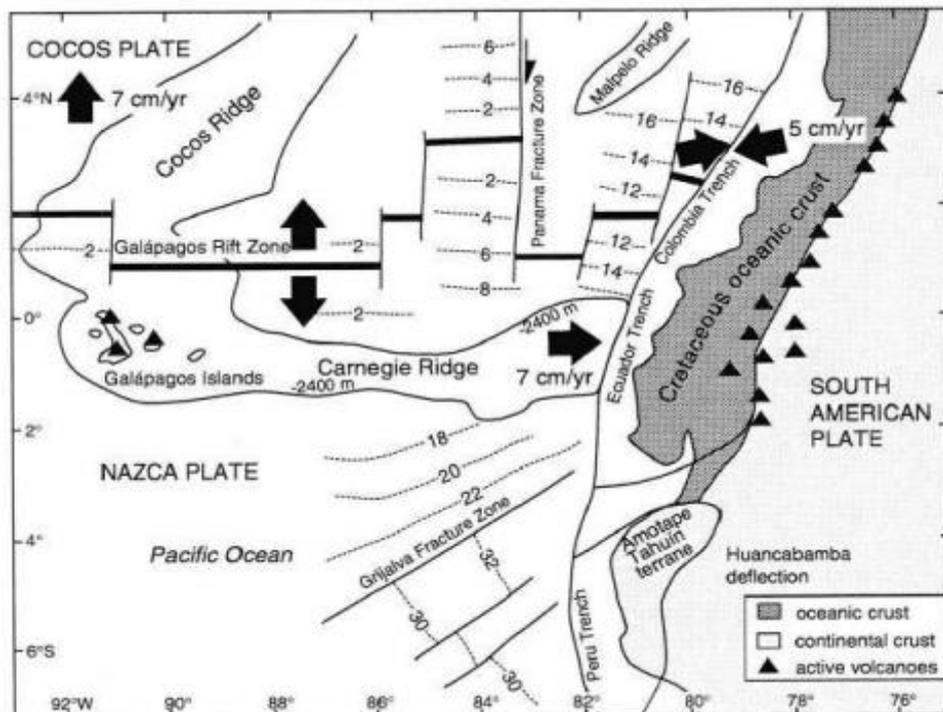


Figura 2.1 Marco geodinámico y comportamiento de placas del margen activo del Ecuador.

Fuente: Hungerbuhler y otros., 2002.

El mecanismo de subducción del Ecuador se da en sentido oeste-este la placa oceánica de Nazca subduce la Continental a una velocidad aproximada que oscila entre 5-7 cm/año (Pardo-Casas y Molnar, 1987, Gutscher et al., 1999, Michaud y otros, 2009).

Esta integración determina la morfología del margen continental debido al proceso de deformación extensional y la compresión en los Andes. La placa de Nazca se desplaza en dirección noreste a 56 mm/año (Nocquet y Mothes, 2009) y subduce al basamento oceánico de la formación Piñon de la región Costa y en la Sierra al basamento de origen volcánico de las unidades Pallatanga y San Juan (Vallejo y otros, 2009). Resultado de la colisión de nazca con el continente se produce el desplazamiento en dirección noreste del bloque norandino a una velocidad de 6 mm/año. (Nocquet y Mothes, 2009).

La ubicación del Ecuador en los Andes Septentrionales evidencia la existencia de rasgos diferentes a los Andes Centrales, de los principales cambios geológicos y estructurales se destaca: el basamento, la variación de la dirección noroeste-noreste y la acreción del bloque Nor-Andino. (Cediel y otros, 2003). La compresión del margen convergente del Ecuador ha ocasionado la separación de los terrenos alóctonos y autóctonos debido a la reactivación de estructuras del Jurásico Tardío al Paleógeno. (Guillier y otros, 2001)., provocando una deformación y división de la placa Sudamericana.

Según Gutscher y otros, (1999), la ausencia de vulcanismo en la zona Austral es provocada debido al tipo de subducción flat slab a partir de 2°S hasta Perú. El vulcanismo activo presente se debe al desplazamiento de la cordillera de Carnegie que ocasiona una subducción del tipo horizontal, el límite al sur sigue la configuración de la fractura de Grijalva, relacionada a los magmas adakíticos presentes en arco volcánico del Ecuador (Gutscher y otros, 1999).

La división actual del arco volcánico del Ecuador está determinada por la cordillera Occidental y Real separadas por el valle interandino. La cordillera Real está

compuesta de rocas metamórficas producto de la acreción desde el Jurásico (Witt, 2007).

La cordillera Occidental está formada por terrenos oceánicos alóctonos (Figura 1.2) que se han acoplado durante el Cretácico Superior y el Terciario Temprano en diferentes etapas de acreción (Allibon y otros, 2008). La acreción del terreno Pallatanga (65-84 Ma) de basamento máfico y ultramáfico. Luego la acreción del terreno Naranjal asociado a un arco volcánico de andesitas y basaltos con presencia de radiolarios. Después la acreción del terreno Macuchi (Figura 2.2) (Eoceno Medio-Tardío), secuencia volcanoclástica que predomina en la Cordillera Occidental (Eguez, 1986).

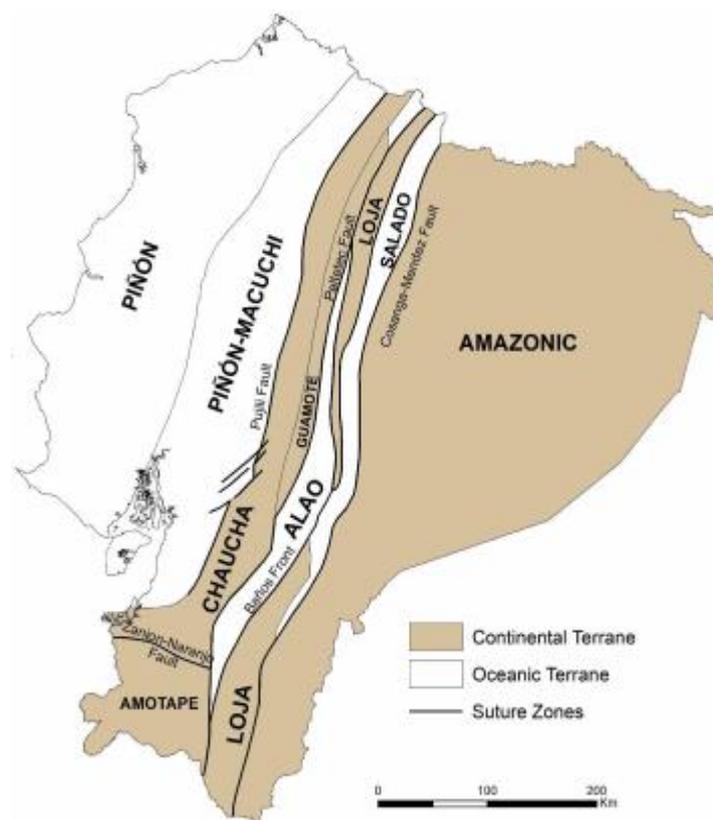


Figura 2.2 Mapa geotectónico del Ecuador.

Fuente: Litherland, M. 1994.

Durante el Mioceno Medio en el sur del Ecuador se desarrollaron varias cuencas sedimentarias (Figura 2.3) relacionadas en régimen extensivo en dirección E-W. La

serie de relleno corresponde a sedimentos volcanoclásticas que representan la evolución del arco del neógeno (Hungerbühler y otros, 2002). Las series intramontañas corresponden a las cuencas de:

- Nabón
- Girón-Santa Isabel
- Loja
- Malacatos-Vilcabamba.

Las cuencas de Girón- Santa Isabel están relacionadas con el desplazamiento del bloque Nor-andino. (Witt, 2007).

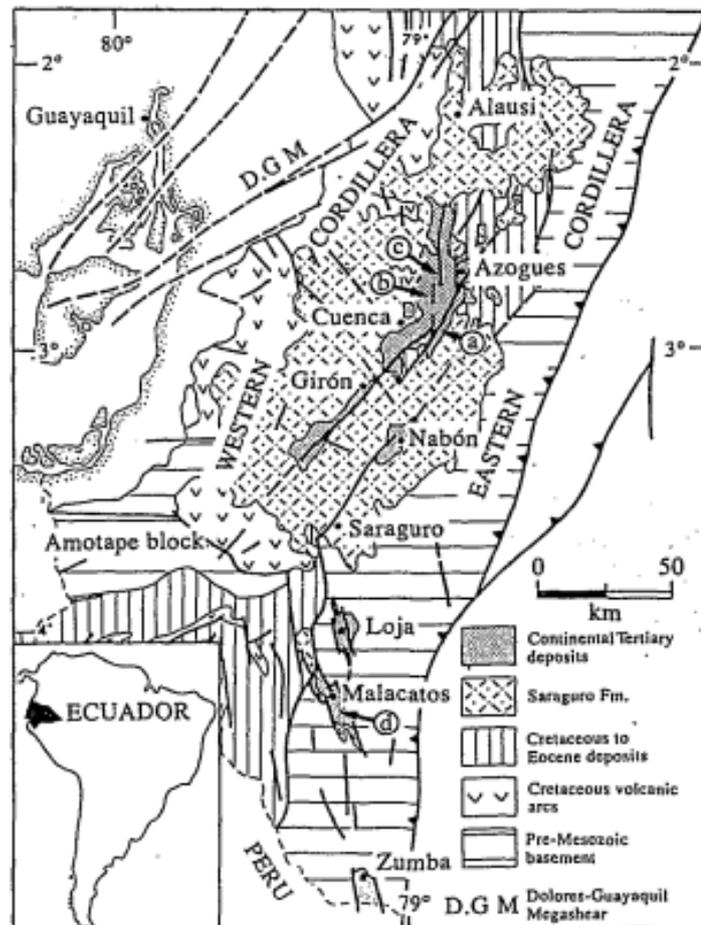


Figura 2.3 Mapa Geológico Esquemático del Sur del Ecuador.

Fuente: Lavenu y otros, 1995.

La formación de las cuencas continentales intramontañosas es una característica de los Andes sudamericanos. Ese proceso acompaña el levantamiento y la deformación del arco continental. En la parte sur del Ecuador en la convergencia de las dos cordilleras, se formaron varias de estas cuencas. El período de formación de las cuencas probablemente coincida con la subducción acelerada de la placa de Nazca. (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Daly, 1989).

2.2 Tectonismo Regional

El Ecuador se encuentra en una zona de margen activo, frente a sus costas se tiene la subducción de una placa oceánica y continental, este movimiento de subducción ocurrió aproximadamente hace 70 millones de años, inicialmente la placa de Farallón subducía a la placa continental, a través del tiempo ha generado la cordillera orogénica de los Andes además del volcanismo presente en la zona. Según Pilguer (1984) hace aproximadamente 25 Ma, se produce la rotura de la placa de Farallón en las actuales placas de Nazca y Cocos, se da inicio a la historia del Neógeno del Ecuador.

Se presentan 4 regiones tectónicas definidas: el punto caliente de Galápagos, el centro de divergencia responsable de la separación de las placas de Cocos y Nazca, la zona de subducción de la placa de Nazca que se subduce bajo el margen continental compuesto por la placa sudamericana y el bloque Norandino y por último el sistema mayor dextral definido por Chunga y otros (2009) como el límite de una colisión convergente continental que se da entre el bloque Norandino y la placa Sudamericana.

La subducción es la principal interacción que forma la compresión y deformación en los Andes y determina la morfología de la zona según lo descrito por Witt y Bourgois (2010) se da a una velocidad aproximada de 5 cm/año y se encuentra directamente influenciada por el centro de expansión de Galápagos. El movimiento de subducción ha generado diferentes resultados tanto en profundidad y superficie, y se ha mencionado con énfasis por Iglesias y otros (1991):

- Levantamientos continentales en zonas de la costa
- Fallas geológicas locales
- Hipocentros sísmicos en zonas a mayor profundidad a 150km

La cordillera de Carnegie localizada en la placa de Nazca, se originó hace aproximadamente 2 Ma por la interacción del punto caliente de Galápagos y la dorsal Cocos-Nazca (Lonsdale, 1978). Estudios posteriores de Pilger (1984) mencionan que la interacción se produjo hace aproximadamente 8 Ma. Finalmente Spikings y otros (2001) a través del análisis de tasas de convergencias mínimas y máximas sugieren que la interacción de la cordillera con el continente inició hace aproximadamente entre 15-9 Ma. Las estimaciones se han correlacionado y coinciden con lo descrito por Hungerbuhler (1997) con el desplazamiento del Bloque Nor-andino y la formación de las cuencas Pull-Apart encontradas en Manabí y Progreso.

2.3 Estratigrafía y sedimentología de las Cuencas

En la cuenca de Cuenca, las rocas que corresponden al Terciario se encuentran agrupadas en tres unidades litoestratigráficas superpuestas (Bristow 1973, Noblet y otros, 1988) (Figura 2.4).

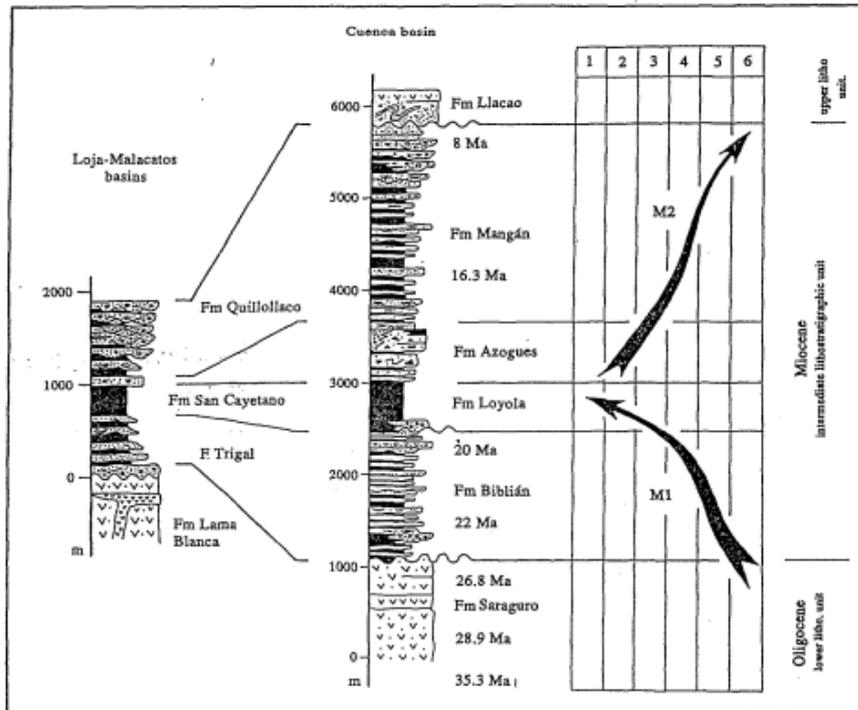


Figura 2.4 Evolución sedimentaria sintética de las cuencas de Loja, Malacatos y Cuenca.

Fuente: Lavenu y otros, 1995.

La estratigrafía de las cuencas al sur del Ecuador ha sido definida en base a la correlación de la columna estratigráfica de la cuenca de Cuenca. Se puede agrupar regionalmente en tres litoestratos superpuestos (Bristow 1973, Noblet y otros, 1988). La unidad litoestratigráfica inferior de la formación Saraguro esencialmente volcánica representa la parte superior del basamento de las cuencas. Consiste en lavas ácidas e intermedias y depósitos piroclásticos, su espesor supera los 1000 m.

La unidad litoestratigráfica intermedia se encuentra discordantemente en el basamento (Noblet y otros, 1988, Eguez y Noblet 1988) y corresponde al relleno del Neógeno de las cuencas del sur del Ecuador. Se compone de conglomerados, areniscas y lutitas. Esta unidad alcanza un espesor de hasta los 4500 m en la cuenca de Cuenca. La base de la unidad es de edad del Mioceno Temprano (Bristow 1973, Bristow y Parodiz 1982, Madden 1990).

El relleno de las cuencas intramontañas comprende sedimentos volcanoclásticas, lacustres, costeros. Las series de sedimentos se encuentran depositados de manera discordante sobre depósitos volcánicos ácidos, turbiditas en el norte y unidades metamórficas u volcánicas en el sur (Hungerbühler y Steinmann, 1996). Las series sedimentarias se han depositado en dos etapas y están diferenciadas por una discordancia angular. (10-9 Ma).

Durante el Mioceno Medio y Tardío (15-10 Ma) prevalecieron secuencias costeras pacíficas, los ambientes característicos son del tipo marino deltaico, fluviales, lacustres y lagunares. Los depósitos ocuparon varias extensiones en el sur sin embargo en la actualidad se encuentran limitadas a pequeñas ocurrencias. Sobre la discordancia angular en el Mioceno Tardío (9-5 Ma), se superpusieron depósitos fluviales y abanicos aluviales sobre las facies costeras, finalmente material volcánico aerotransportado se sobrepone sobre las facies.

Las secuencias sedimentarias del Neógeno dispuestas de manera discordante se encuentran separada por los dos eventos descritos anteriormente y estas representan las secuencias intramontañas de las Cuencas del sur del Ecuador.

2.4 Evolución de la Cordillera Occidental

El basamento de la Cordillera Occidental está relacionado al proceso de acreción Palenque-Peltetec, que afectó a las rocas del margen noroccidental de Sudamérica ocasionando la formación de fallas y la separación de los terrenos tectonoestratigráfica de la configuración metamórfica de la Cordillera Real. El margen asociado es transpresional que permite inferir la relación de rocas de melange en el terreno Chaucha (Litherland y otros, 1994).

Entre los 2° y 3° las rocas de la Cordillera Occidental que se encuentran expuestas presentan un grado de metamorfismo bajo, sin embargo, existen localidades asociadas a un grado de metamorfismo de contacto en metasedimentos hacia los

bordes de los granitoides. La presencia de metagranitos hacia el sur sugiere la complejidad del basamento metamórfico del Terreno Chaucha (BGS Y CODIGEM, 1997a).

Rocas pertenecientes al Grupo Río Gala y al Granito Pujilí suprayacen las rocas de la plateau oceánico. Las rocas del granito Pujilí surgieron probablemente como resultado de una subducción hacia el occidente debajo del plateau oceánico, la afinidad de tipo adakítica es un indicador del tipo de subducción debajo de una corteza oceánica gruesa. (Sajona et al., 1993; Niu et al., 2003; Escuder Viruete et al., 2006). Las rocas que conforman el Grupo Río Gala están compuestas por turbiditas volcanoclásticas, intercaladas con rocas basálticas formadas en un arco de islas (Vallejo et al., 2009). De acuerdo con estudios geoquímicos de elementos trazas se plantea que el arco de islas es producto de la subducción de la placa Farallón debajo del Plateau del Caribe (Vallejo y otros, 2009).

El arco volcánico Silante fue generado en el Maastrichtiano Tardío en un ambiente continental debido a la colisión de la plateau y el margen suramericano, estableciendo una nueva zona de subducción. La correlación del cambio de la composición toelítica a una afinidad calcoalcalina del Grupo Río Gala es coincidente con la subducción hacia el este de hace 65 M. Los estratos de tonalidad roja de la formación Tena en la cuenca Oriente evidencian la erosión de la Cordillera Real (Vallejo y otros, 2009).

En el Paleoceno-Eoceno se depositaron los sedimentos volcanoclásticas y siliciclásticos de las Formaciones Sanguangal y Pilaló en condiciones marinas, en paralelo se formó el arco Macuchi con aporte de sedimentos continentales como secuencia del arco Silante (Paleoceno-Eoceno), evidenciando la formación del arco en un sector cerca a la Cordillera Real. Finalmente, al este de este arco se depositaron rocas siliciclásticas de las Formaciones de Saquisilí y Apagua correspondientes al Grupo Angamarca. (Vallejo y otros, 2009).

En el Eoceno Tardío- Mioceno Temprano se produjo el fraccionamiento de la placa de Farallón en las placas oceánicas de Cocos al Norte y Nazca al Sur hace 27 Ma aproximadamente (Lonsdale y Klitgord, 1978, Lonsdale P., 2005).

2.4.1 Geología Estructural

Los dominios estructurales de Ecuador son la respuesta a la subducción de la placa oceánica de Nazca con regímenes de deformación de tipo compresional y extensional. La Cordillera Occidental está limitada al este y al oeste por fallas arraigadas profundas. Hacia el oeste está aproximadamente definida por la tendencia N-NE de las fallas Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo (Baldock, 1982), que se extiende a Colombia como la Tambo-Rao. Hacia el Este está delimitada por la zona compleja Calacalí- Pallatanga tendencia N-NE.

El Distrito Azuay se encuentra influenciado por tres tipos de fallas. (BGS Y CODIGEM, 1997a).

Fallas regionales que constituyen los límites de los terrenos litoestratigráficos y controlan las estructuras de control de los patrones magmáticos, sedimentarios y metalogenéticos.

Fallas transversales de rumbo E-W y NW-SE, que dividen los terrenos en bloques que se caracterizan por presentar erosión y ayudan a la conservación de los sistemas mineralizados.

Estructuras menores N-S, NE-SW y NNW-SSE que alojan la mineralización

Las zonas de falla de rumbo Cordillerano (NNE) de W a E son:

Pallatanga -Bulubu

Girón

Baños

2.4.1.1 Sistema de Fallas Bulubulu

Se lo conoce también como lineamiento Chaucha-Río Jerez (Pratt y otros, 1997), delimita los terrenos de Chaucha y Pallatanga. Hacia el norte del Distrito de Azuay Una estrecha banda de la Unidad Pallatanga se ha levantado dentro de la zona de falla y superpuesta a la cobertura del Grupo Saraguro inferior. Al sur tienden a bifurcarse como un cinturón de buzamiento alto hacia el este en las tobas del Grupo Saraguro.

2.4.1.2 Sistema de Fallas Girón

Se encuentra aún activo consiste en pliegues apretados, fallas inversas y también cabalgamientos en dirección N-NE y yuxtaponen el terreno Chaucha y Alao. Al sur converge con la falla de Baños en el sector donde toma la denominación de falla de las Aradas. Hacia el norte se la conoce también como falla Peltetec. La falla de Girón es una estructura de falla inversa que buza al SE y cabalga las capas de Saraguro y Sacapalca y sobre las andesitas de Santa Isabel y el grupo Ayancay, que en su extremo sur se une con los cabalgamientos al Este del Sistema de Fallas de Jubones.

2.4.1.3 Sistema de Fallas Baños

Se la conoce también como falla de Catamayo. En el sector de Catamayo es una falla inversa que cabalga los metasedimentos de la división Loja, está sobre las andesitas de Sacapalca y la Formación de Catamayo. Hacia el Norte Kennerley (1973) la describió como una falla normal de borde de graben. Se evidencia como una zona de cizalla dentro de las rocas metamórficas, es difícil de delinear debido a que se encuentra bajo una cobertura cenozoica.

Los indicadores cinemáticos y los estilos de mineralización indican que existen cabalgamientos orientados hacia el este de edad Pre-Cenozoica que posteriormente tomaron movimientos de dirección dextral (Litherland y otros, 1994)

2.4.1.4 Cinturón de Garañin

Tiene una dirección NE, desde Zamora en el sur hasta el centro volcánico de Quimsacocha. Está compuesta por una serie de fallas sindeposicionales que ejercen control sobre el volcanismo regional y la metalogénesis. Las fallas transversales de dirección E-W incluyen los sistemas de fallas de Piñas-Portovelo y Jubones en los terrenos Chaucha y río Margarita, río Tenguel, río Chico y la Quebrada Paredones en el terreno Pallatanga.

2.4.1.5 Sistema de Fallas Piñas Portovelo

En el Norte yuxtaponen los estratos descendientes de Saraguro con el Complejo Metamórfico de El Oro. Según Pratt y otros, (1997) se estima un desplazamiento vertical entre Piñas y Zaruma de 3 km. Al sur se presentan cabalgamientos que buzan hacia el norte y hacia el este una extensión de la falla se encuentra con el sistema de fallas de Girón.

2.4.1.6 Sistema de Fallas de Jubones

Yuxtaponen los basaltos de la Unidad Pallatanga que se encuentran con el Complejo Metamórfico de El Oro. Divide en el Terreno Pallatanga los subdistritos de Pucará Alausí y el Oro, característico por depósitos epitermales. Se ha interpretado como una falla inversa hacia el norte sin embargo (Pratt y otros, 1997) sugiere un movimiento siniestral.

2.5 Geología Local

La zona de estudio se encuentra dentro de Distrito Azuay que abarca todo el espesor de la Cordillera Occidental. La estratigrafía está caracterizada por diferentes unidades geológicas que se encuentran en las hojas geológicas de: Gualaquiza, Girón, Saraguro y Sigsig escala 1:100.000 (Figura2.5)

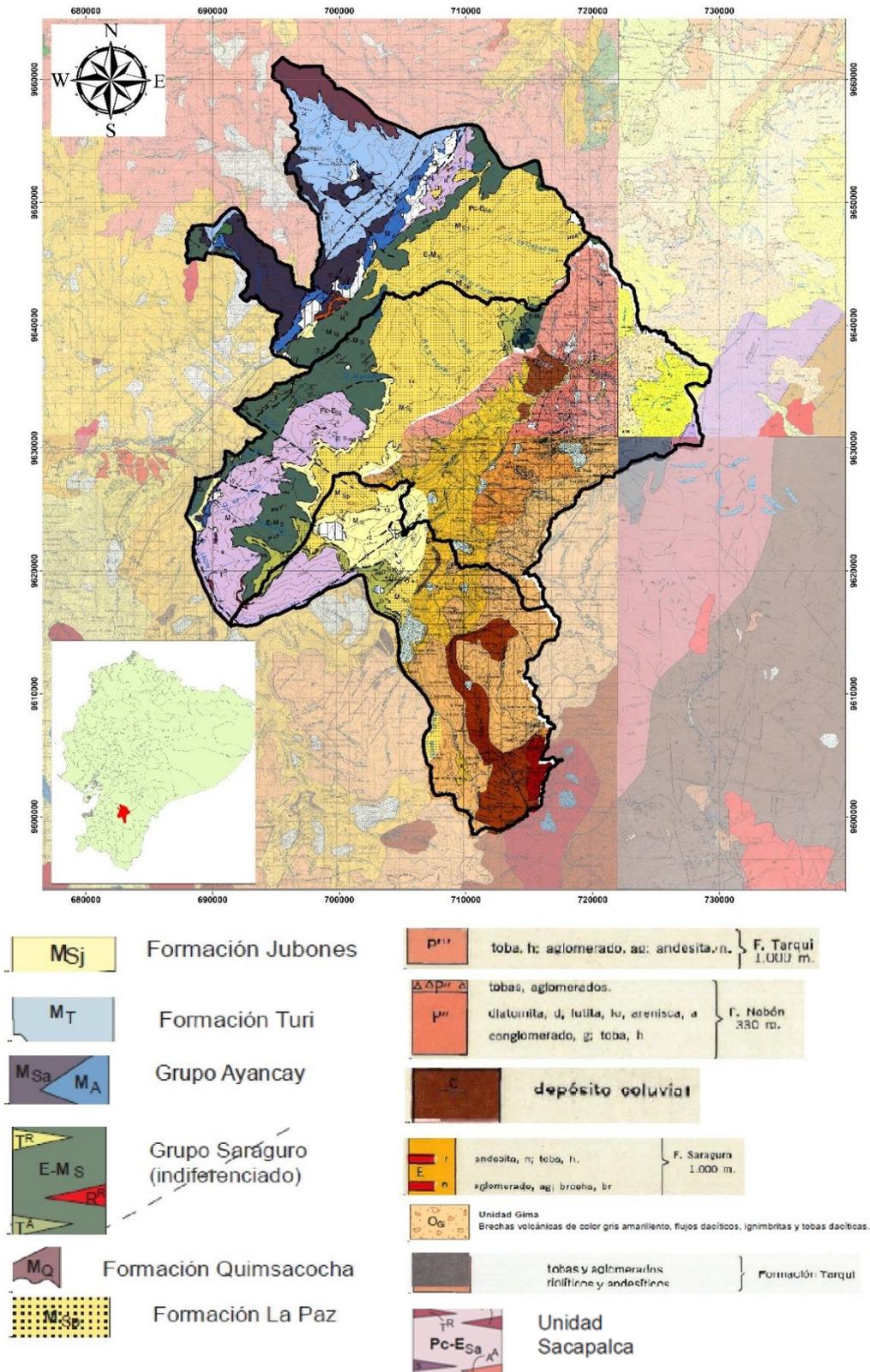


Figura 2.5 Mapa geológico de la zona de estudio.

Fuente: Modificado de Pratt y otros, 1997.

2.5.1 Rocas metamórficas (Jurásico)

Según Aspden y otros (1995) corresponde a rocas que se encuentran bajo materiales volcánicos más recientes. Los afloramientos se localizan en superficies erosionadas por la actividad del sistema de Fallas Jubones. Presentan un grado de metamorfismo variable en San Pablo de Cebadas y Manú, un metamorfismo bajo en rocas metasedimentarias hasta un grado superior con la presencia de granates. Hacia el Este se da un declive en el grado de metamorfismo con la transición las biotitas y andalucitas a turbiditas no metamorizadas en los estratos (Pratt y otros., 1997).

2.5.2 Unidad Sacapalca (Paleoceno a Eoceno Temprano).

Según Pratt y otros (1997) la unidad está compuesta de brechas tobáceas, lutitas lacustres, lavas andesíticas. En el sinclinal de Chuquiribamba se da una sección de 3 km.

2.5.3 Formación Saraguro (Eoceno Tardío-Mioceno Medio)

Según Dunkley y Gaibor (1997) la formación está compuesta por la sucesión de material volcánico de tipo aglomerados, andesitas, ignimbritas, lavas andesíticas y riolíticas, se encuentra de manera subhorizontal y descansa discordantemente sobre la formación Piñón en la zona.

2.5.4 Formación Jubones (Mioceno Temprano)

Según Pratt y otros (1997) la formación sobreyace los estratos más antiguos del grupo Saraguro, rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Es un ignimbrítica de poco a densamente soldada y un depósito de oleaje basa con árboles silicificados, presenta un espesor aproximado de 500m.

2.5.5 Formación La Paz (Mioceno Temprano)

Pratt y otros (1997) discriminan dos formaciones parecidas a la formación Jubones, la formación La Paz y la formación La fortuna. El principal afloramiento se encuentra limitada por el sistema de fallas Girón, la formación está compuesta de ignimbríticas de poco a densamente soldada en cristales de cuarzo y plagioclasas. Presenta un espesor máximo de 400m.

2.5.6 Grupo Ayancay (Mioceno-Plioceno)

Según UNDP (1969c) el grupo Ayancay procede de un origen fluvial y está constituido por areniscas y limolitas, se presentan pequeñas capas de carbón conglomerados. Descansa de manera inconforme sobre el Grupo Saraguro y por encima de esta se encuentra la Formación Turi.

El grupo exhibe un afloramiento de gran espesor en el sector W de la Cuenca, además presenta un afloramiento menor en el sinclinal de Azoques . Se extiende desde Ingapirca en el Norte hasta el NW de Saraguro en el S. Se encuentra concordante sobre la Formación Azogues y sobrepuesta por la Formación Turi.

2.5.7 Formación Turi (Mioceno Tardío)

Según Erazo (1957) la formación Turi se encuentra compuesta por rocas sedimentarias fluviales areniscas y conglomerados andesíticos los cuales se encuentra estratificados de manera horizontal. Esta formación descansa de manera inconforme al grupo Saraguro y en discordancia angular sobre el grupo Ayancay, Bristow y Parodiz (1982) considera esta formación perteneciente al Pleistoceno.

La formación se extiende desde Suscal al NW de Cañar, a lo largo del flanco occidental de la cuenca de Cuenca hasta el SW de Girón. En la parte central de la formación los sedimentos están constituidos de limos y limolitas. Al norte de Biblián, aumenta la presencia de material volcánico aumentando de potencia. La formación se encuentra bien estratificada.

2.5.8 Formación Andesita Quimsacocha (Mioceno Tardío)

Según Pratt y otros (1997) se encuentra sobre la formación Turi alrededor de la caldera de Quimsacocha, formada por estratos de lavas fíricas de plagioclasas muy frescas. Es un afloramiento radial y con buzamientos suaves.

2.5.9 Formación Nabón (Mioceno Superior)

Según UNDP (1969c) ocupa la parte Sur-Este de la Cuenca de Nabón. La base de la Formación está compuesta por tobas estratificadas y descansa discordantemente sobre la formación Saraguro. Los depósitos de ceniza de grano fino presentan una tonalidad de color rosadas y blancas y capas de lapilli, presenta fragmentos de rocas metamórficas, esquisto y cuarzo. La formación Nabón se encuentra ligeramente plegada formando un sinclinal cuyo eje se encuentra hacia el NNE.

La formación Nabón se divide en tres miembros: un miembro basal que está compuesto por tobas estratificadas tiene un espesor aproximado de 40 m. Un miembro medio constituido de sedimentos (areniscas, conglomerados, limolitas, diatomitas y lutitas, tiene un espesor de 130m que aflora al E de la cuenca.

2.5.10 Formación Tarqui (Mioceno Tardío)

Según UNDP (1969c) la Formación se encuentra sobre la Cuenca de Nabón, separada por una discordancia angular de la Formación Turi, posee un espesor aproximado de 1000 m(Goossen,1972), las zonas inferiores de la formación se encuentran estratificadas, posee una ligera inclinación hacia el Este. Esta formación consiste principalmente en material piroclástico.

Hungerbühler (1997), describe a la formación como una serie de varios depósitos volcánicos del Mioceno tardío. Se incluyen en esta formación los Miembros Tarqui, Llaqueo y Tambo Viejo. Esta formación consiste principalmente de material piroclástico con composición ácida. (Pratt y otros, 1997). La litología incluye depósitos de ceniza que se encuentran intensamente meteorizadas caolinizadas con tonalidades blancas y rojas (BGS Y CODIGEM, 1997).

2.6 Geomorfología

El Ecuador se encuentra dividido por la cadena orogénica denominada Cordillera de los Andes, Esta cadena divide al Ecuador en tres regiones principales que presentan diferentes provincias geológicas (Vallejo,2011).

- Costa o región Litoral
- La Sierra o Cordillera Andina
- Oriente o región Amazónica

La Costa es una región de bajo relieve que se encuentra al Occidente de los Andes y constituye una cuenca de Antearco del Cretácico tardío al Cenozoico, está compuesta por una serie de cuencas subyacentes por corteza oceánica que se encuentra expuesta en las cordilleras costeras (Jaillard y otros, 1997).

La Cordillera Andina está conformada por dos cadenas montañosas subparalelas que se encuentran separadas por un graben central hacia el este la Cordillera Real está dominada por cinturones de rocas metamórficas, que se encuentran intruidas por granitoides del Mesozoico del tipo S y de tipo I, se encuentran cubiertos por depósitos volcánicos del Cenozoico (Pratt.y otros , 2005).

La Cordillera Occidental está dominada por rocas basálticas, volcanoclásticas del Mesozoico Tardío al Cenozoico relacionadas a los terrenos oceánicos acresionados y turbiditas clásticas que se encuentran intruidas por granitoides y sobreyacidas por secuencias volcánicas de margen continental (Pratt y otros , 2005). El graben interandino es una estructura dispuesta de manera extensional rodeada de fallas activas, se encuentran extensas secuencias volcanoclásticas y volcánicas de edad Terciarias a recientes (Villagómez D., 2003).

La Región Amazónica está constituida por una cuenca sedimentaria del Mesozoico al Cenozoico, está constituida por una serie de plataforma carbonatada, sobreyaciendo a un cratón más antiguo. Tanto el basamento como la cobertura se encuentran intruidas por granitoides, a lo largo de la compleja zona subandina que yace entre el Oriente y la Sierra (Litherland y otros, 1994).

La zona de estudio comprendida entre los cantones de Girón, Nabón y Oña presenta un relieve irregular de montaña (Figura 2.6). El cantón Girón se caracteriza por colinas con cimas redondeadas, la altura oscila entre 3.000 a 3.800 m.s.n.m. El relieve es relativamente homogéneo de tierras frías andinas, tiene relación con los modelos glaciares de las vertientes interandinas de transición gradual. Los principales afluentes son los ríos Girón, Rircay y Jubones (SIGTIERRAS,2015).

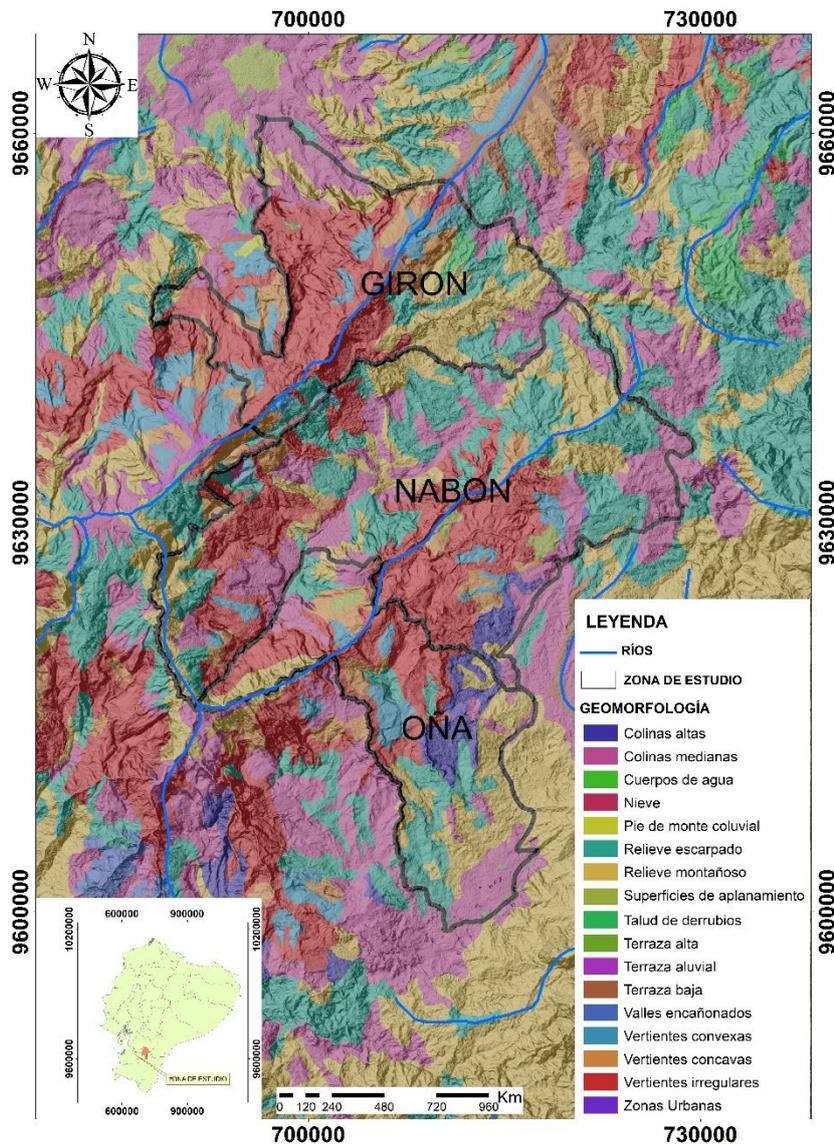


Figura 2.6 Mapa Geomorfológico de la zona de Estudio.

Fuente: Elaboración propia.

El cantón Nabón presenta un relieve que varía entre 1.000 y 3800 m.s.n.m, las geoformas están asociadas a colinas medianas de origen volcánico. Las vertientes son irregulares de relieves inferiores característicos de las cuencas interandinas. Los paisajes de páramo de modelo glaciar se encuentran en un espacio muy limitado sin embargo distribuido en el cantón hacia el centro y el oriente (SIGTIERRAS,2015).

El cantón Oña presenta un dominio genético glacial y preglacial, las geoformas se encuentran relacionadas con depósitos glacial influenciado por la acción fluvial. Las cimas frías características de las Cordilleras Occidental y Real oscilan entre 2.180 y 3.300 m.s.n.m. En los sistemas fluviales de León y Oña se identifica valles en forma de V y encañonamientos. (SIGTIERRAS,2015).

2.6.1 Geología Económica

En el área de estudio existen varias concesiones mineras relacionadas con ocurrencias minerales metálicas, en la franja metalogenética Epitermal de Au-Cu del Oligoceno -Mioceno (Figura 2.7). El control geológico estructural está dado por la Falla Ingapirca en dirección NW-SE. Al Norte en el cantón Girón se encuentra el depósito de Loma Larga y el prospecto Tres Lagunas y al sur en el cantón Oña el prospecto Yacuambi (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Tipos de depósitos de la zona de estudio

DEPÓSITO	TIPO DE DEPÓSITO	RECURSO MINERAL	ESTADO
Loma Larga	Epitermal de alta sulfuración	Au- Ag	Depósito
Tres Lagunas	Epitermal de alta sulfuración	Au	Prospecto
Yacuambi	Epitermal	Au	Prospecto

Fuente: INIGEMM, 2018

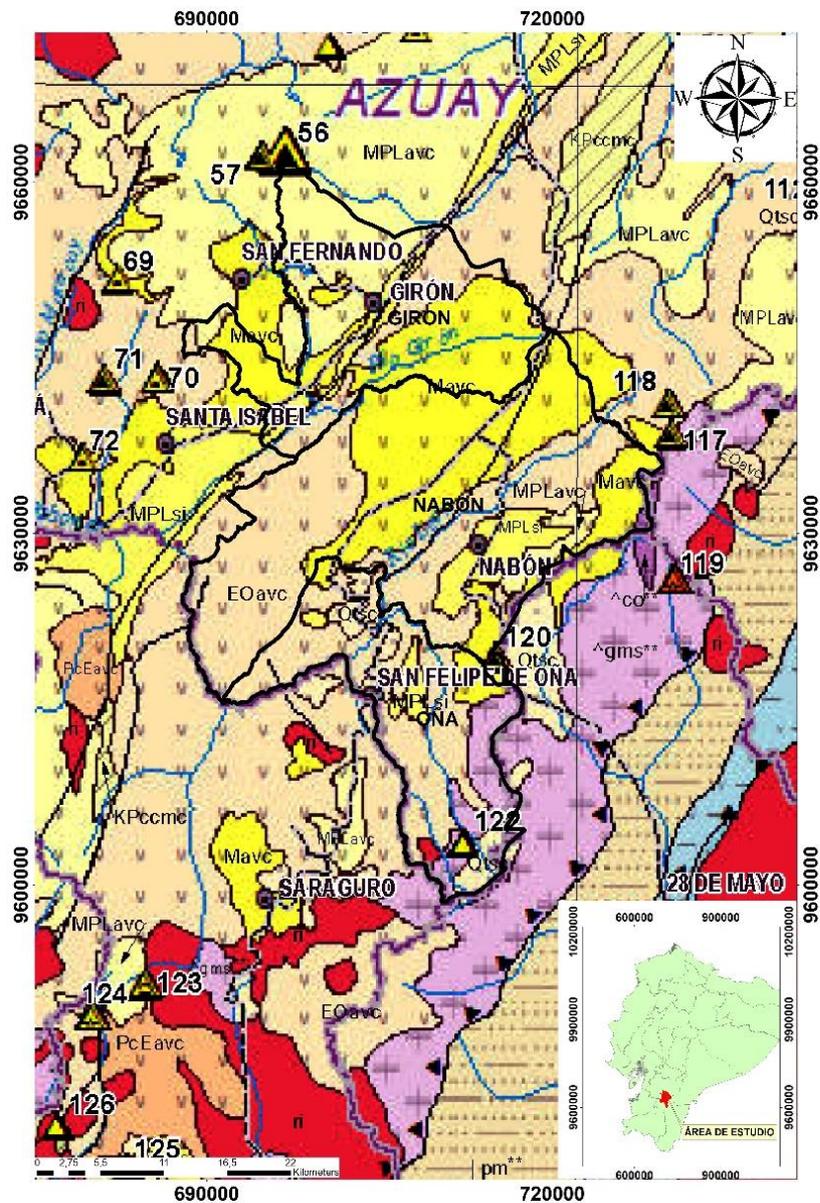


Figura 2.7 Mapa Metalogénico del Ecuador.

Fuente: INIGEMM,2018.

CAPÍTULO 3

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Alteración hidrotermal

El proceso de alteración hidrotermal es el intercambio químico producido durante una interacción fluido hidrotermal-roca. La interacción conlleva cambios mineralógicos, texturales y químicos en las rocas en respuesta a la variación físico-química ocasionado por la acción de las soluciones hidrotermales circundantes. Una alteración hidrotermal puede ser considerada como de metasomatismo ,en un sistema termodinámico abierto (Townley, 2001).

Una de las manifestaciones de las soluciones hidrotermales son las alteraciones y los yacimientos minerales. Las características y los procesos de reacción de las soluciones hidrotermales se ven plasmados en la formación de yacimientos minerales. Las alteraciones hidrotermales constituyen una excelente guía para la exploración y ubicación de nuevos yacimientos minerales además para la formulación del modelo genético del yacimiento (Townley,2001).

Desde la roca fuente donde se originan las soluciones hidrotermales se da un proceso de migración a través de las fracturas y poros de las rocas encajonantes que se encuentran intercomunicadas. La composición química de las soluciones varía a lo largo de su recorrido, se dan procesos de disolución, reemplazamiento y precipitación de minerales a diferentes condiciones de temperatura, presión, pH y Eh. Cada zona presenta una variación de minerales específicas y texturas que permiten el reconocimiento de condiciones de su formación (Townley, 2001).

3.1.1 Factores que controlan la alteración hidrotermal

De los factores que intervienen en el proceso de alteración y controlan la intensidad de la alteración hidrotermal según Townley (2001), los más importantes destacados son:

- **Temperatura**

Se da la diferencia de temperatura entre la roca y el fluido que ingresa: conforme más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original (Townley, 2001).

- **Composición del fluido**

El pH del fluido hidrotermal: conforme más bajo el pH es decir un fluido más ácido mayor será el efecto sobre las mineralogías originales (Townley, 2001).

- **Permeabilidad de la roca**

A mayor permeabilidad de la roca se dará mayor ingreso de los fluidos hidrotermales a la roca. Una roca compacta y con poca permeabilidad no permitirá el ingreso de los fluidos hidrotermales y no se darán los efectos de la alteración (Townley, 2001).

3.1.2 Duración de la interacción del agua y roca .

Conforme el volumen de aguas calientes que circula por la roca sea mayor, los cambios mineralógicos en las rocas serán más completos (Townley, 2001).

- **Composición de la roca**

La proporción de los minerales es relevante para grados de intensidad menor, debido a la distinta susceptibilidad a la alteración, sin embargo, en procesos de alteración intensa la mineralogía es independiente de la roca original (Townley, 2001).

- **Presión**

Controla los procesos secundarios de la alteración hidrotermal como la profundidad de ebullición de fluidos, el fracturamiento y la generación de brechas hidrotermales (Townley, 2001).

3.1.3 Procesos resultantes de la alteración hidrotermal

Durante la alteración hidrotermal se dan los siguientes procesos:

- **Deposición Directa**

Los minerales se depositan de manera directa a partir de las soluciones hidrotermales a través de las discontinuidades y fallas de la roca (Townley, 2001).

- **Reemplazo**

Los minerales inestables al ambiente hidrotermal son reemplazados por minerales estables en las nuevas condiciones (Townley, 2001).

- **Lixiviación**

Los fluidos hidrotermales al atravesar las rocas extraen los componentes químicos de modo que la roca es deprimida en esos componentes (Townley, 2001).

3.1.4 Tipos de alteraciones hidrotermales

Townley (2001) presenta los tipos de alteraciones más comunes y sus respectivos sistemas hidrotermales (Figura 3.1).

- **Alteración potásica**

Los minerales esenciales son feldespatos, moscovita, biotita secundaria, presenta minerales accesorios como cuarzo, magnetita, clorita, sericita (Townley, 2001).

- **Alteración propilítica**

Caracterizado por la presencia de clorita y epidota, ausencia de un apreciable metasomatismo de tierras alcalinas, presenta minerales accesorios como cuarzo, magnetita, illita (Townley, 2001).

- **Albirtización**

Está asociada con la alteración Propilítica a alta temperatura, con reemplazo de plagioclasas y actinolita. Se interpreta como una alteración temprana en etapas tardías de la cristalización del magma (Townley, 2001).

- **Alteración fílica**

Se caracteriza principalmente por cuarzo y sericita asociado con minerales accesorios como clorita, illita y pirita (Townley, 2001).

- **Alteración argílica moderada**

Presencia de arcillas tipo caolín y cuarzo en mayor o menor concentración (Townley, 2001).

- **Alteración argílica avanzada**

Alteración supérgena, caracterizado por cuarzo residual con o sin presencia de alunita, jarosita, caolín, pirofilita y pirita (Townley, 2001).

- **Alteración carbonatada**

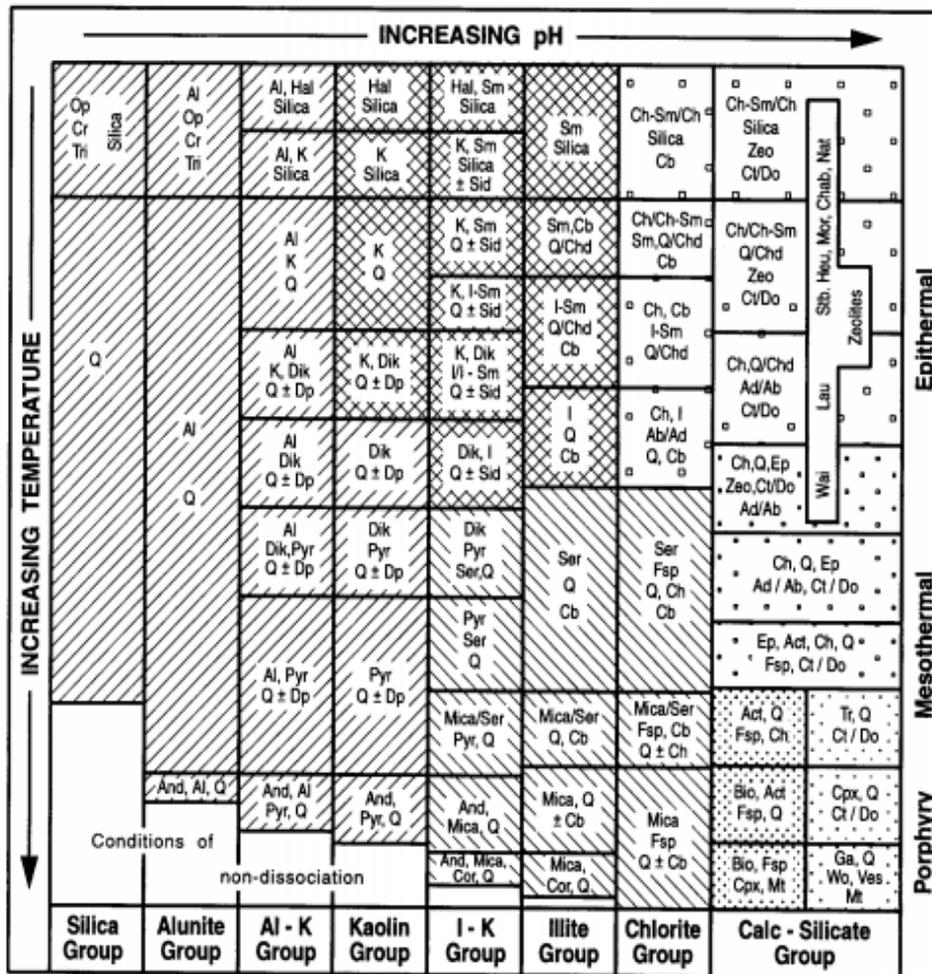
Formación de carbonatos secundarios en la roca caja de depósitos epigenéticos. En rocas básicas se produce el fenómeno de ankeritización y en calizas dolomitización (Townley, 2001).

- **Alteración Calcosilicatada**

Depende de la roca huésped, silicatos de Ca y Mg , calizas o dolomitas (Townley, 2001).

- **Alteración tipo greissen**

Se caracteriza por la asociación de feldespato, cuarzo, moscovita, topacio o turmalina (Townley, 2001).



Mineral Abbreviations :

Ab - albite; Act - actinolite; Ad - adularia; Al - alunite; And - andalusite; Bio - biotite; Cb - carbonate (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch - chlorite; Chab - chabazite; Chd - chalcedony; Ch-Sm - chlorite-smectite; Cor - corundum; Cpx - clinopyroxene; Cr - cristobalite; Ct - calcite; Do - dolomite; Dik - dickite; Dp - diaspore; Ep - epidote; Fsp - feldspar; Ga - garnet; Hal - halloysite; Heu - heulandite; I - illite; I-Sm - illite-smectite; K - kaolinite; Lau - laumontite; Mt - magnetite; Mor - mordenite; Nat - natrolite; Op - opaline silica; Pyr - pyrophyllite; Q - quartz; Ser - sericite; Sid - siderite; Sm - smectite; Stb - stilbite; Tr - tremolite; Tri - tridymite; Ves - vesuvianite; Wai - wairakite; Wo - wollastonite; Zeo - zeolite

- | | | |
|--|--|--|
|  Potassic |  Propylitic |  Outer / Sub Propylitic |
|  Skarn |  Argillic |  Advanced Argillic |
|  Phyllic | | |

Figura 3.1 Minerales de alteración común en sistemas hidrotermales.

Fuente: Corbett y Leach, 1998.

3.2 Fundamentos de la teledetección

Según Chuvieco (1995) la teledetección es la observación a distancia de un objeto el cual se encuentra sobre la superficie de la tierra haciendo uso de un sensor remoto, y para que esta observación sea posible, se necesita que entre los objetos observados y el sensor exista algún tipo de interacción de allí nace el concepto del flujo energético el cual representa la interacción entre ambos (Figura 3.2).

Chuvieco (1995) ha definido este flujo energético como la forma por la cual el sensor remoto obtiene la información de ese objeto y se da de 3 maneras: por Reflexión(i), por Emisión(ii) y por Emisión-Reflexión(iii).

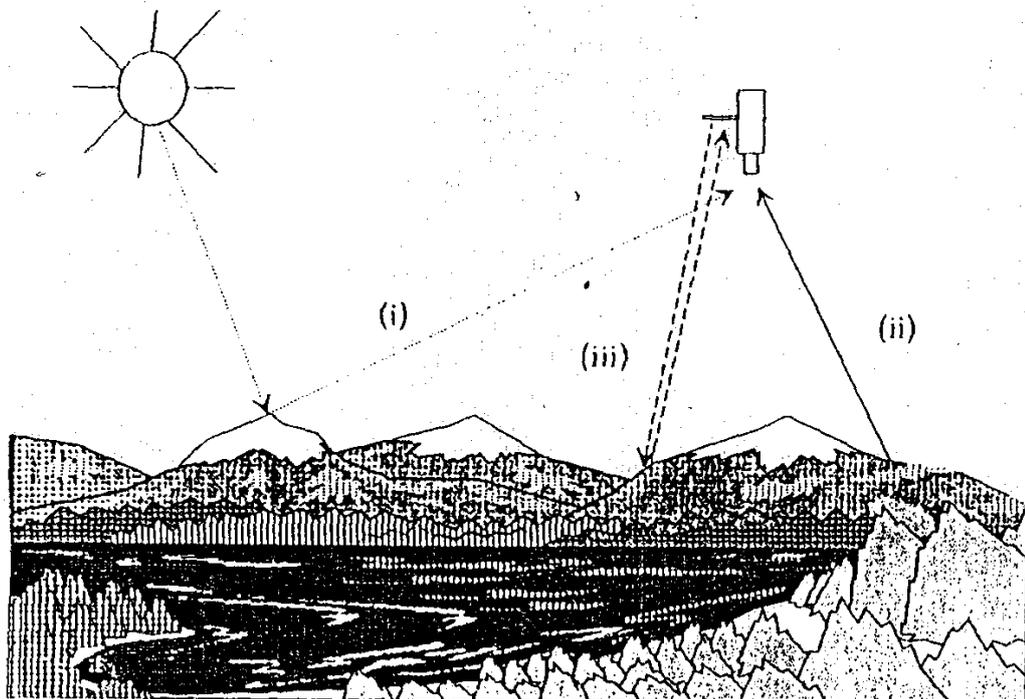


Figura 3.2 Tipos de flujos energéticos.

Fuente: Chuvieco,1995.

La primer forma de obtención de información en la teledetección tiene como protagonista a la luz del sol, la cual al ser reflejada sobre un objeto en la superficie

terrestre se convierte en información que un sensor remoto puede utilizar, la segunda forma parte de objetos o zonas que poseen energía propia emitida y puede ser receptada y por último la tercera de estas es aquella en la que el propio sensor es capaz de emitir un flujo energético propio para posterior a esto recoger su reflexión sobre algún objeto en la superficie terrestre (Chuvieco, 1995).

Independiente de estos 3 casos, este flujo energético siempre representara una forma de radiación electromagnética, y para poderla entender sus propiedades se hace uso de la teoría de Huygen, Maxwell en la cual la concibe como un haz ondulatorio y la teoría de Planck, Einstein en la cual se la considera como una sucesión de unidades discretas de energía o teoría cuántica. (Chuvieco, 1995).

3.2.1 Espectro electromagnético

Chuvieco (1995) define como la organización de una serie de bandas en las cuales radiación electromagnética tiene un comportamiento similar. El espectro electromagnético lo conforman desde las longitudes de onda más cortas como los rayos gamma hasta las longitudes de ondas kilométricas La unidad de las ondas más cortas se las mide en micras y las más largas en centímetros o metros. (Figura 3.3). Las bandas más frecuentes que se emplean en la teledetección mencionadas por Chuvieco (1995) son:

- **Espectro visible**

Se denomina así porque puede ser percibido con nuestros ojos y está en el rango de 0,4 a 0,7 micras.

- **Infrarrojo cercano**

Su rango de longitud de onda va de 0,7 a 1,3 micras, se lo conoce también como infrarrojo reflejado. Muy usado para distinguir masas vegetales y concentraciones de humedad.

- **Infrarrojo medio**

Con un rango de longitud de onda de 1,3 a 8 micras, en este espectro se mezclan los procesos de emisión de la superficie y reflexión de la luz solar.

- **Infrarrojo lejano**

Posee un rango de longitud de onda de 8 a 14 micras, también conocido como infrarrojo térmico, aquí se encuentran la energía emisiva de la tierra, este detecta el calor proveniente de la superficie de la tierra. Micro-ondas con rango mayor a 1 milímetro, esta presenta grandes intereses por que esta atraviesa la cubierta nubosa.

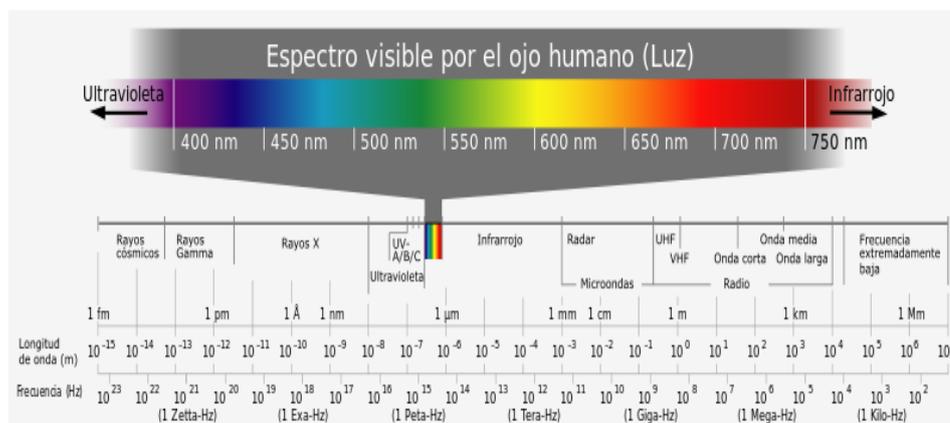


Figura 3.3 Espectro electromagnético.

Fuente: Frenzel y otros, 2003.

3.3 Tipos de resoluciones

Estes y Simonett (1975), definen a la resolución del sistema de un sensor como la capacidad para registrar y discriminar la información a detalle que depende del efecto combinado de sus distintos componentes. El concepto engloba : espacial, espectral, radiométrica y temporal.

- **Espacial**

Hace referencia al objeto de menor tamaño que puede ser distinguido sobre una imagen, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía (Chuvieco,1995).

- **Espectral**

Indica la cantidad y ancho de las bandas espectrales que pueden ser diferenciada por el sensor (Figura 3.4). Mientras un sensor posea más bandas del espectro, facilita la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvieco,1995).

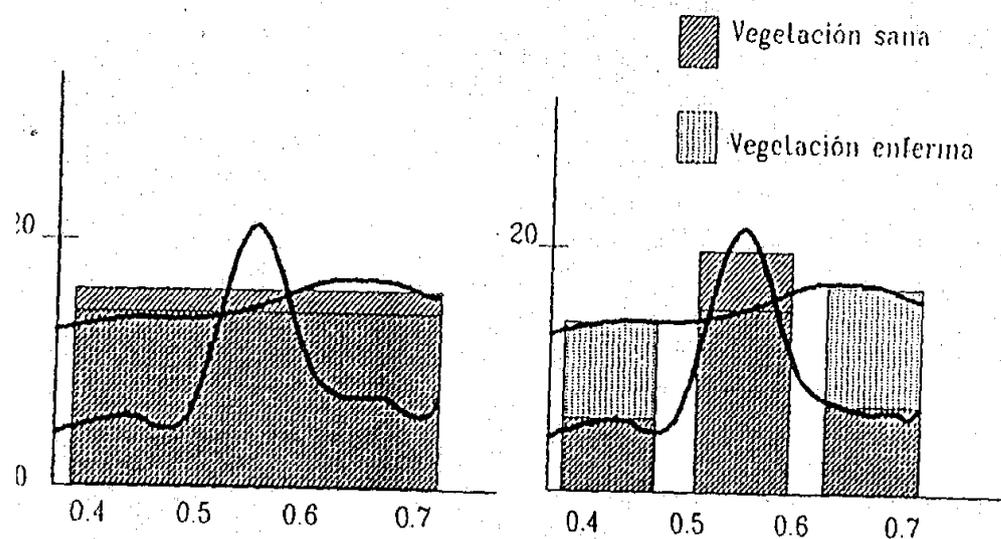


Figura 3.4 Efecto de la resolución espectral en la discriminación de cubiertas.

Fuente: Chuvieco,1995.

- **Radiométrica**

Este tipo de resolución permite el reconocimiento de la sensibilidad del sensor para poder detectar las variaciones de la radiancia espectral. Indica el número de niveles digitales o de gris que el sensor puede identificar (Chuvienco,1995).

- **Temporal**

Se refiere a la frecuencia de adquisición de imágenes de la misma cobertura de la superficie. Esta depende de las especificaciones de cada plataforma (velocidad, inclinación, altura) (Chuvienco,1995).

3.4 Sensor ASTER

El sensor ASTER fue seleccionada por la NASA para volar en el satélite EOS-AM1 en junio del 1998, la función principal designada es tomar coberturas de un amplio espectro desde el visible hasta el infrarrojo térmico. Su órbita circular se encuentra a 705km de altitud y tiene una órbita sincrónica con el sol a una hora local de 10:30am cada 16 días.

Tabla 3.1 Características del satélite EOS-AM1.

FEATURES EOS-AM1 SATELITE	
Orbit	Sun Synchronous Descending
Semi-major axis (Mean)	7078 km
Eccentricity	0.0012
Time of day	10:30 ±15 min. Am
Altituderange	700 - 737 km (705 km at equator)
Inclination	98.2° ± 0.15°
Repeatcycle	16 days (233 revolutions/16days)
Distance between adjacent orbits	172 km
Orbit period	98.9 min
Orbit position knowledge	±150m/3 axes, 3σ
Repetitionaccuracy	±20 km, 3σ

Fuente: ASTER Science Team, 1996.

El sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) cuenta con la capacidad de adquirir imágenes de 60x60 Km, son captadas desde un rango de altitud promedio entre los 700-737 km siendo en el ecuador de 705km, este sensor posee una cobertura espectral en el rango de los 0.52 a 11.65 micrómetros (Figura 3.6).

Tabla 3.2 Características del Satélite Aster.

FEATURES ASTER SENSOR	
Spectral coverage	0.52 - 11.56
Spatial Resolution	15 m (Bands 1 - 3)
	30 m (Bands 4 - 9)
	90m (Bands 10 - 14)
Radiometric resolution	$\leq 0.5\% \text{ NE}\Delta\rho$ (Bands 1 - 3)
	$\leq 0.5 - 1.3 \% \text{ NE}\Delta\rho$ (Bands 4 - 9)
	$\leq 0.3\text{K NE}\Delta T$ (Bands 10 - 14)
Absolute radiometric accuracy	$\leq \pm 4\%$
	$\leq 3 \text{ K}$ (200 - 240 K)
Absolute temperature accuracy	$\leq 2 \text{ K}$ (240 - 270 K)
	$\leq 1 \text{ K}$ (270 - 340 K)
	$\leq 2 \text{ K}$ (340 - 370 K)
	8 bits (Bands 1 - 9)
Signal quantization levels	12 bits (Bands 10 - 14)
	0.6 (along track)
Base-to-height ratio of stereocapability	0.6 (along track)
Swath width	60 km

Fuente: ASTER Science Team, 1996.

El sensor ASTER consta de 14 bandas distribuidas dentro del rango espectral mencionado y se encuentran subdivididas en 3 subsistemas (Figura 3.7).

Tabla 3.3 Características de los 3 subsistemas del sensor Aster.

Subsystem	Band No.	Spectral range (µm)	Radiometric Resolution	Spatial resolution (m)
VNIR	1	0.52 - 0.60		15
	2	0.63 - 0.69	≤ 0.5%	
	3	0.76 - 0.86		
SWIR	4	1.600 - 1.700	≤ 0.5%	30
	5	2.145 - 2.185	≤ 1.3%	
	6	2.185 - 2.225	≤ 1.3%	
	7	2.235 - 2.282	≤ 1.3%	
	8	2.295 - 2.365	≤ 1.0%	
	9	2.360 - 2.430	≤ 1.3%	
TIR	10	8.125 - 8.475		90
	11	8.475 - 8.825		
	12	8.925 - 9.275	≤ 0.3%	
	13	10.25 - 10.95		
	14	10.95 - 11.65		

Fuente: ASTER Science Team,1996.

VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) contiene las bandas de 1 al 3 con una resolución espacial de 15 m. El SWIR (Short Wave Infrared Radiometric) con las bandas de 4 al 9 y una resolución espacial de 30m y por último el TIR (Thermal Infrared Radiometer) con las bandas del 10 al 14 y 90 metro de resolución espacial. Posee 2 diferentes niveles de cauzización de señal: a 8 bits para las bandas de 1 al 9 y de 16 bits para las bandas del 10 a la 14 (ASTER Science Team,1996).

3.5 Sensor OLI

El sensor OLI se está abordo del satélite Landsat 8 con la función de proveer un sistema de colección global de datos de alta resolución y multiespectral. Tiene la capacidad de proveer en promedio 400 escenas por día, además de eso usa predicción de cobertura de nubosidad para evitar la obtención de datos sin utilidad

se presenta a continuación una descripción de las características del satélite Landsat 8 (Figura 3.8).

Tabla 3.4 Características del satélite Landsat 8.

Landsat 8	
Scenes / Day	700
SSR Size	3.14 Terabit, file-based
Sensor Type	OLI/TIRS, Pushbroom
Compression	2:1 Variable Rice Compression
Image D/L	X-Band Earth Coverage
Date Rate	384 Mbits/sec, CCSDS Virtual Channels
Encoding	CCSDS, LDPC FEC
Ranging	GPS
Orbit	705 km Sun-sync 98.2° inclination (WRS-2)
Crossing Time	10:00 AM ± 15 minutes

Fuente: USGS,2019.

El sensor OLI posee una resolución espacial de 30 m además de una banda pancromática con 15 m de resolución. (Figura 3.9). Este sensor es una versión mejorada del antiguo ETM+ a bordo del satélite Landsat 7, las imágenes capturadas por el satélite tienen un ancho de casi 190 km, y posee una resolución radiométrica de 12 bits para todas sus bandas. La principal ventaja de este sensor con respecto a su antecesor se da en la banda 8 para crear un mayor contraste entre zonas con presencia de vegetación y caso contrario (USGS, 2019).

Tabla 3.5 Características espectrales de los sensores OLI y ETM+.

OLI spectral bands		
#	Band width (μm)	GSD (m)
1	0.433 - 0.453	30
2	0.450 - 0.515	30
3	0.525 - 0.600	30
4	0.630 - 0.680	30
5	0.845 - 0.885	30
6	1.560 - 1.660	30
7	2.100 - 2.300	30
8	0.500 - 0.600	15
9	1.360 - 1.390	30

Fuente: USGS,2019.

3.6 Preprocesamiento de imágenes satelitales Aster y Lansat 8

Se han desarrollado diversas correcciones que tienden a eliminar las diferentes anomalías que se presentan en las imágenes como la localización y la composición de los píxeles de los niveles digitales (Chuvienco, 1995).

- **Corrección Geométrica**

Consiste en la asignación de una coordenada (x, y) a cada píxel de la imagen. Se realiza una corrección sistemática de esfericidad y movimiento de rotación de la órbita, además de una corrección no sistemática de la proyección cartográfica atmósfera (Caiza, 2018).

- **Corrección Radiométrica**

Están relacionadas a aquellas técnicas que modifican los ND originales con el objeto de acercarlos a la percepción real. La respuesta radiométrica que percibe el sensor desde la superficie hacia su órbita se altera a causa de su paso por la atmósfera (Chuvienco, 1995).

- **Corrección Atmosférica**

Corrige los problemas que generan valores erróneos en píxeles específicos debido a los procesos de absorción y dispersión de los componentes de la atmósfera. Ayuda a la visualización de los picos de absorción en cada banda (Rodríguez,2008).

3.6.1 Conversión de nivel digital a reflectancia

Conviene la transformación de los ND de la imagen en parámetros físicos, para una medición absoluta en función de esos valores. La conversión está dividida en dos procesos (ERSDAC,2002):

- Conversión de ND a Radiancia que corresponde a la corrección radiométrica.
- Conversión de Radiancia a Reflectancia en el sensor

3.7 Procesamiento de imagen Lansat 8

Para extraer la información de las propiedades espectrales de los distintos minerales y las unidades litológicas se evaluarán distintas metodologías que se integrarán con herramientas GIS para generar mapas de minerales.

3.7.1 Combinación de bandas

A partir de la información multiespectral de la imagen landsat-8 OLI pueden generarse distintas composiciones de color. La combinación en falso color me permite la asignación de diferentes tipos de información a los tres colores primarios: rojo, verde y azul (RGB). La combinación de color ayuda la

interpretación multicanal debido a las variaciones de los canales únicos. (Pohl y Van Genderen,2014).

3.7.2 Cociente de bandas

Son combinaciones aritméticas simples de diferentes bandas que me permiten identificar la distribución e intensidad de absorción o emisiones específicas (Sabin,1997). El valor numérico digital de una banda se divide por el valor numérico digital de otra banda. Se aplicarán las relaciones de bandas 6/7,6/5,4/2 para el mapeo de minerales de arcilla y carbonatos, silicatos ferrosos y óxidos de hierro respectivamente.

Para la identificación de la zona de estudio se aplicará el índice de vegetación normalizada, cuyo algoritmo se encuentra en las herramientas de ENVI 5.6

3.8 Procesamiento De imagen Aster

El tratamiento de la imagen ASTER para la identificación de zonas anómalas parte de la aplicación de diferentes técnicas de mapeo espectral. La combinación de bandas es la más simple para realizar un mapeo general de las zonas litológicas y de alteración con presencia de minerales arcillosos y óxidos.

Mediante las diferentes combinaciones de la información de los subsistemas VNIR Y SWIR en los canales rojo, verde y azul (RGB) se determinan imágenes en falso color, con características específicas. Los minerales de arcilla tienen características de absorción de 2,1 a 2,4 um y reflectancia de 1,55 a 1,75 um (Ourhzig et al., 2019)

Luego se aplica la relación de cociente de bandas para mejorar las mínimas diferencias en la reflectancia espectral de las rocas y los suelos para reducir el

efecto de la topografía. (Langford 2015). El cociente de bandas es una división de dos bandas , una de mayor reflectancia y una de mayor absorción.

Finalmente para corroborar las técnicas se aplica los índices espectrales que se calculan utilizando combinaciones matemáticas de bandas, estas relaciones denotan la reflectancia de la superficie a diferentes longitudes de onda para mapear la abundancia relativa de los minerales objetivo (San et al. 2004).

3.9 Análisis selectivo de componentes principales PCA

Es una técnica de estadística multivariable que selecciona las combinaciones lineales no correlacionadas de variables, de tal manera que cada componente extrae combinaciones lineales sucesivamente y tiene una varianza menor (Singh y Harrison, 1985). Según Crosta y Moore (1989) y Loughlin (1991), una imagen con carga de vector propio moderada a alta para las bandas de absorción y reflexión de los minerales con signos opuestos se realza ese mineral (Figura 3.10).

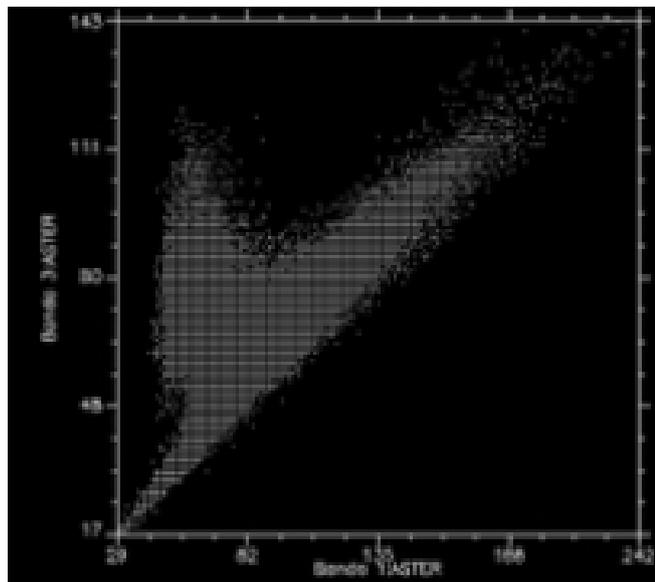


Figura 3.5 Dispersión espacial de los pixeles de dos bandas espectrales.

Fuente: USGS,2019.

Si la carga de vector propio es positiva en la banda reflectante de un mineral, el tono de la imagen será brillante, y si por el contrario es negativo, el tono de la imagen será oscuro para el mineral objetivo. La información analizada representa una pequeña fracción de la información total de las bandas originales, sin embargo, se analiza la firma espectral de la información cargada (Gupta, 2017).

3.9.1 Mapeo espectral con el método SAM

Es un método de clasificación supervisada, que consiste en la determinación de la similitud entre dos espectros. El píxel de la imagen y un patrón espectral de referencia del mineral de interés. (Kruse et al., 1993). El algoritmo calcula el ángulo de mayor aproximación considerando a los dos vectores. La base de datos espectrales utilizados se encuentra en la base de datos del software Envi 5.3 que corresponde a la información espectral del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

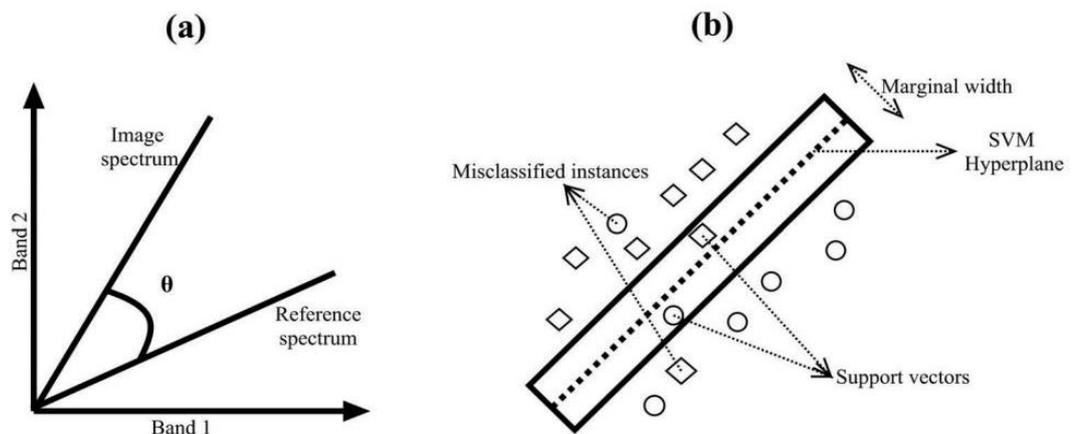


Figura 3.6 (a) Mapeo de ángulos espectrales (Hamza y otros 2016, Kruse y otros 1993); (b) Soporte de máquina de vectores (Mountrakis y otros 2011, Petropoulos y otros, 2012).

3.9.2 Desmezcla espectral lineal LSU (Linear Spectral Unmixing)

Es un método de muestreo de subpíxeles en el que la reflectancia en cada píxel de la imagen se considera como una combinación lineal ponderada (Ramak et al., 2015) (Figura 3.12).

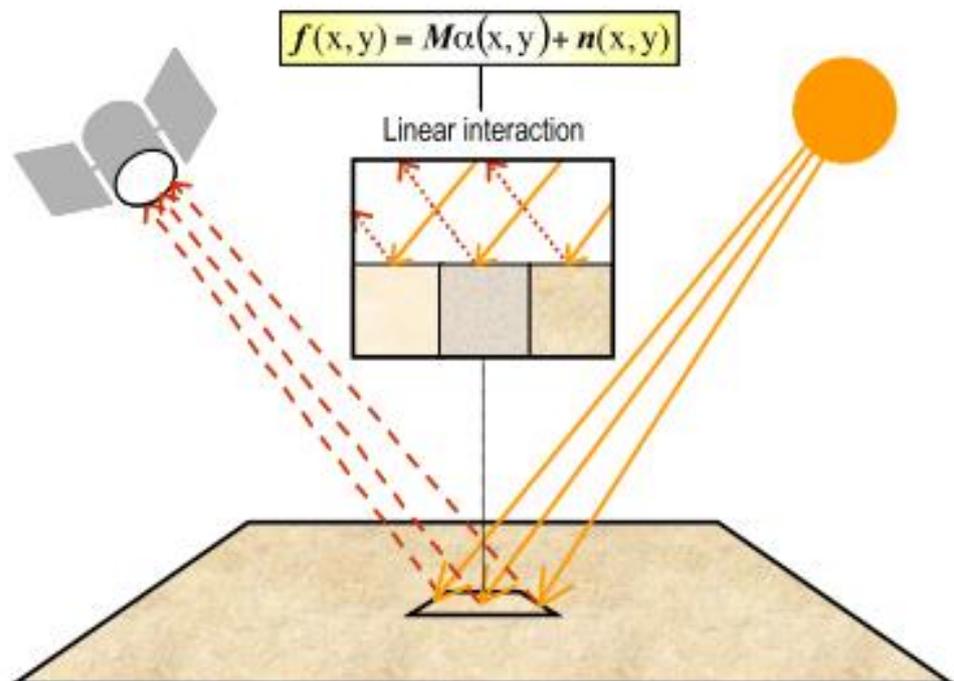


Figura 3.7 Espectro mixto recibido por el sensor .

Fuente: Smith y otros ,1990.

3.9.3 Espectroscopia de reflectancia de minerales de alteración

La espectroscopia de reflectancia se refiere a la técnica que usa la energía dentro de las zonas del espectro electromagnético de la luz visible, la cerca a infrarrojo y el infrarrojo de onda corta para identificar espectralmente y mapear materiales en función de sus enlaces químicos específicos, debido a que los diferentes átomos y moléculas poseen diferente absorción de

energía la cual es propia de cada uno y se la puede representar en forma de un gráfico o espectro de reflectancia (Figura 3.13).

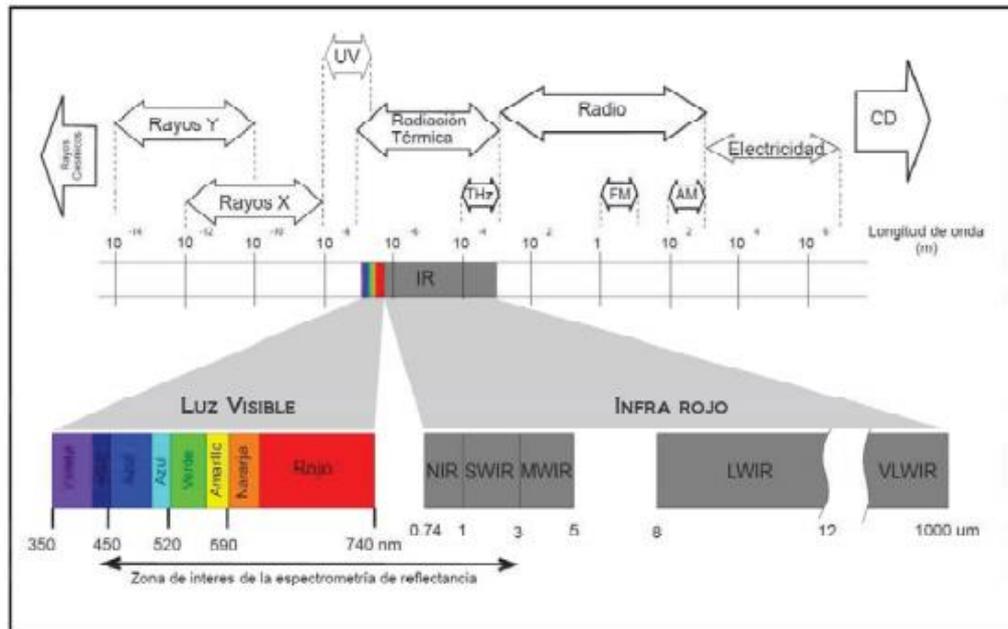


Figura 3.8 Espectro electromagnético y zona de interés de la espectrometría.

Fuente: Morales, Y. G., 2009.

Un cuerpo sometido a algún tipo de radiación como el caso de un haz de luz solar va a experimentar un fenómeno una reflexión y absorción de la energía. La manifestación de la interacción se da en forma de onda electromagnética de esta manera puede ser medida (Figura3.14).

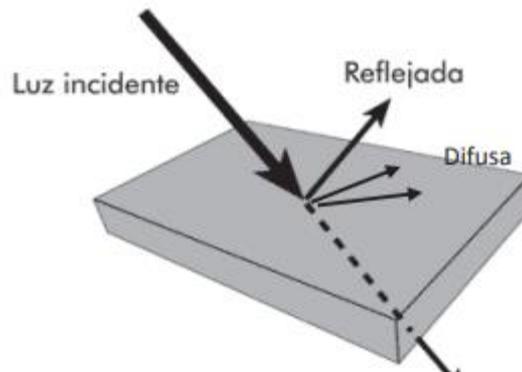


Figura 3.9 Comportamiento de un haz de luz.

Fuente: Morales, Y. G., 2009.

El espectro se define como una gráfica continúa en 2 dimensiones que presenta cambios en su pendiente, el eje horizontal corresponde a la longitud de onda y el eje vertical corresponde a la reflectancia (Figura 3.15).

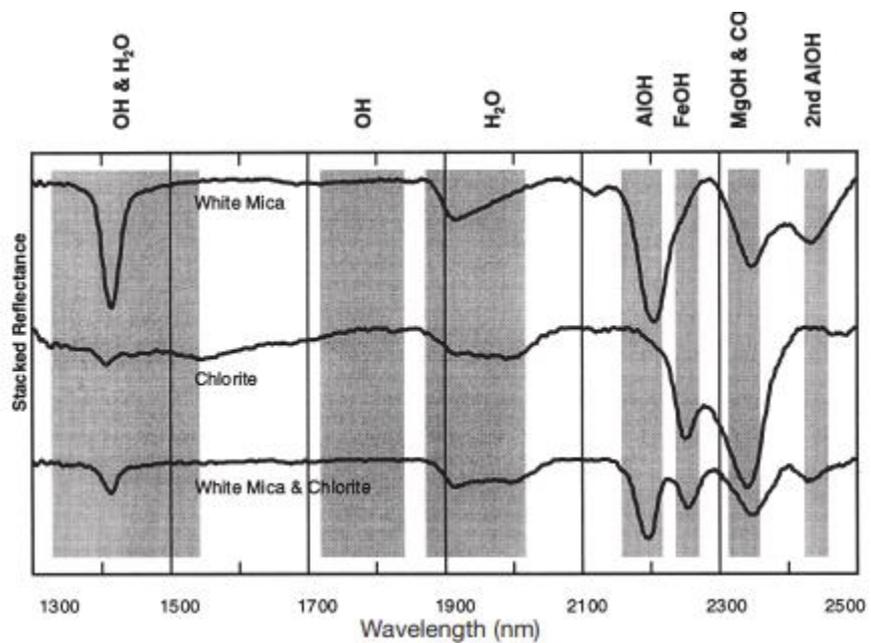


Figura 3.10 Patrones espectrales que se relacionan con las moléculas.

Fuente: Hunt, 1971 y Goetz y otros, 1982.

El rango de absorción es una de las características que se consideran en cualquier espectro (Figura 3.16), esto sucede ya que cambia de: forma, profundidad y posición respecto al eje horizontal. Se pueden diferenciar zonas de energía generadas por diferentes moléculas y radicales como: OH, H₂O, NH₄, CO₃ y enlaces en los que interviene el catión oxidrilo (OH) (Hunt 1971 y Goetz et al 1982)

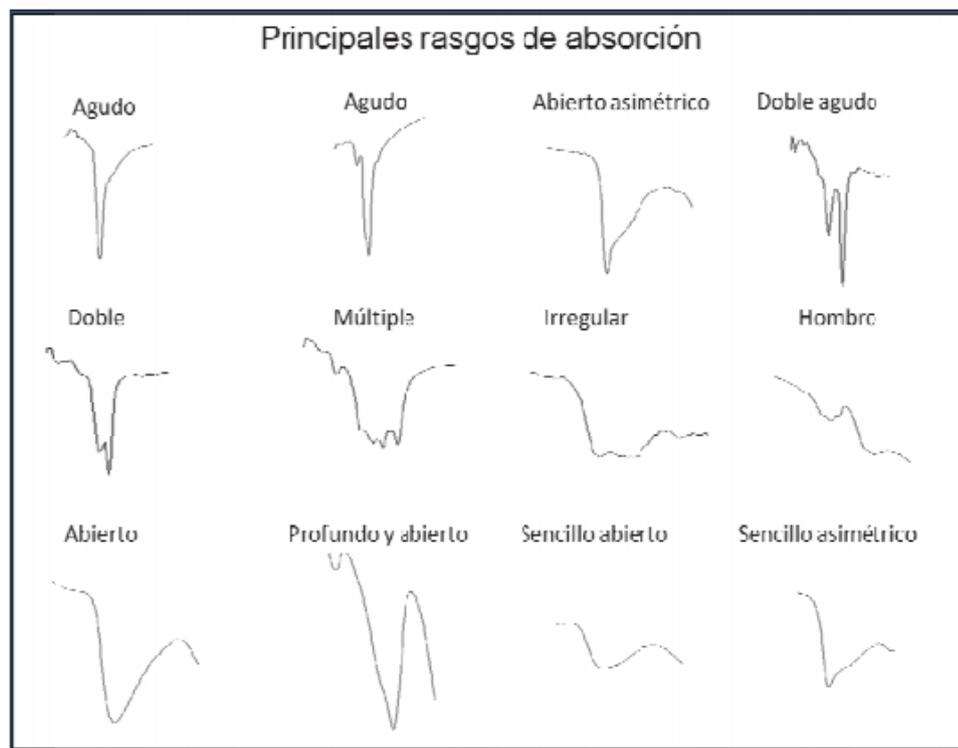


Figura 3.11 Principales tipos de absorción.

Fuente: Morales, Y. G., 2009.

Una vez dada la representación gráfica por el rasgo de absorción (Figura 3.17), se puede definir otro elemento importante conocido como perímetro exterior o envolvente, representa la forma general de la gráfica y ayuda a identificar cuando un compuesto posee variaciones químicas (Morales, Y.G , 2009).

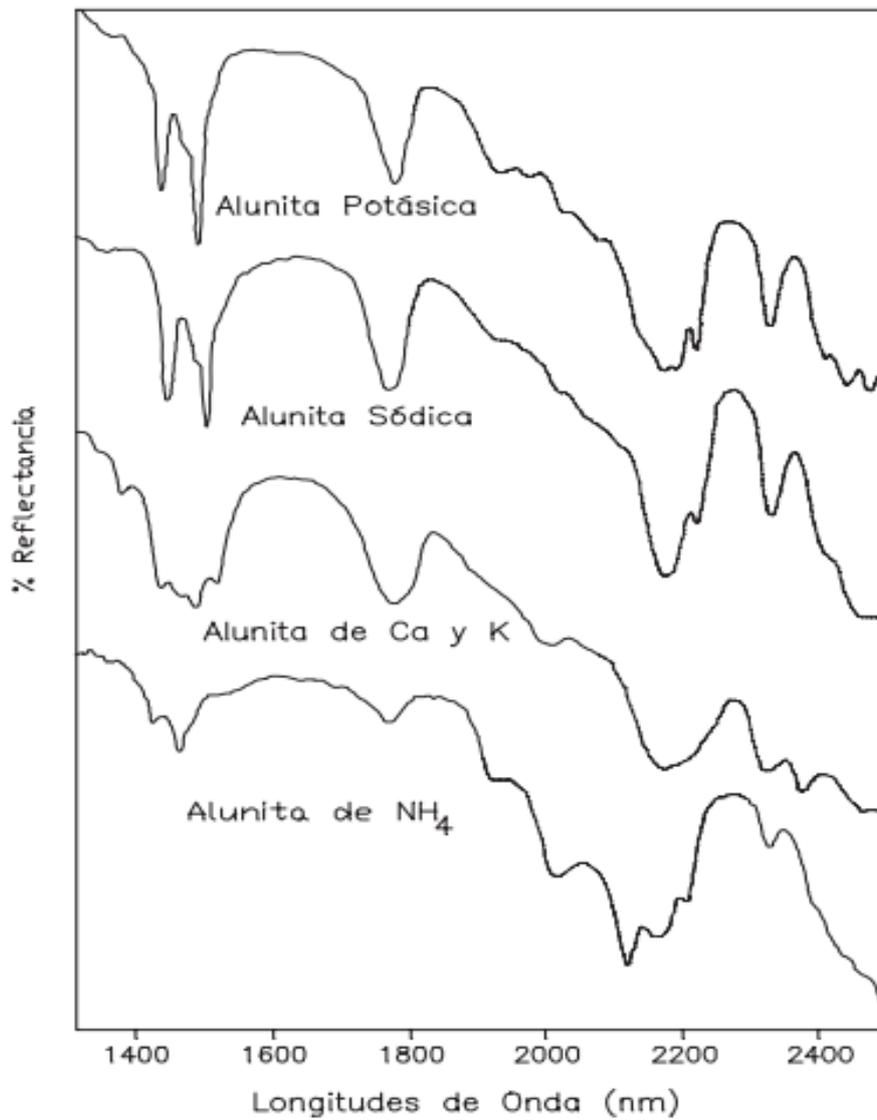


Figura 3.12 Ejemplos de rasgos de absorción del mineral y sus variaciones.

Fuente: Herrman,2001.

Los minerales en específico pueden ser distinguidos en base a su envolvente y no solo a partir de sus características distintivas, ya que la identificación de estos se basa en la intensidad, forma de la depresión asociada con la absorción y la forma total del espectro formado (Figura 3.18).

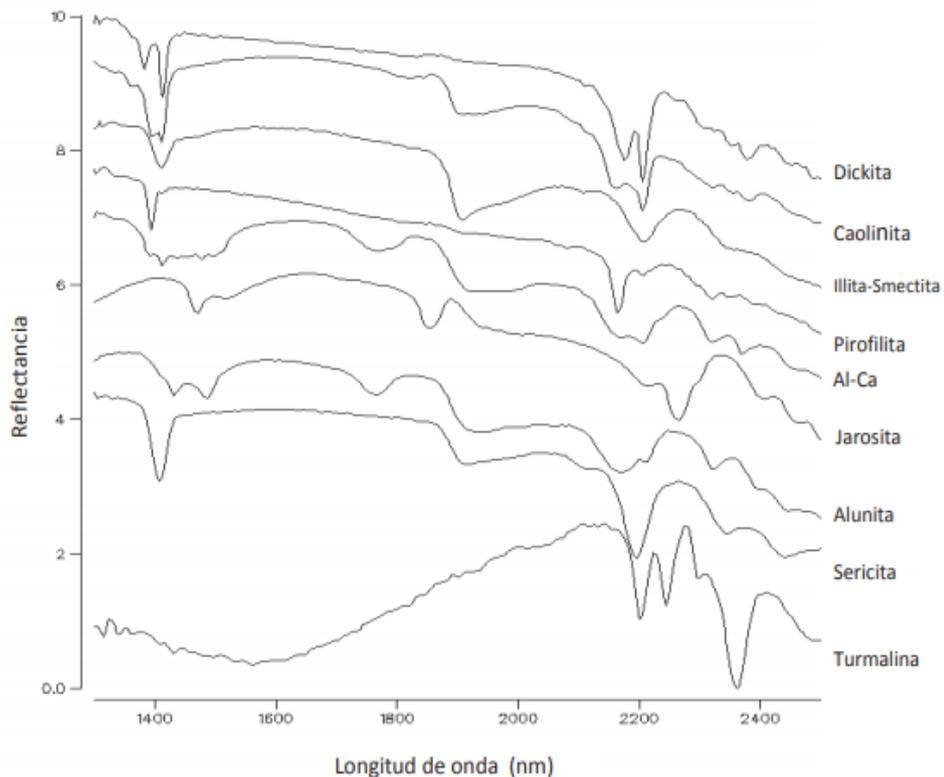


Figura 3.13 Absorción de minerales de alteración.

Fuente: Herrman,2001.

La reflectividad o reflectancia al infrarrojo varía entre los minerales, para la identificación de un mineral que posee una alta reflectancia debe presentarse en cantidades mayores al 5% de la muestra. Cuando se tiene minerales de baja reflectancia, se requerirá como mínimo un 20% del mineral para poder reconocerlo estos casos pueden ser minerales como carbonatos o cloritas (Mamani,2017).

CAPÍTULO 4

4 DATOS Y METODOLOGÍA

El análisis y tratamiento de las imágenes multiespectrales Landsat 8 y ASTER a través de la integración de tecnologías de teledetección ha evolucionado en conjunto con la modernización de los sensores remotos, y las técnicas multiespectrales e hiperespectrales.

Para el desarrollo de la metodología se han evaluado una serie de técnicas de coincidencia de espectro y métodos de comparación de píxeles para el mapeo de minerales. Además, se ha considerado el reajuste de la información de las imágenes Landsat 8 y Aster con el fin de eliminar las perturbaciones.

La metodología en general se resume a los siguientes enunciados:

- Definición del área de estudio
- Preprocesamiento
- Procedimiento
- Análisis y comparación
- Elaboración de mapas con ensambles mineralógicos.

En el preprocesamiento se han incluido varias técnicas de mapeo espectral avanzado que incluyen varios condicionantes y filtros para la obtención de firmas espectrales de los píxeles más puros (Pal y otros, 2011).

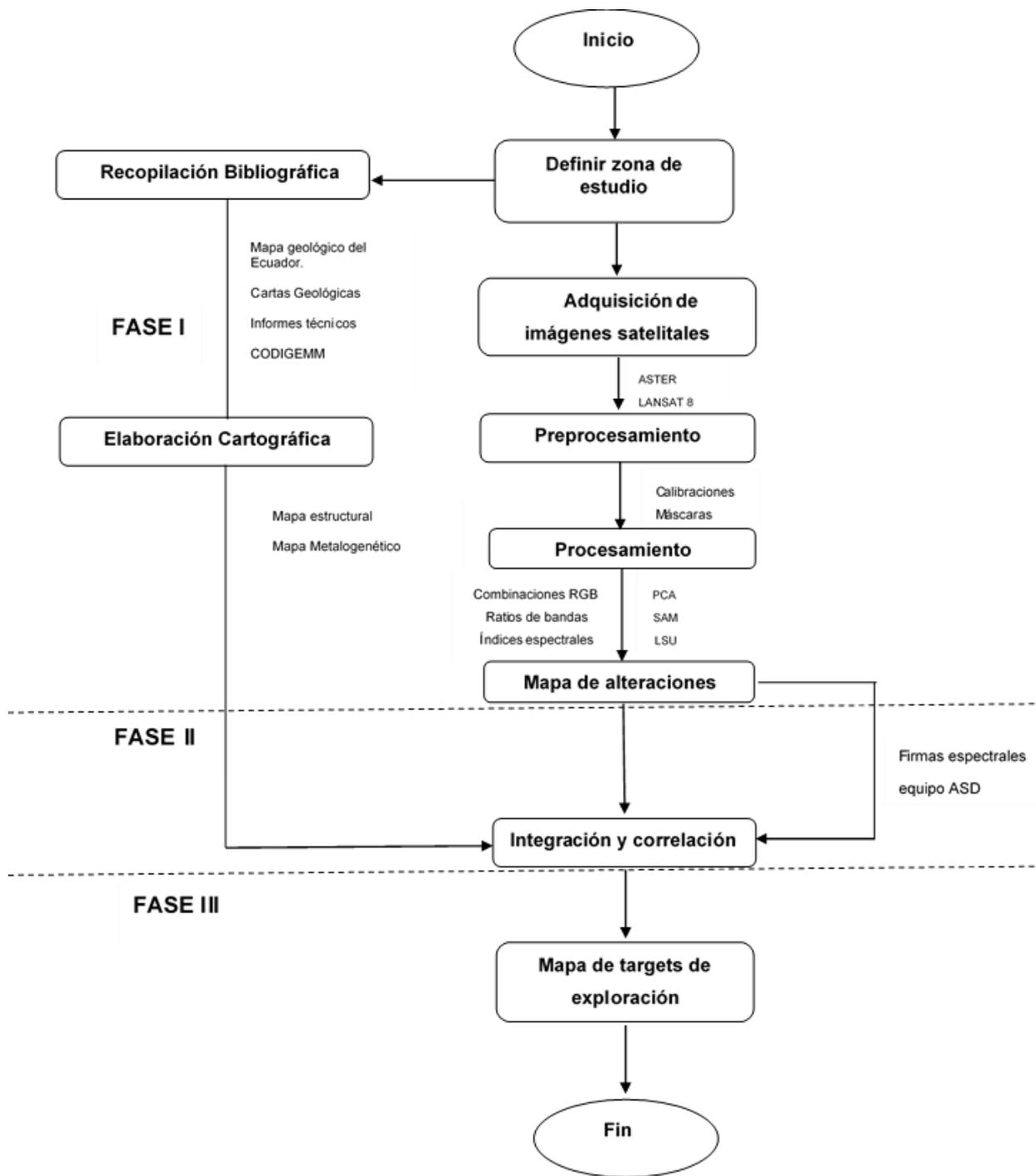


Figura 4.1 Esquema de la metodología general

Fuente: Modificado de Pal y otros ,2011.

Previo a la adquisición de las escenas de las imágenes satelitales se ha definido las siguientes consideraciones:

- Fecha
- Nubosidad
- Vegetación

La calidad de la información satelital depende de las condiciones en las que el sensor adquirió la escena. La zona de estudio comprendida entre 3° y 4° al sur del Ecuador, presenta alta nubosidad la mayor parte del tiempo y otras condiciones meteorológicas que afectan la toma de datos de los sensores ASTER Y OLI como: humedad y vapor de agua. Se determinó que la mejor época para la adquisición de las escenas es en verano, se presenta poca humedad y la vegetación se encuentra seca. Las escenas captadas durante el día ASTER (Figura 4.2) , (Figura 4.3) y LANSAT 8 (Figura 4.4) corresponden a los meses de Julio y Octubre respectivamente.

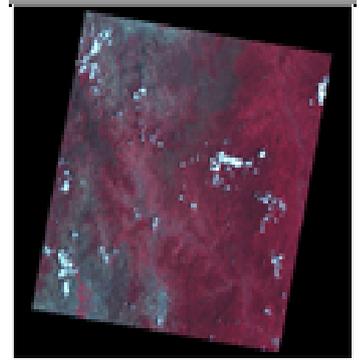
4.1 Materiales y software

La adquisición de la información satelital ASTER y LANSAT 8 se la pudo realizar a través del acceso del sitio oficial del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) <https://earthexplorer.usgs.gov/> que proporciona imágenes satelitales gratuitas previo a la creación de la cuenta en el sitio oficial <https://ers.cr.usgs.gov/login>.

Se seleccionó las escenas del área de estudio mediante la herramienta de captura del mapa de la USGS. Para la búsqueda de las escenas Aster se realizó en los años (2000-2007), posterior a esas fechas el sensor presentó problemas y la información captada es incompleta. Las escenas captadas presentan una nubosidad < 10%, sin embargo, la imagen óptica de LANSAT 8 presenta > 20%.

Tabla 4.1 Características de la escena satelital ASTER 1.

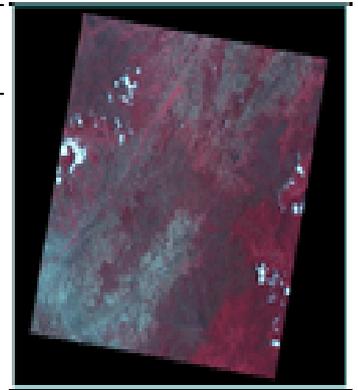
Nombre de la imagen		AST_L1T_00310162006154347_20150516154250_44378	
Satélite	EOS-AM1		
Sensor	ASTER		
Coordenadas UTM (Centro)	675360 N	9679060 E	
Fecha de adquisicion	16-oct-06		
Area de cobertura	60 x 60 KM		
Bandas	Longitud de onda (μm)		Resolucion Espacial (m)
Banda 1	0.52 - 0.60		15
Banda 2	0.63 - 0.69		15
Banda 3N	0.76 - 0.86		15
Banda 4	1.600 - 1.700		30
Banda 5	2.145 - 2.185		30
Banda 6	2.185 - 2.225		30
Banda 7	2.235 - 2.282		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



Fuente: USGS,2019.

Tabla 4.2 Características de la escena satelital ASTER 2.

Nombre de la imagen		AST_L1T_00310162006154347_20150516154250_44387	
Satélite	EOS-AM1		
Sensor	ASTER		
Coordenadas UTM (Centro)	662580 N	9619930 E	
Fecha de adquisicion	16-oct-06		
Area de cobertura	60 x 60 KM		
Bandas	Longitud de onda (μm)		Resolucion Espacial (m)
Banda 1	0.52 - 0.60		15
Banda 2	0.63 - 0.69		15
Banda 3N	0.76 - 0.86		15
Banda 4	1.600 - 1.700		30
Banda 5	2.145 - 2.185		30
Banda 6	2.185 - 2.225		30
Banda 7	2.235 - 2.282		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



Fuente: USGS,2019.

Tabla 4.3 Características de la escena satelital LANSAT 8.

Nombre de la imagen		LC08_L1TP_010062_20150713_20170407_01_T1	
Satélite	LANDSAT 8		
Fecha de adquisicion	13-jul-15		
Coordenadas UTM			
(Centro)	662580 N	9619930 E	
Area de cobertura	196 x 190 KM		
Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolucion Espacial (m)	
Banda 1	0.433 - 0.453	30	
Banda 2	0.450 - 0.515	30	
Banda 3	0.525 - 0.600	30	
Banda 4	0.630 - 0.680	30	
Banda 5	0.845 - 0.885	30	
Banda 6	1.560 - 1.660	30	
Banda 7	2.100 - 2.300	30	
Banda 8	0.500 - 0.600	15	
Banda 9	1.360 - 1.390	30	



Fuente: USGS,2019.

De la variedad de herramientas de procesamiento vigentes para el tratamiento de imágenes multiespectrales se ha hecho uso del software ENVI 5.6 debido a la gama de módulos y algoritmos de corrección , selección de variables, y técnicas identificación y comparación de minerales. El software brinda recursos para el análisis de la zona de estudio mediante un mapeo espectral avanzado , posibilitando el estudio a detalle, maximizando el uso de la información de las imágenes.

La adquisición del software se la realizó a través del representante legal de Harris Geospatial Solutions en Ecuador. La empresa L3HARRIS cuenta con más de 40 años de experiencia en el desarrollo de soluciones científicas probadas a través del uso de tecnología de punta. Se especializa en el análisis geoespacial avanzado, aprendizaje automático e información de detección remota para la toma de

decisiones. Las especificaciones de la licencia académica (Figura 4.5) autorizan el uso de los módulos de ENVI 5.6.

Software	License Activation Code
ENVI+IDL 5.6 Evaluation	DDFC-A3C6-0337-D281

Figura 4.2 Especificaciones técnicas del software.

Fuente: Elaboración propia.

El software ENVI se especializa en el procesamiento de imágenes digitales, posee herramientas espectrales muy avanzadas que pueden ser usadas con facilidad gracias a su interfaz, algunas de sus herramientas más importantes incluyen herramientas de corrección geométrica, análisis de terreno, análisis espectrales e hiperespectrales (Solutions, 2012).

Una de las principales herramientas utilizadas es la técnica IAR (Internal Average Reflectance) el cual es una corrección que se realiza a los datos cuando no se posee datos reales del terreno y consiste en obtener la reflectancia promedio de la imagen la cual posterior a esto es dividida para cada pixel la cual es necesaria previo al análisis de los datos, otra herramienta importante es el módulo FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric of Spectral Hypercubes) realizar correcciones atmosféricas y solares a un conjunto de datos para corregir valores anómalos que pueden aparecer debido a la interacción de fenómenos atmosféricos (Solutions, 2012). Para un desenvolvimiento eficaz del software se requiere especificaciones de la estación de trabajo (Figura 4.6).

Tabla 4.4 Especificaciones técnicas de le estación de trabajo

Características	
Procesador	INTEL CORE I7-8750H
Velocidad de procesador	4.1 Ghz
Tarjeta Gráfica de procesador	NVIDIA GTX-1050 Ti
RAM	32 GB a 266 MHz

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Preprocesamiento

Las técnicas aplicadas para la preparación de las imágenes multispectrales son:

- **Calibración radiométrica**

La información original de los píxeles de las imágenes satelitales se encuentra en niveles digitales, el proceso de calibración radiométrica se realizó con el módulo Radiometric Calibration para la transformación a radianza, además la corrección de imperfección de los píxeles debido a alteraciones en el movimiento del sensor.

- **Calibración atmosférica**

Los efectos de las propiedades de la atmósfera ocasionan perturbaciones de absorción y dispersión. El proceso de calibración atmosférica mediante el módulo Internal Average Reflectance (IAR), calcula el espectro promedio de la imagen y divide este espectro entre cada píxel para determinar la reflectancia relativa (Solutions, 2012)

- **Layerstacking**

Los tres subsistemas ASTER contienen la información espectral. Posterior a las corrección: radiométrica y atmosférica, se integra la información de los subsistemas VNIR y SWIR mediante la herramienta de Layerstacking se generó un archivo que contiene 9 bandas , se definió la resolución espacial a 30 m.

- **Máscaras**

Las escenas de las imágenes satelitales presentan varios elementos: vegetación, nubes, agua. El proceso de enmascaramiento contempla

la determinación de estos elementos mediante las técnicas de combinación y cociente de bandas. Se seleccionan las bandas en la que los minerales presentan mayor absorción, elaboran las zonas de interés mediante Roice, se define el threshold y se establecen los umbrales con el histograma. Las máscaras que se aplicaron son:

- **Vegetación**

La vegetación cubre varias zonas de las imágenes satelitales, para la identificación óptima de las anomalías es necesario crear la máscara de vegetación. Se aplica el uso de la herramienta automatizada del índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) Se selecciona el umbral con valores altos en el histograma, superponiendo el índice creado con las imágenes en reflectancia y comparando las zonas. Finalmente se crea la máscara y se aplica en el Layerstacking (Rajan Girija y Mayappan, 2019).

- **Sombras y agua**

Las sombras y agua presentes en la zona de estudio se determinan a partir de la banda 3. Se selecciona el umbral en el histograma con los valores más bajos. Finalmente se crea la máscara y se aplica en el Layerstacking.

- **Nubes**

La presencia de nubes y vapor de agua se determinan considerando los valores altos de la banda 1. La selección de umbral en el histograma se lo realiza a partir de valores altos.

4.3 Procesamiento

Posterior al preprocesamiento y al análisis multiespectral que consiste la aplicación de técnicas para calibración, reducción de ruido y la posterior obtención de píxeles óptimos con el método de índice de pureza de píxeles se da inicio a la caracterización de los píxeles, inicialmente se categoriza de manera general el conjunto de minerales del área de interés. Finalmente se realiza clasificación supervisada de minerales puntuales y la afinación de los halos de alteración por los métodos principales de procesamiento: SAM (Spectral Angle Mapper) ,MTMF(Mixture Tuned Matched Filtering) ,LSU(Linear Spectral Unmixing), CEM(Constrained Energy Minimisation), PCA(Principal Components Analysis) (Rajan Girija & Mayappan, 2019).

Los diversos métodos mencionados guardan ciertas diferencias entre ellos, pero al final de la aplicación de cada uno de ellos se tienen como resultado identificación de minerales para su posterior correlación entre los diferentes métodos aplicados(Rajan Girija & Mayappan, 2019).

4.3.1 Composición de bandas

La composición de bandas se realizó en base al conocimiento de absorción y reflexión de las rocas en relación con las bandas espectrales seleccionadas (Tabla3.1). Para el mapeo en general de zonas se ha aplicado las combinaciones RGB (Red, Green, Blue) propuestas por Demark (2009).

Tabla 4.5 Combinación de bandas RGB Aster

RGB	MAPEO	TONALIDAD
468	Minerales de arcilla	Rosado
456	Alteraciones argílicas	Intermedio: naranja Avanzado: rosado
469	Minerales de arcilla	Marrón
461	Minerales de arcilla y óxidos	Arcilla: morado Óxidos: amarillo
531	Minerales de arcilla	Verde
943	Óxidos	Amarillo

Fuente: Demark, 2009

A través de las diferentes combinaciones podemos visualizar definir de manera general los conjuntos de minerales y las posibles zonas de alteración.

4.3.2 Cociente de bandas

La relación de bandas 2/1 se utiliza para delimitar zonas ricas en óxido de hierro (Bhadra et al. 2013). La composición RGB de las relaciones de banda (7/6,5/6,9/8) me sirven para mapear zonas félica como tonalidad de colores amarillo a amarillo rojizo, las zonas argílicas de color verde y propilítica de azul (Rajan Girija & Mayappan, 2019).

La relación de bandas 5/6 se usa para identificar grupos de minerales Al-Si- (OH), 8/9 para detectar grupos de minerales Mg-Si-(OH), y las áreas ricas en moscovita se evidencia en la relación de bandas 7/6. Adicionalmente la relación de bandas térmicas (14/12) y (13/14) destacan la presencia de silicatos y carbonatos debido a las características específicas de emisividad y absorción (Pour and Hashim, 2012)

La relación de bandas 4/5 permite identificar el mineral alunita (Figura 4.7) , 4/7 calcita, y 4/6 caolinita.

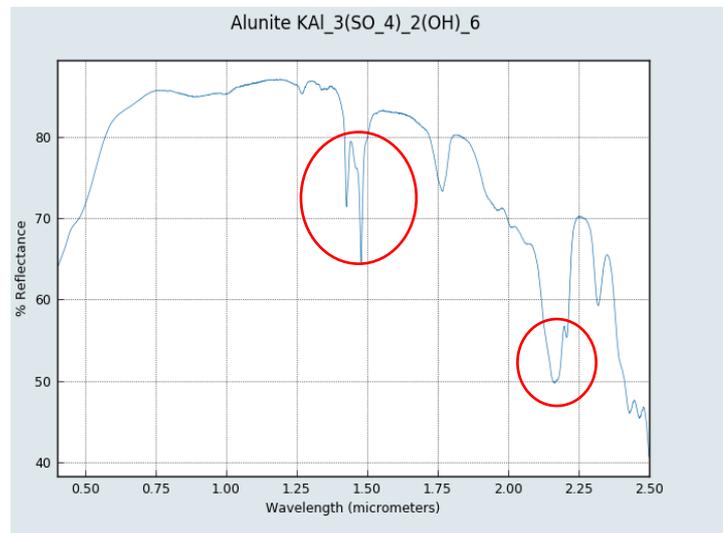


Figura 4.3 Rangos de absorción de la Alunita.

Fuente: Merdink y otros, 2019.

Se observa en la alunita los rangos de absorción en magnitudes de onda aproximadas de 1.50 μ m y 2.2 μ m, estos rangos corresponden subsistema SWIR del sensor Aster al en las bandas 4 y 7 respectivamente, por lo tanto, es estas bandas se esperaría identificarlas más fácil por su rango de absorción.

La combinación RGB (4/5,4/6,4/7) evidencia zonas con píxeles blancos que indican la respuesta de la banda 5, banda 6 (AL-OH) y banda 7 (Fe-OH). La alteración propilítica aparecerá en tonalidad verde oscuro y la alteración fílica de color amarillo (Mahdevar et al. 2015).

La combinación RGB =(banda7+banda9)/ (banda8), mejora los píxeles que muestran la abundancia CaCO₃ y MgOH, como carbonato, clorita (Figura 4.8) y epidota debido a que estos minerales muestran una alta absorción en la banda 8. La combinación RGB= (Band 4 + Band 6)/Band 5 es utilizada para mapear minerales de caolinita, alunita, y pirofilita.

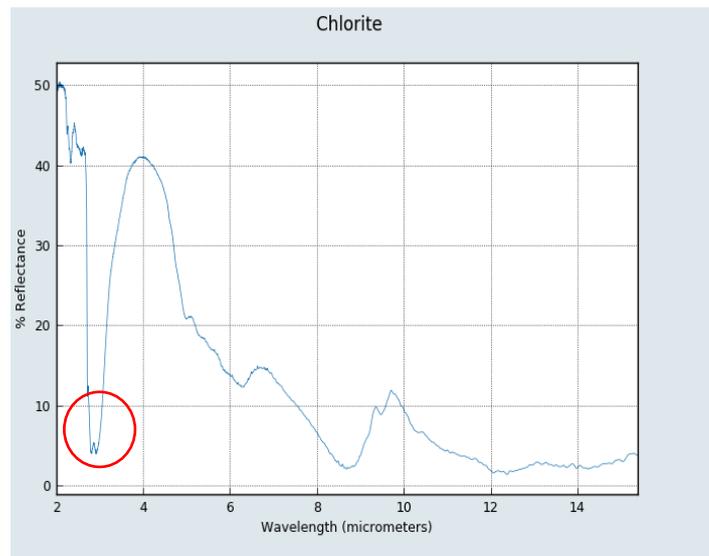


Figura 4.4 Rango de absorción de la Clorita.

Fuente: Merdink et al., 2019.

Se observa la absorción de la Clorita cabe recalcar que dependiendo de la composición de la clorita este gráfico puede variar, pero en este caso su rango de absorción se encuentra cercano a 2.5 por lo tanto en el subsistema ASTER correspondería al SWIR en la banda 9 aproximadamente será más fácil identificar el mineral.

4.3.3 Índices espectrales SWIR

Ninomiya (2005) propone índices de identificación litológica para la identificación de áreas con ocurrencia de distintos tipos de alteración.

- **KLI = (b4*b5)/(b8*b6)**, define minerales en el rango espectral de la caolinita , dickita (figura 4.9) (Ninomiya,2003).

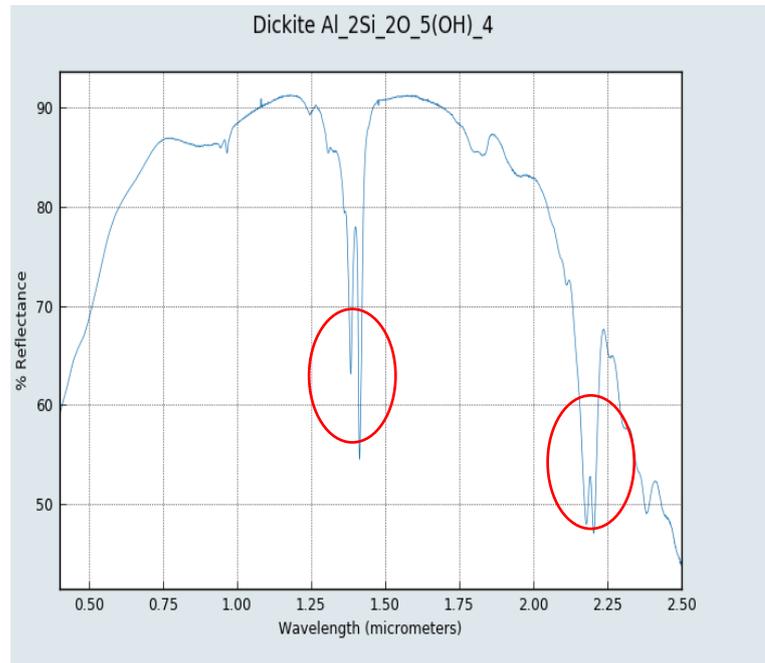


Figura 4.5 Rangos de absorción de la Dickita

Fuente: Merdink et al., 2019

Se observa los rasgos de absorción de la dickita, como se observa se distinguen 2 rasgos muy marcados, el primero en aproximadamente 1.45 μ y el siguiente en 2.20 μ m ambos rasgos de absorción se encontrarían en el subsistema SWIR de ASTER, en las bandas 8 y 6.

- **OH1a = (b4*b7)/(b6*b6)** , define zonas con minerales como montmorillonita, moscovita, illita (figura 4.10), la absorción de los minerales se presenta en la banda 6, y la reflectancia en las bandas 4 y 7. (Ninomiya,2005).

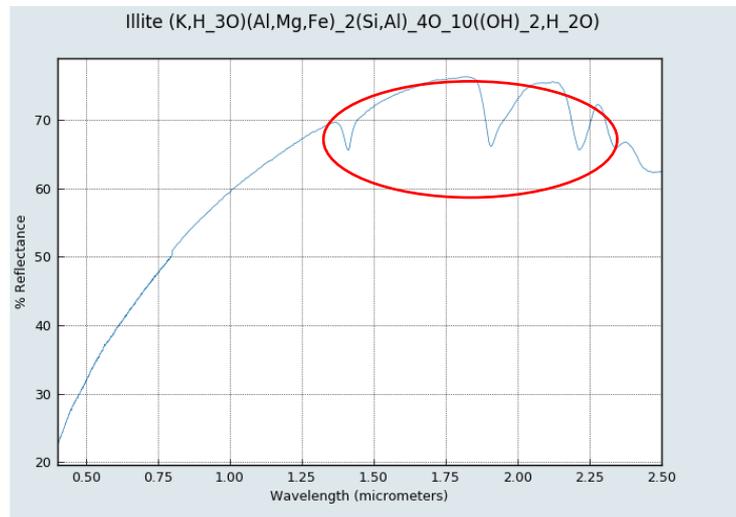


Figura 4.6 Rango de absorción de la Illita.

Fuente: Merdink y otros, 2019.

Se observa los rasgos de absorción de la Illita como podemos ver presenta 3 pequeños en longitudes de onda aproximadas de 1.4 μ m, 1.9 μ m y 2.25 μ m, estas corresponderían a las bandas de SWIR en ASTER, específicamente a las bandas 4, 5, 6.

- **OHI**= $(b_4 \cdot b_7) / (b_5 \cdot b_5)$, define minerales con un pico de absorción en la banda 5, se destacan minerales como la pirofilita. (Ninomiya,2005).
- **PI**= $(b_4 \cdot b_6) / (b_5 \cdot b_5)$, define minerales en el rango espectral de la pirofilita. (Ninomiya,2005).
- **ALI**= $(b_7 \cdot b_5) / (b_7 \cdot b_8)$, define el rango espectral de la alunita (Ninomiya,2003).
- **CLI**= $(b_6 \cdot b_8) / (b_8 \cdot b_8)$, define minerales en el rango espectral de la calcita (Ninomiya,2003).

4.3.4 SAM (SPECTRAL ANGLE MAPPER)

El SAM o Mapeo de ángulos espectrales consiste en un método de clasificación espectral, a través de la comparación entre las firmas espectrales dentro de la imagen y un conjunto espectral de referencia. El algoritmo del método consiste en la consideración de estos espectros, los de la imagen como el de la referencia como vectores unitario y posterior a esto se mide el ángulo entre cada uno ellos, a menor ángulo que posean los vectores de la imagen con respecto a los de referencia se representara como coincidencias y esos (Rajan Girija & Mayappan, 2019).

4.3.5 PCA (PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS)

La técnica de PCA consiste en la mejora de la imagen por medio de la transformación de los datos originales que poseen una correlación entre ellos a un conjunto de variables que no tiene correlación. Se los denomina componentes principales pues se trata de una técnica estadística que separa los datos originales en bandas que contienen únicamente los componentes principales. Forma parte de las técnicas de transformación lineal que son aplicadas a las imágenes espectrales.

Al realizar estas transformaciones en los datos es posible caracterizar minerales únicos en cada una de las bandas siendo un ejemplo de esto la aplicación de PCA en ASTER como menciona Ranjabar et al. (2003). En las bandas 5 y 7 se da un resalte de zonas ricas de minerales compuestos de hidroxilos, se le asigna valores signos positivos a estos valores mientras que en la banda 9 se dan los mismo resaltes pero con un signo negativo (Rajan Girija & Mayappan, 2019).

4.3.6 MTMF (MIXTURE TUNED MATCHED FILTERING)

El Matched Filtering (MF) es un método para la clasificación de píxeles posterior a tratamientos como el PPI (Pixel Purity Index). La aplicación de los métodos sirven para cuantificar la existencia o abundancia relativa de los miembros finales definidos por el usuario.

De esta manera al realizar la clasificación se toman prioritariamente estos, evidenciando los materiales específicos que tienen mayor similitud con las características espectrales de la base de datos selecciona para la comparación. El MTMF consiste en una imagen MF en escala de grises y una imagen de inviabilidad; los datos en la imagen MF toman el valor de 1 cuando concide el pixel analizado con el espectro de referencia y 0 para cuando no existe coincidencia, la imagen de inviabilidad presentada en escala de grises también tomara los valores del MF siendo el mas alto 1 como el mejor mapeo y 0 como el peor (Rajan Girija & Mayappan, 2019)

4.3.7 LSU (Linear Spectral unmixing)

Es un método de muestreo de subpíxeles, se ha aplicado con éxito en los datos ASTER. Los píxeles más brillantes muestran los valores más altos con abundancia del mineral. (Van Der Meer, 1995).

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Preprocesamiento

Previo a la aplicación de las técnicas de mapeo espectral se realiza la corrección de la información de los sensores mediante el uso de las calibraciones: radiométricas y atmosféricas. Luego se realiza un análisis visual en color natural y se aplican máscaras de los elementos que constituyen las escenas satelitales y a su vez provocan perturbaciones en las técnicas de mapeo.

5.1.1 Modelo RGB

El área de estudio comprende las escenas de 2 imágenes satelitales ASTER nivel L1T, la extensión cubre un área de 1270 km². Se presentaron varios elementos en las zonas de interés: nubes principalmente hacia el N-W del Cantón Oña, vegetación hacia los bordes de los cantones: Girón, Nabón y Oña. Se destaca la presencia de partículas de agua en la atmósfera en las zonas de Girón, que en el campo se presenta como el fenómeno meteorológico de neblina.

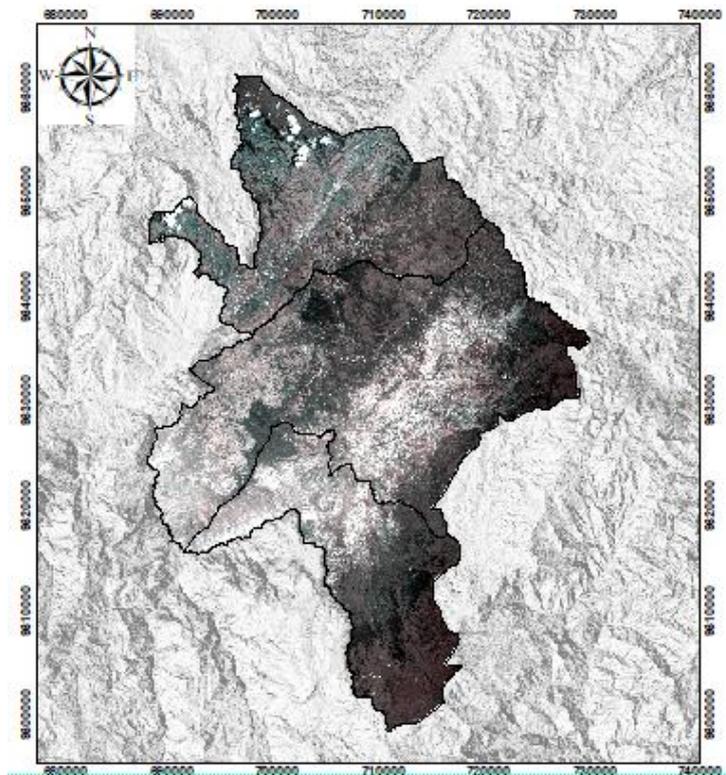


Figura 5.1 Imagen Aster en color natural de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Se individualizó el tratamiento de las escenas satelitales para evitar la sobreposición de datos al aplicar la técnica de mosaico, de esta manera se garantiza los atributos de cada imagen y se obtuvo mejores resultados. Mediante la apreciación en color natural se definieron senderos secundarios como los accesos principales a las zonas de interés corroborados posteriormente.

5.1.2 Máscaras

Para evitar problemas en la aplicación de las técnicas de mapeo espectral se han aplicado máscaras. La vegetación es el elemento presente en la mayor parte del área de estudio(aproximadamente 50%). Las nubes y las sombras

ocupan una extensión del 10%. El agua presente ocupa varios píxeles de las zonas de Girón y Oña principalmente

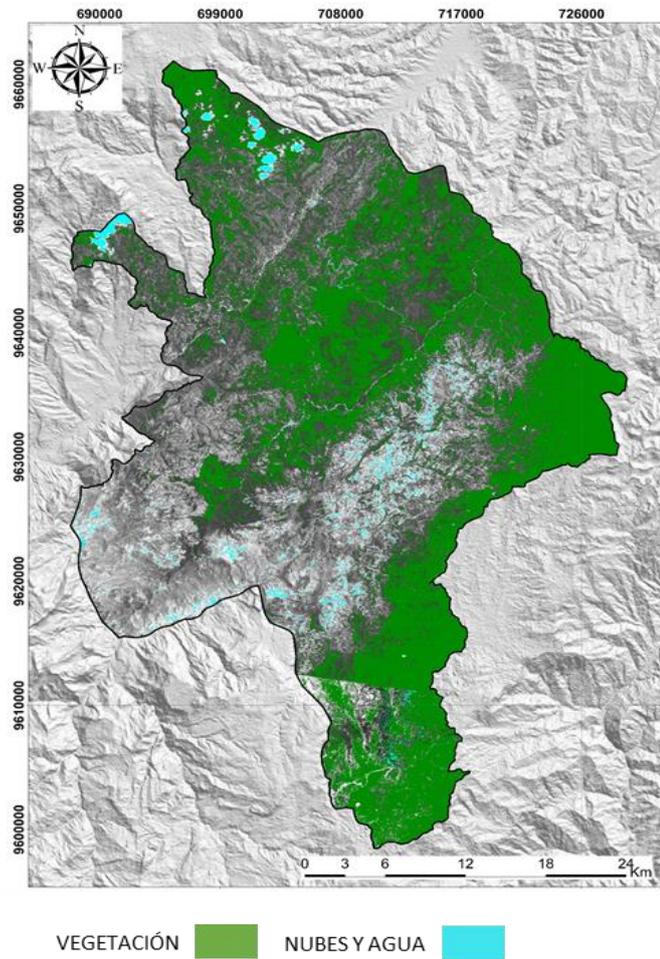


Figura 5.2 Aplicación de máscara en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Procesamiento

Las técnicas de mapeo espectral aplicadas en la zona de estudio sugieron la presencia de minerales de alteración hidrotermal, definiendo áreas de interés prospectivo.

5.2.1 Combinación de bandas

De las combinaciones de bandas propuestas por varios autores y recopiladas por Demark (2009) se aplicaron cuatro principales para identificar de manera general la presencia de arcillas mayoritariamente y óxidos. (tabla 5.1). La aplicación de las combinaciones (5-3-1), (4-6-1), (4-6-8), (9-4-3), sugieron la presencia de arcillas de manera general en zonas coincidente sin embargo no me brinda la discriminación del tipo de arcilla específico.

Tabla 5.1 Combinación de bandas RGB Aster

RGB	MAPEO	TONALIDAD
531	Minerales de arcilla	Verde
461	Minerales de arcilla y óxidos	Arcilla: morado Óxidos: amarillo
468	Minerales de arcilla	Rosado
943	Óxidos	Amarrillo

Fuente: Demark , 2009

Mediante la aplicación de la combinación RGB 531 , se determinò la presencia de arcilla en tonalidad verde al Norte del cantón Giròn. En dirección NE-SW se evidencia la presencia de arcilla en el cantón Nabòn. En el extremo sur en el cantón Oña se aprecia se evidencia arcilla en gran parte de área de estudio. (Figura 5.3.a).

Los resultados de la aplicación de combinaciones RGB 461 Y 468 se asemejan a la aplicación 531, zonas con presencia de arcilla hacia los límites de los cantones y en dirección NE-SW.(Figura 5.3.b,c).Mediante la aplicación de la combinación RGB 943 se identificò óxidos en color amarillo en el norte del cantón Giròn, en el limite Azuay-Loja, en el cantón Nabòn y en el norte del cantón Oña. (Figura 5.3.d).

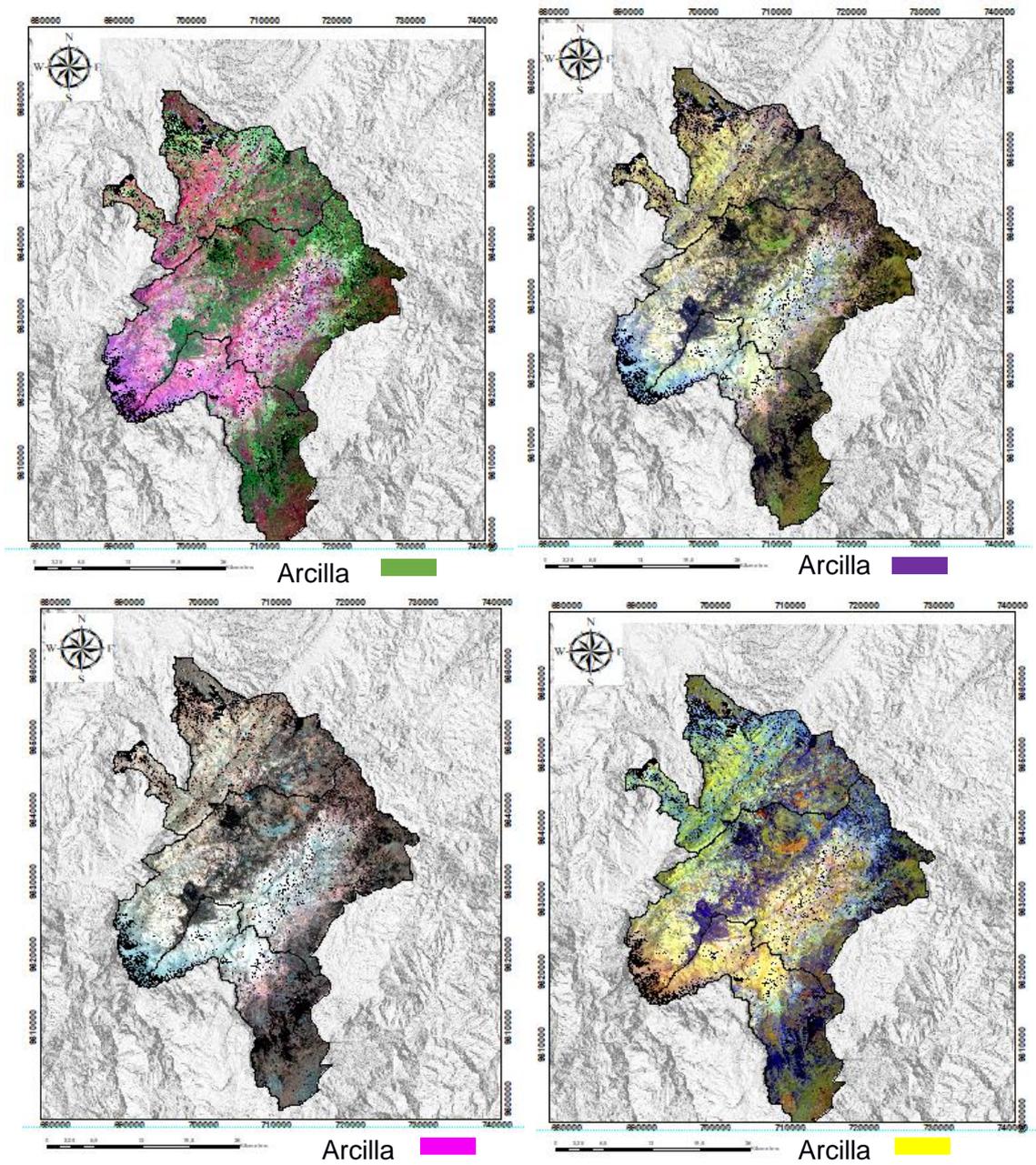


Figura 5.3 Combinación de bandas A.)RGB 531, B.) RGB 461, C).RGB 468, D.) RGB 943.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Cociente de bandas

Las relaciones de bandas 4/5,4/6,4/7 aplicadas en las escenas Aster resaltan la presencia de arcillas asociadas a ensambles característicos de las alteraciones hidrotermales. La respuesta espectral de las relaciones de bandas 4,5,6 7, evidencian los rasgos de absorción característicos de los minerales de alteración del subsistema SWIR. La relación 4/5 sugiere el mineral de alunita, 4/6 identifica mineral de caolinita y 4/7 evidencia calcita.

Los resultados de la relación 4/5 sugiere la presencia de alunita en tonalidad roja en el límite de las provincias de Azuay y Loja en el W del cantón Nabón, en la zona sur del cantón Oña, además en el norte del cantón Girón (Figura 5.4 a).

La presencia de alteración argílica intermedia producto de la relación 4/6 sugiere la presencia del mineral caolinita en tonalidad verde al W en el límite de los cantones Girón- Nabón mayormente. En franjas en sentido NE-SW en el cantón Girón y al sur del cantón Oña (Figura 5.4 b).

La presencia de calcita evidencia la alteración propilítica en tonalidad azul al NW del cantón Girón, también en el W del cantón Nabón y al sur en el cantón Oña en los límites con la provincia de Zamora Chimpiche. (Figura 5.4 b).

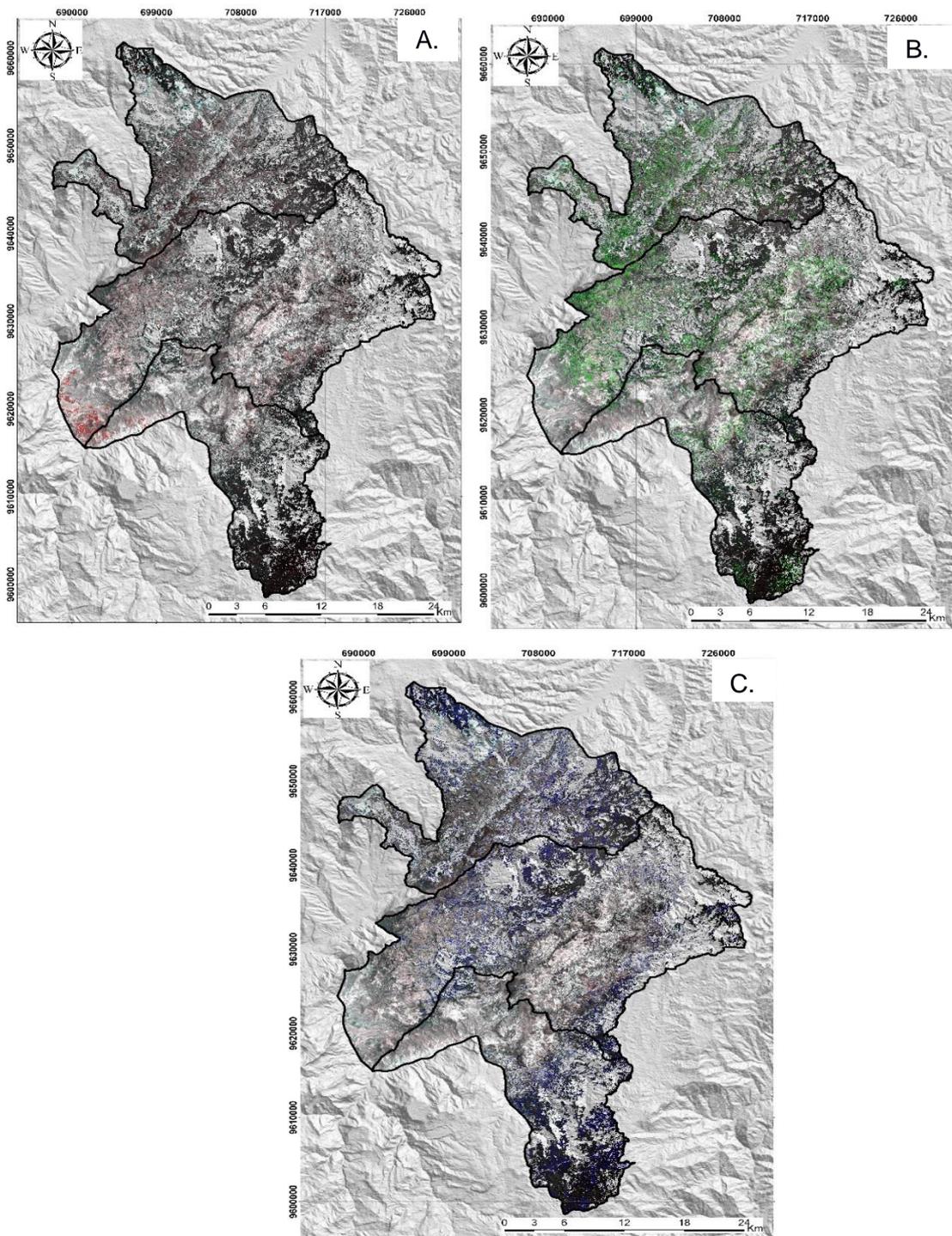


Figura 5.4 Cocientes de bandas. A).Cociente 4/5 Alunita . B). Cociente 4/6 Caolinita. C). Cociente 4/7 Calcita.

Fuente:Elaboración propia.

La combinación RGB de los cocientes de bandas.R(4/5),argílica avanzada, G(4/6), argílica intermedia, B (4/7), propilítica, sugiere la presencia de áreas prospectables o targets de exploración. Las zonas con presencia de minerales de alteración se localizan en los tres cantones.; al NW en el cantón Girón.AI W del cantón Nabón y al sur del cantón Oña (Figura 5.5).

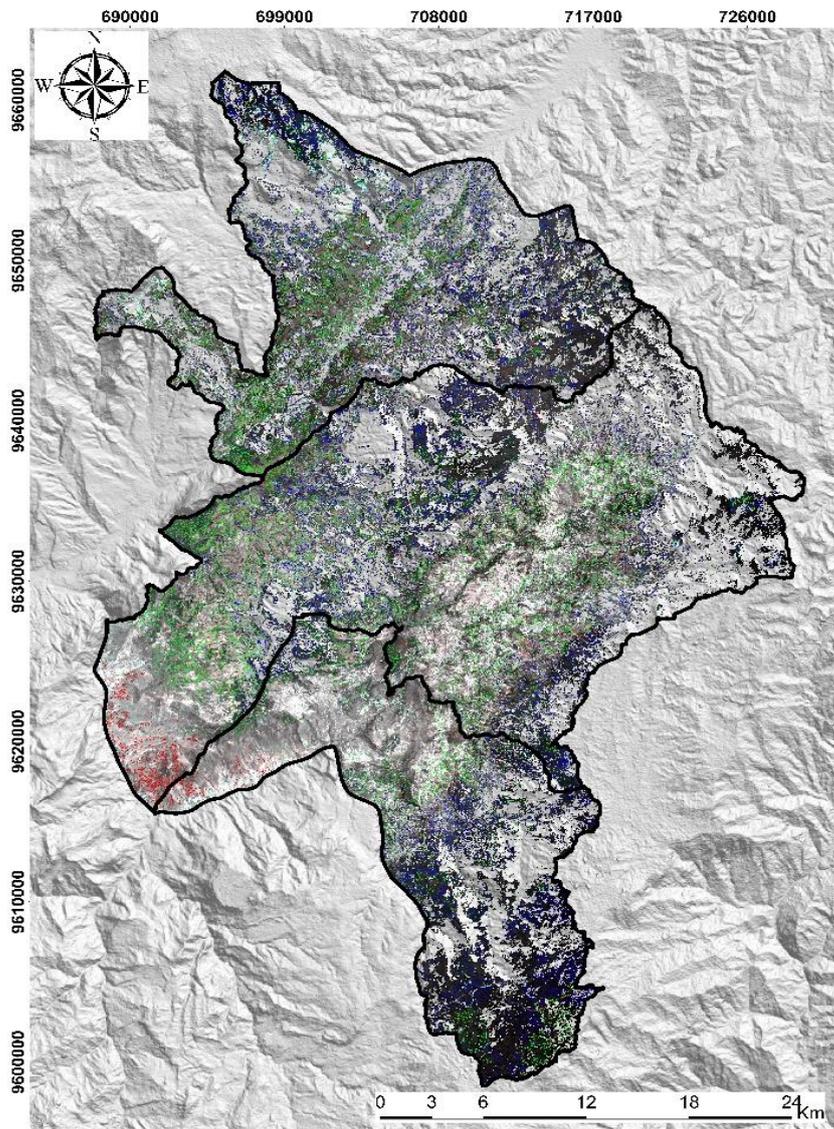


Figura 5.5 Cocientes de bandas R(4/5),G(4/6),B(4/7).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Índices espectrales SWIR

La aplicación de los índices espectrales propuestos por Ninomiya (2005), ALI (Alunita), OHla (Montmorillonita), CLI(Calcita) con rasgos característicos de absorción en el subsistema SWIR evidencian zonas con presencia de alteración hidrotermal en los cantones de estudio.

Los resultados del índice ALI sugieren la presencia de alunita en tonalidad roja en franjas NE-SE en los cantones Girón-Nabón, en el límite de los cantones Girón-Santa Isabel así también en los límites del cantón Nabón con respecto a Sigsig y Cuenca (Figura 5.6 a).

La identificación de Montmorillonita índice OHla en tonalidad verde, se evidenció mayoritariamente en el límite de los cantones: Girón,Sigsig y Cuenca. En el sur se presenta en los límites de los cantones Nabón y Oña (Figura 5.6 b).

En tonalidad amarilla se ha identificado el mineral calcita índice CLI en franjas en dirección NE-SW en los cantones Girón y Nabón. Además al sur del cantón Oña (Figura 5.6 c).

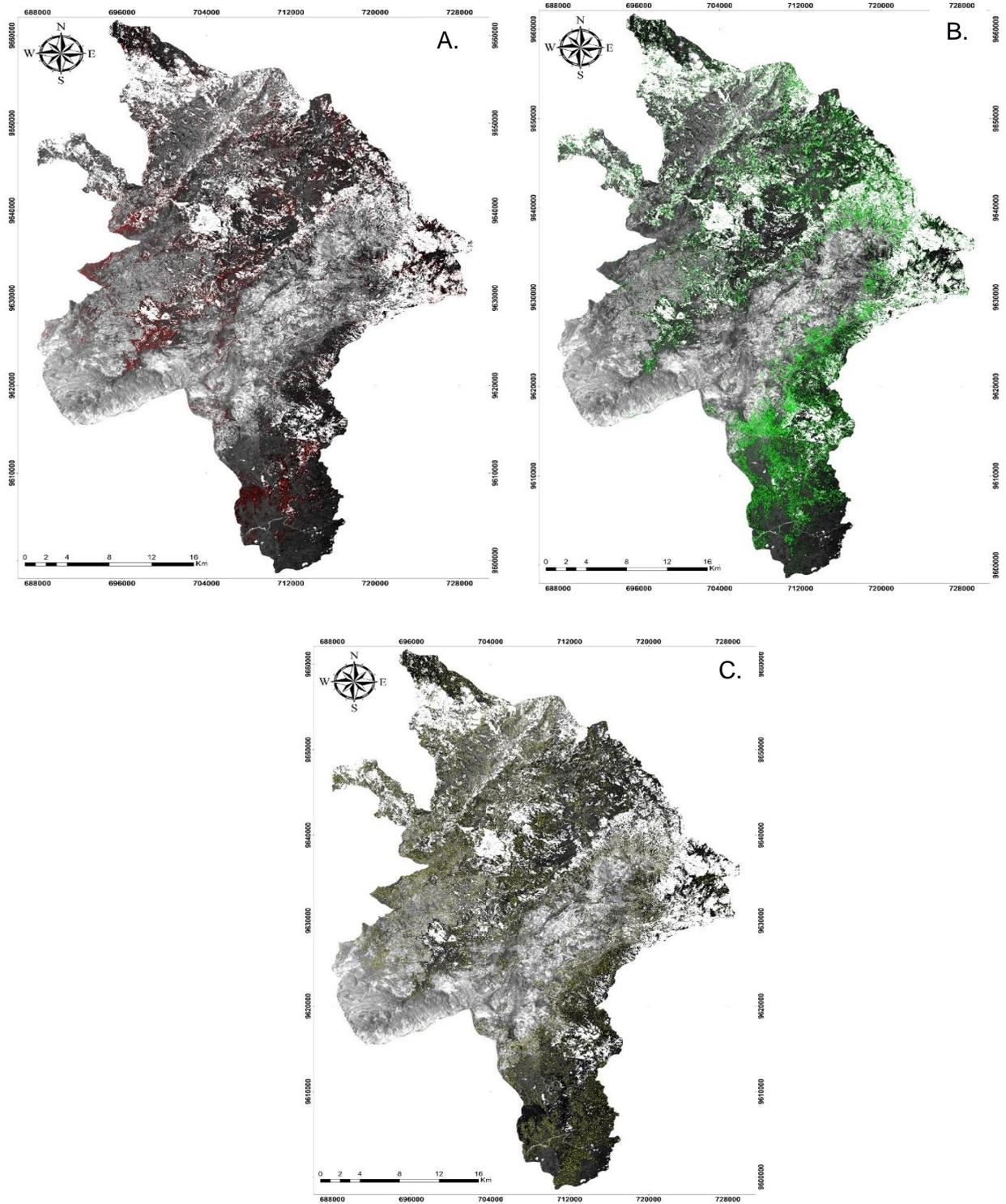


Figura 5.6 Índices espectrales A) ALI Alunita, B) OHla Montmorillonita, C) CLI Calcita.

Fuente:Elaboración propia.

Los resultados de la combinación de bandas R (ALI) ,G (OHla), B (CLI) presentan nuevas zonas prospectivas. Las zonas coincidentes de minerales de alteración alunita, montmorillonita y calcita se evidencian en los bordes de los cantones Girón-Santa Isabel, en franjas transversales en sentido NE-SW en los cantones Girón-Nabón , y además en en sur del cantón Oña (Figura 5.7).

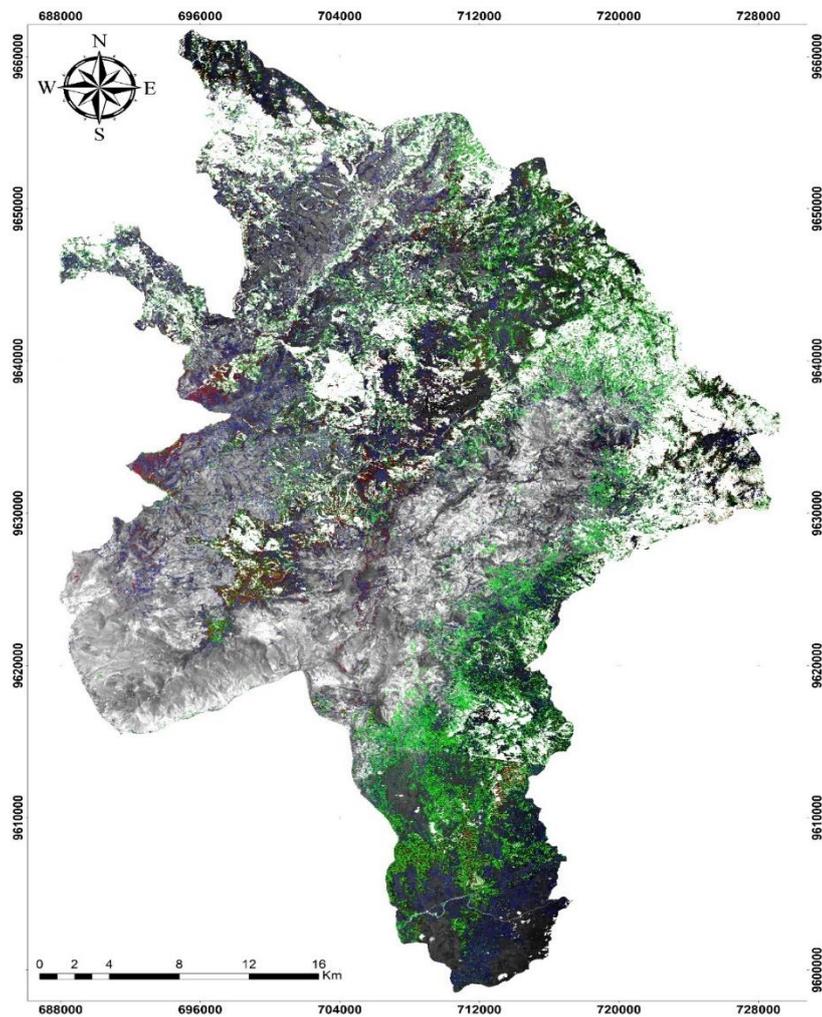


Figura 5.7 Índices espectrales R (ALI), G(OHla), B (CLI).

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 PCA (PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS)

La técnica de análisis de componentes principales para imágenes propuesta por Loughlin (1991), adaptada de Crosta (1987), ocupa las bandas de los subsistemas VNIR y SWIR sugieren la presencia de minerales de las alteraciones argílica avanzada e intermedia mediante la alta correlación estadística de los conjunto de componentes (Figura 5.8).

En el caso del mineral caolín-esmectita (figura 5.8), se analiza el componente conformado por las bandas 1357 que representan las bandas del espectro electromagnético, dicho mineral posee las características de reflexión y absorción. Se procedió a analizar cada uno de estos componentes para la selección del componente con mayor correlación y a su vez el componente que refleja de mejor manera el comportamiento del minerales en dichas bandas.

La longitud de onda de las banda 3 y 7, se evidencia un comportamiento de absorción además en la banda 5 de reflexión. De los 4 componentes a analizar el componente 7 refleja características similares al comportamiento del mineral, mostrando características de reflexión con signo positivo y absorción con el negativo además de su alta correlación, por este motivo es seleccionado como componente principal para realizar el tratamiento espectral.

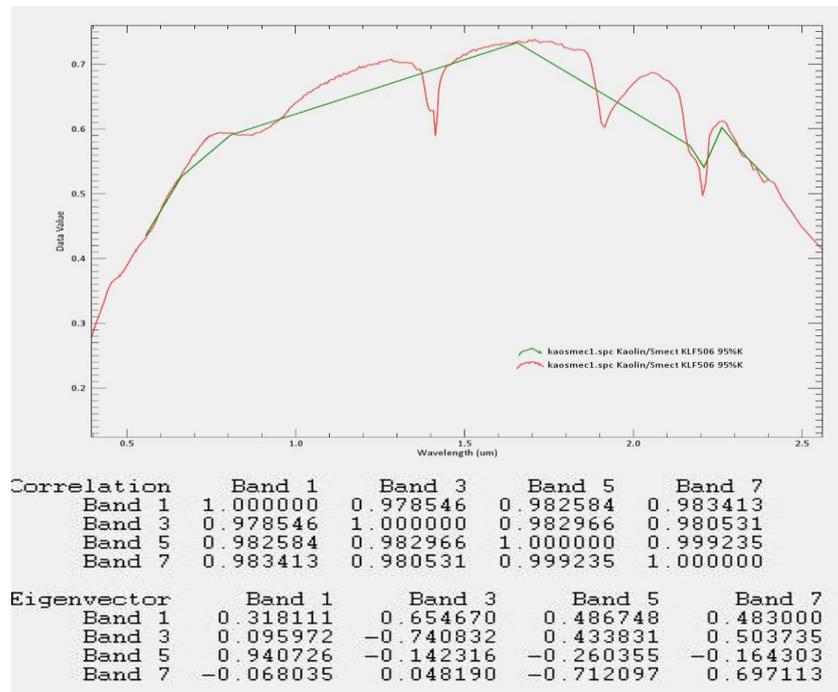


Figura 5.8 PCA caolín-esmectita.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de la técnica de análisis de componentes principales evidencia la presencia de alunita en tonalidad rojo en el límite de los cantones Nabòn-Santa Isabel (Figura 5.9 A). Además cerca al limite del cantón Nabòn y la provincia de Loja.

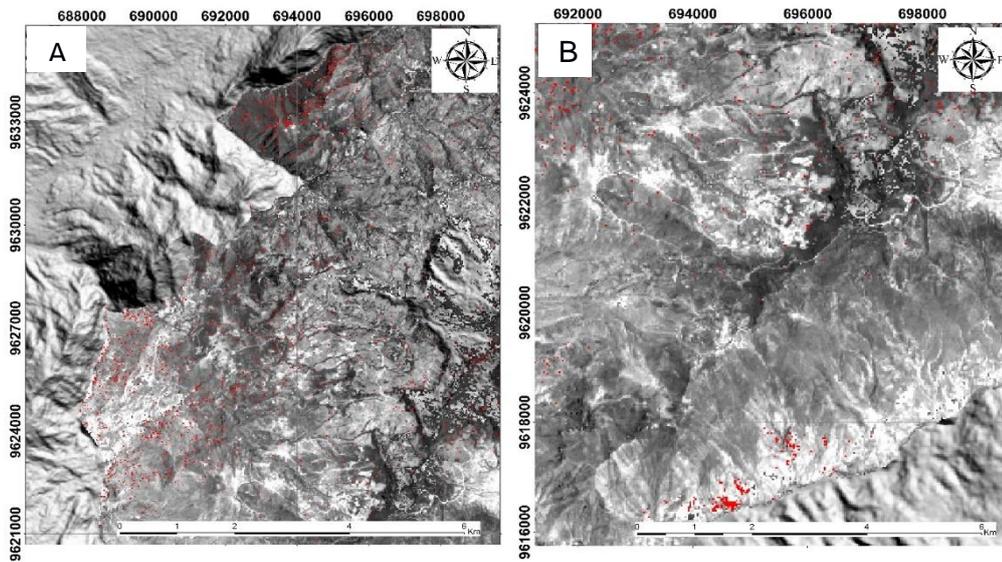


Figura 5.9 Análisis de componentes principales mineral alunita A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia alunita en franjas subverticales en el centro den cantones Giròn y Oña (Figura 5.10 A) y en el sur marcando el sendero que corre transversal al cantón Oña (Figura 5.10 B)

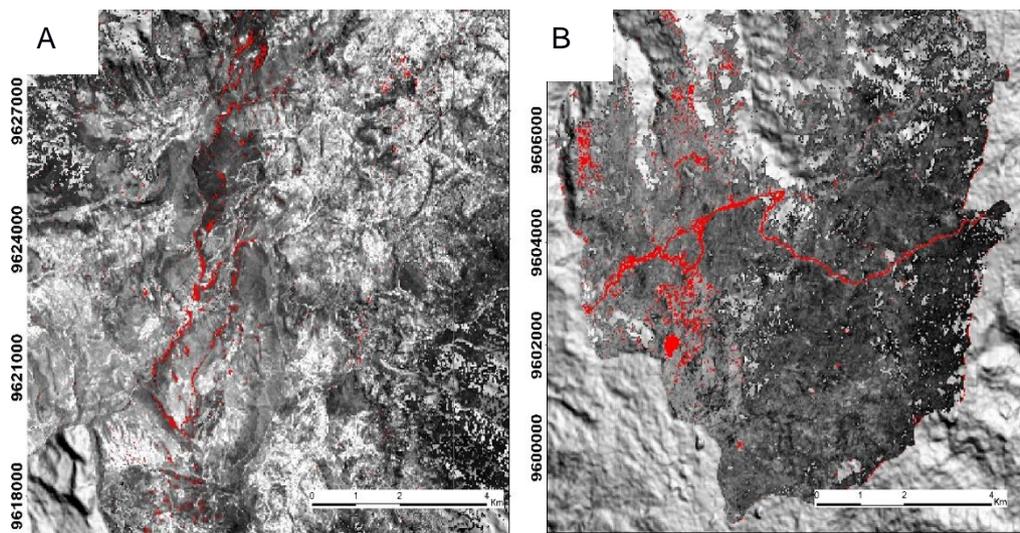


Figura 5.10 Análisis de componentes principales mineral alunita A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

La presencia del mineral alunita se presenta en cuatro zonas de los cantones estudiados. Existe alta correlación entre el conjunto principal 1467 lo que sugiere la existencia de zonas prospectivas para la alteración.

La aplicación del conjunto principal 1357 sugiere la presencia de los minerales de caolín-esmectita en tonalidad magenta, en el límite del cantón Nabòn y la provincia de Loja y también en los límites de los cantones Nabòn-Santa Isabel.(Figura 5.11 A).

Además sugiere la presencia del mineral caolín-esmectita en tonalidad magenta en el sur del cantón Oña cerca al límite con la provincia de Loja y hacia el E, cerca a la provincia de Zamora Chinchipe. (Figura 5.11 B.).

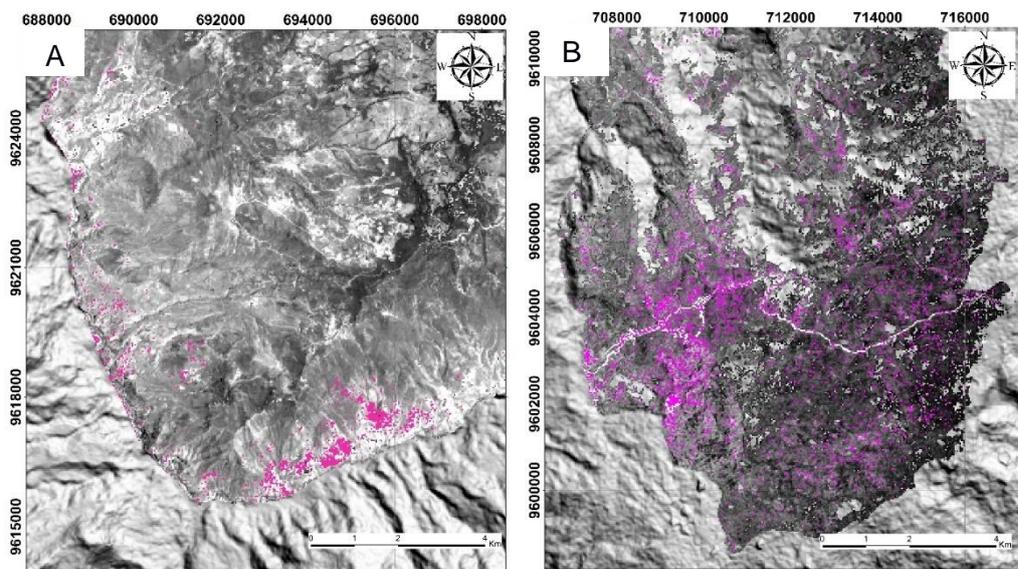


Figura 5.11 Análisis de componentes principales mineral caolín esmectita A) Zona 1 b) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 SAM (SPECTRAL ANGLE MAPPER)

La técnica del mapeo del ángulo espectral mediante la comparación de las firmas espectrales sugiere la presencia de alunita en tonalidad roja , dickita en tonalidad azul y cuarzo en tonalidad amarillo en el límite de los cantones Nabòn- Santa Isabel (Figura 5.12 A) y Nabòn y la provincia de Loja (Figura 5.12 B).

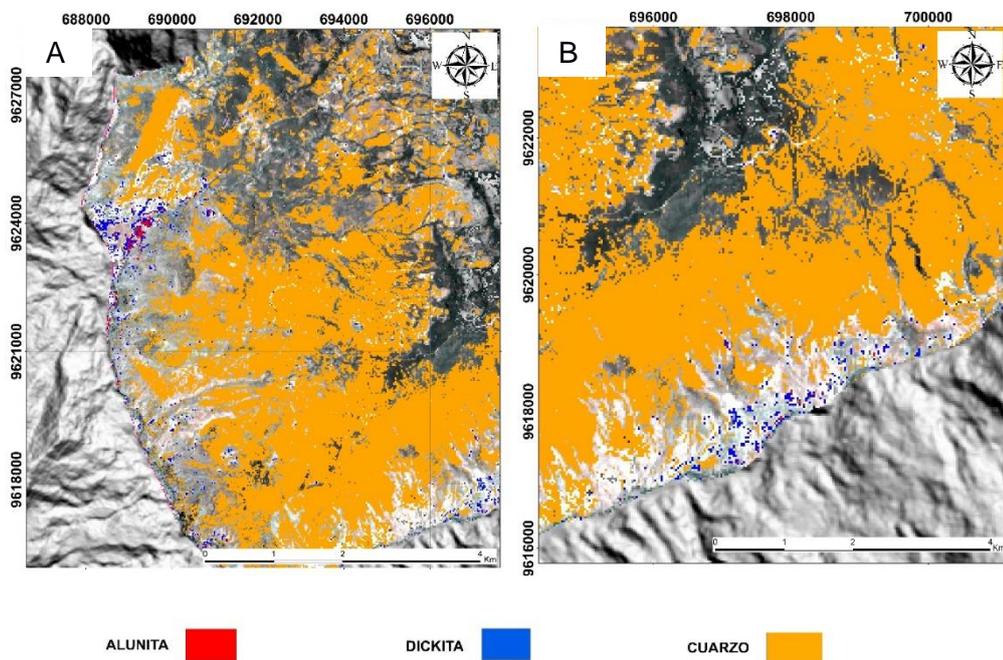
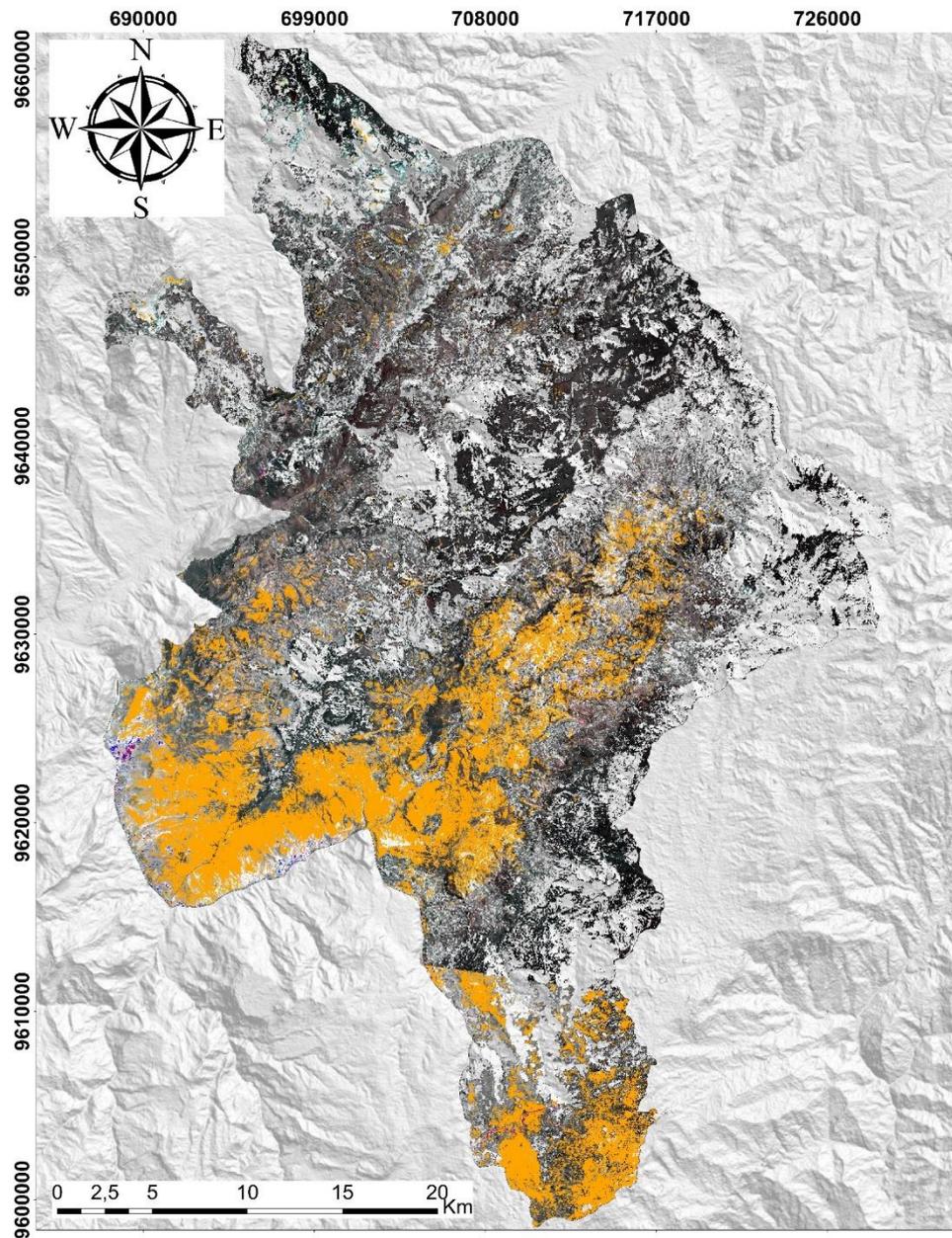


Figura 5.12 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales alunita ,dickita y cuarzo A) Zona 1 b) Zona 2

Fuente : Elaboración propia.

La presencia del ensamble mineralógico alunita,dickita y cuarzo se evidencia mayoritariamente hacia los límites de los cantones Nabòn y Oña además en el N del cantòn Giròn (Figura 5.13).



ALUNITA ■ DICKITA ■ CUARZO ■

Figura 5.13 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales alunita ,dickita y cuarzo.

Fuente : Elaboración propia.

La aplicación del mapeo de ángulo espectral para la identificación de los minerales: caolín-esmectita y montmorillonita sugiere la presencia de alteración argílica intermedia en el límite de los cantones Nabòn-Giròn (Figura 5.14 A) y Nabòn y la provincia de Loja (Figura 5.14 B).

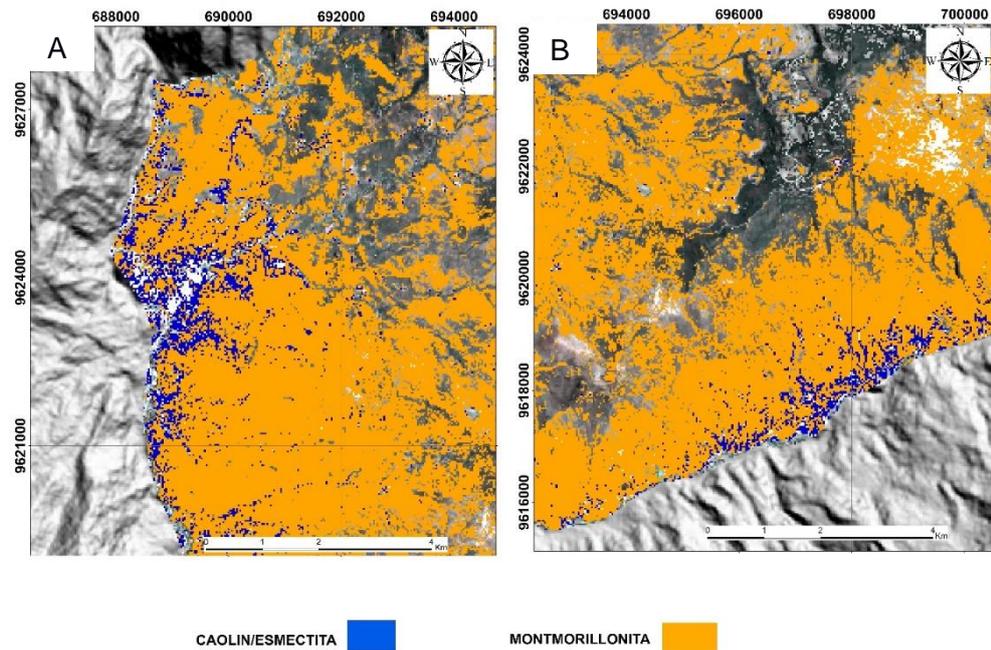


Figura 5.14 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales caolín-esmectita, dickita y montmorillonita A) Zona 1 b) Zona 2

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación de la técnica del mapeo espectral se evidenció la presencia de los minerales de alteración argílica intermedia en el límite de la zona de estudio hacia el W del cantón Nabòn específicamente cerca a la provincia de Loja y el cantón Santa Isabel (Figura 5.15).

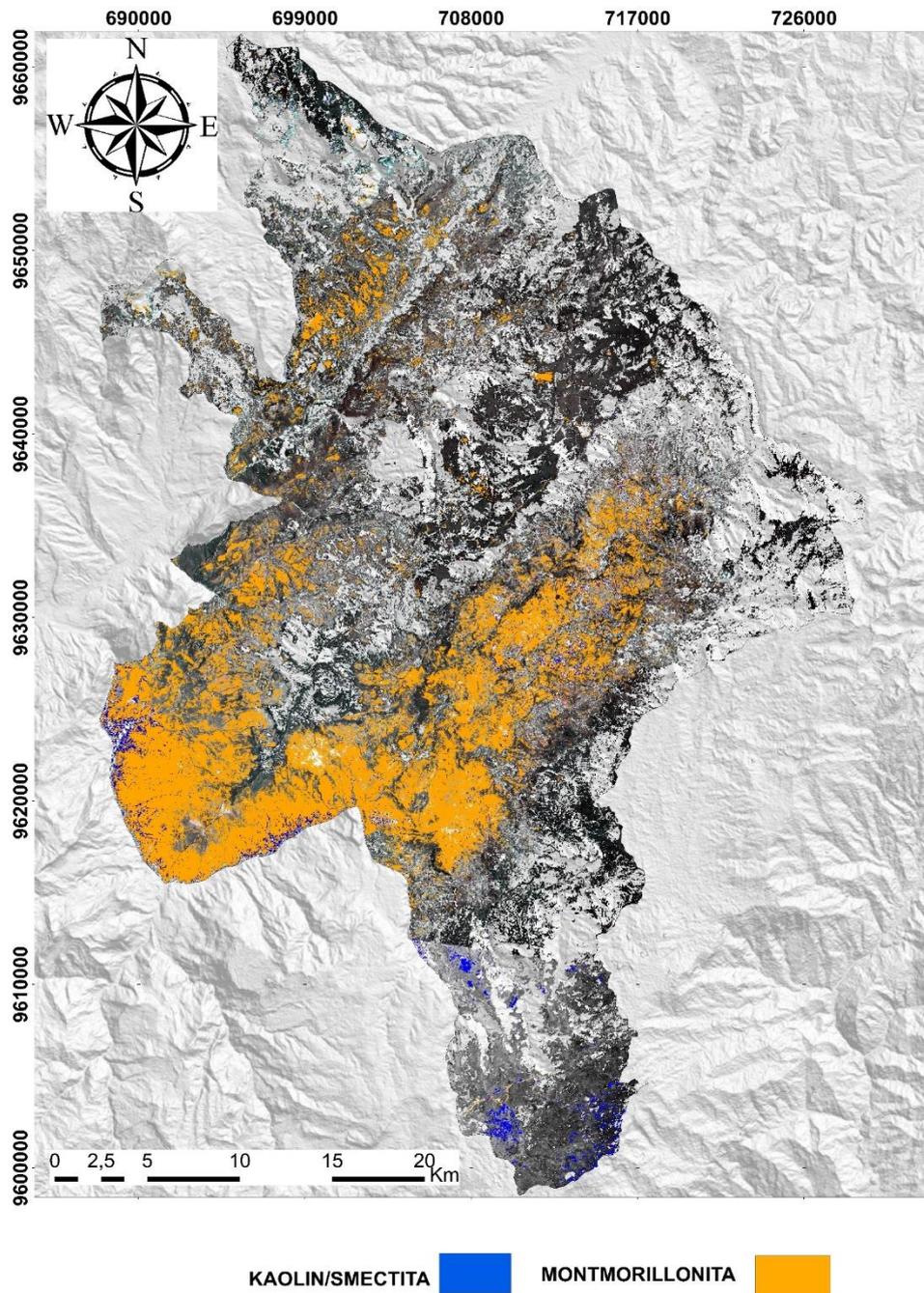


Figura 5.15 Mapeo de los ángulos espectrales de los minerales caolín-esmectita, dickita y montmorillonita.

Fuente: Elaboración propia.

El mapeo del ángulo espectral del mineral jarosita en tonalidad verde, sugiere la presencia de óxidos en sectores específicos del cantón Nabòn (Figura 5.16 a y b).

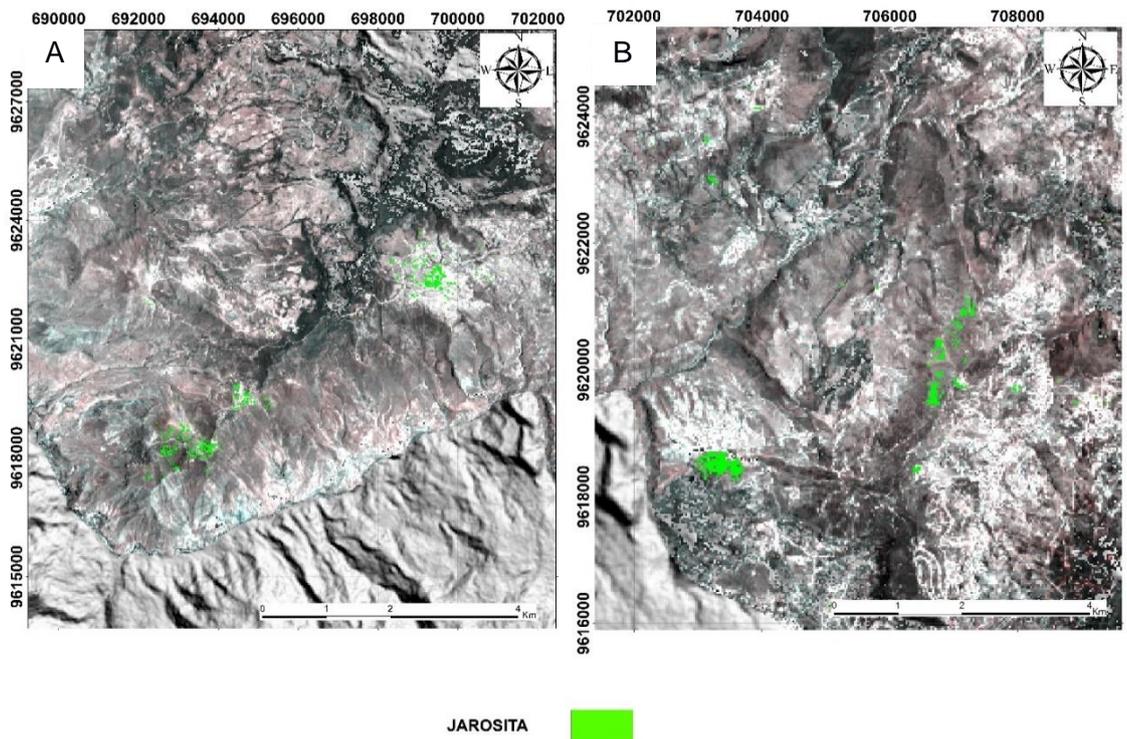


Figura 5.16 Mapeo del ángulo espectral del mineral Jarosita A) Zona 1 b) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

Además se evidencia óxidos en concentraciones menores de píxeles en el W del cantón Giròn y en el límite de los cantones Nabòn-Oña (Figura 5.17).

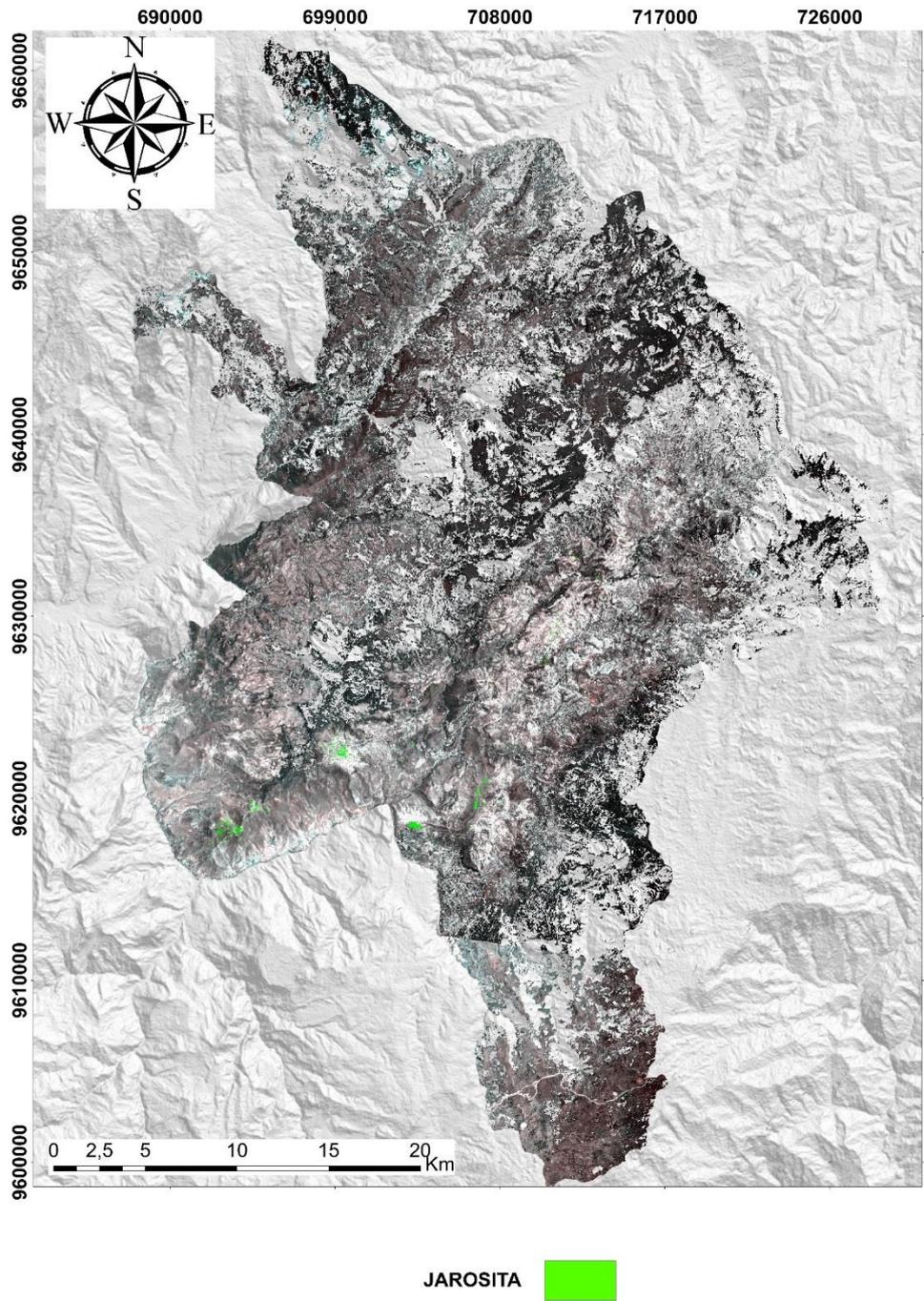


Figura 5.17 Mapeo del ángulo espectral del mineral Jarosita.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta el mapa de ensambles mineralógicos de las alteraciones: argílica avanzada, intermedia, y óxidos mediante la aplicación de la técnica espectral SAM. Existe una relación evidente de presencia de minerales de alteración hacia el límite del cantón Nabòn y la provincia de Loja. En el norte en el cantón Giròn y al extremo sur del cantón Oña (Figura 5.18).

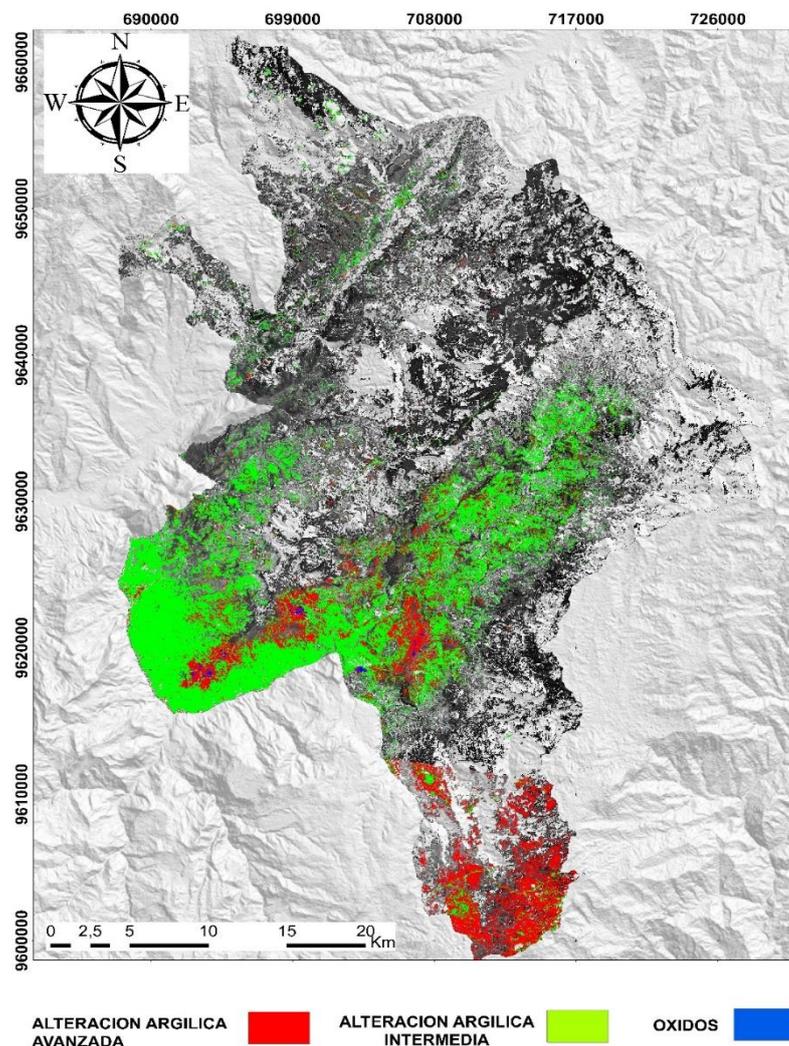


Figura 5.18 Mapeo del ángulo espectral de las alteraciones hidrotermales: argílica avanzada; argílica intermedia y óxidos.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 LSU (LINEAR SPECTRAL UNMIXING)

El Método de LSU (Linear Spectral Unmixing) sugiere la presencia de minerales de alteración: alunita en tonalidad roja, dickita en azul y cuarzo en amarillo en la zona W del cantón Girón, en el límite Girón- San Fernandino (Figura 5.19 A) y en la zona sur del cantón Oña (Figura 5.19 B).

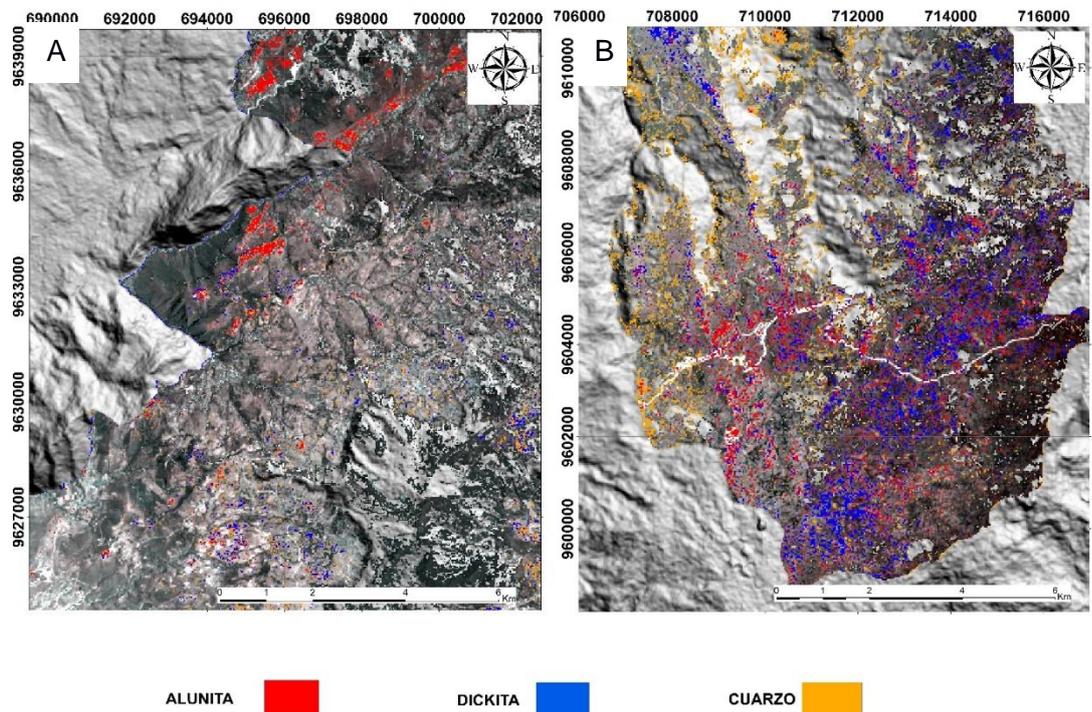


Figura 5.19 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica avanzada
A) Zona 1 b) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

En la zona norte del cantón Girón se evidencia la presencia de alunita en tonalidad roja, pocos píxeles de dickita color azul (Figura 5.20 A) y en el cantón Nabòn se evidencia cuarzo en tonalidad amarilla (Figura 5.20 b)

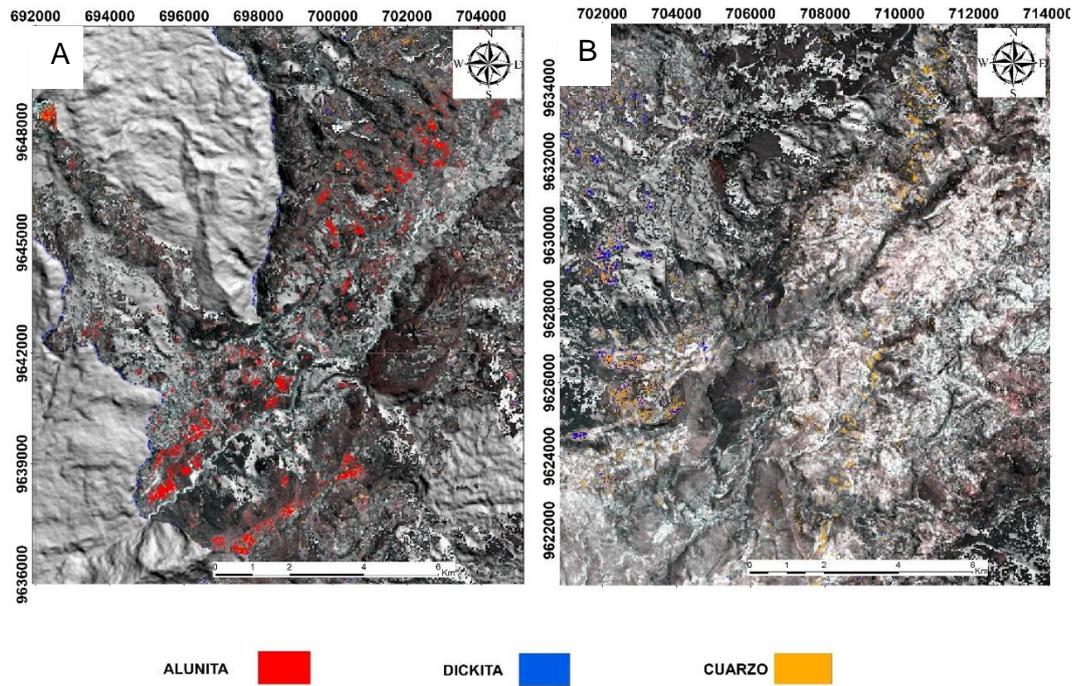


Figura 5.20 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica avanzada A) Zona 1 b) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

El método de mapeo espectral lineal afina los halos de alteración argílica avanzada, sugiere zonas específicas los límites de los cantones Giròn , Nabòn y Oña.(Figura 5.21).

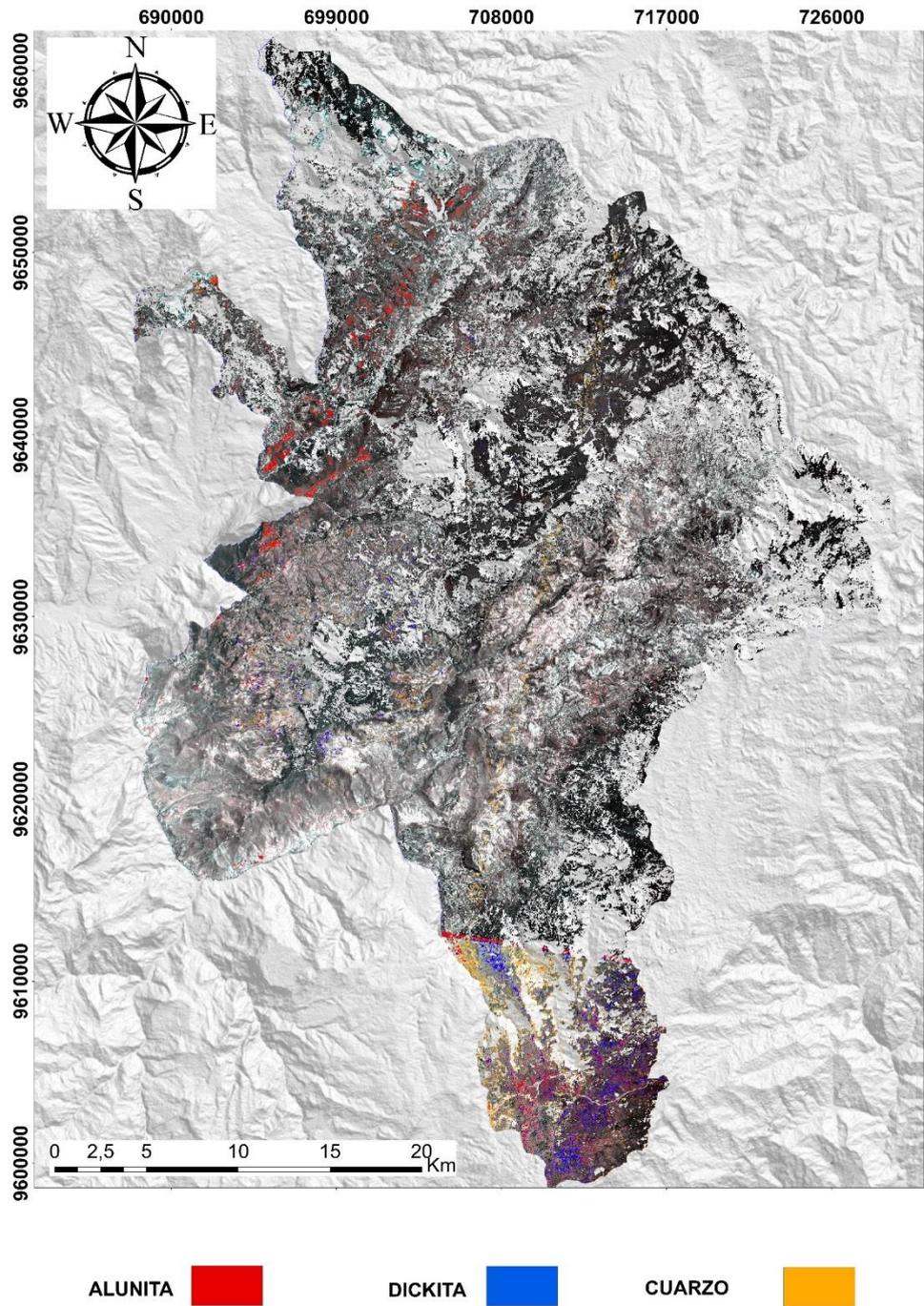


Figura 5.21 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argilica avanzada.

Fuente: Elaboración propia.

El Método de Desmezcla Espectral Líneal sugiere la presencia del ensamble mineralógico montmorillonita y caolín-esmectita en la zona oeste del cantón Nabón (Figura 5.22 A), en la zona oeste del cantón Girón cerca del límite con el cantón Nabón (Figura 5.22 B).

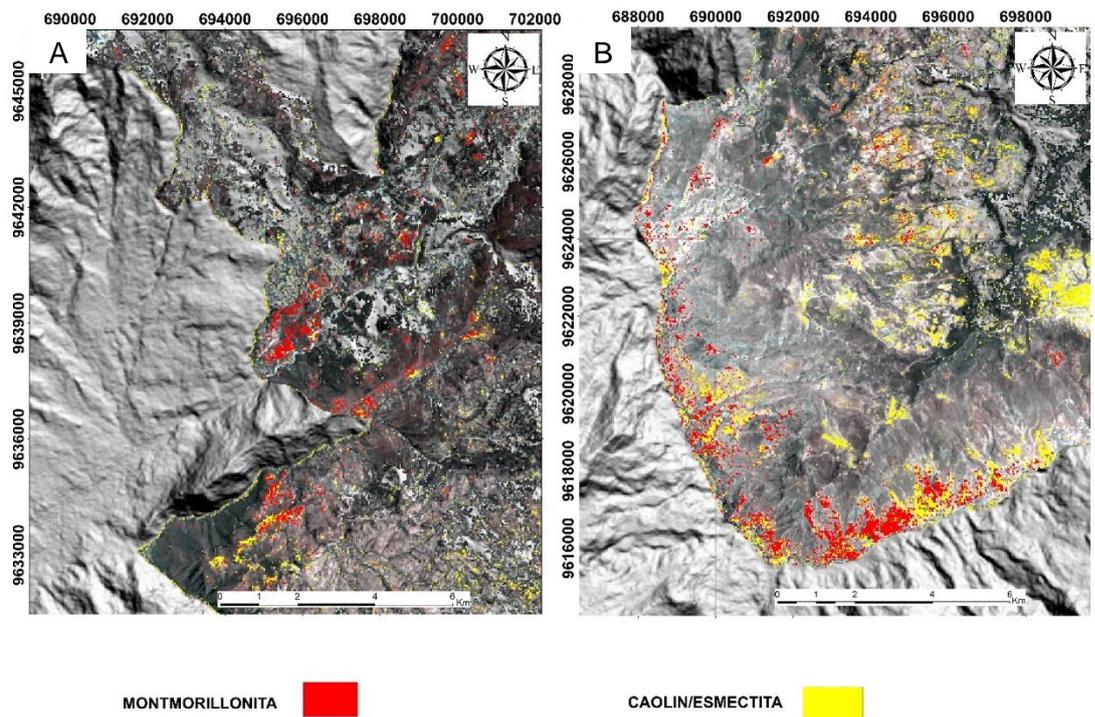


Figura 5.22 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia
 A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

La alteración intermedia se presenta en el cantón Oña (Figura 5.23 A), y en la parte central de nuestra zona de estudio en el cantón Nabon cerca del límite con el cantón Oña (Figura 5.23 B).

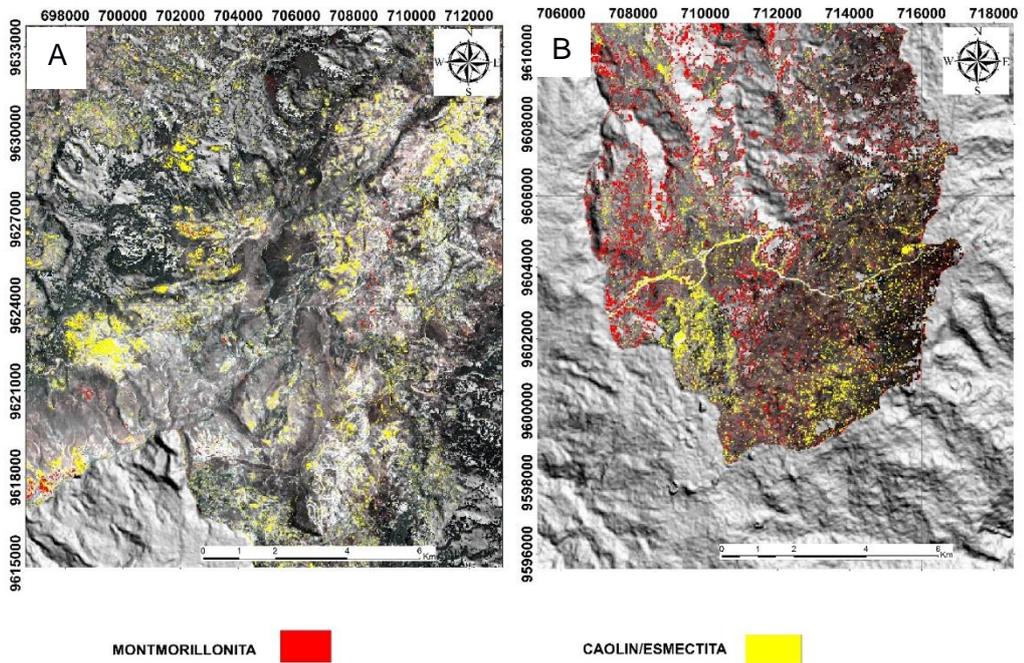


Figura 5.23 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la aplicación del mapeo espectral lineal evidencian zonas semejantes con la presencia de los minerales de alteración montorillonita,caolín-esmeclita, destaca la concentración de la alteración argílica avanzada en la zona sur y en el límite del cantón Nabòn y la provincia de Loja.(Figura 5.24).

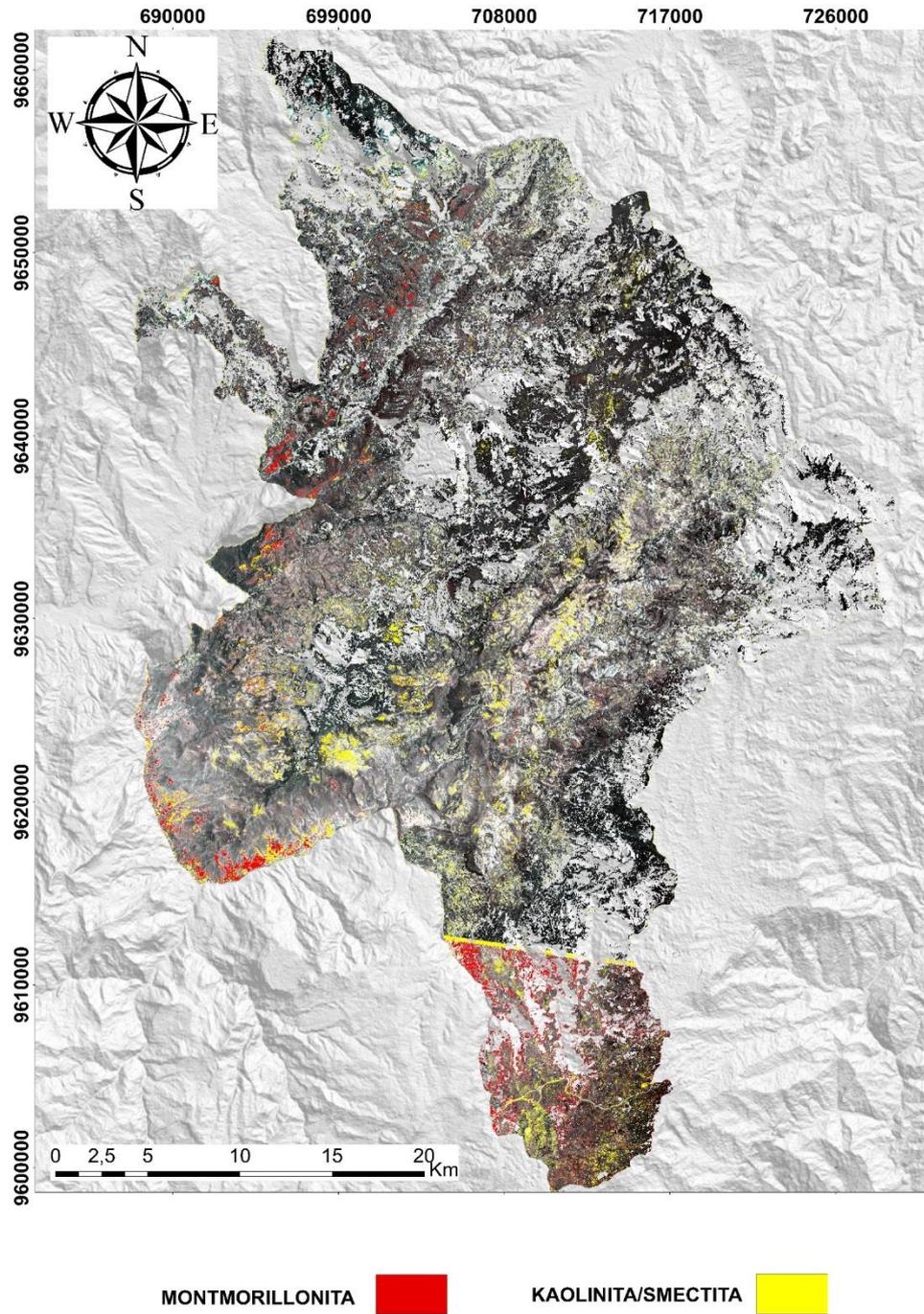


Figura 5.24 Mapeo espectral lineal de los minerales de alteración argílica intermedia.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente la aplicación del Método de Desmezcla Espectral Líneal en los cantones de estudio sugiere la presencia de los óxidos hematita y jarosita en la zona oeste del cantón Nabón .(Figura 5.25 A).y en el cantón Oña cerca del limite con el cantón Nabón .(Figura 5.25 B).

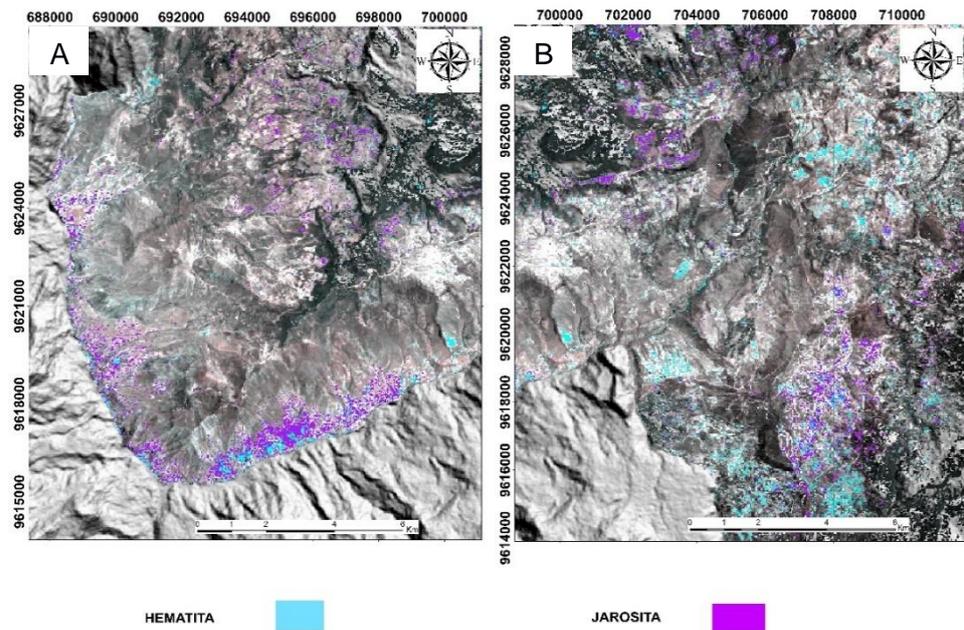


Figura 5.25 Mapeo espectral lineal de óxidos A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

La técnica LSU sugiere la presencia de óxidos al sur del cantón Oña (Figura 5.26 A).y de jarosita únicamente en el centro del cantón Nabón cerca del limite con el cantón Oña (Figura 5.26 B).

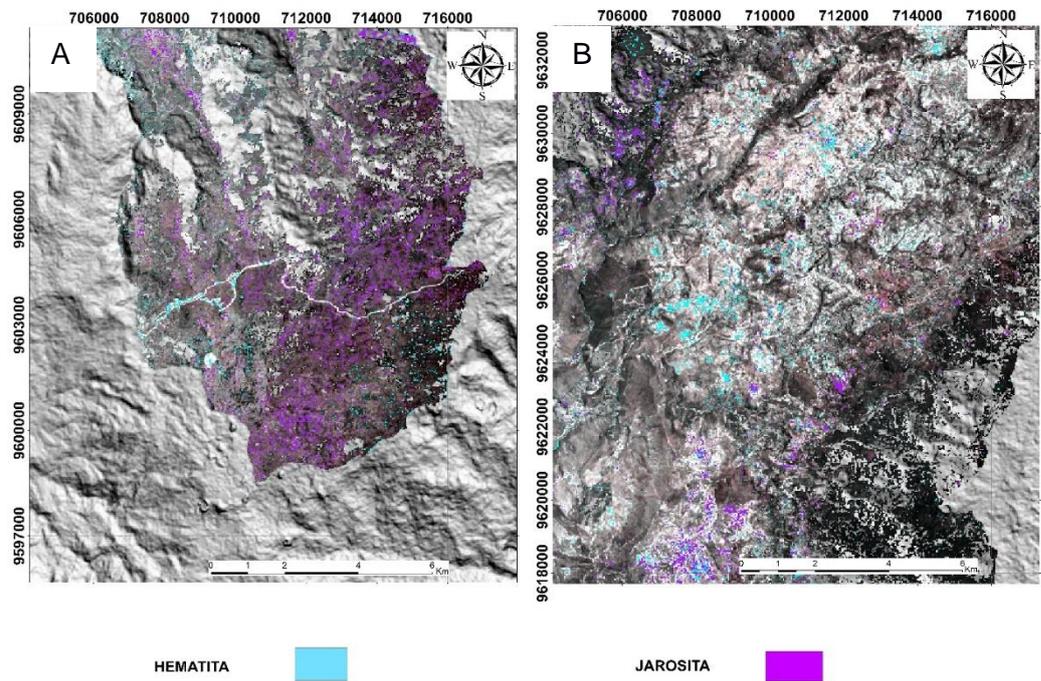


Figura 5.26 Mapeo espectral lineal de óxidos A) Zona 1 B) Zona 2.

Fuente: Elaboración propia.

La presencia de óxidos de jarosita y hematita se mapean en zonas específicas del cantón Giròn, en el limite del cantón Nabòn- Santa Isael y al sur del cantón Oña (Figura 5.27).

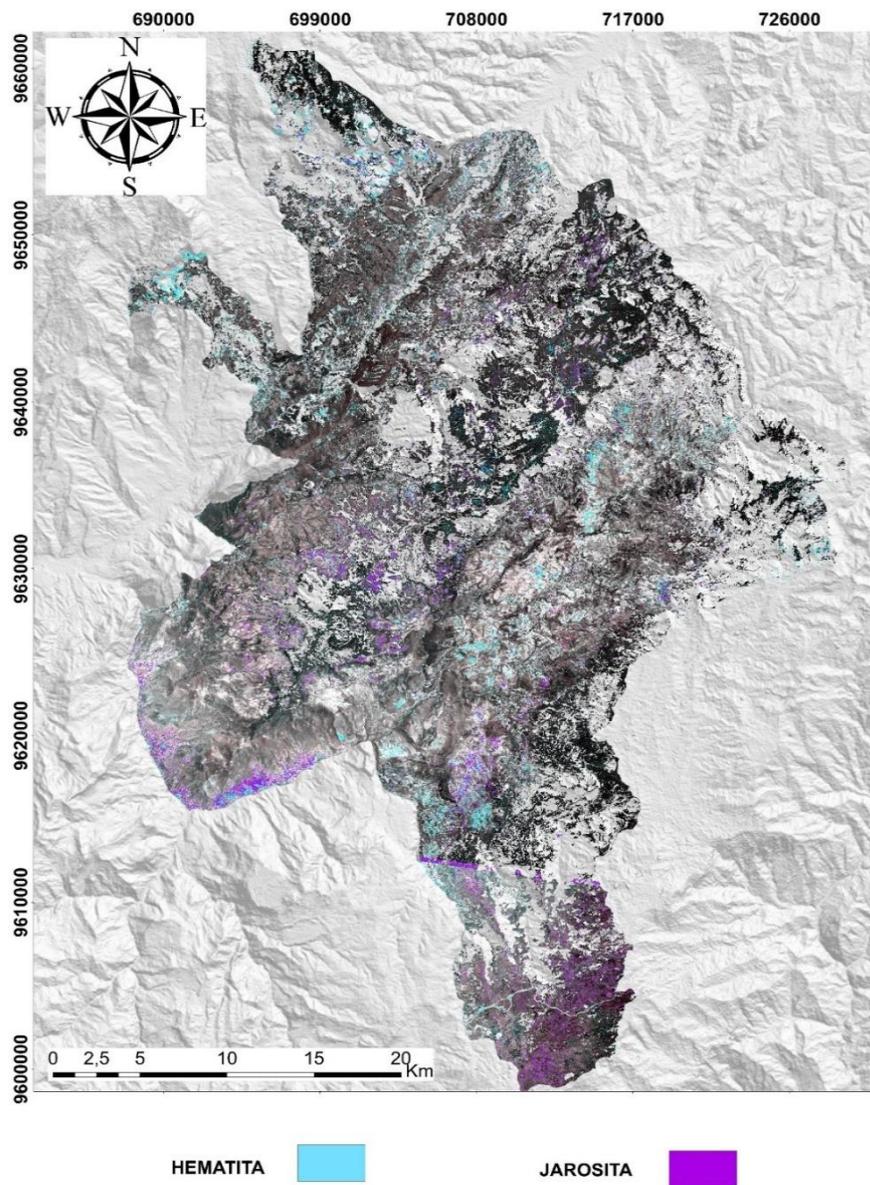


Figura 5.27 Mapeo espectral lineal de óxidos.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la aplicación del mapeo espectral lineal de los minerales pertenecientes a ensambles mineralógicos de las alteraciones hidrotermales en conjunto con la presencia de óxidos (Figura 5,28).

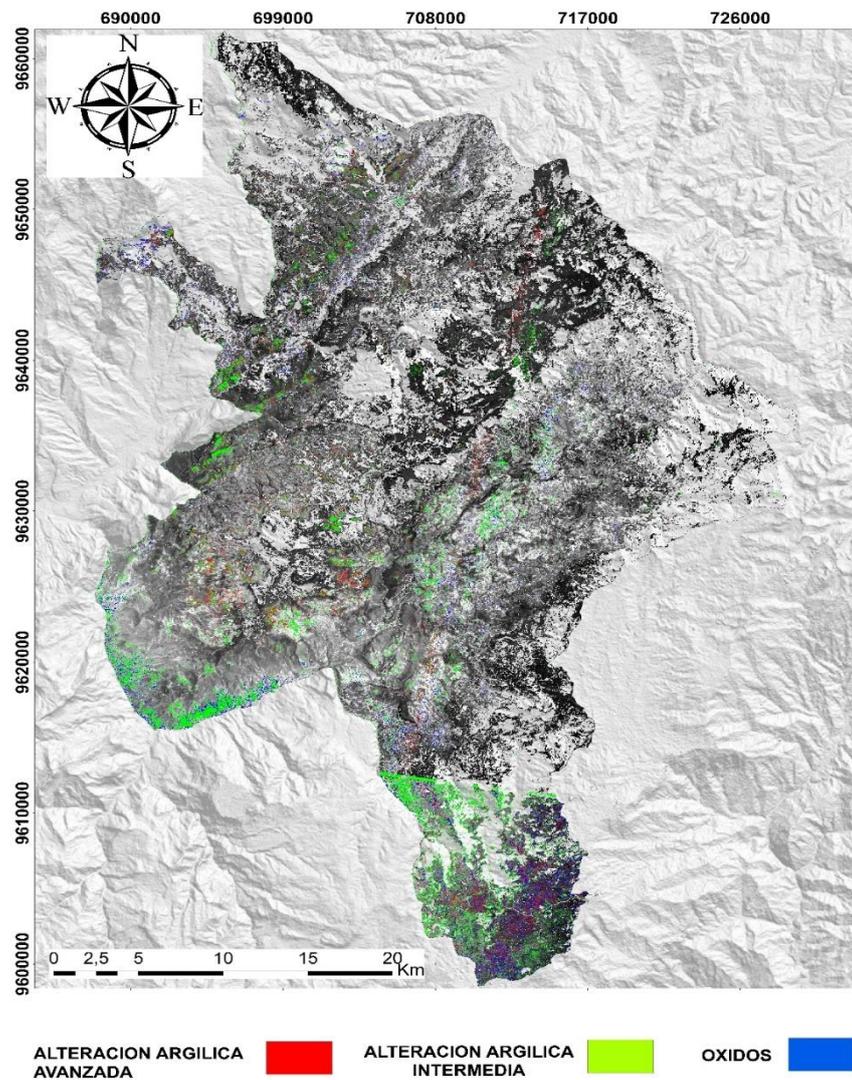


Figura 5.28 Mapeo espectral lineal de alteraciones hidrotermales
Fuente: Elaboración propia.

5.2.7 Mapa de alteraciones

Se obtuvieron 16516 pixeles en total de nuestro análisis .El 49.99% que corresponden a 8257 pixeles se encuentran categorizados como alteración argilica intermedia que corresponde a los minerales de arcillas como la montmorillonita y caolín-esmectita, seguido a estos tenemos con un 27.31% que corresponden a 4509 pixeles los minerales categorizados como alteración argilica avanzada tenemos presentes minerales como la alunita, dickita y cuarzo. Por ultimo tenemos con un 22.70% que corresponden a 375 pixeles los óxidos, en los minerales jarosita y hematita (Figura 5.29).

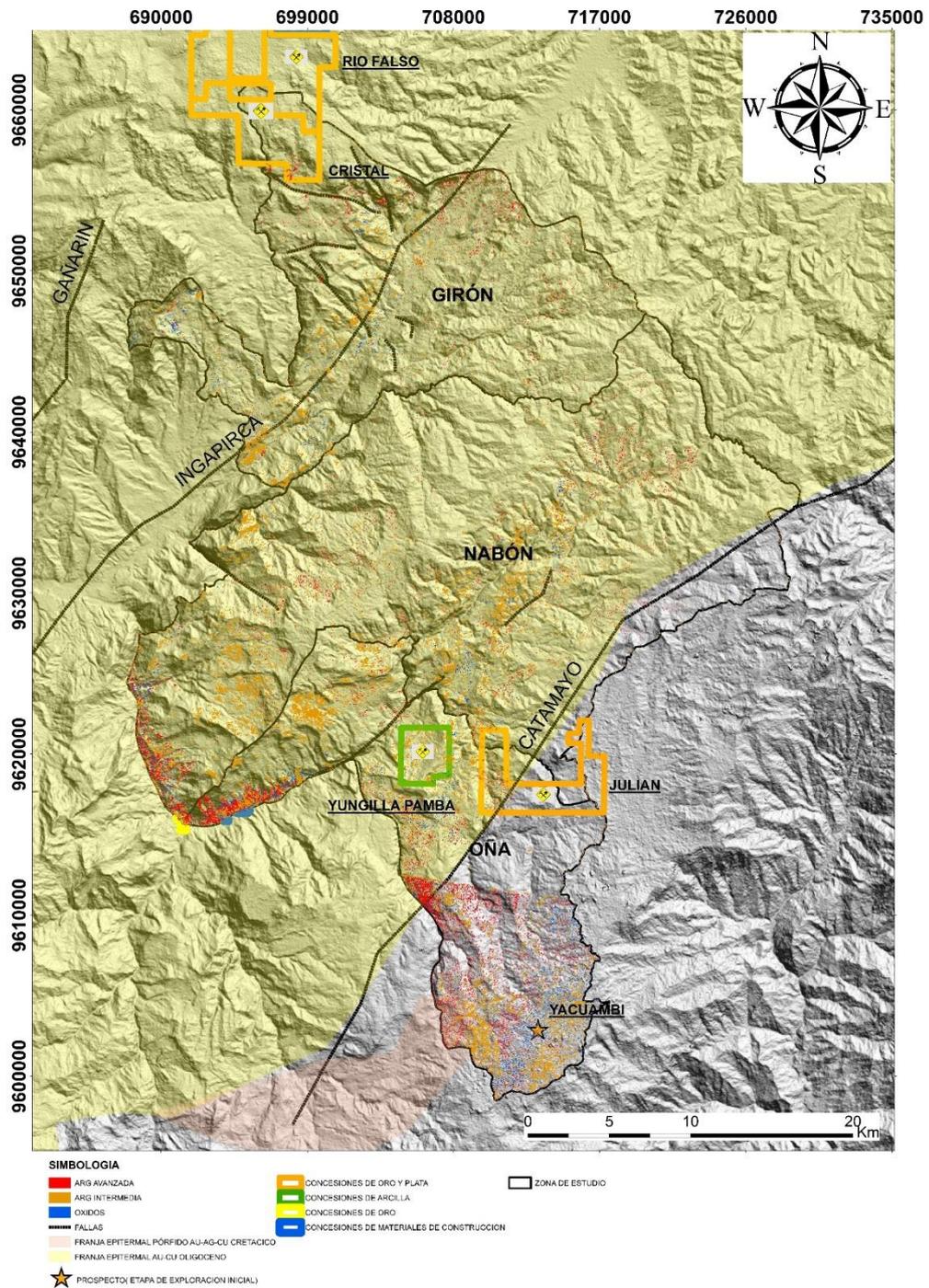


Figura 5.29 Zonas de alteración Hidrotermal

Fuente: Elaboración propia.

5.2.8 Análisis de reflectancia espectral mediante TERRASPEC

Para la validación de los resultados obtenidos del mapa de alteraciones hidrotermales de la aplicación de las técnicas de mapeo espectral: PCA, SAM , LSU , se integró la información de la litología de la zona de estudio con las muestras tomadas en el trabajo de campo (Figura 5.30).

Se consideró una distribución estadística del área de estudio para la selección de las muestras y la relación con las formaciones litológicas (Tabla 5.2). enviadas al laboratorio BIZAlab. El análisis de espectrometría de reflectancia se lo realizó mediante el uso del equipo asd terraspec 4 high-res para la obtención de las firmas espectrales y las asociaciones con los ensambles mineralógicas y el tipo de alteración (Tabla 5.3).

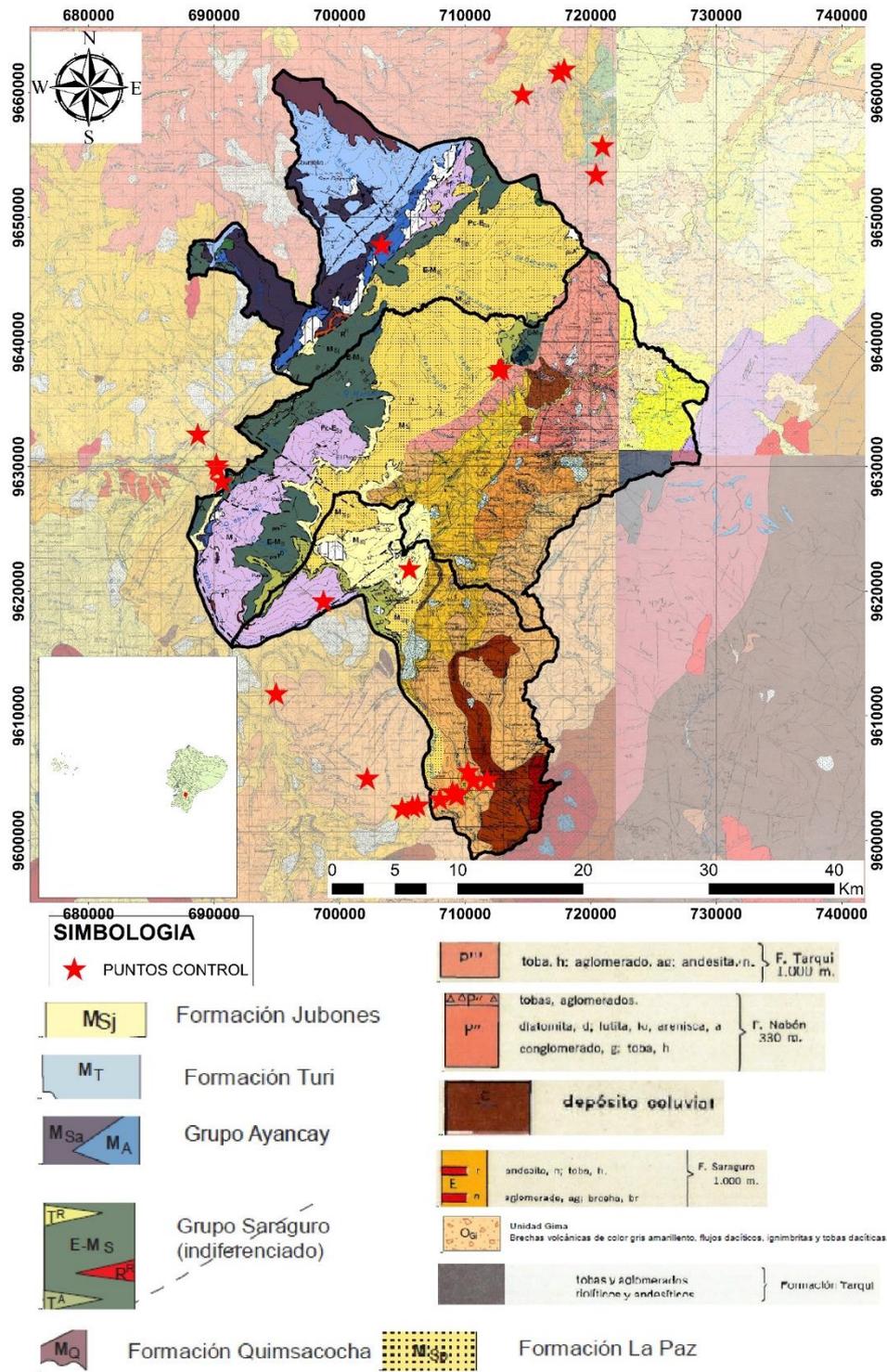


Figura 5.30 Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2 Muestras tomadas en el trabajo de campo

CÓDIGO	X	Y	LITOLOGÍA
TAD01	732614	9748311	F. YUNGILLA
TAD02	717470	9661607	F.NABÓN
TAD03	717916	9661876	G. AYANCAY
TAD04	720944	9655723	F. YUNGILLA
TAD05	720941	9655724	F. YUNGILLA
TAD06	720452	9653420	F. TARQUI
TAD07	712904	9637877	F. LA PAZ
TAD08	712681	9637730	F. LA PAZ
TAD09	705580	9621802	F. JUBONES
TAD10	704996	9602567	G. SARAGURO
TAD11	705819	9602695	G. SARAGURO
TAD12	705825	9602706	G. SARAGURO
TAD13	706247	9602831	F. TARQUI
TAD14	708006	9603319	F. TARQUI
TAD15	709003	9603876	F. TARQUI
TAD16	709293	9603651	F. TARQUI
TAD17	709422	9603703	G. SARAGURO
TAD18	710668	9604812	F. TARQUI
TAD19	710231	9605533	F. TARQUI
TAD20	711775	9604866	SERIE ZAMORA
TAD21	702213	9604989	F. TARQUI
TAD22	694967	9611778	F. TARQUI UNIDAD
TAD23	698738	9619203	SACAPALCA
TAD24	688726	9632589	G.AYANCAY
TAD25	690643	9628796	F. SANTA ISABEL
TAD26	690278	9629862	F. SANTA ISABEL
TAD27	690204	9630196	F. SANTA ISABEL
TAD28	703372	9647785	G. AYANCAY
TAD29	714571	9659872	F. YUNGILLA

Fuente: Elaboración propia.

Con los espectros obtenidos a partir de las muestras analizadas por el espectrómetro de minerales (TERRASPEC) y la posterior elaboración de la nueva librería espectral se analizó nuevamente las imágenes mediante el software ENVI y la nueva librería espectral elaborada a partir de 15 muestras de campo (Tabla 5.3). Con este ajuste se obtuvo el mapa de targets de alteración hidrotermal.

Las zonas determinadas corresponden a las alteraciones argílica avanzada e intermedia, mediante la aplicación del Mapeo Espectral Angular (SAM) y la Desmezcla Espectral Lineal(LSU). Los resultados de estas técnicas con la nueva librería espectral,sugieren que en la zona oeste y central del área de estudio en el cantón Nabón y el límite con el cantón Oña se presenta una combinación de alteración argílica avanzada e intermedia, así como en la zona sur en el cantón Oña existe principalmente alteración argílica intermedia (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Relación de muestras analizadas con el Terraspec.

SAMPLE_ID	MINERAL_ASSEMBLAGE	HYDROTHERMAL ALTERATION STAGES
TAD 01	Montmorillonite - Kaolinite	Intermediate Argillic
TAD 02	Beidellite - Silica-opaline - Kaolinite	Intermediate Argillic - Silicification
TAD 06	Opal - Montmorillonite - Kaolinite	Silicification - Intermediate Argillic
TAD 090	Opal	Silicification
TAD 11	Montmorillonite - Beidellite - Halloysite	Intermediate Argillic
TAD 14	Quartz - Kaolinite - Montmorillonite	Silicification - Intermediate Argillic
TAD 17	Montmorillonite - Halloysite - Dickite	Intermediate Argillic - Advanced Argillic
TAD 18	Montmorillonite - Beidellite - Silica-opaline	Intermediate Argillic - Silicification
TAD 21	Kaolinite - Halloysite - K-Alunite	Intermediate Argillic - Advanced Argillic
TAD 23	Montmorillonite - Opal	Intermediate Argillic - Silicification
TAD 24	Montmorillonite - Kaolinite	Intermediate Argillic
TAD 25	Quartz - Chlorite - Beidellite	Silicification - Propylitic - Intermediate Argillic
TAD 27	Opal - Silica-opaline - Montmorillonite	Silicification - Intermediate Argillic
TAD 28	Quartz - Montmorillonite	Silicification - Intermediate Argillic
TAD 29	Quartz - Montmorillonite - Beidellite	Silicification - Intermediate Argillic

Fuente: BIZAlab,2021.

5.2.9 Análisis de resultados

Al obtener los resultados de la aplicación de las diferentes técnicas se reconoce una alta correlación y similitud entre los mapeos. Se definieron zonas de interés o targets en base a la correlación entre los métodos, además se establece la relación de cercanía con las concesiones mineras que se localizan dentro de nuestra zona de estudio (Figura 5.29).

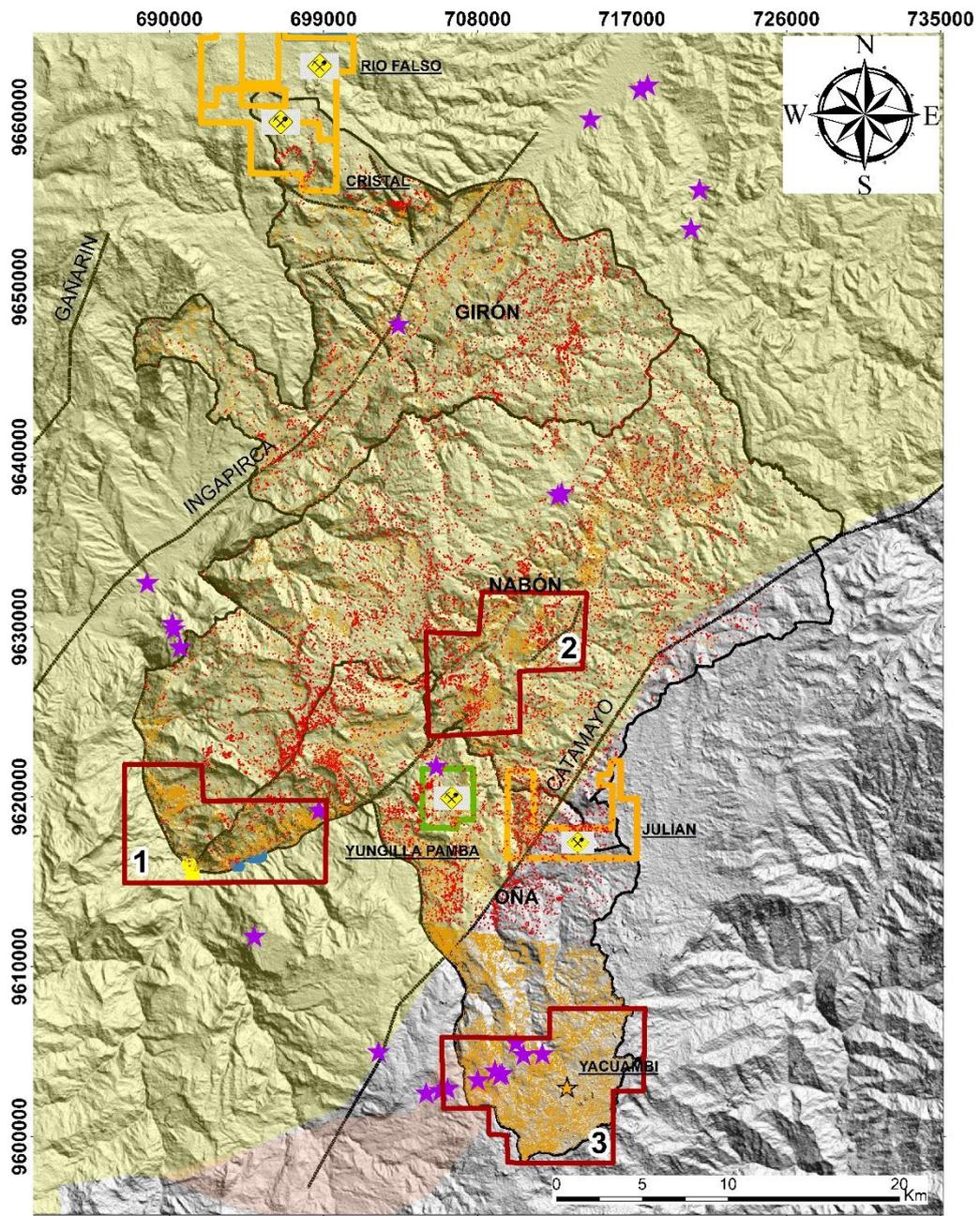
La producción de las concesiones mineras presentes en la zona de estudio son de tipo metálico con predominancia del oro y plata ,además de mena no metálico con predominancia de arcillas feldespáticas. Es importante destacar la relación de las zonas de interés y la presentan fallas, dadas las condiciones favorables para la ascensión de los fluidos hidrotermales. De acuerdo a los resultados obtenidos se definió 3 posibles targets(Figura 5.29)..

El target 1 ubicado al W del cantón Nabón según el catastro minero presenta concesiones tanto de oro y de material de construcción. Diversos factores como: el control de la mineralización asociado a una falla , la presencia del intrusivo granítico cercano a la zona de estudio generan las condiciones para el ascenso de las soluciones hidrotermales por lo tanto justifica la presencia de alteraciones hidrotermales en nuestra zona de estudio. convirtiendo la zona en un target de interés (Figura 5.29).

El target 2 se localiza en el cantón Nabón cerca al límite del cantón Oña. La presencia de dos fallas garantizan el ascenso de los fluidos hidrotermales por lo tanto corrobora la presencia de pixeles que representan minerales de alteración alrededor de las zonas de fallamiento Según la información obtenida del catastro minera en el target 2 se encuentran concesiones de oro y arcillas de esta forma la zona es de interés prospectivo. (Figura 5.29).

El target 3 ubicado en el cantón Oña presenta una alta concentración de minerales de alteración, en la zona que corresponde a prospecto minero en fase de exploración con el nombre de Yacuambi, junto la cercanía con la franja metalogenética asociada a oro, plata y cobre. Uno de los limitantes en esta zona sur del cantón Oña es la presencia de un bosque comunitario considera como área protegida

Todos los targets presentados se encuentran asociados a las franjas metalogenéticas de epitermales de oro y cobre del Oligoceno(Target 1 y 2) y también la franja de epitermales y pórfidos de oro, plata y cobre del Cretácico Superior- Paleoceno(Target 3) que se desplaza en Ecuador y Perú. La presencia de dichas franjas refuerzan la presencia de las zonas prospectivas.



SIMBOLOGIA

TARGETS	MAPEO DE ALTERACION ARGILICA INTERMEDIA-SILICIFICACION	CONCESIONES DE ORO Y PLATA
PUNTOS DE CONTROL	MAPEO DE ALTERACION ARGILICA AVANZADA-INTERMEDIA	CONCESIONES DE ARCILLA
FALLAS	FRANJA EPITERMAL PÓRFIDO AU-AG-CU CRETACICO	CONCESIONES DE ORO
	FRANJA EPITERMAL AU-CU OLIGOCENO	CONCESIONES DE MATERIALES DE CONSTRUCCION
	PROSPECTO(ETAPA DE EXPLORACION INICIAL)	ZONA DE ESTUDIO

Figura 5.31 Mapa de targets de alteracion hidrotermal

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el presente trabajo de materia prospección geológica minera se presenta la aplicación de varias técnicas de mapeo espectral en los subsistemas VIR y SWIR del sensor ASTER y el espectro visible del sensor OLI a una resolución espacial de 30 m, para la estimación de tres zonas (targets) de alteración hidrotermal.

Del análisis de modelo de elevación digital (DEM), mediante la aplicación de la técnica PCA en la imagen Lansat 8, se ha definido las secciones NE y SW de la falla de Girón, así también la red hídrica. Además mediante la técnica de modelo de sombras (Shade Relief) se interpretaron lineamientos en los bordes de los cantones Girón y Nabón con respecto de la provincia de Loja.

El tratamiento individualizado de las escenas ASTER evitó la sobreposición de la información de los píxeles al realizar un mosaico. Sin embargo se evidencia en las escenas finales de los mapeos la intersección en forma de línea de las dos imágenes que para el caso de estudio no corresponde a lineamientos ni estructuras de interés.

Mediante la aplicación de la técnica de combinación de bandas se ha definido al límite de los cantones Girón y Nabón como zona anómala por la presencia de arcillas. De las combinaciones de bandas RGB consideradas en el estudio ,los resultados que resaltan zonas más específicas son las combinaciones 531 y 468 en tonalidades verde y rosado respectivamente.

Los resultados de la aplicación de la técnica de cocientes de bandas 4/5,4/6,4/7 resalta la absorción característica de los minerales: alunita, caolinita y calcita respectivamente. Se evidencia la distribución sucesiva de las tres alteraciones, argílica avanzada, argílica intermedia y propilítica y el descenso de temperatura existente.

La técnica de mapeo de índices espectrales propuesta por Ninomiya (2003), destaca pequeñas zonas anómalas relacionadas a la falla de Ingapirca (Apéndice A), se evidencia la distribución sucesiva de los minerales de alteración alunita, montmorillonita y calcita en descenso de temperatura.

Del análisis de los componentes principales (PCA) 1467 y 1357 para los minerales alunita y caolín-esmectita, se ha definido una zona de franjas centrales en el cantón Nabón específica con orientación paralela a una falla inferida del sector, además se aprecia la presencia de alunita en el corredor de acceso transversal del cantón Oña, que se verificó en campo.

La comparación de las firmas espectrales de la imagen ASTER y las firmas estándares de la USGS, mediante el remuestreo de las firmas de la librería espectral usgs_min permitió la construcción de una librería espectral propia. El mapeo de los minerales de alteración hidrotermal se ha establecido para cada asociación hidrotermal: argílica avanzada, argílica intermedia, propilítica y óxidos.

Con la obtención de los resultados de la espectrometría de minerales aplicada en las muestras enviadas se logró identificar las diferentes asociaciones minerales y estados de alteración hidrotermal que presenta en la zona de estudio entre las cuales se destacan: Caolinita-Hallosita-k-Alunita como un estado de alteración argílica intermedia-avanzada y Montmorillonita-Caolinita-Ópalo para un estado de alteración argílica intermedia-silicificación.

A través de la técnica espectral de clasificación por minerales (SAM), es posible determinar zonas anómalas en el límite del cantón Nabón y la provincia de Loja, en

el área de estudio existen concesiones de oro , plata y materiales de construcción. La asociación hidrotermal para la alteración argílica avanzada se ha mapeado para las firmas espectrales de los minerales alunita, dickita, cuarzo. Las firmas de los minerales caolín-esmectita y montmorillonita para argílica intermedia y únicamente jarosita para el mapeo de óxidos.

Mediante el uso de la técnica espectral lineal (LSU) se ha logrado el mapeo de las zonas anómalas definidas por los métodos cocientes de bandas, índices espectrales, análisis de componentes principales (PCA) y el método de mapeo espectral (SAM) corroborando de esta manera los resultados obtenidos.

Las zonas definidas como prospectables (target 1 , target 2, target 3) se analizaron en base al mapeo de los ensambles mineralógicos y la correlación con la información de las cartas geológicas, las franjas metalogenéticas y la cartografía de lineamientos (fallas).

El target 1 se encuentra al W del cantón Nabón. La geología del sector corresponde al grupo Ayancay constituido por areniscas y limolitas, la formación Sagaruro compuesta de la sucesión de material volcánico y la formación Jubones rica en cristales de plagioclasas, biotita y cuarzo. Además se localiza en la franja epitermal de Au y Cu del Oligoceno-Mioceno marcada por el control estructural de la falla de Ingapirca .Las concesiones de Au y Cu corroboran los métodos espectrales utilizados.

El target 2 se ubica en el límite de los cantones Nabón y Oña. La geología del sector la conforman la Formación Jubones, la Formación Nabón compuestas por tobas estratificadas, la formación Saraguro y la formación La Paz compuesta de tobas ricas en cristales de cuarzo y plagioclasas. El target corresponde a la franja epitermal de Au y Cu del Oligoceno-Mioceno. Cerca de la zona anómala se evidencia la concesión de arcilla Yungilla Pamba y la concesión Julián de Au y Ag.

El target 3 se localiza al sur del cantón Oña. La geología está determinada por la formación Tarqui compuesta de depósitos volcánicos, formación Saraguro, formación Jubones, Grupo Ayancay, depósito coluvial, y un granito intrusivo. Se ubica dentro de la franja Epitermal y Pórfido de Au-Ag-Cu del Cretácico Superior-Paleoceno. En la zona de interés definida se encuentra el prospecto epitermal de Au Yacuambi.

6.2 Recomendaciones

Si el área de estudio cubre la extensión de dos imágenes multiespectrales ASTER o Landsat 8, se recomienda el tratamiento individual para cada escena, la creación de un Mosaico puede ocasionar la sobreposición de la información y posterior perturbación en los resultados.

La información de la librería espectral creada en base al remuestreo de las firmas espectrales de la librería usgs_min debe ser ampliada en base a la toma de las firmas espectrales de muestras en campo mediante el uso del espectrómetro de minerales con el fin de mejorar la calidad de resultados.

Se debe incluir análisis especializados difracción de rayos x (XRD) para determinar las fases asociadas con zonas de alteración hidrotermal, además láminas delgadas y posteriormente estudios geofísicos.

Para la interpretación geológica y estructural se recomienda la obtención de una imagen anaglifo obtenida con la combinación de las bandas 3N Y 3B de la imagen ASTER.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. G. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Aster para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. La Plata.
- Allibon, J., Monjoie, P., Lapiere, H., Jaillard, E., Bussy, F., Bosch, D., & Senebier, F. (2008). The contribution of the young Cretaceous Caribbean Oceanic Plateau to the genesis of late Cretaceous arc magmatism in the Cordillera Occidental of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 26(4), 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2008.06.003>
- Aspden, J. A., Bonilla, W., & Duque, P. (1995). The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits (No. 67). British Geological Survey.
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1–3), 187–204. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7)
- Aster Science Team. (1996). Algorithm theoretical basis document for ASTER level-1 data processing. Japan: Earth Remote Sensing, Data Analysis Center (... , 119. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Algorithm+Theoretical+Basis+Document+for+ASTER+Level-1+Data+Processing#4>
- Baldock, J.W. (1982). Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa Geológico (1:1.000.000) de la República del Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito, 54 pp.
- BGS & CODIGEM (1997a). Geological Information Mapping Programme (Western Cordillera). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador Between 2°00' and 3°00' S. Report Number 2
- Bhadra, B. K., Pathak, S., Karunakar, G., & Sharma, J. R. (2013). ASTER data analysis for mineral potential mapping around Sawar-Malpura area, Central Rajasthan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(2), 391-404.
- Bristow, C. R. 1973. Guide to the geology of the Cuenca Basin, southern Ecuador.

Ecuadorian Geol. Geophys. Soc.

- Bristow, C. R., & Parodiz, J. J. (1982). stratigraphical paleontology of the tertiary non-marine sediments of Ecuador.
- Caiza, E. (2018) Estimación de zonas de alteración hidrotermal mediante interpretación de imágenes satelitales tipo ASTER y uso del equipo Terraspec en la zona de Cerro de Pasco, Perú (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Cediel, F., Shaw, R. P., & Cceres, C. (2003). Tectonic assembly of the northern Andean block.
- Chiaradia, M., Fontboté, L., & Beate, B. (2004). Cenozoic continental arc magmatism and associated mineralization in Ecuador. *Mineralium Deposita*, 39(2), 204-222.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. In (Fundamentals of remote sensing from space (SECOND EDI).
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization (No. 6). Littleton, Colorado: Society of Economic Geologists.
- Crosta, A. and Moore, J., 1990. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil- A prospecting case history in greenstone belt terrain.
- Daly, M. C. 1989. Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. *Tectonics* 8, 769-790.
- Denmark. (2009). Geological Remote Sensing Satellite Image Data Packages for Exploration Reconnaissance. 1, 1-7.
- Dunkley, P., & Gaibor, A. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador Between 2° 00'-3° 00' S. CODIGEM-BGS, Quito, Ecuador.
- E, I. de I. G. y E. (1974). 8.- Hoja geológica Girón - escala 1 100.000.pdf.
- Egüez, A. & Noblet, Ch. 1988. Nuevos datos estratigraficos de la cuenca de Cuenca (Sur del Ecuador): implicaciones geologicas y geodinamicas. *Pol. Nono. de geologia*. XIII. 33-17.

Ersdac 2002 http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/exhibition_e/a_products_e/a_product2_e.html

Escuder Viruete, J., Díaz de Neira, A., Hernáiz Huerta, P., Monthel, J., García Senz, J., Joubert, M., Pérez-Estaún, A. (2006). Magmatic relationships and ages of Caribbean Island arc tholeiites, boninites and related felsic rocks: *Lithos*, v. 90. p. 161-186.

Estes, J. E., & Simonett, D. S. (1975). *Fundamentals of image interpretation. Manual of remote sensing*, 1.

García Hinojosa, E. E. (2016). *El impacto social de la minería a gran escala en el Ecuador* (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

Goetz, A. F. H. (1982). Mineral Identification From Orbit: Initial Results from the Shuttle Multispectral Infrared Radiometer. *Dictionary of Gems and Gemology*, 218(december). https://doi.org/10.1007/978-3-540-72816-0_14478

Gonzales, K., Casas, J., Zarate, H., Rivera, D., Rodriguez, I., INGEMMET, A., & San Borja, C. (2012). Teledetección Satelital óptica en el seguimiento de las actividades mineras en Madre de Dios.

Guillier, B., Chatelain, J. L., Jaillard, E., Yepes, H., Poupinet, G., & Fels, J. F. (2001). Seismological evidence on the geometry of the orogenic system in central-northern Ecuador (South America). *Geophysical Research Letters*, 28(19), 3749-3752.

Gupta, R.P. 2017. *Remote Sensing Geology*, 3rd edn. Springer, Berlin, Germany, pp 180-190, 235-240, and 332-336.

Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters* 168, 255-270.

Harrison, S. (1985). Standardized principal component analysis. *Int. J. Remote Sens*, 6, 883-890.

Herrmann, W., Blake, M., Doyle, M., Huston, D., Kamprad, J., Merry, N., & Pontual, S. (2001). Short Wavelength Infrared (SWIR) spectral analysis of hydrothermal alteration zones associated with base metal sulfide deposits at Rosebery and

- Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Economic Geology*, 96(5), 939–955. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.5.939>
- Hungerbühler, D., 1997. Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00' –4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, 182 pp
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., ... & Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1-2), 75-124.
- HUNT, G. R. (1977). Spectral signatures of particulate mineral in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42(3), 501–513.
- IIG Litherland, M. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir.*, 11.
- INIGEMM. «Mapa Geológico de la República del Ecuador.» Mapa escala 1:1 000 000, Instituto Nacional de Investigación Geológico Mineral Metalúrgico (INIGEMM), Quito, 2017.
- ISPRS annals of the photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (2), 99.
- Jaillard, E., Ordoñez, O., Suárez, J., Iza, D., y Lugo, W., (2004). Stratigraphy of the Late Cretaceous – Paleogene deposits of the Western Cordillera of Central Ecuador: geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 17, 49-58
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., & Goetz, A. F. H. (1993, August). The spectral image processing system (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 283, No. 1, pp. 192-201). American Institute of Physics.
- Lavenu, A., Noblet, C., & Winter, T. (1995). Neogene ongoing tectonics in the Southern Ecuadorian Andes: analysis of the evolution of the stress field. *Journal of Structural Geology*, 17(1), 47-58.
- Litherland, M. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir.*, 11.

- Loughlin, W. P. (1991). Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(9), 1163-1169.
- Lonsdale, P. (2005). Creation of the Cocos -Nazca plates by fission of the Farallon plate. *Tectonophysics* 404, p. 237-264
- Lonsdale, P., & Klitgord, K. (1978). Structure and tectonic history of eastern Panama Basin. *Geological Society of American Bulletin*, v. 89, p. 981-999.
- Madden, R. H. 1990. Miocene Toxodontidae (Notoungulata, Mammalia) from Colombia, Ecuador and Chile. Ph.D. thesis, Duke University
- Mahdevar, M. R., Ketabi, P., Saadatkah, N., Rahnamarad, J., & Mohammadi, S. S. (2015). Application of ASTER SWIR data on detection of alteration zone in the Sheikhabad area, eastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8), 5909–5919. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1597-2>
- Mamani Ticona, T. (2017). Aplicación de imágenes ASTER en la detección de zonas de alteraciones hidrotermales, sector Titire, Carumas, Moquegua.
- Matar, S. S., & Bamousa, A. O. (2013). Integration of the ASTER thermal infra-red bands imageries with geological map of Jabal Al Hasir area, Asir Terrane, the Arabian Shield. *Journal of Taibah University for Science*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2013.01.001>
- Meerdink, S. K., Hook, S. J., Roberts, D. A., & Abbott, E. A. (2019). The ECOSTRESS spectral library version 1.0. *Remote Sensing of Environment*, 230(111196), 1–8.
- Michaud, F., Witt, C., & Royer, J. (2009). Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction, in Kay, S.M., Ramos, V.A., and Dickinson, W.R., eds., *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision: Ge.* 1-12
- Ninomiya, Y., 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and Swir data. *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VII*. Edited by Meynard, Roland; Neeck, Steven P.; Shimoda, Haruhisa; Lurie, Joan B.; Aten, Michelle L. *Proceedings of the SPIE*, Volume 5234, pp. 180-190.
- Niu, Y., O`Hara, M., & Pearce, J. (2003). Initiation of subduction zones as a consequence of lateral compositional buoyancy contrast within the lithosphere: A petrological

- perspective: *Journal of Petrology*, v. 44. p. 851-866.
- Noblet, C. & Marocco, R. 1989. Lacustrine megaturbidites in an intermontane strike-slip basin: the Miocene Cuenca Basin of South Ecuador. *International Symposium on Intermontane Basins: Geology and Resources: 282-293*, Chiang Mai, Thailand
- Nocquet, J.-M., & Mothes, P. (2009). Géodésie, géodynamique et cycle sismique en Equateur. 193.49.112.3, 7, 1–24. Retrieved from ftp://193.49.112.3/pub/michaud/SUJETBIBLIO/MarcosRojas/Nocquet_Mothes_2008_Sub.pdf
- Ourhzif, Z., Algouti, A., Algouti, A., & Hadach, F. (2019). Lithological mapping using landsat 8 oli and aster multispectral data in imini-ounilla district south high atlas of marrakech. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 1255–1262. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1255-2019>
- Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la geología de minas: exploración & evaluación*.
- Pal, S.K., et al. 2011. Utilization of Landsat ETM+ data for mineral-occurrences mapping over Dalma and Dhanjori, Jharkhand, India: an advanced spectral analysis approach. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (14), 4023–4040. doi:10.1080/01431161.2010.484430
- Pardo-Casas, F., & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since late Cretaceous time. *Tectonics*, vol 6, NO.3. 233-248
- Pérez, D., D’Odorico, P. y Godeas, M. (2013). Reconocimiento de alteración hidrotermal con el sensor ASTER, en el curso medio del río Santa Cruz (31°40’S), Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 653-633.
- Pérez, D. J., Azcurra, D., & Sequeira, N. (2013). Mapeo de Alteración Hidrotermal con datos ASTER, en la región de La Coipa, Cordillera Frontal (31°45’S), Provincia de San Juan, Argentina. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Pohl, C., Van Genderen, J., 2014. Remote sensing image fusion: an update in the context of digital earth. *International Journal of Digital Earth*, 7(2), 158-172.
- Pour, A.B., et al., 2015. Chromitite prospecting using landsat TM and aster remote

sensing data.

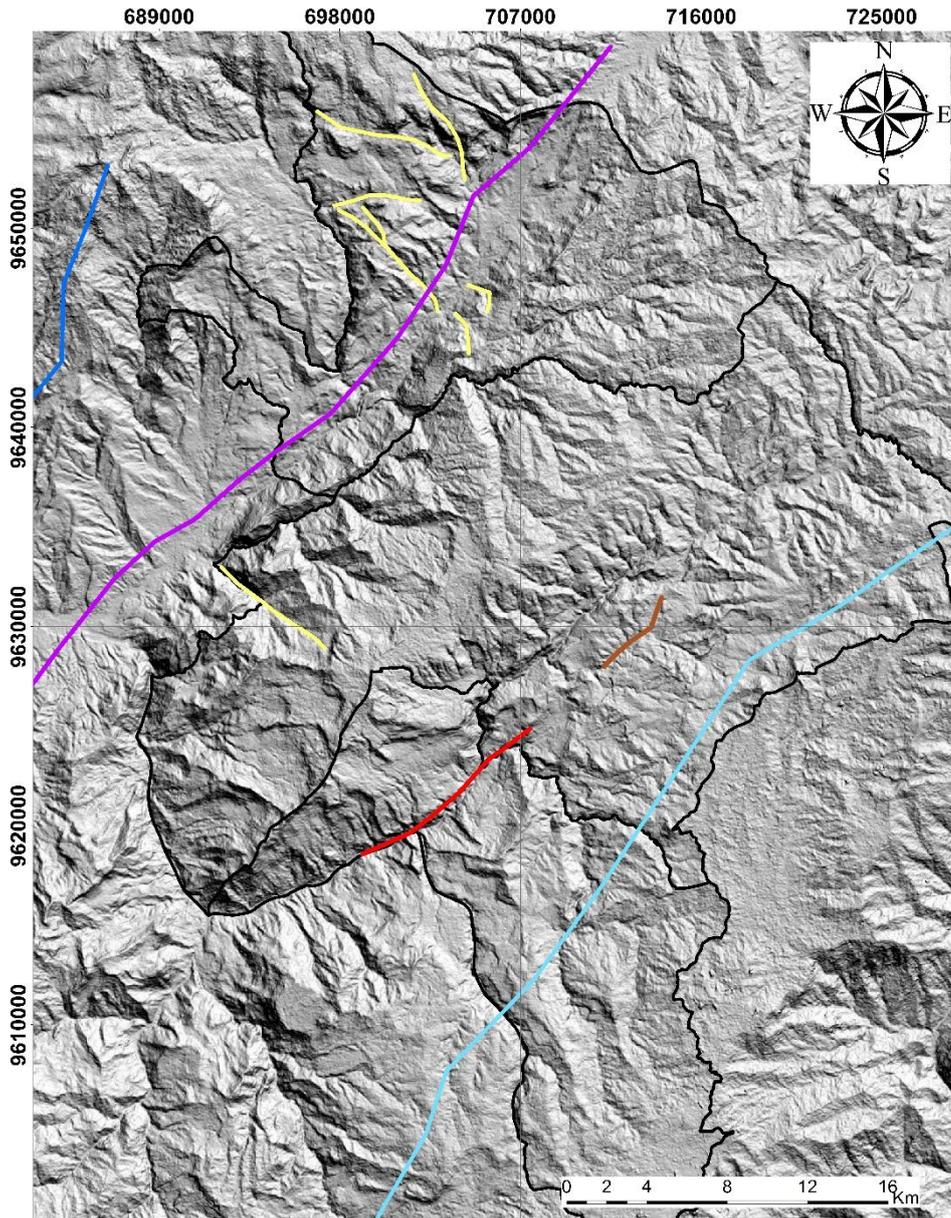
- Pour, A.B. and Hashim, M., 2012. Identifying areas of high economic-potential copper mineralization using ASTER data in the Urumieh–dokhtar Volcanic Belt, Iran. *Advances in Space Research*, 49 (4), 753–769. doi:10.1016/j.asr.2011.11.028
- Pratt, E; Figueroa, J & Flores, B. (1997). Informe N° 1, Proyecto de Desarrollo Minero Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Mapa escala 1: 200.000. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3° S and 4° S. CODIGEM -BGS, Quito – Ecuador 58 pp.
- Pratt, W. T., Duque, P., y Ponce, M., (2005). An autochthonous geological model for the Eastern Andes of Ecuador. *Specialized Geological Mapping*.
- Rajan Girija, R., & Mayappan, S. (2019). Mapping of mineral resources and lithological units: a review of remote sensing techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*, 10(2), 79–106. <https://doi.org/10.1080/19479832.2019.1589585>
- Rodríguez, F. (2008). Determinación de zonas de alteración hidrotermal mediante imágenes ASTER, Oeste de Cajamarca. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú, 107p.
- Sabins, F., 1997. *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, third ed., 494pp.
- Safari, M., Maghsoudi, A., & Pour, A. B. (2018). Application of Landsat-8 and ASTER satellite remote sensing data for porphyry copper exploration: a case study from Shahr-e-Babak, Kerman, south of Iran. *Geocarto International*, 33(11), 1186-1201.
- Sajona, F., Bellon, H., Cotten, J., Defant, M., Pubellier, M., & Rangin, C. (1993). Initiation of subduction and the generation of slab melts in western and eastern Mindanao, Philippines: *Geology*, v. 21. p. 1007-1010.
- Townley, B. (2001). Metalogénesis: Hidrotermalismo y modelos de yacimientos. Apuntes y referencias del curso de Metalogénesis (GL54A), Documento de avance Julio, 23, 2001.
- United Nations Development Programme (UNDP). (1969). Survey of metallic and nonmetallic minerals: Gold and base metal sulphides. Operation No.2. Portovelo. Technical Repon. United Nations Development Programme, New York. No.2 Annex No.2: published in Spanish as: *Publicación de la DGGM*. Quito No. 8.

- SIGTIERRAS. (Abril de 2015). Geoportal SIGTIERRAS . Obtenido de Geoportal de Agro Ecuatoriano : <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Rajan Girija, R., & Mayappan, S. (2019). Mapping of mineral resources and lithological units: a review of remote sensing techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*, 10(2), 79–106. <https://doi.org/10.1080/19479832.2019.1589585>
- Ourhzif, Z., Algouti, A., Algouti, A., & Hadach, F. (2019). Lithological mapping using landsat 8 oli and aster multispectral data in imini-ounilla district south high atlas of marrakech. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 1255–1262. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1255-2019>
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., & Heller, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *The Geological Society of America Memoirs*, 204, 197–216. [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(09\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(09))
- Vallejo, D., (2011). Distribución de cenizas volcánicas Holocénicas Tardías en la costa del Ecuador. Escuela Superior Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Tesis de Ingeniero Geólogo, 251pp.
- Van Der Meer, F., 1995. Spectral unmixing of landsat thematic mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 16 (16), 3189–3194. doi:10.1080/01431169508954622.
- Villagómez D., (2003) Evolución Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona Quito – Guayllabamba –San Antonio de Pichincha). Escuela Superior Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petroleos, Tesis de Ingeniero Geólogo: 130pp.
- Witt, C. (2007). Constraints on the tectonic evolution of the north andean block trailing tail: evolution of the gulf of Guyaquil-tumbes basin and the intermontane basins of the central ecuadorian andes (Doctoral dissertation, Paris 6).

APÉNDICES

APÉNDICE A

A. MAPA DE FALLAS



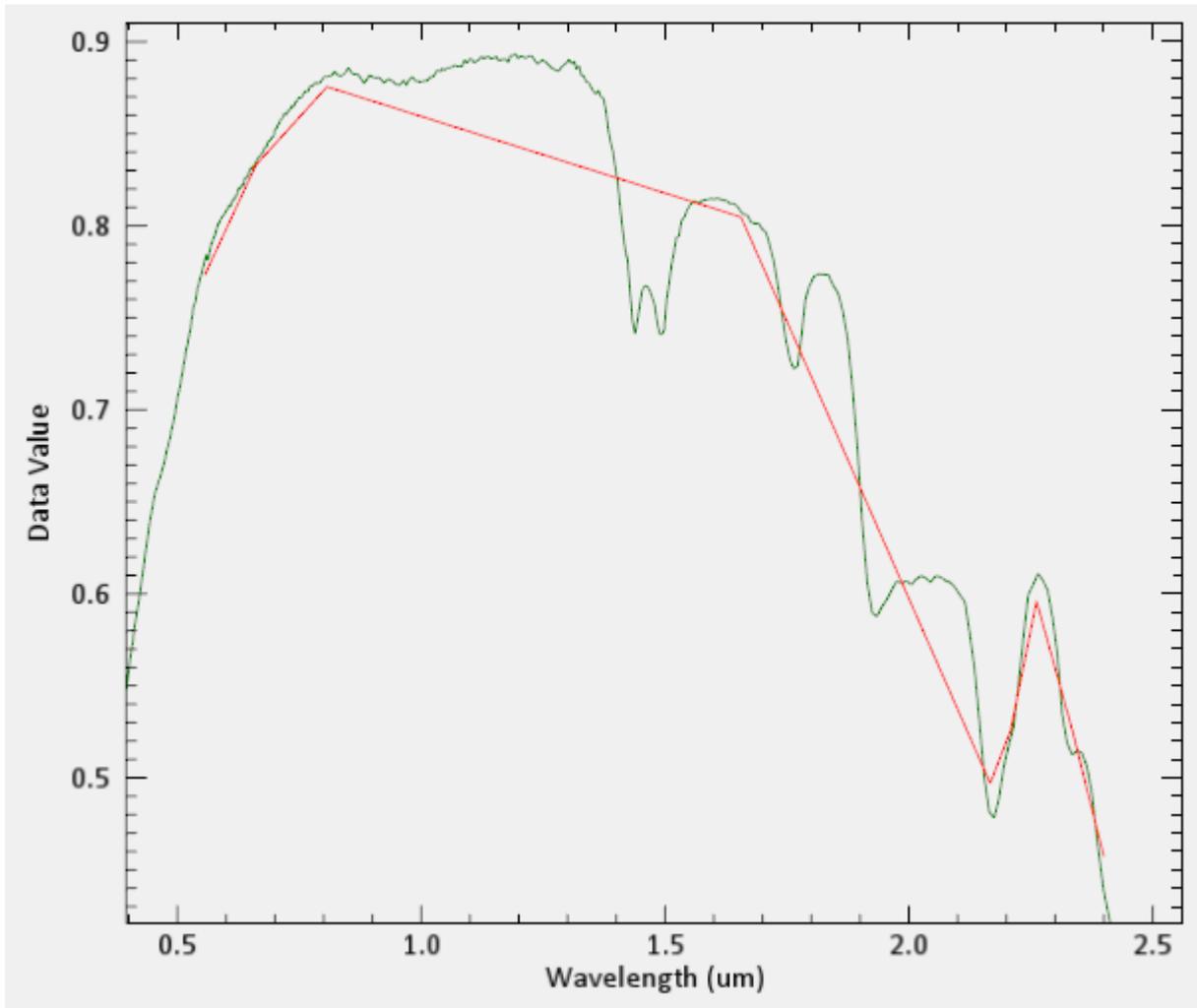
SIMBOLOGÍA

FALLAS

- | | | | |
|---|-----------|---|------------------|
|  | CATAMAYO |  | GIRON SECCION NE |
|  | INFERIDAS |  | GAÑARIN |
| | |  | GIRON SECCION SO |
| | |  | INGAPIRCA |

APÉNDICE B

A. FIRMA ESPECTRAL ALUNITA



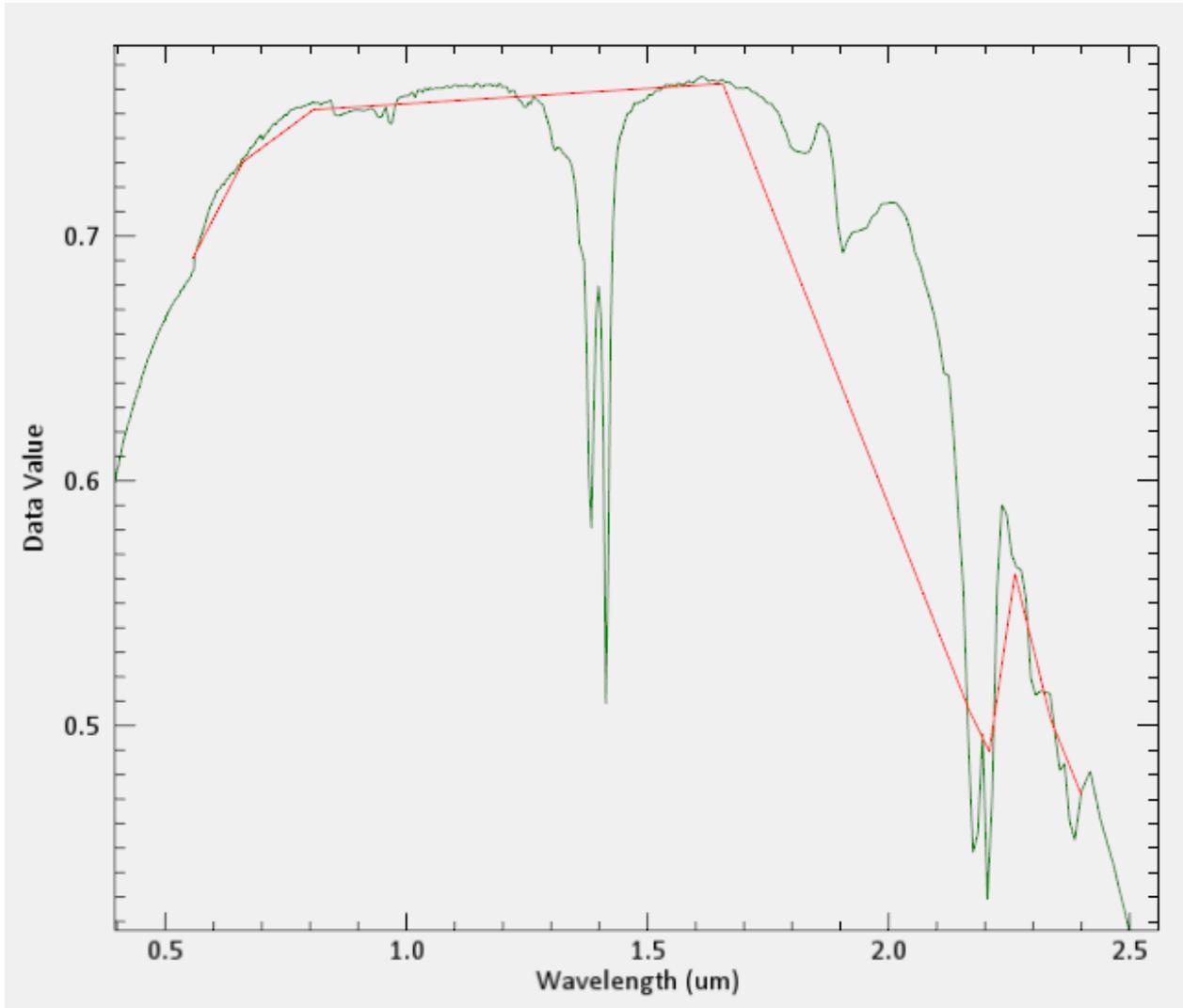
FIRMA ORIGINAL



FIRMA CON REMUESTREO



B. FIRMA ESPECTRAL DICKITA



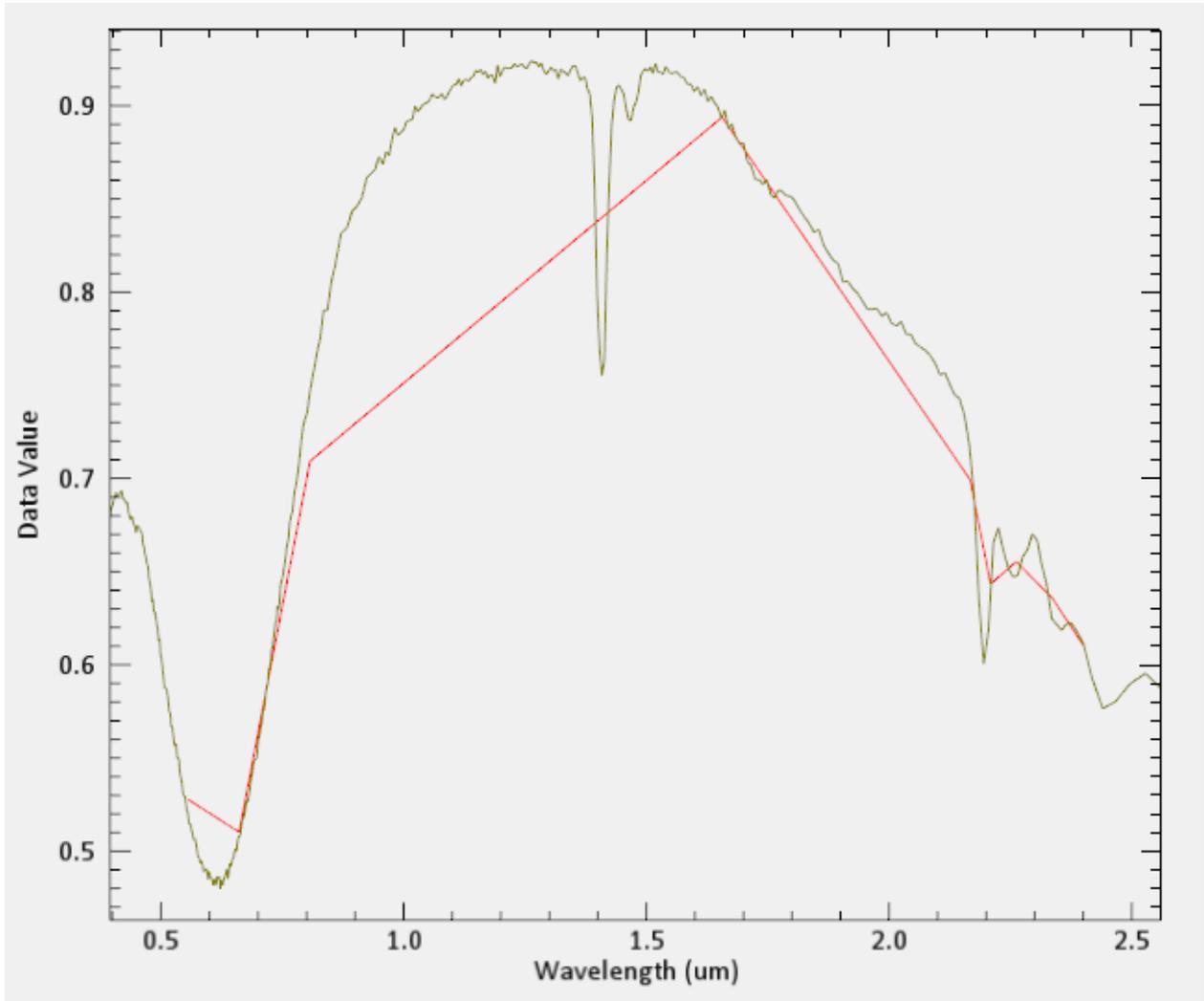
FIRMA ORIGINAL



FIRMA CON REMUESTREO



C. FIRMA ESPECTRAL CUARZO



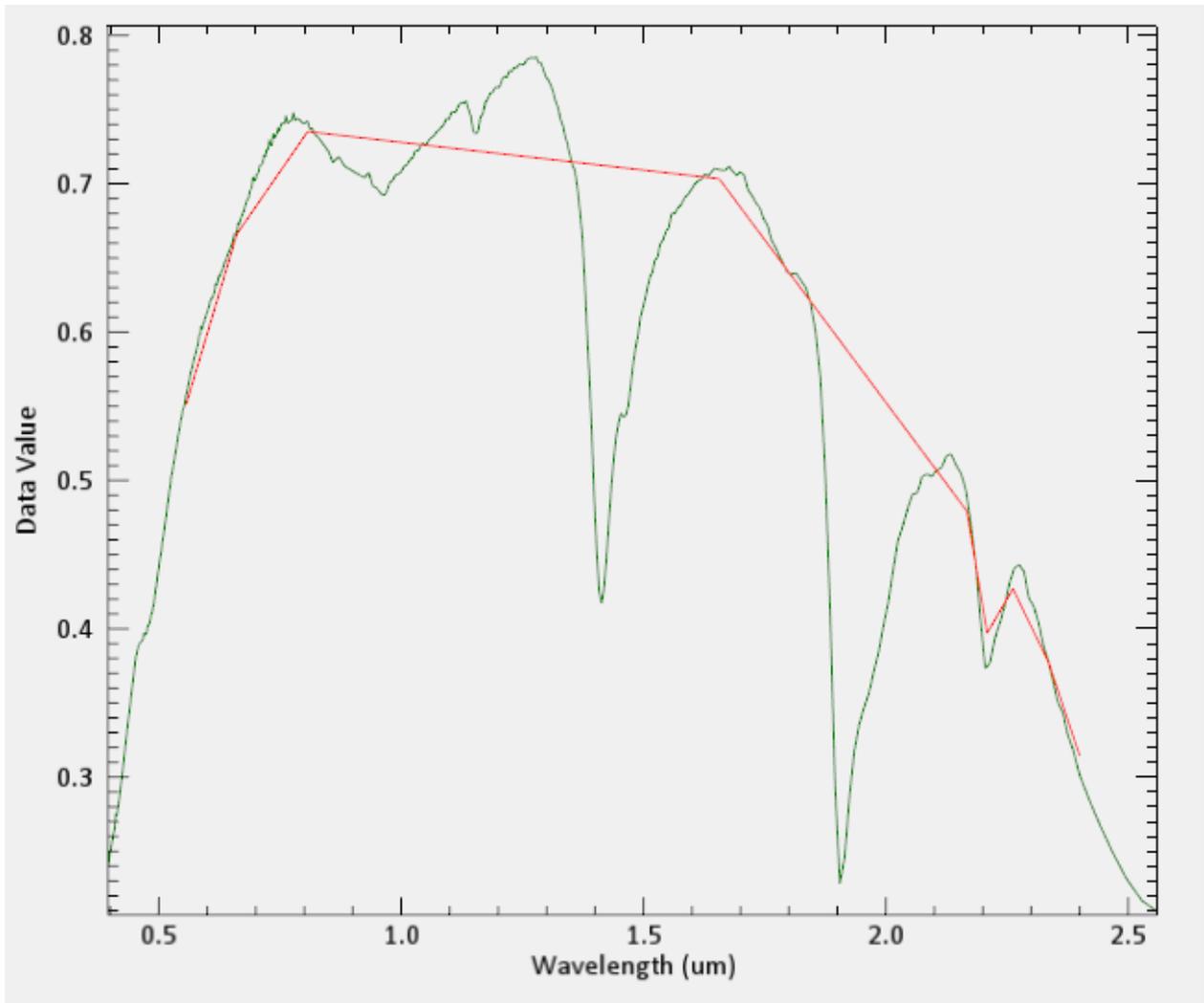
FIRMA ORIGINAL



FIRMA CON REMUESTREO

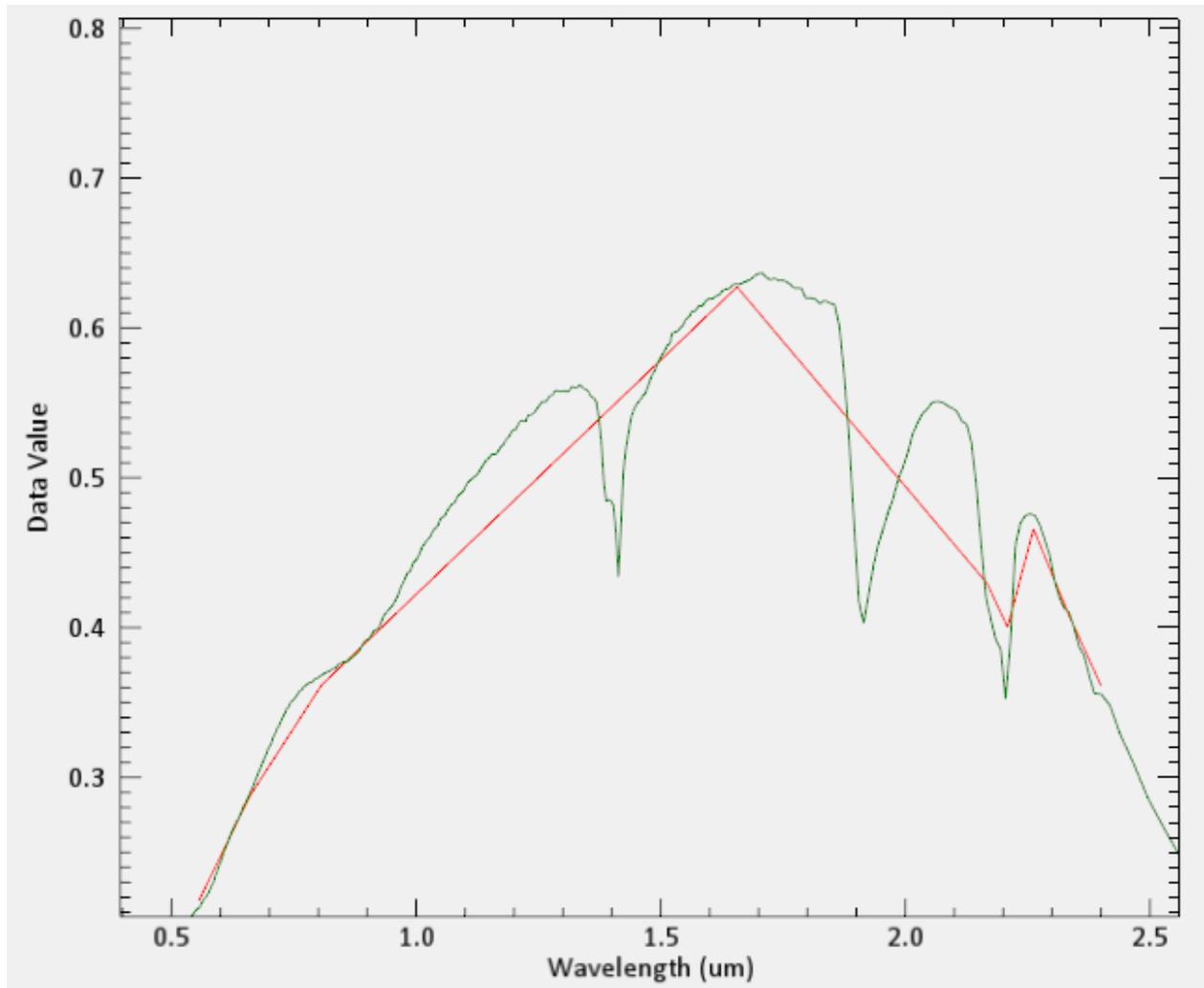


D. FIRMA ESPECTRAL MONTMORILLONITA



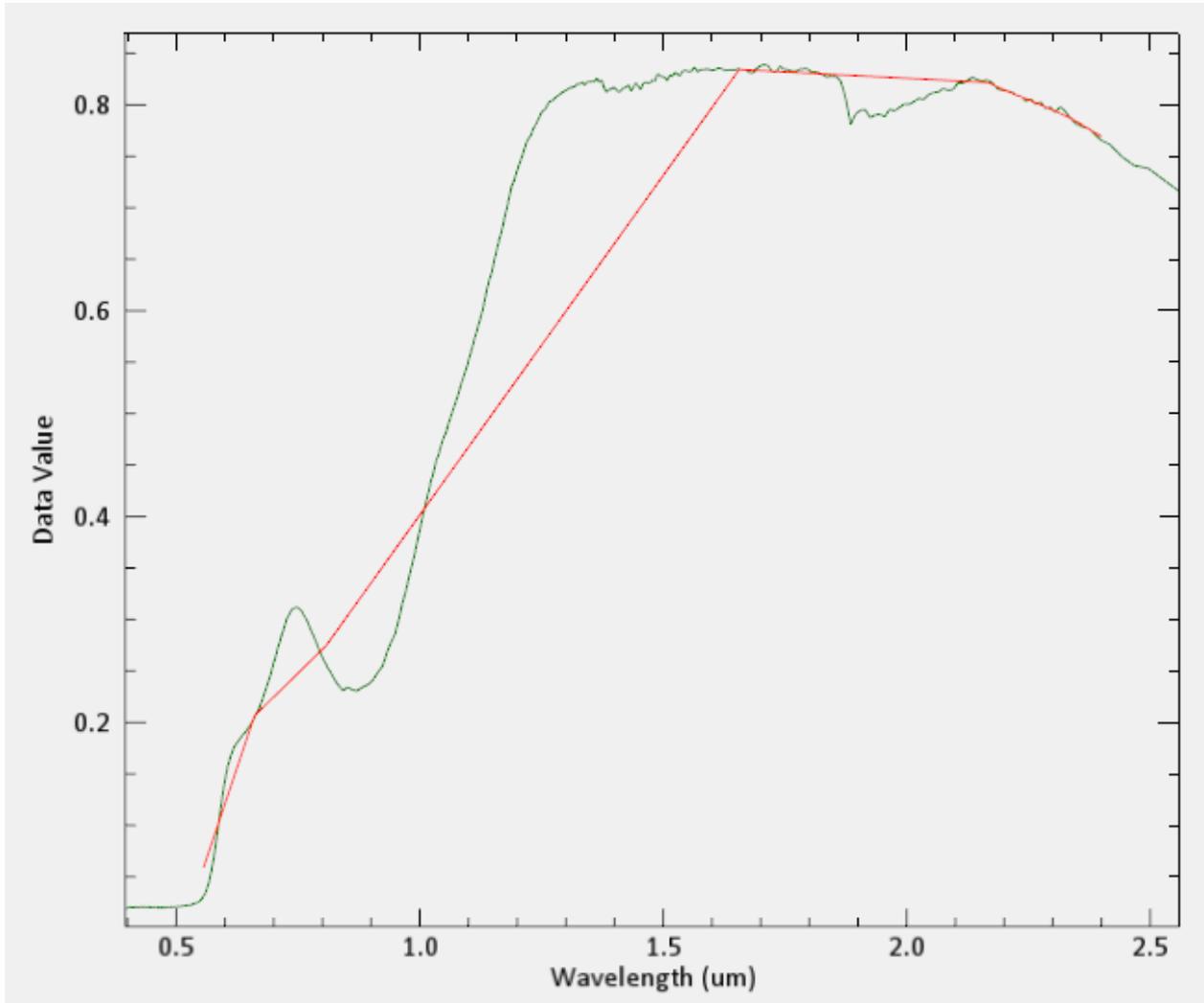
FIRMA ORIGINAL ■
FIRMA CON REMUESTREO ■

E. FIRMA ESPECTRAL CAOLIN/ESMECTITA



FIRMA ORIGINAL ■
FIRMA CON REMUESTREO ■

F. FIRMA ESPECTRAL HEMATITA



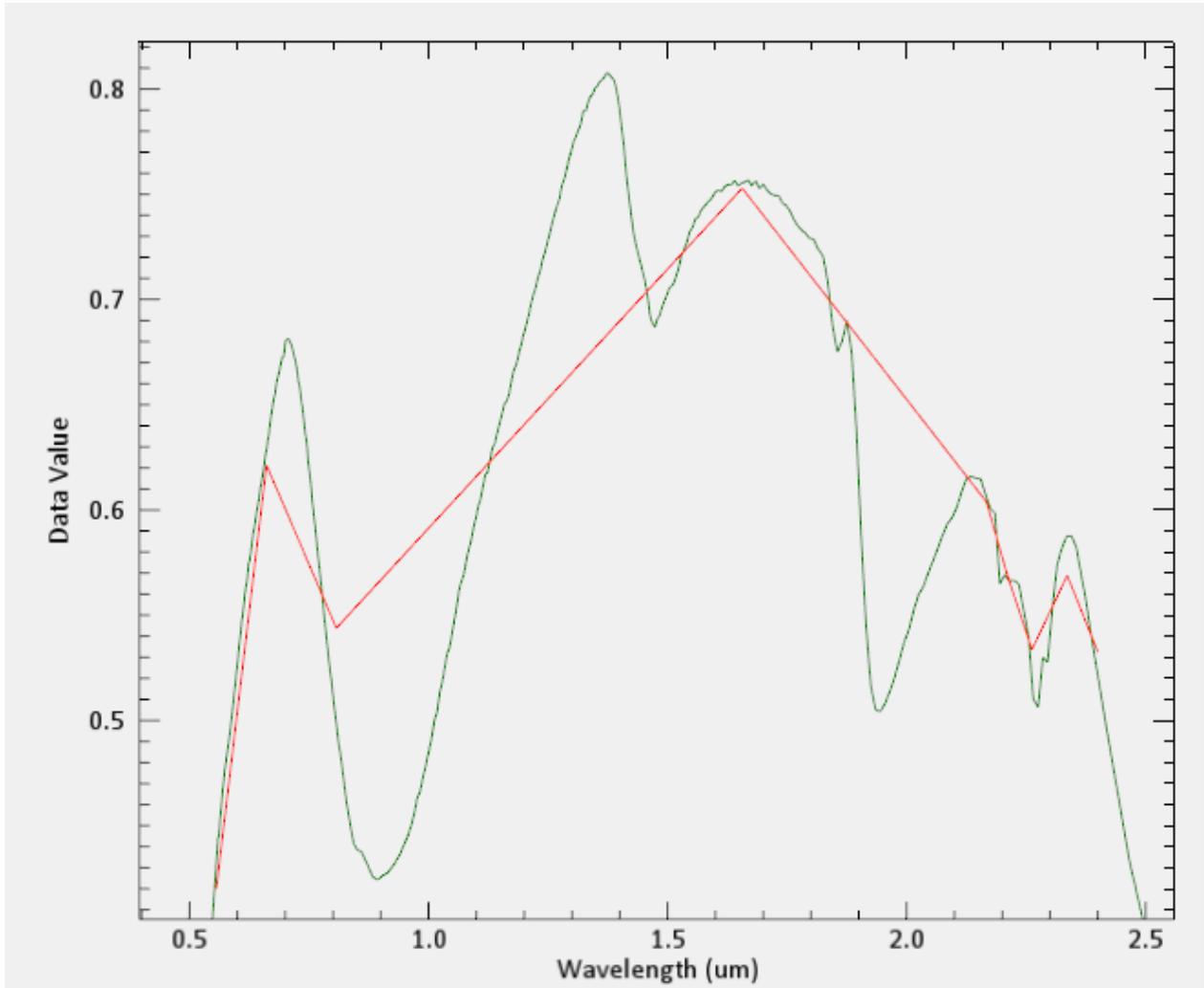
FIRMA ORIGINAL



FIRMA CON REMUESTREO



G. FIRMA ESPECTRAL JAROSITA



FIRMA ORIGINAL ■
FIRMA CON REMUESTREO ■

APÉNDICE C

A. MUESTRAS ENVIADAS AL ANÁLISIS DEL TERRASPEC

Código	X	Y
TAD02	717470	9661607



Código	X	Y
TAD06	720452	9653420



Código	X	Y
TAD17	709422	9603703



Código	X	Y
TAD21	702213	9604989



Código	X	Y
TAD23	698738	9619203



Código	X	Y
TAD24	688726	9632589



Código	X	Y
TAD25	690643	9628796

