

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA

GEOLOGICA



T E S I S

Análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, de la zona 22K y 22J del centro del Perú para identificar zonas prospectables, 2023.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Jhosy Yelsin ALEJANDRO CHAVEZ.

Asesor:

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES

Cerro de Pasco - Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA

GEOLOGICA



T E S I S

Análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, de la zona 22K y 22J del centro del Perú para identificar zonas prospectables, 2023.

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO
PRESIDENTE

Dr. José Fermin HINOJOSA DE LA SOTA
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 154-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, de la zona 22K y 22J del centro del Perú para identificar zonas prospectables, 2023.

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. ALEJANDRO CHAVEZ., Jhosy Yelsin

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. ROBLES MORALES, Eder Guido

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

11 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 12 de agosto del 2024



Firmado digitalmente por MELBA
CANCERES Reyesado PAU
20154825946 ash
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 12.08.2024 19:52:35 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, mi guía constante, a mis padres cuyo cuidado y apoyo han sido fundamentales en mi formación y educación, a mis hermanos por sus sabios consejos en cada desafío, y a mi novia Elynor, por su incondicional apoyo, sus oraciones y constante motivación.

EL AUTOR.

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar en mi camino siempre.

A mi asesor Mg. ROBLES MORALES, Eder que con su experiencia y conocimiento me orientó.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

EL AUTOR.

RESUMEN

La presente investigación sobre el análisis de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, utilizando los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, tiene como objetivos específicos, evaluar el nivel de precisión de los sensores en la identificación de minerales de alteración hidrotermal, mapear la distribución espacial de los minerales de alteración hidrotermal, desarrollar y aplicar técnicas de procesamiento, en la identificación de zonas de interés prospectivo e integrar los datos de los sensores, para mejorar la identificación, el mapeo de minerales de alteración hidrotermal. Las imágenes satelitales se obtuvieron a través de la plataforma (<https://earthexplorer.usgs.gov/> y <https://search.asf.alaska.edu/#/>), se usa el software ENVI 5.6 para el procesamiento de estas imágenes, se descarga los shapefiles de la plataforma (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>). La extracción de anomalías espectrales se lleva a cabo mediante técnicas de procesamiento (PCA, RGB, Band Ratios, MTFM). En comparación, al Boletín N°20 del INGEMMET "Estudio Geológico Regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la República del Perú", aborda un enfoque similar, pero en una región diferente del país, se comparten el objetivo de utilizar imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero, pero existen diferencias en los sensores utilizados. El nivel de precisión de los sensores es del 85%, el análisis de imágenes permitió mapear la distribución espacial de los minerales de alteración hidrotermal, se aplicó varias técnicas de procesamiento, la integración de los datos de los sensores dio como resultados, la identificación de cinco targets de exploración

Palabras clave: Minerales de alteración hidrotermal, imágenes satelitales, Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, técnicas de procesamiento, anomalías espectrales.

ABSTRACT

The present research on the analysis of hydrothermal alteration minerals in zones 22K and 22J in central Peru, using Landsat 8, Aster 1LT, and Sentinel 2A sensors, aims to evaluate the accuracy of these sensors in identifying hydrothermal alteration minerals, map the spatial distribution of these minerals, develop and apply processing techniques for identifying prospective areas, and integrate sensor data to enhance identification ,mapping of hydrothermal alteration minerals. Satellite images were obtained from the platform (<https://earthexplorer.usgs.gov/> and <https://search.asf.alaska.edu/#/>). ENVI 5.6 software was used for image processing, and shapefiles were downloaded from (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>). Spectral anomaly extraction was performed using processing techniques such as PCA, RGB, Band Ratios, and MTFM. In comparison, INGEMMET Bulletin No. 20 "Regional Geological Study using Satellite Images for Mining Potential Evaluation in Northern Peru" adopts a similar approach but in a different region of the country, sharing the objective of using satellite images for mining potential evaluation, albeit with differences in the sensors used. Sensor accuracy was determined to be 85%. Image analysis facilitated the spatial mapping of hydrothermal alteration minerals, employing various processing techniques. Integration of sensor data led to the identification of five exploration targets.

Keywords: Hydrothermal alteration minerals, satellite images, Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, processing techniques, spectral anomalies.

INTRODUCCION

La presente tesis, titulada "Análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, de la zona 22K y 22J", tiene como objetivo principal analizar dichas anomalías con el procesamiento de imágenes satelitales en las zonas 22K y 22J. Las variables consideradas en esta investigación incluyen los minerales de alteración hidrotermal, tales como óxidos, arcillas, carbonatos y otros minerales indicativos de procesos hidrotermales, así como las imágenes satelitales proporcionadas por los sensores mencionados. El marco teórico se basa en la teledetección aplicada a la exploración minera; la formación de minerales de alteración hidrotermal, los cuales pueden ser detectados a través de sus firmas espectrales. La metodología aplicada en esta investigación se estructura en varias etapas. Primero, se realizó la recopilación de datos, obteniendo imágenes satelitales de Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A correspondientes a las zonas 22K y 22J. Luego, se procedió al preprocesamiento de las imágenes, que incluyó corrección atmosférica y radiométrica. En la fase de análisis espectral, se aplicaron índices espectrales específicos de la librería y técnicas de procesamiento espectral para identificar y mapear anomalías de minerales de alteración hidrotermal. La validación de los resultados se realizó mediante la comparación con datos en los puntos de control para asegurar la precisión de las anomalías detectadas. Finalmente, se integraron los datos multiespectrales de los diferentes sensores para realizar un análisis comparativo y sinérgico, culminando en la generación de mapas temáticos de minerales de alteración hidrotermal, identificadas en la zona de estudio. Como resultado de este estudio, se identificaron cinco targets entre Oyón y Cerro de Pasco, lo que demuestra la eficacia del uso de imágenes satelitales y técnicas de teledetección para la exploración.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema.	1
1.2.	Delimitación de la investigación.	2
1.2.1.	Delimitación espacial	2
1.2.2.	Delimitación temporal.	2
1.2.3.	Delimitación conceptual.	2
1.3.	Formulación del problema.	3
1.3.1.	Problema general.	3
1.3.2.	Problema específico.	3
1.4.	Formulación de objetivos.	3
1.4.1.	Objetivo general.	3
1.4.2.	Objetivo específico.	3
1.5.	Justificación de la investigación.	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio.	6
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	6
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	9
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	11
2.2.1.	Concepto de Teledetección.....	11
2.2.2.	Elementos de un sistema de Teledetección	11
2.2.3.	El espectro electromagnético.....	13
2.2.4.	Firma espectral	17
2.2.5.	Tipos de Sensores	18
2.2.6.	Resolución de un sistema sensor	19
2.2.7.	Tipos de imágenes de teledetección	22
2.2.8.	Satélites.....	23
2.2.9.	Landsat 8:	24
2.3.	Definición de términos básicos.	37
2.3.1.	Imágenes Satelitales:	37
2.3.2.	Envi:	37
2.3.3.	Band Ratios:	38
2.3.4.	Principales componentes:	38
2.3.5.	MTFM:	38
2.3.6.	NDVI:	38
2.3.7.	Satélite:	39
2.3.8.	Sensor:	39
2.3.9.	Teledetección:.....	39

2.3.10.	Escena:.....	39
2.4.	Formulación de hipótesis.....	42
2.4.1.	Hipótesis general.	42
2.4.2.	Hipótesis específicas.	42
2.5.	Identificación de variables.....	43
2.5.1.	Variables Independientes.....	43
2.5.2.	Variables Dependientes	43
2.5.3.	Variables Intervinientes.....	43
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	43

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación.	45
3.2.	Nivel de investigación	45
3.2.1.	Exploratorio	45
3.2.2.	Correlacional	46
3.3.	Métodos de investigación.....	46
3.4.	Diseño de investigación.....	46
3.4.1.	Exploratorio.....	46
3.4.2.	Descriptivo	46
3.4.3.	Correlacional	46
3.5.	Población y Muestra.....	47
3.5.1.	Población	47
3.5.2.	Muestra.....	47
3.5.3.	Tamaño de Muestra	47
3.5.4.	Selección de Muestra.....	47

3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos.	47
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación...48	
3.7.1.	Selección de los instrumentos de la investigación.	48
3.7.2.	Confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	48
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	48
3.9.	Tratamiento estadístico.....	48
3.10.	Orientación ética.....	48

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del trabajo de campo	50
4.1.1.	Ubicación.....	50
4.1.2.	Accesibilidad	51
4.1.3.	Geología regional	51
4.1.4.	Estratigrafía	53
4.1.5.	Puntos de Control (Unidades mineras dentro de la escena)	54
4.1.6.	Calibración del Landsat 8:.....	65
4.1.7.	Calibración Aster 1LT	78
4.1.8.	Calibración Sentinel 2A	88
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	93
4.2.1.	Creación de mascara de Anomalías en el sensor Landsat 8	93
4.2.2.	Mascara de anomalías en el Sensor Aster 1LT	101
4.2.3.	Mascara de Anomalías en el sensor Sentinel 2A.....	126
4.3.	Prueba de hipótesis.	138
4.3.1.	Prueba de Hipótesis General	138
4.3.2.	Prueba de Hipótesis Especificas	138

4.4.	Discusión de Resultados.....	138
4.4.1.	Geología Local	138
4.4.2.	Catastro Minero	140

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla1 Característica del área espectral	16
Tabla2 Bits determinado en el rango de gris ND	21
Tabla3 Particularidades de los tres sistemas de sensores Aster.....	29
Tabla4 Operacional de variables, e indicadores.	44
Tabla5 Descripción geológica de puntos de control de la escena.	54
Tabla6 categoría de algoritmo	88

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Componente de Teledetección	13
Gráfico N° 2 Espectro de radio y óptico	14
Gráfico N° 3 Espectro electromagnético	16
Gráfico N° 4 Firmas espectrales de materiales terrestres.	17
Gráfico N° 5 Sensor pasivo de un satélite.	18
Gráfico N° 6 Sensor activo de un satélite.	19
Gráfico N° 7 Resolución espacial, comparación de tamaño de píxeles en una imagen.	19
Gráfico N° 8 Resolución espectral	20
Gráfico N° 9 Resolución Radiométrica.	21
Gráfico N° 10 Estructura de imágenes multiespectrales.	23
Gráfico N° 11 Datos multiespectrales Landsat	25
Gráfico N° 12 Bandas espectrales y longitudes de onda para sensores Landsat.	27
Gráfico N° 13 Flujo de procesamiento Aster	30
Gráfico N° 14 Estructura de datos Aster 1LT	31
Gráfico N° 15 Diferencias de bandas Aster - Landsat.....	32
Gráfico N° 16 Resolución espacial y espectral de Sentinel - 2	34
Gráfico N° 17 Imagen Landsat 8 en relación con la escena y cuadrángulos.....	40
Gráfico N° 18 Imagen Aster 1LT en relación con la escena.	41
Gráfico N° 19 Mapa de ubicación de la zona de trabajo.	50
Gráfico N° 20 Mapa de accesibilidad a la zona de trabajo.....	51
Gráfico N° 21 Plano Geológico de la zona de estudio	64
Gráfico N° 22 Calibración Radiométrica entorno Envi 5.6.....	65
Gráfico N° 23 Selección de Banda a calibrar.	66

Gráfico N° 24 Aplicación FLAASH en calibración Radiométrica.	67
Gráfico N° 25 Calibración Atmosférica entorno Envi 5.6	68
Gráfico N° 26 Datos en la calibración Atmosférica.	68
Gráfico N° 27 Reporte de resultados del FLAASH	69
Gráfico N° 28 Algoritmo de conversión	69
Gráfico N° 29 Firma espectral de la Nieve.....	70
Gráfico N° 30 RGB 432 Imagen Landsat 8.....	71
Gráfico N° 31 RGB 543 Imagen Landsat 8.....	72
Gráfico N° 32 RGB 562 Imagen Landsat 8.....	73
Gráfico N° 33 RGB 564 Imagen Landsat 8.....	74
Gráfico N° 34 RGB 652 Imagen Landsat 8.....	75
Gráfico N° 35 RGB 753 Imagen Landsat 8.....	76
Gráfico N° 36 RGB 765 Imagen Landsat 8.....	77
Gráfico N° 37 Calibración Radiométrica del campo VNIR.	78
Gráfico N° 38 Calibración radiométrica del campo del SWIR.	79
Gráfico N° 39 Creación de Layer Stack para los campos VNIR y SWIR	80
Gráfico N° 40 Conversión a Formato BIL.	80
Gráfico N° 41 Calibración Atmosférica en el entorno Envi 5.6.....	81
Gráfico N° 42 Campo de Statistics en entorno Envi 5.6	82
Gráfico N° 43 Ecuación algorítmica para conversión de datos.....	82
Gráfico N° 44 Campo de Statistics en entorno Envi 5.6	83
Gráfico N° 45 RGB 231 Imagen Aster1LT.....	84
Gráfico N° 46 RGB 461 Imagen Aster1LT.....	85
Gráfico N° 47 RGB 521 Imagen Aster1LT.....	86
Gráfico N° 48 RGB 932 Imagen Aster1LT.....	87

Gráfico N° 49 RGB 321 Imagen Sentinel 2A	89
Gráfico N° 50 RGB 12,11, 4 Imagen Sentinel 2A	90
Gráfico N° 51 RGB 8A 4 3 Imagen Sentinel 2A	91
Gráfico N° 52 RGB 12,11,8A Imagen Sentinel 2A	92
Gráfico N° 53 Componentes principales.....	93
Gráfico N° 54 Tonalidades de Oxido en la PC Band 2.	94
Gráfico N° 55 Determinación Gaussiana	95
Gráfico N° 56 Entorno Stretch type.	96
Gráfico N° 57 Valor mínimo y máximo.....	97
Gráfico N° 58 Rango mínimo y máximo para la obtención de óxidos.	97
Gráfico N° 59 Análisis de firma espectral Landsat 8	98
Gráfico N° 60 Concentración de óxidos en la Escena.....	99
Gráfico N° 61 Concentración de anomalías de alteración hidrotermal.	100
Gráfico N° 62 Creación de Mascara de Vegetación.....	101
Gráfico N° 63 Creación de Mascara de Agua	102
Gráfico N° 64 Creación de Mascara de Nieve	103
Gráfico N° 65 Mascara unida de Vegetación, Nube, Nieve, Sombra y Agua.....	103
Gráfico N° 66 Análisis de firma espectral de la Jarosita Aster 1LT	104
Gráfico N° 67 Anomalía de Jarosita en la escena	105
Gráfico N° 68 Análisis de firma espectral de la Hematita Aster 1LT.....	106
Gráfico N° 69 Anomalía de Hematita en la escena.....	107
Gráfico N° 70 Análisis de firma espectral de la Goethita Aster 1LT.....	108
Gráfico N° 71 Anomalía de Goethita en la escena.....	109
Gráfico N° 72 Análisis de firma espectral de la Alunita Aster 1LT	110
Gráfico N° 73 Anomalía de Alunita en la escena.....	111

Gráfico N° 74 Análisis de firma espectral de la Pirofilita Aster 1LT	112
Gráfico N° 75 Anomalía de Pirofilita en la escena	113
Gráfico N° 76 Análisis de firma espectral de la Dickita Aster 1LT.....	114
Gráfico N° 77 Anomalía de Dickita en la escena.....	115
Gráfico N° 78 Análisis de firma espectral de la Caolinita Aster 1LT.....	116
Gráfico N° 79 Anomalía de Caolinita en la escena.....	117
Gráfico N° 80 Análisis de firma espectral de la Moscovita Aster 1LT.....	118
Gráfico N° 81 Anomalía de Moscovita en la escena.....	119
Gráfico N° 82 Análisis de firma espectral de la Calcita Aster 1LT	120
Gráfico N° 83 Anomalía de Calcita en la escena	121
Gráfico N° 84 Análisis de firma espectral del Cuarzo Aster 1LT.....	122
Gráfico N° 85 Anomalía de Cuarzo en la escena	123
Gráfico N° 86 Análisis de firma espectral de Granates Aster 1LT	124
Gráfico N° 87 Anomalía de Granates en la escena	125
Gráfico N° 88 Análisis de firma espectral de Goethita Sentinel2A	126
Gráfico N° 89 Anomalía de Goethita en la escena.....	127
Gráfico N° 90 Análisis de firma espectral de Jarosita Sentinel2A.....	128
Gráfico N° 91 Anomalía de Jarosita en la escena	129
Gráfico N° 92 Análisis de firma espectral de Hematita Sentinel2A	130
Gráfico N° 93 Anomalía de Hematita en la escena.....	131
Gráfico N° 94 Análisis de firma espectral de Limonita Sentinel2A	132
Gráfico N° 95 Anomalía de Limonita en la escena.....	133
Gráfico N° 96 Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Landsat 8	134

Gráfico N° 97 Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Aster 1 LT	135
Gráfico N° 98 Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Sentinel 2A	136
Gráfico N° 99 Targets de Exploración	137
Gráfico N° 100 Release de la Geología Local con anomalías de minerales de Alteración Hidrotermal.....	138
Gráfico N° 101 Catastro Minero en relación con anomalías de minerales de Alteración Hidrotermal.....	140

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.

La exploración de nuevos yacimientos minerales viene a ser crucial en la industria minera para certificar la sostenibilidad de la producción de minerales y metales esenciales para diversos sectores económicos. Tradicionalmente, la exploración minera se ha basado en el muestreo en superficie y en la perforación de pozos, métodos costosos y que requieren mucho tiempo. Los estudios técnicos previos a la exploración son fundamentales, ya que permiten construir un modelo conceptual de un yacimiento mineral. Para reducir los costos y el riesgo financiero en esta etapa, se ha comenzado a utilizar imágenes satelitales. En las últimas décadas, estas imágenes han revolucionado la exploración, proporcionando información valiosa para identificar áreas con potencial minero. Las imágenes satelitales permiten identificar características geológicas como la mineralogía, la estructura y la alteración, y mapear la distribución espacial de los minerales de interés. Además, la disponibilidad de imágenes de resolución alta y frecuencia ha mejorado la eficiencia de la exploración a nivel regional. En particular, la zona

de trabajo que abarca las cartas nacionales 22K y 22J presenta actividad minera, lo que sugiere un potencial exploratorio en las áreas adyacentes. Sin embargo, estas zonas abarcan grandes dimensiones y presentan desafíos de accesibilidad, lo que implica mayor tiempo y costo para un mapeo y muestreo sistemático. Por lo tanto, el uso de imágenes satelitales de sensores como Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, junto con la habilidad para analizar, procesar y extraer anomalías de minerales de alteración hidrotermal, ayudará a identificar zonas de interés prospectivo y reducir tiempo y costos en la exploración.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Delimitación espacial

Esta investigación abarca las cartas nacionales 22K y 22J, incluye las regiones de Lima y Pasco, provincias de Oyón y Cerro de Pasco, dentro de estas se encuentran unidades mineras como Atacocha, El porvenir, Uchucchacua, etc.

1.2.2. Delimitación temporal.

Esta investigación de teledetección, en imágenes satelitales capturadas entre los años 2022 y 2023, y el procesamiento y extracción de minerales de alteración hidrotermal desde agosto del 2023 a marzo del 2024.

1.2.3. Delimitación conceptual.

Estará enfocada en la identificación y análisis de minerales de alteración hidrotermal, se utilizarán datos de los sensores debido a su capacidad para captar datos espectrales.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿El análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú permitirá identificar zonas prospectables en el 2023?

1.3.2. Problema específico.

¿Qué nivel de precisión ofrecen los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para la identificación de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22Ky 22J del centro del Perú?

¿Cómo se distribuyen espacialmente los minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22Ky 22J del centro del Perú?

¿Qué técnicas de procesamiento de imágenes satelitales son más efectivas para identificar zonas prospectables de alteración hidrotermal?

¿Cómo se pueden integrar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para mejorar la identificación y el mapeo de minerales de alteración hidrotermal?

1.4. Formulación de objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú para identificar zonas prospectables, 2023.

1.4.2. Objetivo específico.

Evaluar el nivel de precisión de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la identificación de minerales de alteración hidrotermal.

Mapear la distribución espacial de los minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú mediante el análisis de imágenes satelitales de Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A.

Desarrollar y aplicar técnicas de procesamiento espectral que sean más efectivas para interpretar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la identificación de zonas de interés prospectivo

Integrar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para mejorar la identificación y el mapeo de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú.

1.5. Justificación de la investigación.

Los minerales de alteración hidrotermal pueden ser indicadores de la presencia de depósitos minerales valiosos, como oro, plata, cobre, entre otros. Por lo tanto, comprender la distribución y características de estos minerales es fundamental para la exploración. El uso de imágenes satelitales de sensores remotos como Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para la detección de minerales de alteración hidrotermal es una técnica avanzada, al usar estas técnicas, se pueden reducir costo y tiempo en la exploración minera. La identificación de nuevas zonas de interés exploratorio puede llevar al descubrimiento de nuevos depósitos minerales, lo que puede beneficiar a la industria minera y a la economía local.

1.6. Limitaciones de la investigación.

La presencia de nubes, sombras u otras interferencias atmosféricas en las imágenes satelitales pueden afectar la calidad de los datos y dificultar la identificación precisa de los minerales de alteración hidrotermal.

Verificación de los resultados del análisis de imágenes satelitales, sin datos in situ ni verificación independiente.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Lenny Echevarría, Yuliana Ayala (2021) En su Proyecto de investigación “Identificación de las zonas de alteración hidrotermal por medio de procesamiento de imágenes satelitales en el área geotérmica del municipio de Paipa - Boyaca” Egresado de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Su proyecto de investigación muestra metodologías consistentes en técnicas de teledetección para obtención de Zonas de Alteración Hidrotermal en la municipalidad de Paipa mediante el trabajo de analizar imágenes satelitales multiespectrales de Landsat 8 y Sentinel 2. Para ello trabajo en el proceso digital de imágenes, consiste en corregir imágenes, combinación de bandas espectrales, relación de bandas y análisis de componentes principales (PCA), estas son las metodologías más manipulados en etapas introductorias para identificar áreas con potencial geotérmico; luego realizó una clasificación supervisada, aplicaron el coeficiente de correlación de Pearson entre ellos, lo verificaron comparando los

resultados obtenidos sobre la litología y finalmente elaboren un mapa. Este resultado se evidencia dentro de la zona sur de la municipalidad de Paipa, en lo cual, estudios anteriores han establecido una zona geotérmica con una litología de areniscas, arcillas, limolitas y óxidos de hierro, lo cual permite asemejar las ZAH con los métodos usados cuando son visible estas estructuras litológicas en la superficie. Concluye que la metodología aplicada para el realce espectral sobre las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2, estuvo sesgada por el bajo potencial geotérmico de la zona de estudio, los resultados obtenidos por las técnicas cocientes de bandas, combinaciones de falso color, análisis y técnica de componentes principales, orientados que aportaron resultados significativos consistentes con los estudios previos hechos en la zona.

Francisco Javier, Ramos Organillo (2020). En su tesis de Licenciatura “Análisis de imágenes satelitales Landsat 8 por componentes principales para identificación de zonas con mineralización por carbonatos de cobre en la región de Jolalpan, Puebla.”, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. En su trabajo, el primer componente resultante presenta la mayor variación. Por lo tanto, sus dos primeros mecanismos de su estudio sujetan una información más típica de todo el escenario, como suelo, vegetación, el agua, y su topografía, y los otros cuatro grupos incluyen información espectral de unos minerales entre ellos, malaquita, caolinita y algunos otros. En el análisis de componentes principales se usó las bandas 2-3-4-5-6-7, estos tienen similares propiedades de resolución de píxel (30x30 m), procesados en el software QGIS ®, para realizar el PCA (Análisis de componentes principales). Después de que se obtuvo los componentes principales, hicieron el análisis de firmas espectrales y de carga factorial, hicieron un mapa RGB donde usaron el componente CP3 (rojo) para

resaltar a los carbonatos de cobre, y el componente CP5 (azul) para precisar los minerales arcillosos y finalmente la componente CP4 (verde) para la vegetación. Concluye que la teledetección, es más importante en las primeras etapas exploratorias, ya que aprueba la identificación y ubicación de extensas áreas prospectables, a un costo bajo.

Danny Bladimir, Medina Aldas y Andy Joel, Peñafiel Lara (2020) En su tesis de Pregrado “Prospección geológica minera mediante el análisis de imágenes aster y Landsat 8 en los cantones de Girón, Nabón y Oña en la provincia de azua, ecuador.”, Escuela Superior Politécnica del Litoral. En su trabajo determina zonas de alteración hidrotermal mediante el análisis y aplicación de diversas técnicas espectrales. Combinación de bandas RGB:(531, 468,461,943) para su mapeo en zonas con presencia de arcilla. Relación de bandas (4/6,4/5,4/7) y índices espectrales ALI, OHIa, CLI, para su reconocimiento de propiedades características de absorción de minerales de alteración. El PCA (1357) y (1467) fue seleccionado para el mapeo de alunita y caolín-esmectita. El método espectral de mapeo a través de firmas espectrales (SAM), para la determinar zonas anómalas. Finalmente, usan el mapeo espectral lineal (LSU) para la validación de sus métodos utilizados. Concluye que mediante la aplicación de las técnicas de unión de bandas la presencia de arcilla ha definido el límite de los cantones Girón y Nabón como una zona anómala. De sus combinaciones de bandas RGB consideradas en su estudio, los resultados que resaltan áreas más específicas son las combinaciones 531 en tonalidades verdes y 468 en tonalidades rosado respectivamente.

Cristian Alex, Gonzales Herrera (2022) En su tesis de Magister “Prospección de minerales con clasificación supervisada en base a texturas y

dimensiones fractales de imágenes satelitales multiespectrales.”, Universidad Andrés Bello Santiago – Chile. En su trabajo usa algoritmos de Machine Learning para determinar la ubicación de yacimientos, realiza el uso de regresión logística, Naive Bayes, Random Forest y Redes Neuronales, los algoritmos recibieron como input un conjunto de particularidades basadas en imágenes, y en las distintas bandas capturadas por el satélite Sentinel-2A, además de la elevación de la superficie representada en una imagen. Estas bandas de la imagen multiespectral son divididas en sub-imágenes dentro de una cuadrícula, y a partir de ellas se logra indicadores representativos de cada cuadrícula. Concluye que los centroides de cada sub-imagen juegan un rol fundamental en la predicción, lo que implicaría una fuerte relación con la agrupación espacial de los yacimientos, en el caso de los tipos de bandas que tienen un mejor nivel de predicción, señala a la B05(705 nm) y la B08(842 nm) con una sensibilidad de 0.83, así como la B12(2190 nm) y la imagen de elevación.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

INGEMMET (1998) en el Boletín N° 20 Serie D Estudios Regionales “Estudio Geológico Regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la República del Perú” Realizó el análisis espectral de imágenes TM, se preparó una máscara definiendo los thresholds adecuados y empleando la división en niveles para eliminar distorsiones como agua, nubes, nieve/hielo, vegetación y dunas en la detección de las áreas con mineralización- alteración que están en las imágenes. Para detectar zonas de óxidos, con datos mencionados calculo la ratio usando la fórmula $(b2 - b1) / (b2 + b1)$. Con los resultados logrados de esta ratio, se verifico las curvas acumuladas de frecuencia para determinar thresholds, en lo cual se

realizó una división de niveles, dándose tres zonas anómalas. Se concluye que la interpretación de análisis espectral y de lineamientos, contrastados con los datos existentes, se definieron tres zonas prominentes.

José Luis, Hermitaño Salvador (2020) En su tesis de pregrado “Análisis geológico de Imagen Satelital Aster del cuerpo Gloria en zonas aledañas para la exploración Brownfield en la Unidad Minera Shuntur S.A.C.”, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. En su investigación, Los minerales que componen la alteración arcillosa tienen características espectrales distintas con alto porcentaje de absorción en la banda 5 (alunita, caolinita) y en la banda 6 (caolinita, montmorillonita, etc.), por lo que la combinación de RGB 4 6 9 Identifica zonas de alteración hidrotermal. Realizo relaciones de índices espectrales, bandas y categorizaciones para delinear áreas con cambios hidrotermales regionales informados. Concluye que se utilizaron ratios de bandas para descubrir zonas de alteración hidrotermal en el área minera de Shuntur y clasificar la alteración. Óxido, arcilla, illita, caolín, potasio, granate, goethita, jarosita, hematita.

Yersi Yoni, Mariñas Marín (2018) En su tesis de pregrado “Teledetección de áreas para prospección minera mediante la interpretación de imágenes satelitales aster y firmas espectrales, en Huambocancha alta, Cajamarca.” Universidad Alas Peruanas. En su trabajo se utilizaron imágenes satelitales ASTER, que fueron descargadas de la (U.S.G.S), en su imagen no muestra ningún tipo de tratamiento, lo cual tuvieron que realizar una corrección atmosférica, (para eliminar los efectos de aerosoles), geométrica y radiométrica (se descompuso la imagen en valores de niveles digitales); luego se cortaron la zona de interés y seleccionaron las firmas minerales y espectrales más

representativas de la librería espectral del software. Todos los parámetros de las imágenes satelitales lo utilizaron en el software ENVI 5.3. Finalmente lograron hallar los ensambles de minerales más representativos, estas fueron: (Alunita/Caolinita), (Caolinita/illita/Montmorillonita) y por último alteración propilítica. Concluye que las ratios $4/6$ $5/6$ $5/8$ permite una mejor visualización de la alteración argílica, fílica y propilítica.

2.2. Bases teóricas - científicas.

2.2.1. Concepto de Teledetección

Es la medición de la energía que irradiada desde la superficie terrestre. Cuando la fuente de la energía que se mide es el sol, la teledetección normalmente implica medir la energía emitida desde la superficie terrestre. Siendo la fuente de energía el sol, se llamará teledetección pasiva, y la resultante de esta medición, será una imagen digital (Richards y Jia, 2006, p. 67). Cuando la energía se emite desde una plataforma de sensores en lugar del sol se denomina teledetección activa, como un sensor de radar que opera en el rango de microondas (Richards y Jia, 2006, p. 67).

2.2.2. Elementos de un sistema de Teledetección

Estos incluyen los siguientes elementos: (Según Chuvieco,1996, p.18)

2.2.2.1. Fuente de energía

El origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor. Puede tratarse de un foco externo a este, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva.

La fuente de energía más importante, obviamente, es el sol, pero también puede realizarse teledetección a partir de la energía emitida por los mismos objetos observados. (Chuvieco,1996, p.18)

2.2.2.2. Cubierta terrestre

Formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflectancia. (Chuvienco,1996, p.18)

2.2.2.3. Sistema sensor

Consiste en un sensor, que a su vez se convierte en la plataforma sobre la que se monta el sensor. Su misión es extraer energía de la superficie terrestre. (Chuvienco,1996, p.18)

2.2.2.4. Sistema de recepción – comercialización

Una vez recibida la información enviada por la plataforma, esta registra en un formato apropiado y lo remite al interesado tras las correcciones oportunas. (Chuvienco,1996, p.18)

2.2.2.5. Interprete

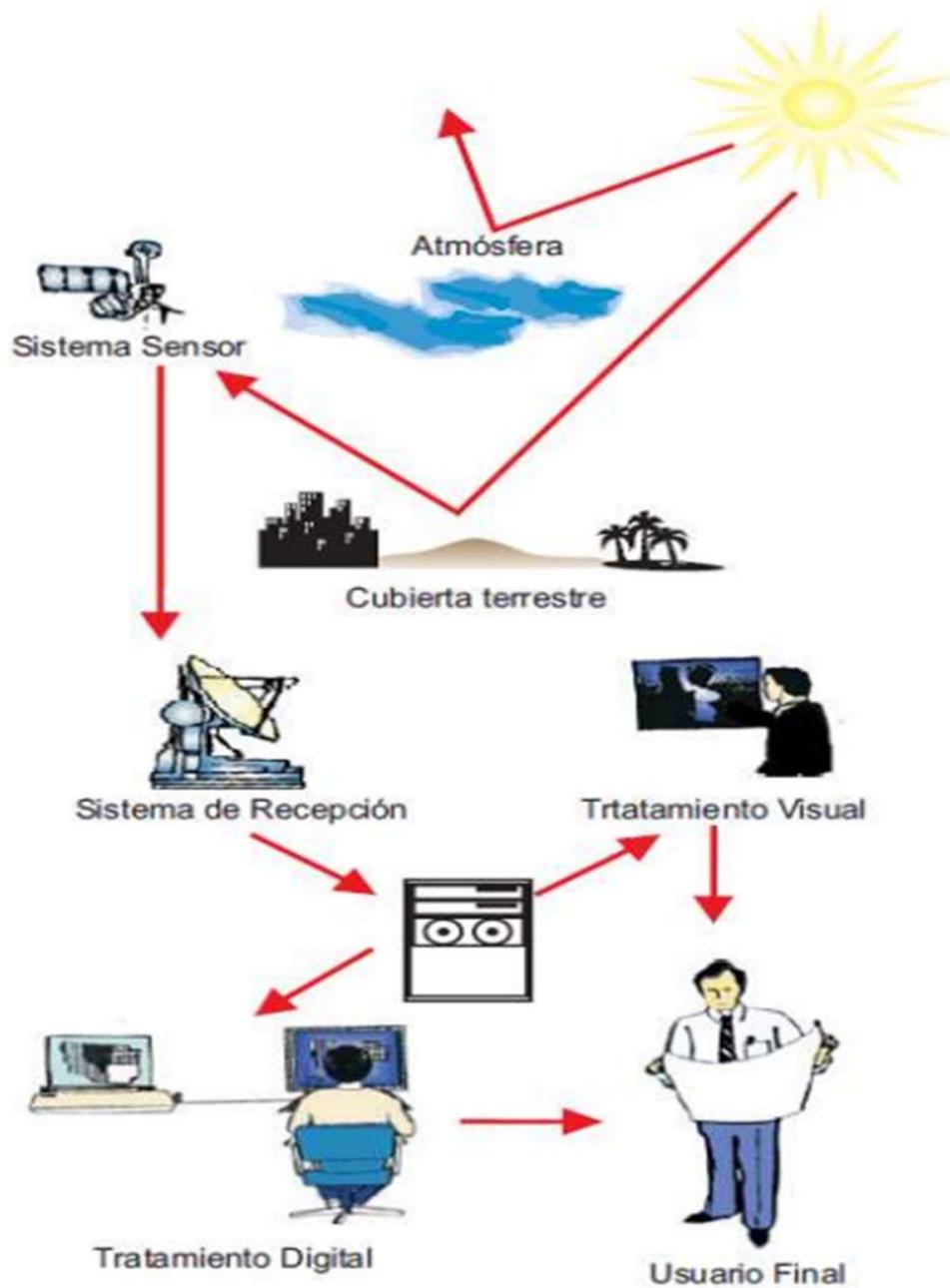
Esta transforma los datos en información interesante utilizando procesos y técnicas visuales o digitales. (Chuvienco,1996, p.18)

2.2.2.6. Usuario final

Es el que obtiene el beneficio de la interpretación y del documento resultante. (Chuvienco,1996, p.18)

GráficoNº1

Componente de Teledetección



Nota: El Gráfico N°1 muestra la relación existente entre los componentes de teledetección.

Fuente: Nino Bravo (2017).

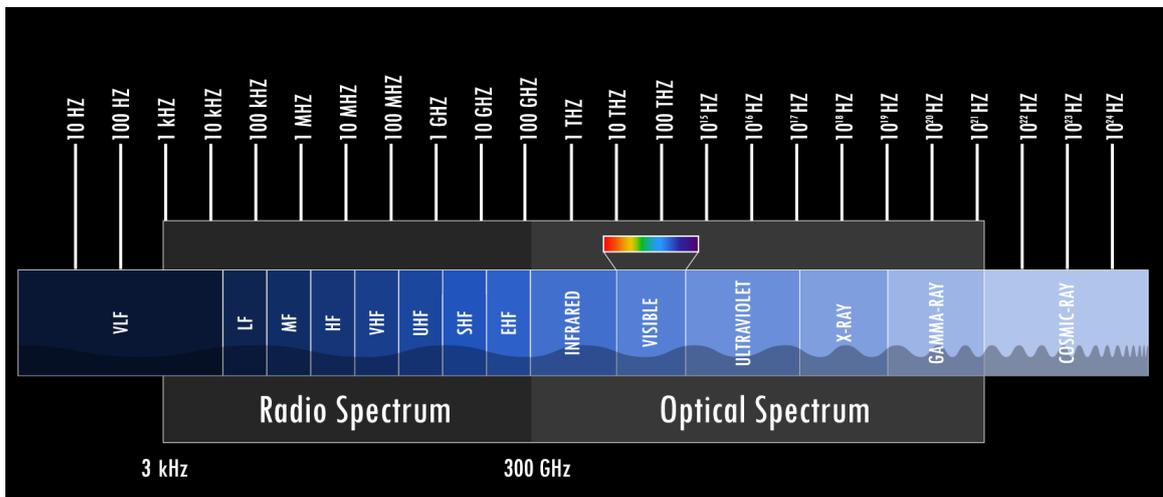
2.2.3. *El espectro electromagnético*

El espectro electromagnético está compuesto por todas las frecuencias de radiación electromagnética que propagan energía y viajan por el espacio en forma

de ondas. Las longitudes de onda más largas con frecuencias más bajas forman el espectro de radio. Las longitudes de onda más cortas con frecuencias más altas forman el espectro óptico. La porción del espectro que podemos ver se llama espectro visible, la NASA utiliza una serie de herramientas que nos permiten comunicarnos y crear imágenes utilizando casi todos los componentes del espectro electromagnético de una forma u otra. (NASA,2018)

Cualquiera que sea el rango de longitud de onda que se utilice para obtener imágenes de la superficie terrestre, el sistema general es complejo y comprende la dispersión o emisión de energía desde la superficie, seguida de la transmisión a través de la atmósfera a los instrumentos montados. (Richards y Jia, 2006, p.1)

GráficoN°2
Espectro de radio y óptico



Nota: Las ondas de radio tienen las longitudes de onda más largas, el espectro óptico utiliza la luz como medio de transmisión de información a largas distancias. Fuente NASA (2018).

2.2.3.1. Bandas espectrales

Bandas que son las más utilizadas con la tecnología moderna. (Chuvienco,2008, p.46)

2.2.3.1.1. Espectro visible (0.4-0.7 μm)

Rango de frecuencia visible al ojo humano, se divide en tres bandas: Rojo (0.6 - 0.7 μm), Verde (0.5 - 0.6 μm) y Azul (0.4 - 0.5 μm). (Chuvieco,1996, p.18)

2.2.3.1.2. Infrarrojo cercano (0.7 -1.3 μm)

Nombrado IR fotográfico o reflejado, tiene la capacidad de discriminar masas vegetales y humedad. (Chuvieco,1996, p.18)

2.2.3.1.3. Infrarrojo medio (1.3 – 8 μm)

Se entremezclan radiación solar y emisión de la superficie terrestre, en este hablamos de infrarrojo de onda corta (SWIR) situado entre 1.3 y 2.5 μm idóneo para estimar contenido de humedad. La segunda banda denominado como infrarrojo medio (IRM) es importante para detectar fuentes calientes. (Chuvieco,1996, p.18)

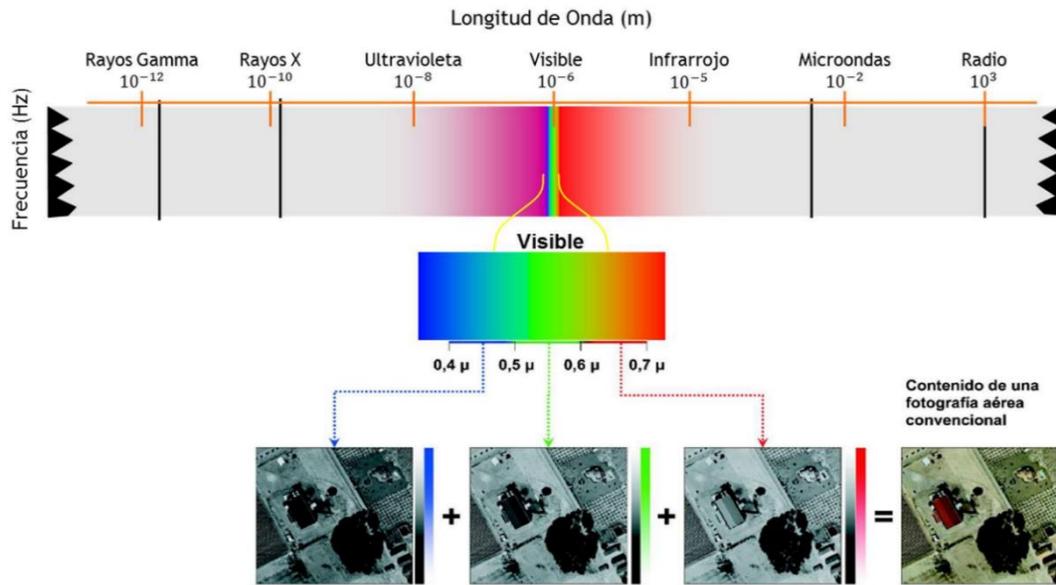
2.2.3.1.4. Infrarrojo lejano o térmico (8 – 14 μm)

Contiene la parte emisiva del espectro terrestre, en la cual se manifiesta mayormente el calor de la superficie terrestre. (Chuvieco,1996, p.18)

2.2.3.1.5. Microondas (por encima de 1mm)

Es una clase de energía muy transparente a la cubierta nubosa. (Chuvieco,1996, p.18)

Gráfico N°3
Espectro electromagnético



Nota: El Gráfico N°3 nos detalla la visualización de las bandas espectrales en cada campo, con ejemplo en el visible. Fuente Nino Bravo (2017).

Tabla1

Característica del área espectral

Área Espectral(bandas)	Longitud de onda(λ)	Rasgos
Rayos Gamma	< 0,03 nm	Radiación totalmente absorbida por las capas superiores de la atmosfera. No se utiliza en teledetección
Rayos X	0,03 - 30 nm	Radiación totalmente absorbida por la atmosfera. No se utiliza en teledetección.
Ultravioleta	0,03 - 30 nm	Radiación absorbida por la capa de ozono
Visible (azul, verde y rojo)	0,4 - 0,7 μ m	detectado con fotodetectores y películas normales fotosensibles (color y B/N)
Infrarrojo Próximo	0,7 - 1,3 μ m	Separa las masas vegetales y concentraciones de humedad.
Infrarrojo Medio	1,3 - 8 μ m	Estimación de contenido de humedad.
Infrarrojo Térmico	8 - 14 μ m	Detecta el calor que emana de la mayor parte de la superficie terrestre.
Microondas	0,1 - 100 cm	Radiación de onda larga
Ondas de Radio	> 100 cm	Usadas en telecomunicaciones

Nota: Nino Bravo (2017).

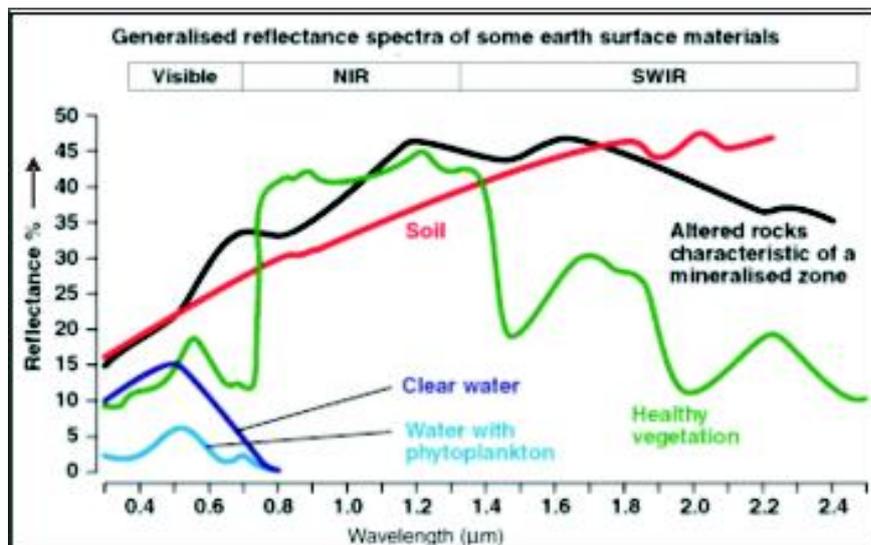
2.2.4. Firma espectral

Las firmas espectrales son la combinación de señales reflejadas, absorbidas y transmitidas o EMR emitido por objetos en diferentes longitudes de onda, que pueden

identificar un objeto. Cuando la cantidad de EMR (generalmente la intensidad de la reflejada radiación o reflectancia en porcentaje) procedente del material se traza en un rango de longitudes de onda, los puntos conectados producen una curva que es conocido como firma espectral del material o en otras palabras curva espectral de respuesta. Para interpretar imágenes de teledetección, es absolutamente importante tener una comprensión básica de la firma espectral, lo que incluye características del terreno, como agua, rocas, suelos y vegetación, éstas interactúan con las diferentes longitudes de onda (bandas) del EMR. (Curran, P.J, 1985, p.282)

GráficoN°4

Firmas espectrales de materiales terrestres.



Nota: Se muestran los datos de reflectancia espectral, como ejemplo firmas de minerales/rocas, y de la vegetación. Fuente (Curran, P.J, 1985)

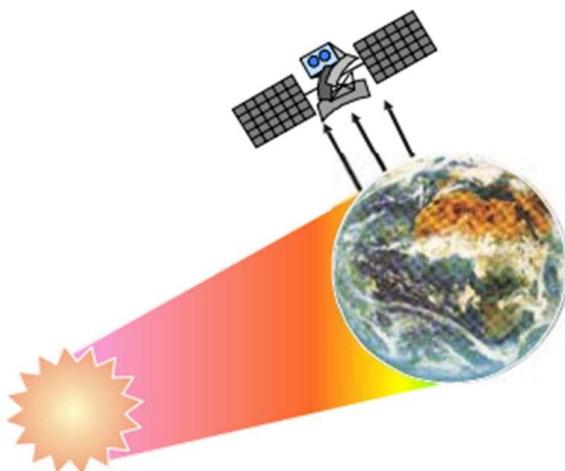
2.2.5. Tipos de Sensores

2.2.5.1. Sensores pasivos

Esta es muy valiosa para aplicaciones de teledetección para estimar recursos naturales. Estos sensores pasivos solo captan señales que emiten los objetos que reconocen, emiten y reflejan de forma natural. Estas señales, generadas por la radiación solar natural, proporcionan una gama muy amplia de información sobre el objeto percibido. Ejemplos: ASTER, Landsat, MODIS, SENTINEL. (Nino Bravo, 2017, p.11)

GráficoN°5

Sensor pasivo de un satélite.



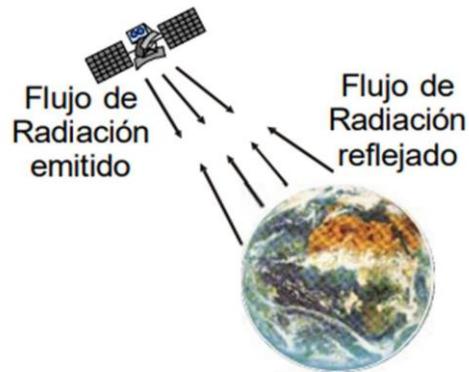
Nota: Fuente Nino Bravo (2017)

2.2.5.2. Sensores Activos

Este transmite radiación direccionada a un objetivo que se está inspeccionando. La radiación reflejada hacia el objetivo es percibida y medida por un sensor. Ejemplos: Radar, Lidar, Sonar. (Nino Bravo, 2017, p.11)

GráficoN°6

Sensor activo de un satélite.



Nota: Fuente Nino Bravo (2017)

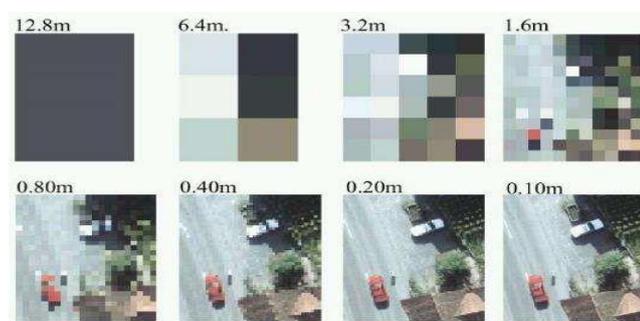
2.2.6. Resolución de un sistema sensor

2.2.6.1. Resolución Espacial

Representa el objeto más pequeño en una imagen. En los sistemas fotográficos, suele medirse como la distancia mínima a la que se pueden separar los objetos de una fotografía. Se mide en milímetros en las fotografías y sobre el terreno en metros, esta es dependiente a la distancia focal de la cámara y de la altitud sobre la superficie. (Chuvieco, 2011, p.88)

GráficoN°7

Resolución espacial, comparación de tamaño de píxeles en una imagen.



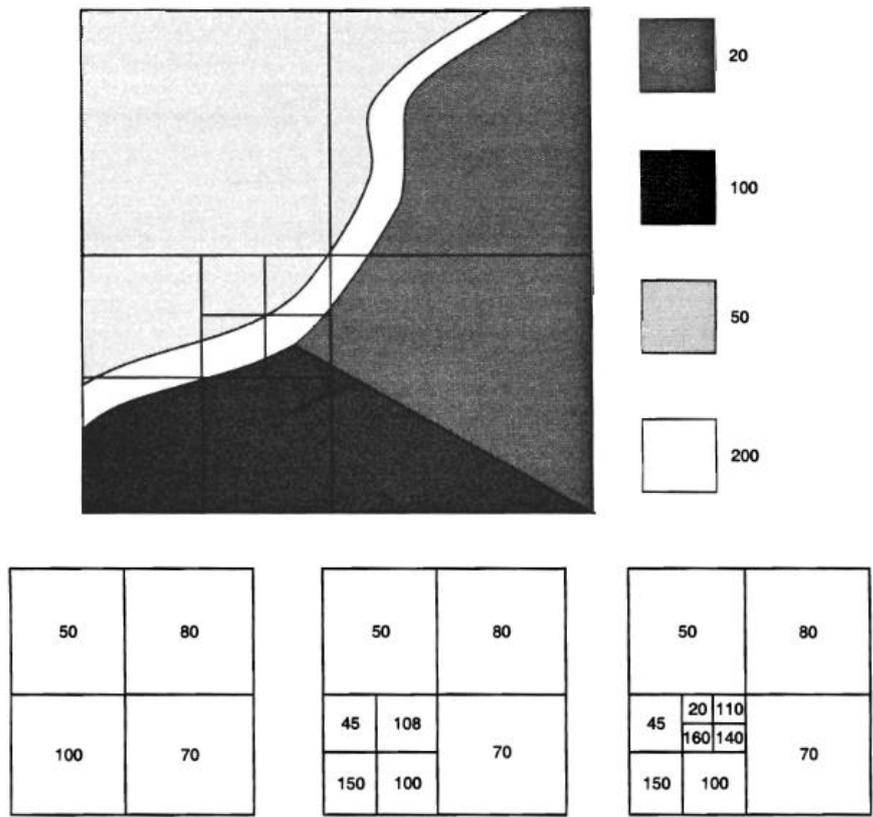
Nota: Fuente Nino Bravo (2017).

2.2.6.2. Resolución Espectral

Especifica el número y ancho de las bandas espectrales identificadas por el sensor. En este sentido cuantas más bandas tiene un sensor es mejor, de esa manera hace facil la caracterización espectral de coberturas diferentes. Se recomienda que las bandas sean suficientemente estrechas, con el objetivo de captar la señal en zonas coherentes del espectro. Las bandas que son demasiadas anchas implican registrar valores promedio, lo que dificulta la diferencia espectral entre cubiertas de interés. (Chuvienco, 2011, p.91)

GráficoN°8

Resolución espectral



Nota: Al aumentar la resolución espacial, la señal recogida por el sensor resulta más cercana a la radiación real de la cubierta. Fuente: Chuvienco,2011

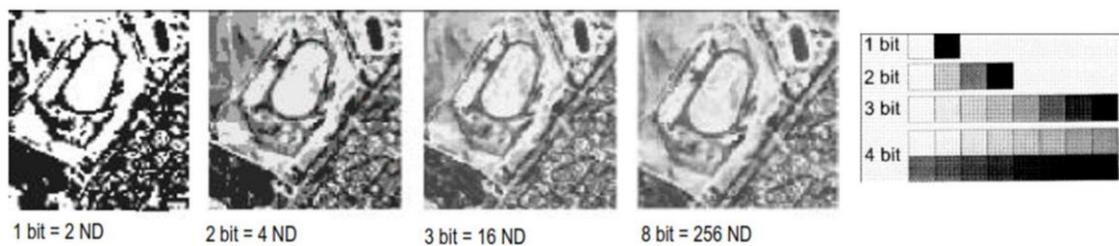
2.2.6.3. Resolución Radiométrica

Esto se refiere a la sensibilidad del sensor o su capacidad para detectar variaciones en la radiancia recibida. En un sistema fotográfico, la resolución radiométrica del sensor está determinada por el número de diferentes tonos gris que aparecen en la fotografía. (Chuvieco, 2011, p.92)

Muestra la media en bits (dígitos binarios), es disponibilidad de gama de valores de brillo, que en la imagen corresponde a un máximo alcance de DN; como muestra, una imagen de 16 niveles de brillo tendrá una resolución de 3 bits (Richards y Jia, 2006, p.85)

GráficoN°9

Resolución Radiométrica.



Nota: niveles digitales (ND) de una imagen. Fuente Nino Bravo (2017).

Tabla2

Bits determinado en el rango de gris ND

Bits	Niveles de Gris	de	Rango
1	2	0	1
2	4	0	3
3	8	0	7
4	16	0	15
5	32	0	31
6	64	0	63
7	128	0	127
8	256	0	255
9	512	0	511
10	1024	0	1023
11	2048	0	2047
12	4096	0	4095

13	8192	0	8191
14	16384	0	16383
15	32768	0	32767
16	65536	0	65535

Nota: Fuente Nino Bravo (2017)

2.2.6.4. Resolución Temporal

Hace referencia a la periodicidad de cobertura que proporciona el sensor. Es decir, se refiere al periodo en el que se toman imágenes de una misma parte de la superficie terrestre. (Chuvieco, 2011, p.95)

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

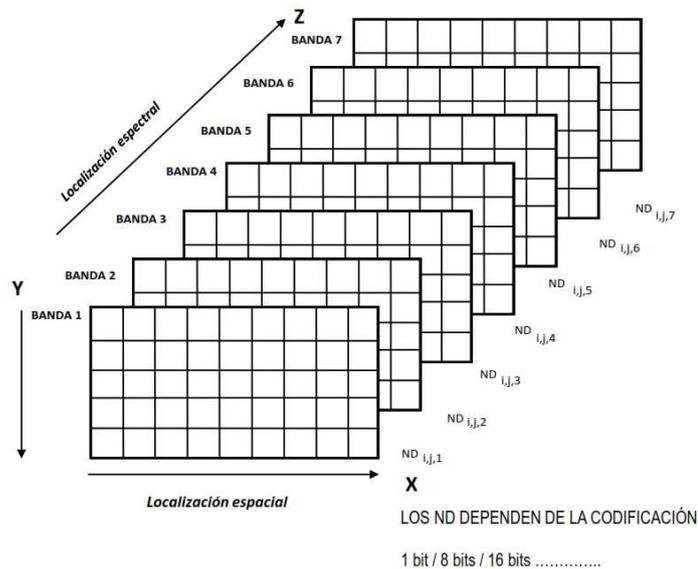
2.2.7. Tipos de imágenes de teledetección

2.2.7.1. Imagen Multiespectral (MS)

Imagen en la que a cada píxel se le asigna varios valores numéricos, tantas como bandas espectrales como el sensor pueda detectar. Este es a priori, el tipo de producto más útil esto se debe a que proporciona firmas espectrales de los diferentes elementos presentes en la imagen de una forma concreta. (Nino Bravo,2017, p 16).

GráficoN°10

Estructura de imágenes multiespectrales.



Nota: Fuente Nino Bravo 2017

2.2.7.2. Imagen pancromática (PAN)

Posee una sola banda espectral que se extiende generalmente en gran parte del visible y comienza del infrarrojo, teniendo como resultado una imagen que se representa en escala de grises (imagen en negro y blanco).

Estas poseen la ventaja de tener una resolución espacial mayor, que las multiespectrales que facilita el mismo satélite.

Es por ello por lo que son muy sugestivos para la detección de elementos pequeños de la superficie terrestre que no son distinguidos en la imagen multiespectral. (Nino Bravo, 2017, p 16).

2.2.8. Satélites

Las imágenes Satelitales constan de una matriz donde un píxel representa cada celda, las extensiones de este píxel dependen de la resolución espacial del sensor.

El sensor registra la radiación electromagnética emitida diferentes cubiertas y la guarda en cada píxel según el intervalo de longitud de onda, en la cual este sensor está proyectado para captar. La energía electromagnética se representa como un valor digital en cada píxel a este se le añade una tonalidad, este valor se llama Nivel Digital (ND), el número de niveles digitales se puede mostrar depende de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 el valor digital varía entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el 0 igual al color negro y el 255 igual al color blanco. (Nino Bravo,2017, p 18)

Cada píxel está determinado en una imagen tridimensionalmente por los ejes XYZ.

X: Numero de columna de la matriz.

Y: Numero de fila de la matriz.

Z: Nivel digital (valor de intensidad en la escala de grises).

Las asignaciones de colores más familiares para los usuarios es la del falso color

(R=Rojo, G= Verde, B= Azul) la cual asigna el color azul, verde y rojo a las bandas (G-R-A). (Nino Bravo,2017, p 18)

La información obtenida de bandas diferentes en imágenes satelitales es de gran utilidad en varios campos como: Geología, agricultura y silvicultura. etc.

2.2.9. Landsat 8:

Lanzado en 2013, el satélite Landsat 8 ha contribuido a un registro multiespectral ininterrumpido de las superficies terrestres de la Tierra desde 1972. Landsat 8 orbita en un desfase de ocho días con Landsat 7, que fue lanzado en 1999. La adquisición de datos espaciales de Landsat 8 se combina con los

sistemas de archivo y distribución del USGS, que incluye metodologías de procesamiento de datos necesarias al convertir datos de Landsat 8 en un formato científicamente utilizable. Con Landsat 8, se ha puesto un énfasis especial en actualizar periódicamente el archivo de datos globales, mantener una calibración precisa del instrumento, proporcionar datos de acuerdo con las directivas de política nacional. (USGS, 2019, p1)

GráficoN°11

Datos multiespectrales Landsat

Satellite	Sensor	Swath	Bits	VNIR			SWIR		TIR	
L8	OLI	185km	12	30m	30m	30m	30m	30m		
	TIRS			15m				100m	100m	
Landsat 7	ETM+	185km	8	30m	30m	30m	15m	30m	30m	60m
Landsat 4 & 5	MSS	185km	8		82m	82m	82m			
	TM	185km	8	30m	30m	30m	30m	30m	30m	120m
Landsat 1-2	RBV	183km		80m	80m	80m				
Landsat 3	RBV	183km			40m					
Landsat 1-3	MSS	183km	8	79m	79m	79m	79m			240m (L3 Only)

Notas: Presenta datos multiespectrales comenzando con Landsat 1 desde 1972. Fuente: USGS (2019).

2.2.9.1. Instrumentos Landsat8:

Provisto con dos instrumentos: The Operational Land Imager (OLI) y Sensor de infrarrojo térmico (TIRS).

Las bandas espectrales del sensor OLI han mejorado a diferencia de otros instrumentos Landsat, teniendo integrada adicionalmente dos bandas espectrales: uno es un canal visible azul profundo (banda 1) diseñado específicamente para la exploración de recursos hídricos y zonas costeras, y lo otro es un canal infrarrojo de onda corta (banda 9) para la detección de nubes. (USGS, 2019, p 37)

Los instrumentos TIRS capturan dos bandas espectrales que estaban cubiertas a través de una única banda de sensores TM y ETM. Las descripciones de los nombres de las bandas en todos los sensores Landsat

con información sobre cómo se compara entre Landsat 8 con las bandas preliminares están disponibles.

Estos sensores facilitan una utilidad, señal - ruido (SNR) radiométrico mejorado cuantificado con un rango dinámico de 12 bits. (Esto equivale a 4096 niveles de gris potenciales en una imagen, en comparación con solo 256 niveles de gris en equipos de 8 bits anteriores.) El rendimiento mejorado de señal a ruido permite una mejor determinación de las condiciones de la cubierta terrestre.

Cada producto de datos Landsat 8 también incluye bandas de clasificación de calidad esta banda permite que los usuarios apliquen filtros de píxeles a productos de datos combinados Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) -únicamente y al Landsat 8 OLI / Thermal Infrarrojo Sensor (OLI / TIRS) - productos de datos combinados. (USGS, 2019, p 38).

2.2.9.2. Productos de datos Landsat8:

Productos de datos Landsat 8 Pre-WRS-2, se adquirieron casi 10.000 escenas con los sensores Operational Land Imager (OLI) y / o Thermal Infrared Sensor (TIRS) después del lanzamiento (11 de febrero de 2013) hasta el 10 de abril de 2013, cuando el satélite alcanzó la órbita operativa (WRS-2). Las primeras imágenes son solo datos TIRS.

Estos datos también son visibles y se pueden descargar desde Earth Explorer o GloVis.

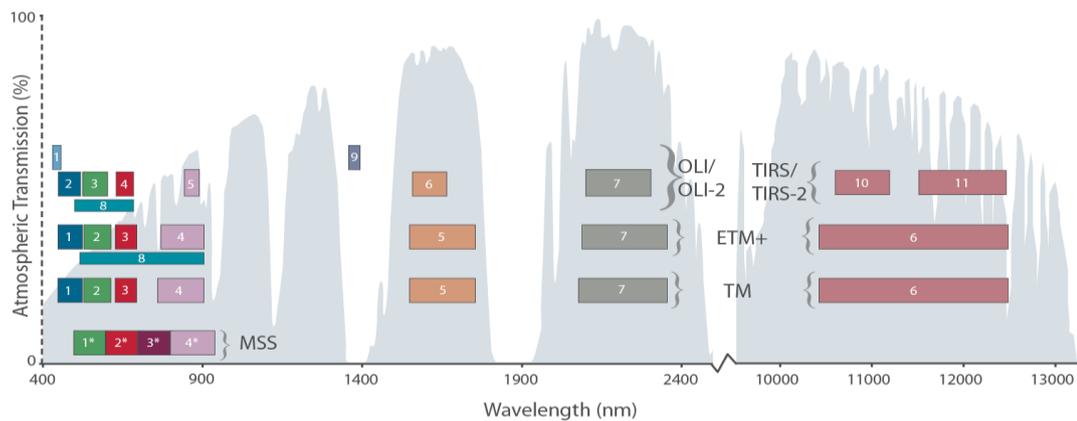
Si bien los datos cumplen con una calidad de estándares y tienen la misma precisión geométrica que los datos adquiridos a partir del 11 de

abril de 2013, las extensiones geográficas de cada escena pueden diferir. (USGS, 2019, p 50).

La mayoría de los datos se procesará al nivel más alto posible, sin embargo, puede haber algunas diferencias en las primeras imágenes en su resolución espacial TIRS debido a los cambios en la temperatura del telescopio, pero deben estar dentro de +/- 1 por ciento. (USGS, 2019, p 51).

GráficoN°12

Bandas espectrales y longitudes de onda para sensores Landsat.



Nota: Se compara las bandas espectrales L8 y longitud de onda a la de L7 ETM+. Fuente: USGS

2.2.9.3. Aster 1LT:

Aster (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) por sus iniciales en inglés es un avanzado espectrómetro multiespectral que fue lanzado en la nave espacial Terra de la NASA en diciembre de 1999. ASTER cubre un amplio rango espectral de 14 bandas, desde luz visible hasta el infrarrojo térmico con alta resolución espacial, espectral y radiométrica. Las bandas traseras adicionales del infrarrojo cercano proporcionan cobertura estéreo. La

resolución espacial depende de la longitud de onda: 15 m en las bandas del visible y infrarrojo cercano (VNIR), 30 m en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y 90 m infrarrojo térmico (TIR). La escena del ASTER cubre una región de 60 x 60 km.

Terra es la primera de una serie de naves espaciales multi instrumentales que conforman parte del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la NASA. EOS incluye un componente científico y un sistema de información de datos (EOSDIS) que apoya una serie coordinada de satélites de órbita polar y baja inclinación para observaciones globales a largo plazo de la superficie terrestre, la biosfera, la Tierra sólida, la atmósfera y los océanos. Al permitir una mejor comprensión de la Tierra como un sistema integrado, el programa EOS tiene beneficios para todos nosotros. Además de ASTER, Terra cuenta con otros instrumentos como el Espectro radiómetro con Resolución Moderada (MODIS), el Espectro-Radiómetro de Imágenes Multiangular (MISR), el Sistema de Energía Radiante Nube - Tierra (CERES) y las mediciones de contaminación en la Troposfera (MOPITT). Como instrumento único con alta resolución espacial en Terra, ASTER es una "lente focal" a los demás instrumentos. Terra se encuentra en una órbita sincrónica de helio, media hora detrás del Landsat ETM+; cruza el ecuador alrededor de las 10:30 am hora solar local.

ASTER puede recopilar datos globales en un ciclo de trabajo promedio del 8% por órbita. Esto equivale a aproximadamente 650 capturas de escenas por día, procesadas en el nivel 1A; aproximadamente 150 de ellos se procesan a nivel 1B. Todas las escenas 1A y 1B se

transfieren al archivo EOSDIS en el Centro de datos EROS (EDC) del Centro de Archivo Activo Distribuido de Procesamiento de Terrenos (LP-DAAC) para su distribución, procesamiento y almacenamiento, a los productos de datos de nivel superior. Todos los productos de ASTER se almacenan en una implementación específica de datos jerárquico llamado HDFEOS. (Abrams y Hook, 2004, p 8).

Tabla3

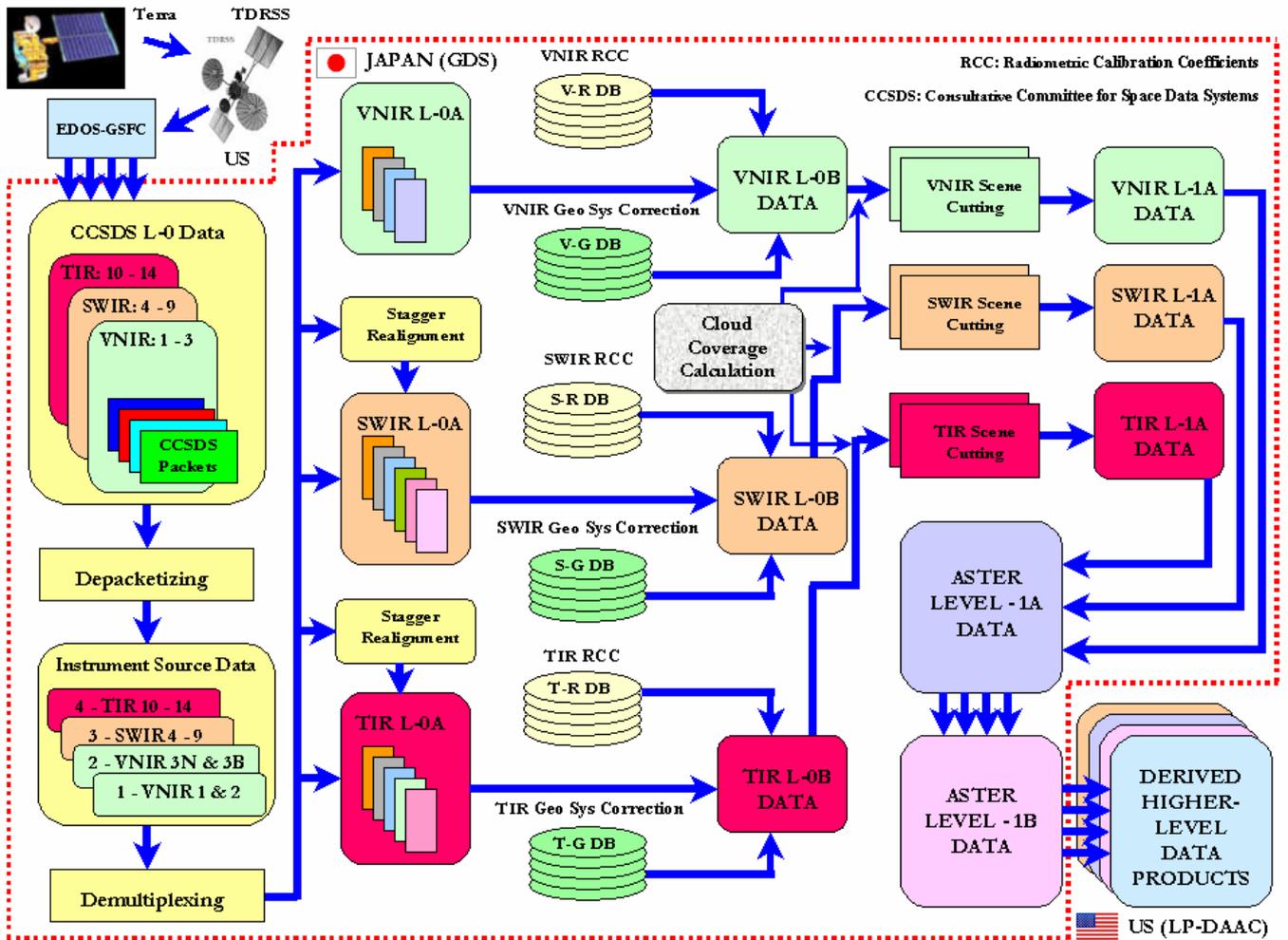
Particularidades de los tres sistemas de sensores Aster

Subsystem	Band N°	Spectral Range (μm)	Spatial Resolution,m	Quantization
VNIR	1	0.52 - 0.60	15	8 bits
	2	0.63 - 0.69		
	3N	0.78 - 0.86		
	3B	0.78 - 0.86		
	4	1.60 - 1.70		
SWIR	5	2.145 - 2.185	30	8 bits
	6	2.185 - 2.225		
	7	2.235 - 2.2885		
	8	2.295 - 2.365		
	9	2.360 - 2.430		
	10	8.125 - 8.475		
TIR	11	8.475 - 8.825	90	12 bits
	12	8.925 - 9.275		
	13	10.25 - 10.95		
	14	10.95 - 11.65		

Nota: Banda de espectros Fuente: Abrams y Hook (2004)

GráficoN°13

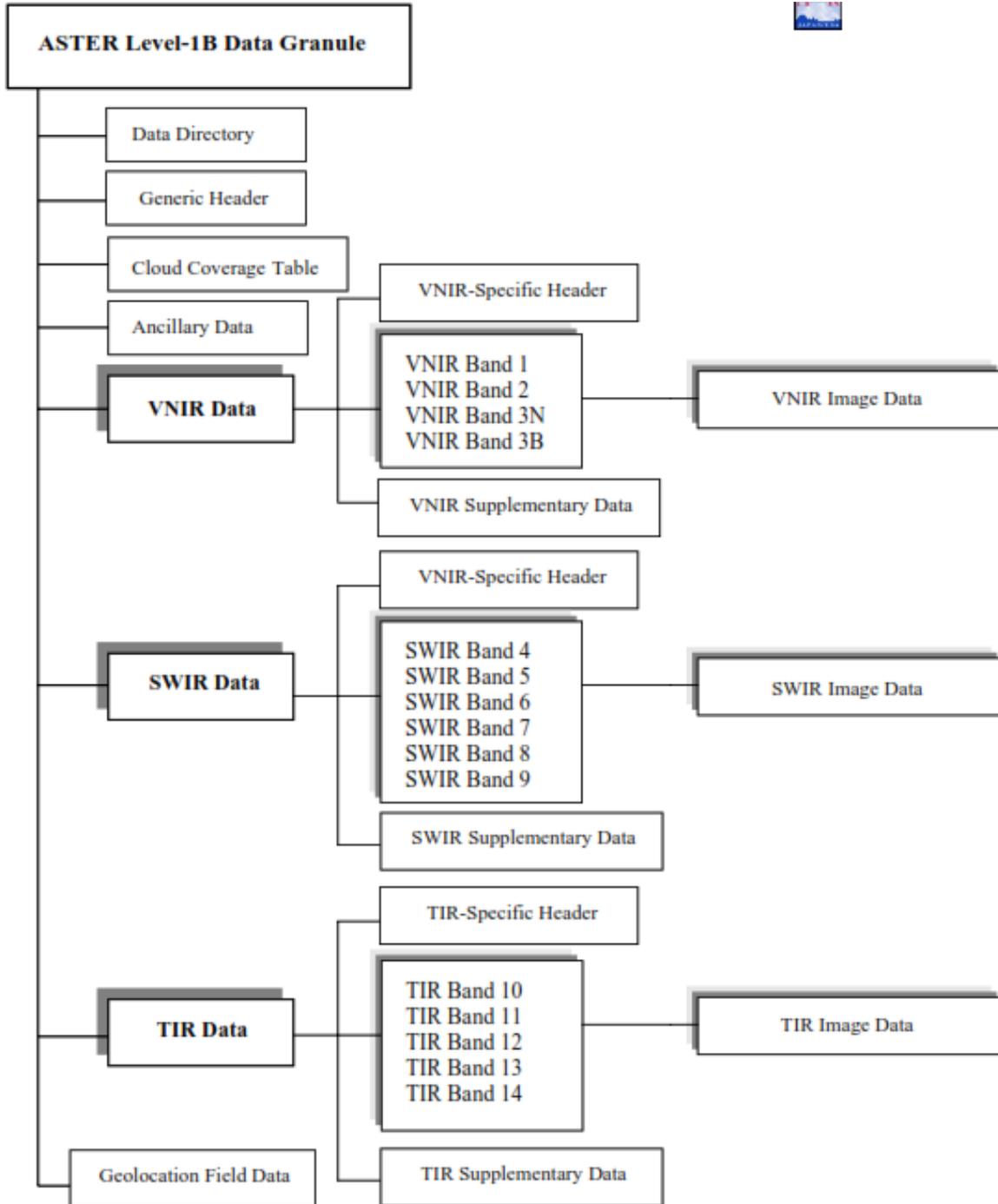
Flujo de procesamiento Aster



Nota: Procesamiento de datos Aster entre EE. UU y JAPON. Fuente: Abrams y Hook (2004)

GráficoN°14

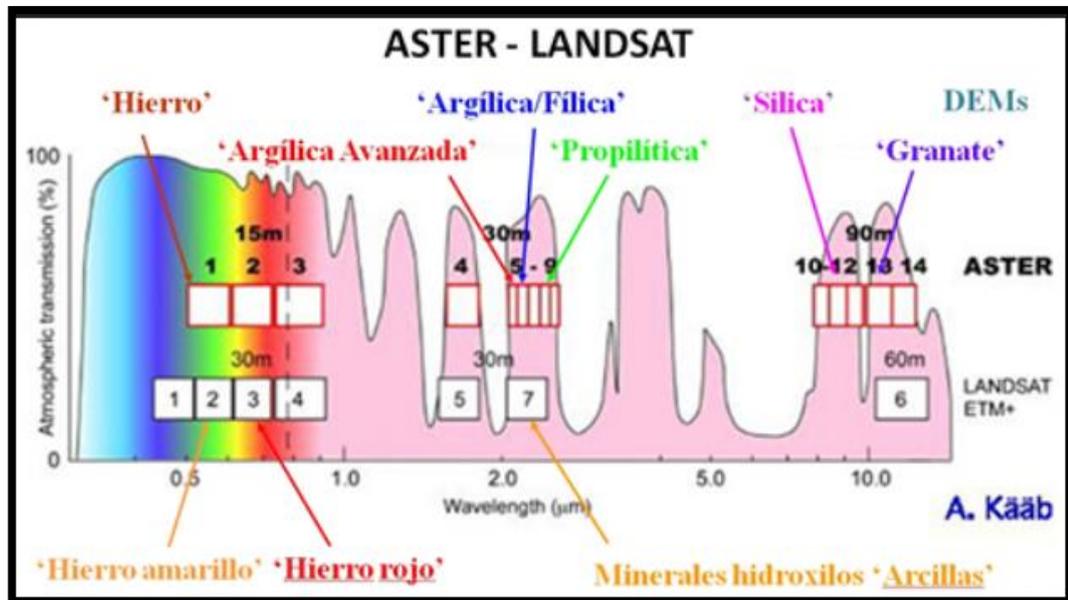
Estructura de datos Aster 1LT



Nota: Fuente Abrams y Hook (2004)

GráficoN°15

Diferencias de bandas Aster - Landsat



Nota: Bandas espectrales relacionadas a cada tipo de mineral Fuente: INGEMMET (2011)

2.2.9.4. Sentinel 2A:

Se trata de un comedido de visualización terrestre desarrollada por la ESA en el marco del proyecto Copérnicus, destinada a realizar observaciones de la Tierra para proporcionar servicios como el seguimiento del desarrollo forestal, cambios en la corteza terrestre y gestión de desastres naturales. Conformado por dos satélites similares: Sentinel 2A y Sentinel2B.

-Las características de la misión Sentinel 2 incluye:

-Adquisición de imágenes multiespectrales con 13 bandas en el espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta .

-Cobertura global sistemática de las superficies terrestres desde 56° S hasta 84° N, incluyendo aguas costeras, y todo el mar Mediterráneo (ESA,2014, p 12)

-Revisión de las zonas cada 5 días, manteniendo la misma visibilidad de ángulo. En latitudes altas, Sentinel 2 ejecuta estudios desde diferentes ángulos cada cinco días.

-Resolución espacial de 10 m, 20 m y 60 m

-Visión de campo de 290 km

-Condiciones de política, datos independientes y abiertos

2.2.9.5. Lanzamiento:

Operan en órbitas opuestas ambos satélites. El primero Sentinel 2A fue lanzado en el cohete espacial Vega1 el 23 de junio de 2015 y el Sentinel 2B fue lanzado el 2017 en el mes de marzo, abordo del mismo cohete. (ESA,2014, p 12)

2.2.9.6. Aplicaciones:

Sentinel 2 se utilizará para una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la superficie de la Tierra y las zonas costeras.

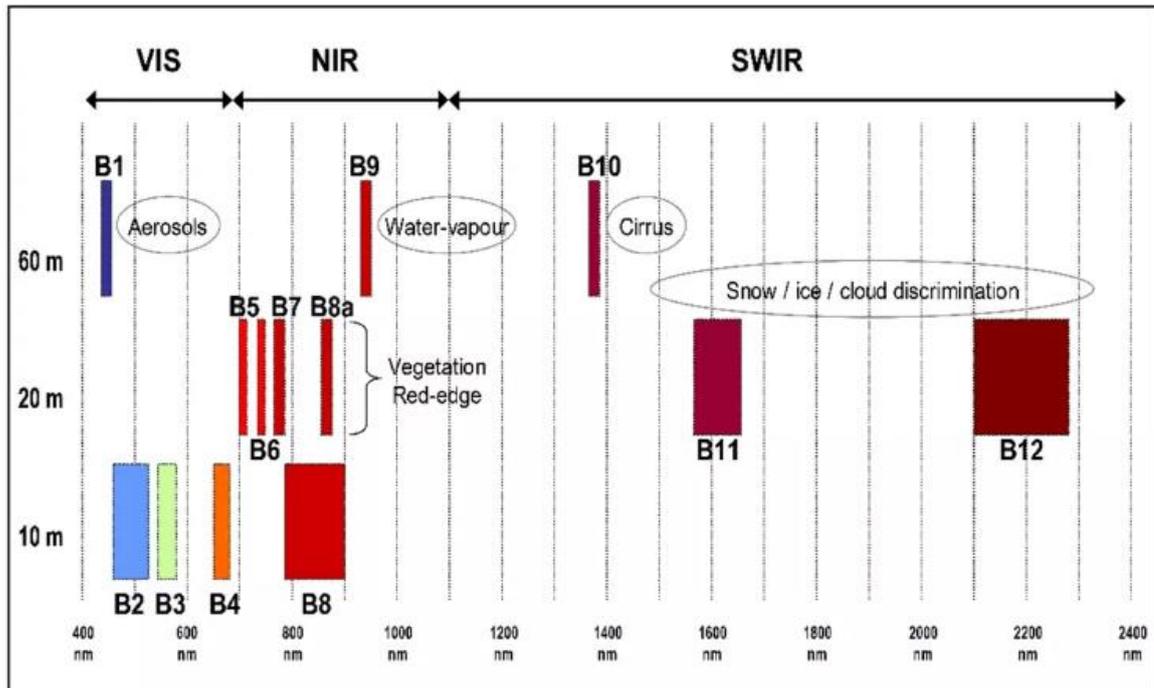
Su misión es especialmente informar las prácticas forestales y agrícolas para ayudar a gestionar la seguridad alimentaria. Las imágenes de este satélite se pueden utilizar para determinar varios indicadores de las plantas, como el área de clorofila de las hojas el contenido de agua. Esto es particularmente importante para la predicción eficaz del rendimiento y las aplicaciones relacionadas con la vegetación terrestre. (ESA,2014, p 12)

Además de monitorear el crecimiento de las plantas, Sentinel 2 permite monitorear de manera global los bosques y mapear cambios en la cubierta vegetal. También facilitan los datos sobre la contaminación de aguas costeras y lagos. Las imágenes sobre, erupciones volcánicas,

inundaciones y deslizamientos de tierra son útiles para mapear desastres.
(ESA,2014, p 12)

GráficoN°16

Resolución espacial y espectral de Sentinel - 2



Nota: Fuente: León (2015)

2.2.9.7. Alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal es un proceso complejo que involucra cambios mineralógicos, químicos y texturales, resultado de la interacción de fluidos hidrotermales calientes con las rocas circundantes, en condiciones fisicoquímicas en evolución. En condiciones magmáticas subsólicas mediante la alteración puede ocurrir mediante la acción e infiltración de fluidos supercríticos en unos macizos rocosos. A temperaturas y presiones más bajas, la liberación de fases gaseosas y acuosas crea fluidos hidrotermales que operan sobre las rocas circundantes, causando cambios debido a la inestabilidad, en gran parte

debido a OH⁻ y H⁺ y diferentes constituyentes volátiles (por ejemplo, F, CO₂, B). (Franco Pirajno, 2008, p 90).

2.2.9.8. Alteración hidrotermal en sistemas tipo Pórfido

La alteración hidrotermal y la mineralización forman capas más o menos concéntricas centradas en las intrusiones asociadas con minerales en sistemas tipo pórfido. Los efectos de la alteración hidrotermal y la mineralización se extienden hacia un gran volumen de rocas encajantes alrededor y por encima de las intrusiones; los procesos que conducen a la alteración en sistemas tipo pórfidos son: adición de volátiles (alteración propílica), hidrólisis (sericítica, argílica avanzada y argílica intermedia), intercambio alcalino (alteración potásica, sódica-cálcica) y adición de sílice. Las variables principales en los procesos de alteración son: temperatura, presión, composición del fluido y composición de posibles fluidos externos (agua de mar, evaporitas). (Franco Pirajno, 2008, p 111).

2.2.9.9. Alteración hidrotermal en depósitos tipo Skarn

La génesis del skarn implica fundamentalmente metamorfismo de contacto isoquímico y metasomatismo (skarns progresivos), debido enteramente a la transferencia de calor, fluidos y metales desde un cuerpo plutónico en enfriamiento hacia las rocas encajantes circundantes. Los sistemas de alteración de skarn suelen estar zonificados en respuesta a variaciones de temperatura y evolución del fluido desde el stock intrusivo o plutón hacia el exterior. Esta zonación comienza desde el endoskarn dentro de la intrusión hasta los exoskarns proximales y distales que se desarrollan en las rocas encajantes. Las rocas carbonatadas generalmente, alrededor de los contactos de la intrusión se metamorfizan a mármol

(marmolizado) o a calcosilicatos, en el caso que el carbonato sea impuro. Los skarns de contacto, progresivos o proximales, se caracterizan por diferentes combinaciones y abundancias volumétricas de granate (grosularita-andradita), piroxeno, vesuvianita, wollastonita y rodonita. Las etapas retrógradas de alteración ocurren en las últimas etapas de enfriamiento, lo que resulta que la actividad hidrotermal sea más intensa, mezcla local con aguas meteoríticas y precipitación de sulfuros y óxidos, especialmente cerca de los contactos del plutón y superposición de asociaciones progresivas. Las asociaciones minerales de los skarns retrógrados típicamente incluyen fases hidratadas, como anfíbol, biotita, epidota y clorita, aunque, como advierten Meinert et al. (2005), la presencia de fases minerales hidratadas no implica necesariamente procesos retrógrados. Como se mencionó anteriormente, los minerales retrógrados reflejan una disminución de temperatura y salinidad de los fluidos, llevando a una tendencia desde anfíbol-epidota-biotita – muscovita -clorita -sulfuros - carbonatos (+ fluorita o scheelita o powellita) (Kwak 1994). (Franco Pirajno,2008, p 119).

2.2.9.10.Alteración hidrotermal en sistemas tipo Epitermal

Las fases minerales hidrotermales que se desarrollan en sistemas epitermales son una función de la temperatura, presión, tipo de roca, naturaleza de los fluidos circulantes (como el pH, actividades de CO₂, H₂S) y las relaciones agua/roca. La alteración hidrotermal en sistemas epitermales puede considerarse en términos de la interacción de (1) fluidos ácidos; (2) fluidos de cloruro casi neutros; y (3) fluidos alcalinos. El reconocimiento de las asociaciones minerales es crucial para distinguir

entre sistemas epitermales de baja sulfuración, alta sulfuración, sulfuración intermedia y tipos alcalinos.

En el rango de temperaturas más bajas (< 180°C), las fases minerales principales relacionadas con fluidos geotermales ácido-sulfato son caolinita, alunita, cristobalita, yeso, ópalo, azufre nativo, cuarzo y sulfuros. La pirofilita, diásporo y andalucita son estables a temperaturas superiores a 250°C y posiblemente incluso mayores a 350°C, como en el caso de la andalucita. Barita, anhidrita y óxidos de hierro hidratados también pueden estar presentes en el rango de temperaturas más bajas. Estas fases minerales constituyen la asociación de alteración argílica avanzada y una característica distintiva, fácil de reconocer en el campo, es el llamado “vuggy”, que es un residuo de sílice resultante de una lixiviación ácida extrema. El halo de alteración argílica avanzada cambia hacia afuera a illita, illita-esmectita. Por encima del nivel freático, la alteración por vapor, debido a la oxidación de H₂S, produce cristobalita, caolinita y alunita, que son minerales ácidos estables de baja temperatura. (Franco Pirajno, 2008, p 120).

2.3. Definición de términos básicos.

2.3.1. *Imágenes Satelitales:*

Estos constan de matrices donde cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependen de la resolución espacial del sensor. (Nino Bravo, 2017, p 18)

2.3.2. *Envi:*

Es un software para la visualización, análisis y presentación de todo tipo de imágenes digitales este incluye herramientas avanzadas, pero fáciles de usar,

para realizar análisis espectral, corrección geométrica, análisis del terreno, análisis de datos radar, capacidad GIS para raster y vector. (UEGPS,2018, p 15)

2.3.3. *Band Ratios:*

Técnica usada en procesamiento de imágenes satelitales, la relación de bandas es una técnica muy simple y poderosa en la teledetección, la idea básica de esta técnica es enfatizar o exagerar la anomalía del objetivo. (Abrams, 1983, p 591-604)

2.3.4. *Principales componentes:*

Esta es una técnica matemática bien conocida para resolver problemas de multivariados. En el caso de la teledetección, esto normalmente implica analizar estructuras de datos multiespectrales para descubrir relaciones complejas entre características espectrales. (Chuvienco, 2016, p 88).

2.3.5. *MTFM:*

Es un acrónimo que significa Mean-Removed and Temporally Decorrelated Multi-Temporal Filtering (Filtrado Multitemporal de correlación y con media Eliminada). Es un de los métodos que se utiliza para incrementar la resolución espacial de imágenes satelitales multitemporales. (Abrams, 1983, p 591-604)

2.3.6. *NDVI:*

Es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, un índice que se utiliza para medir la cantidad y la salud de la vegetación en una imagen satelital. Este índice se calcula en función de la relación entre la radiación reflejada en dos longitudes de onda diferentes, una de las cuales es absorbida por la clorofila de las plantas. (Landsat, 2021, p 1)

2.3.7. *Satélite:*

Es un objeto que órbita alrededor de la Tierra o de otro cuerpo celeste. Los satélites pueden ser utilizados para una variedad de propósitos, incluyendo la observación de la Tierra, la exploración del espacio, la comunicación y la navegación. (Landsat, 2021, p 1)

2.3.8. *Sensor:*

Es un dispositivo que se utiliza para medir la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda. En el contexto de las imágenes satelitales, los sensores se utilizan para capturar la radiación que refleja a la superficie terrestre en diversas longitudes de onda. (Landsat, 2021, p 1)

2.3.9. *Teledetección:*

Es el proceso de adquirir información sobre la superficie terrestre utilizando sensores remotos, como cámaras y satélites. La teledetección se utiliza para una variedad de aplicaciones, incluyendo la cartografía, la agricultura y el monitoreo del cambio climático. (Chuvieco,1995, p. 37).

2.3.10. *Escena:*

Polígono que cubre las cartas nacionales 22K y 22J en relación con las Imágenes de los sensores LANDSAT 8, ASTER 1LT, SENTINEL 2A

Para el trabajo con Landsat 8 se hizo un mosaico con dos imágenes (Graf. 14) que cubre la escena, en el Aster se realizó un mosaico de 5 imágenes (Graf. 15) que cubre nuestra escena (Fuente: Propia)

GráficoN°17

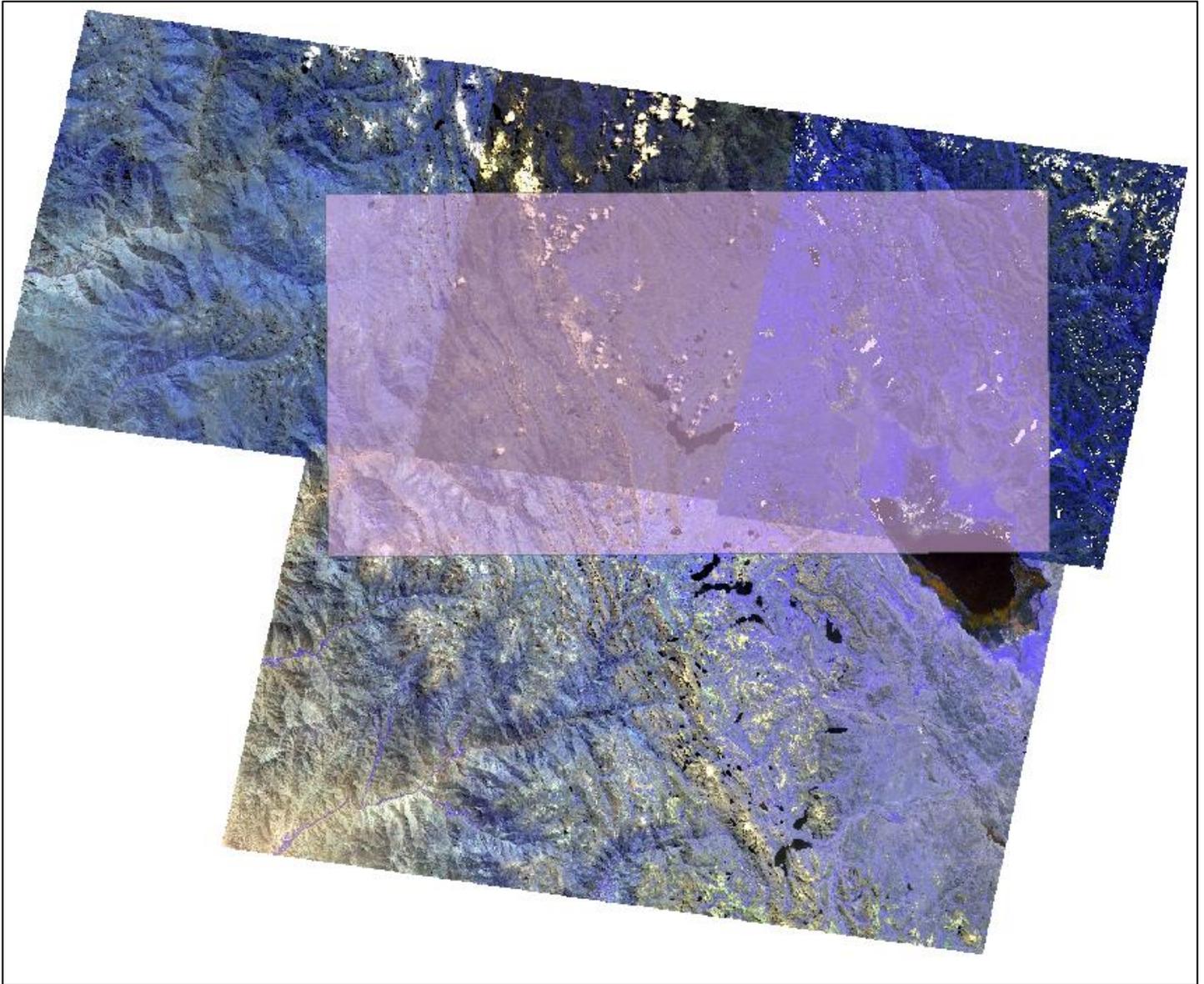
Imagen Landsat 8 en relación con la escena y cuadrángulos



Nota: Escena de trabajo (en lila) se observa que las imágenes Landsat 8 cubre nuestra escena los cuadrángulos 22K y 22J Fuente: Propia

GráficoN°18

Imagen Aster 1LT en relación con la escena.



Nota: Creación de mosaico en imagen Aster 1LT para cubrir toda nuestra escena. Fuente: Propia.

2.4. Formulación de hipótesis.

Con el análisis de las imágenes satelitales se podrá determinar zonas de prospectables a través de los minerales de alteración hidrotermal; estos son guías en la búsqueda de un depósito.

2.4.1. Hipótesis general.

El análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú permite identificar zonas prospectables, 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas.

Los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A demuestran una precisión aceptable en la identificación de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, lo que se reflejará en una concordancia significativa con los datos geológicos de referencia.

Existe una correlación significativa entre las anomalías detectadas por los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la zona 22K y 22J del centro del Perú y la presencia de depósitos minerales conocidos, validando la efectividad de estos sensores para la prospección mineral

El uso de técnicas avanzadas de procesamiento espectral permite una interpretación más precisa de los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, lo que resulta en una identificación más precisa de zonas de interés prospectivo en las zonas 22K y 22J del centro del Perú.

La integración de datos provenientes de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A permite una mejora significativa en la identificación y mapeo de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú,

proporcionando una visión más completa y detallada de las características geológicas de interés.

2.5. Identificación de variables.

El hombre de ciencia elabora construcciones hipotéticas o constructos teóricos para denominar a los fenómenos que estudia. Todos estos constructos toman la denominación genérica de variables. (Mejía, M.E.2008).

2.5.1. Variables Independientes

Imágenes satelitales de los sensores Landsat8, Aster 1LT, Sentinel 2A y la zona de estudio correspondiente a las cartas nacionales 22K y 22J.

2.5.2. Variables Dependientes

Presencia y distribución de minerales de alteración hidrotermal, características espectrales de los minerales, áreas de interés prospectivo identificadas.

2.5.3. Variables Intervinientes

Software Envi 5.6 - Arcgis 10.8

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

La concentración de minerales de alteración hidrotermal se medirá en base al análisis cuantitativo de firmas espectrales específicas en las imágenes Satelitales, obtenidas por los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A. Se emplearán técnicas de procesamiento de imágenes satelitales para estimar una cantidad relativa de minerales de alteración hidrotermal presentes dentro de la zona de estudio.

Tabla4*Operacional de variables, e indicadores.*

Variables	Dimensiones	Indicadores	
Independiente	Imágenes Satelitales y escena de trabajo	Tamaño de Píxel y longitud de onda	Resolución, de las escenas y números de bandas
Dependiente	Minerales de alteración hidrotermal	Similitud en las firmas espectrales de la librería con pixeles obtenidos	Coincidencias espectrales con la librería.
Intervinientes	Software Envi 5.6 – Arcgis 10.8	Resolución espacial de imagenes	Presencia de pixeles en la escena.

Fuente: Propia

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es analítico, porque se enfoca en el análisis detallado de las características espectrales de cada píxel obtenidas de las imágenes satelitales Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A. Este análisis permite comparar estas características con una librería de firmas espectrales para identificar anomalías que indiquen la presencia de minerales de alteración hidrotermal.

3.2. Nivel de investigación

Exploratorio y Correlacional:

3.2.1. *Exploratorio*

La investigación busca determinar nuevas zonas de interés exploratorio, identificando áreas potenciales que puedan contener minerales valiosos, a través del análisis de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J. Esto es esencial para la prospección minera y la planificación de futuras exploraciones

3.2.2. Correlacional

La investigación correlaciona las firmas espectrales obtenidas con los datos de control en el terreno, validando la precisión de las técnicas de teledetección utilizadas.

3.3. Métodos de investigación

Método de análisis – síntesis, combinando el análisis detallado de las firmas espectrales de los minerales de alteración hidrotermal, mediante diversas técnicas de procesamiento de imágenes satelitales con la síntesis e integración de estos datos para y validar e interpretar las áreas con potencial minero.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue del tipo múltiple que exponemos a continuación:

3.4.1. Exploratorio

Para determinar nuevas zonas de blanco exploratorio, relacionado a la geología local.

3.4.2. Descriptivo

Se describe las características de la firma espectral en relación alteración hidrotermal- yacimiento, con la probabilidad de ambientes mineralizados en rocas calcáreas y controles estructurales.

3.4.3. Correlacional

Los pixeles obtenidos se correlacionarán con los puntos de control y fuera de ellos para su verificación.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

Cartas Nacionales 22K y 22J, imágenes satelitales de los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A, Shapefile de litologías de la zona.

3.5.2. Muestra

Imágenes satelitales delimitadas de la zona 22K y 22J, puntos de control en unidades mineras, Marcapunta, Atacocha, Uchucchacua y Quicay etc,

3.5.3. Tamaño de Muestra

Los cuadrángulos 22K y 22J

3.5.4. Selección de Muestra

Las muestras son seleccionadas de los puntos de control (Quicay, Uchucchacua, Oyon, Marcapunta, El porvenir y Atacocha) por el método de muestreo por conveniencia.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos.

Utilización de bandas de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para identificar firmas espectrales de minerales de alteración hidrotermal.

Aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes satelitales (RGB, componentes principales, Band Ratios, MTFM), corrección atmosférica y radiométrica,

Utilización de las imágenes satelitales Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A. adquiridas de la página web (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), para realizar el análisis espectral de la zona de estudio.

Uso de software Envi 5.6 y QGIS para el procesamiento de las imágenes satelitales, aplicación del ArcGIS para crear mapas temáticos en función de los shapefiles de la zona 22K y 22J, obtenidas de la página web

(<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>) y las anomalías de minerales de alteración hidrotermal.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

3.7.1. Selección de los instrumentos de la investigación.

Para llevar a cabo la investigación, se siguieron las directrices de métodos de exploración, análisis e interpretación geológica. Los resultados de los procedimientos realizados fueron analizados, discutidos con la apreciación y comparación de los puntos de control.

3.7.2. Confiabilidad de los instrumentos de investigación

La confiabilidad de los instrumentos de investigación se fundamenta en los protocolos nacionales e internacionales que aseguran la confiabilidad en la adquisición y tratamiento de datos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Corrección atmosférica y radiométrica en las imágenes satelitales.

Técnicas de extracción de anomalías, RGB, Método Band Ratios, ACP (Componentes Principales) y Método de Mapeo (MTFM).

Validación de firma espectral con la librería espectral de los sensores.

3.9. Tratamiento estadístico.

El procedimiento estadístico para esta investigación se llevó a cabo utilizando herramientas de histogramas, que sirvieron para determinar valores máximos y mínimos en para crear máscaras de óxidos, vegetación, agua y nube, procesada en el software Envi 5.6.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Durante la preparación de la investigación, se han garantizado integridad del proceso investigativo, determinando una ética constructivista, la cual sostiene

que el conocimiento se construye a través de la interpretación de los datos y la comprensión de las estructuras subyacentes que los generan.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

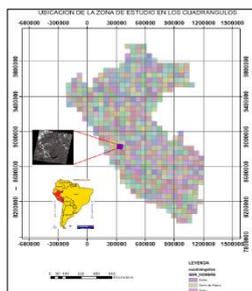
4.1.1. Ubicación

La zona está ubicada en el centro del Perú abarca cuatro cuadrantes: Cerro De Pasco (22K), Oyón (22J).

La zona de estudio se localiza en las altiplanicies interandinas de la parte central del Perú, entre la cordillera Occidental y la cordillera oriental la mitad partes del área de estudio están conformadas por las planicies interandinas y forman parte de la cuenca del lago Junín.

GráficoN°19

Mapa de ubicación de la zona de trabajo.



Fuente: Propia

4.1.2. Accesibilidad

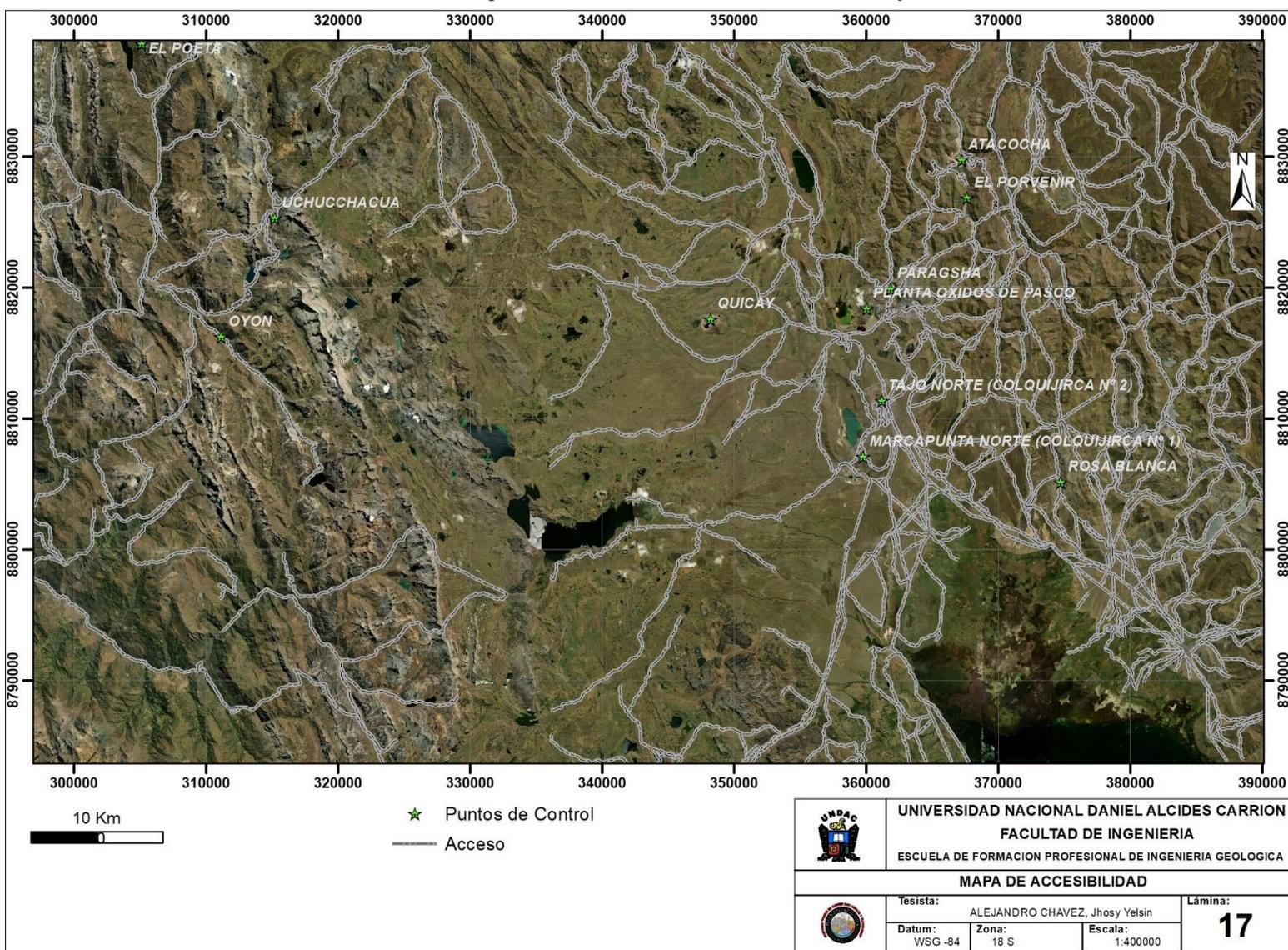
Lima – La Oroya – Cerro de Pasco / 306 Km / Asfaltada.

Lima – Canta – Cerro de Pasco / 410 Km / Asfaltada.

Lima – La Oroya – Cerro de Pasco / 340 Km / Línea Férrea.

Gráfico N°20

Mapa de accesibilidad a la zona de trabajo.



Nota: Se observa las carreteras accesibles a nuestra zona de trabajo. Fuente: Propia.

4.1.3. Geología regional

Las rocas sedimentarias más antiguas encontradas en la región pertenecen al Paleozoico, Formación Excelsior, que constituye el núcleo del anticlinal

conocido como Cerro de Pasco. Esta formación está compuesta principalmente por filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas, las cuales muestran una intensa fracturación debido a las fases de formación eohercínica del Paleozoico. Inicialmente, se atribuyó una edad silúrica según McLaughlin (1924), pero estudios más recientes de Megard, Marocco, Lavenes y otros investigadores indican una presencia casi nula del Silúrico en la región, sugiriendo que la Formación Excélsior es más probablemente del Ordovícico.

Sobre esta formación Paleozoica, se encuentra la Formación Pucará, que se encuentra en el Anticlinal Cerro de Pasco y ahora se considera parte de la Formación Aramachay debido a similitudes litológicas y una edad Hetangiano - Sinemuriano según Megard (1979). Esta formación está compuesta por intercalaciones de calizas grisáceas oscuras y delgadas capas de lutitas oscuras. Inicialmente fue asignado a una edad Triásico-Jurásico según Jenks (1951), pero estudios más recientes han ajustado su clasificación.

La sedimentación de la Formación Pucará muestra una tendencia continental hacia el oeste de Cerro de Pasco y una facies marina más prominente hacia el este, desde finales del Bajociano Superior hasta el Bathoniano, marcada por episodios de erosión y emersión evidenciados por discordancias observadas en Atacocha (Johnson, 1955). Estos eventos reflejan una estructura Nevadiana con un régimen de distensión débil. Finalmente, en las cercanías del yacimiento se encuentran bancos delgados de depósitos fluvioglaciares y aluviales más recientes, formando un relieve ondulado con escasas escarpas, notablemente coloreadas por procesos de alteración mineral

4.1.4. Estratigrafía

En la zona, se encuentran aflorando rocas que corresponden a diversos grupos y formaciones geológicas que serán descritas posteriormente.

4.1.4.1. Paleozoico Inferior (Pérmico Cámbrico):

Perteneciente al grupo Excélsior, identificadas como rocas antiguas cuya dirección va hacia el norte.

4.1.4.2. Paleozoico Superior (Periodo Pérmico):

Corresponden al grupo mitu, ubicado al norte y sur de Cerro de Pasco, caracterizado por capas delgadas de areniscas, cuarcitas y aglomerados.

4.1.4.3. Triásico (Jurásico):

Corresponden al complejo calcáreo de Uliachin - Paria del grupo Pucara.

4.1.4.4. Cretácico (Mesozoico):

Los afloramientos de las formaciones clásticas de Goyllarisquisga y las calizas Machay que están en Cerro de Pasco y Colquijirca son rocas más representativas de este grupo.

4.1.4.5. Terciario (Cenozoico):

Distinguida por la erosión glaciaria y acumulación de morrenas y de depósitos fluvioglaciares. La actividad geológica actual se caracteriza por la deposición de turberas y acumulaciones de precipitados calcáreos en la parte occidental y una erosión fluvial intensa hacia el oriente.

4.1.4.6. Cuaternario (Cenozoico):

Correspondientes a la formación Pocobamba, la cual consta de las siguientes litologías: Miembro Inferior, conglomerado shuco y miembro calera.

4.1.5. Puntos de Control (Unidades mineras dentro de la escena)

Tabla5

Descripción geológica de puntos de control de la escena.

Nombre	Metal	Tipo de deposito	Mineralogía	Roca caja	Edad	Alteración	Geometría
Colquijirca	Zn - Pb - Ag	Alta sulfuración	Sph , Gn, Py, Mc	Calizas Fm. Calera Diatrem a,	Mioceno Tardío	Argílica Avanzada	Cuerpos y lentes
Cerro de Pasco	Zn - Pb - Ag - Cu	Alta sulfuración	Qz, Py,Po,En,Sph, Gn	Pucara, volc rumillan a	Dique 15.2ma y 14.2ma (Silberman y Bomhome 1988)	Argílica Avanzada	Cuerpos, matos y vetas
Atacocha	Zn - Pb - Ag - Cu	Skarn Distal	Qz, Py,Sph,Gn	Calizas Pucara	Rocas Igneas 25.9 y 29.3 ma (Soler yBonhomme 1988)	Skarn débil y silicificacion	Cuerpos y vetas
San Juan de Milpo	Zn - Pb - Ag - Cu	Skarn	Qz, Py,Sph,Gn,Cp y	Calizas Pucara	Rocas Igneas 25.9 y 29.3 ma (Soler yBonhomme 1988)	Skarn y silicificacion	Cuerpos y vetas
Huaron	Zn - Pb - Ag	Filoniano	En,Mt,Gn	Calizas y arenisca Fm. Casapalca		Silicificacion	Vetas, mantos y bolsonadas
Chungar	Zn - Pb - Ag	Filoniano	Qz, Py,Sph,Gn,Cp y	Margas, calizas		Dolomitizacion y silicificacion	Vetas, mantos y bolsonadas
Quicay	Au	Epitermal de alta sulfuración		Porfido Dacitico		Argílica Avanzada, cuarzo - alunita	Diseminado

Marcapunta	Cu - Au	Epitermal de alta sulfuración	Qz, Py, En, Cpy, Cv	Diatrema en volc mioceno	Alunita 11.6ma. K/Ar 10.6ma 40Ar/39Ar (Vidal.C. 2004)	Argilica Avanzada, cuarzo - alunita, dickita, illita, caolinita	Cuerpos y mantos
San Gregorio	Zn - Pb - Ag	Epitermal de alta sulfuración	Sph, Gn, Py, Mc	Calizas y dolomias. Fm chambera	10-11 ma (MEM_DGM)	Argilica Avanzada, cuarzo - alunita, caolinita	Cuerpos y lentes

Nota: Tipo de yacimientos de los puntos de control con descripción mineralógica, edad, alteración y geometría del depósito. Fuente: Propia

4.1.5.1. Cerro de Pasco

Se encuentra a una altitud de 4340 m.s.n.m, operada por Compañía Minera Volcán S.A.A., que cuenta con sus unidades mineras de Mahr Tunel, Carahuacra, Andaychagua, San Cristóbal, Ticlio, y Animón (Chungar). En Cerro de Pasco, se encuentran afloramientos de pizarras y areniscas devonianas del Excelsior, que presentan un ligero grado de metamorfismo. Estas rocas subyacen a capas rojizas (areniscas y conglomerados) del Grupo Mitú, de edad permotriásica. Hacia el este del distrito, se sobreponen a estas formaciones secuencias calcáreas de considerable espesor pertenecientes al Grupo Pucará, con una edad que abarca desde el Triásico superior hasta el Jurásico inferior. Entre el Eoceno y el Mioceno Inferior, se registraron múltiples episodios de plegamiento en el área, según Ángeles (1993) el vulcanismo magmático continuo en el Mioceno tardío, El depósito de Zn-Pb-Ag-Bi-(Cu) se encuentra al este, en un complejo de domo - diatrema de composición félsica y de edad mioceno. La minería actual se concentra al oriente del tajo abierto Raúl Rojas, donde su mineralización de Zn-Pb-Ag está

asociada principalmente a la blenda rubia y galena, acompañadas de pirita. La alteración hidrotermal que predomina es argílica(avanzada). La mineralización tiene un control estructural significativo y marca un zonamiento, desde el centro que consta de cobre y que gradan lateralmente hacia zonas de pirita con galena, esfalerita y matildita, y posteriormente hacia hematita, magnetita y carbonatos de Mn-Fe-Zn.

4.1.5.2. Colquijirca

La instalación minera se encuentra en la provincia de Pasco, distrito de Tinyahuarco a 289 kilómetros de la capital, con altitud de 4.250 m.s.n.m.

En esta unidad tiene espacialmente 2 tipos de mineralización asociada a un diatremas -domo de composición dacítica y de edad miocénica. El primer evento se da dentro del Centro Volcánico Marcapunta y consiste en diseminaciones de Au-(Ag) con presencia de alteración argílica avanzada y sílice porosa, típica de depósitos epitermales de alta sulfuración. El segundo evento, es de mayor importancia económica, es más común, son vetas con relleno y reemplazamiento de metales básicos. La mineralización da un zonamiento a medida que nos alejamos de las rocas volcánicas, pasando del ensamble de pirita-enargita-cuarzo-alunita a pirita-chalcopirita-dickita-caolinita y luego a esfalerita-galena-caolonita-siderita.

4.1.5.3. Mina Quicay

Ubicada en la provincia de Pasco y distrito de Rancas, es propiedad de la empresa Chancadora Centauro SAC, quien en marzo del 2000 en subasta pública la adquirió de Centromín Perú. Según los

términos del acuerdo la compañía pago de 240 mil dólares y recibió un compromiso de inversión de 10.7 millones.

Quicay es un depósito epitermal de alta sulfuración de oro y plata, de gran escala con características similares a Yanacocha, Pierina y Alto Chicama. El yacimiento se da en lavas, tobas y rocas piroclastos de composición dacítica a andesítica; también se encuentran aflorando pórfidos dioríticos y cuarzomonzoníticos.

Existe dos sistemas de fallas: Fallas N20°-50°O buzando 85°al NE y fallas N50-60°E buzando 85°al NO (falla Cori), las estructuras volcánicas (diatremas) se encuentra interceptando las fallas.

El yacimiento presenta fuerte alteración cuarzo-alunita y una intensa lixiviación ácida en su parte central, en la parte externa a sericita-cuarzo-arcillas y luego a una zona propilítica de manera progresiva. La mineralización muestra un zonamiento controlado por el fallas, Las leyes de Au (0,9-2,4 g/t) se concentran en la alteraciones silíceas y cuepros de brecha silicificados (hasta 10 g/t) con intensa lixiviación acida e incluyen hematita, jarosita y limonita. Los estudios geoquímicos muestran que la relación Cu/Au aumenta a mayor profundidad.

El Au correlaciona muy bien con el As, Sb y Bi mientras que Te y Hg aumentan significativamente en concentraciones más altas, el Cu y As están bien correlacionados en la parte central y dentro de la alteración silícea, el Pb y Zn aumentan en las alteraciones argílica y propilítica.

Se considera que este depósito se formó a finales del Eoceno, aunque Flores Barrón (2002) menciona un evento de erupción tipo domo de lava en el Eoceno tardío wue involucro un al cono volcánico de Quicay

de edad 11.5 Ma, pero no se menciona el autor de la datación ni el método utilizado.

4.1.5.4. Mina de Oyon

El depósito de carbón de Oyon ubicado en el departamento de Lima, Provincia de Oyon, localidad de Pampahuay.

El área de estudio abarca 858 Has, de la concesión Acumulación Oyon localizada en las coordenadas U.T.M. de la zona 18S.

La localidad más importante es Oyon, ubicada a 10 Km de distancia, situada entre una altura de 3840 a 4100 m.s.n.m.

En la región de estudio se observa rocas sedimentarias principalmente pizarras, areniscas y algunas calizas pertenecientes a las formaciones Oyon del Jurásico Superior y a las Formaciones Chimú y Santa del Cretáceo Inferior. Existe fuertes plegamientos y tiene fallas con tendencia NW. Fue afectada por fallas transversales que la dividen en tres zonas menores, cada una de estas zonas muestra varias fallas del mismo tipo, pero con desplazamientos menores.

El área alrededor de Minas Pampahuay y Oyon estuvo fuertemente influenciada por tres etapas de la orogenia Andina, el evento más importante fue el plegamiento Inca esta causó fuertemente la deformación generando pliegues, fracturas y fallas en las rocas pre-existentes; creando un sistema de fracturas con fuerzas de tensión y compresión, paralelas entre sí. La estructura principal es el anticlinal de Pampahuay que se formó por tensiones de compresión asociados a los intrusivos, el eje del anticlinal intemperizado por las constantes glaciaciones que han descubierto su parte central en el que se

encuentra río Pampahuay. El eje del anticlinal está orientado Norte-Sur y cuyos flancos buzcan al Este y Oeste, la mayoría de las fracturas, corresponden a un rumbo de NW–SE, con buzamientos al NE y SW. Gran parte de este esquema está estrechamente relacionado con la historia ígnea volcánica y tectónica andina. Las edades de estos plegamientos van desde el Jurásico Superior a Cretáceo Inferior, correspondiente a la orogenia andina.

4.1.5.5. Uchucchacua

Uchucchacua está ubicada en la provincia de Oyón, departamento de Lima, aproximadamente 265 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima a una altura entre 4,000 y 5,000 m.s.n. m.

El yacimiento de Uchucchacua está asociado a las principales estructuras geológicas de los andes centrales. Las principales estructuras son del sistema NE-SW y las tensionales son del sistema EW- NW-SE, Uchucchacua es un depósito hidrotermal epigenético del tipo fractura - relleno (vetas), así también como un canal de circulación y emplazamiento metasomático de soluciones mineralizantes que finalmente formó el yacimiento. La mineralización comercialmente viable es de Ag, Zn y Pb como subproducto. Las estructuras están emplazadas en rocas calcáreas del cretáceo superior de la formación Jumasha asociadas a cuerpos de reemplazamiento irregulares y discontinuos de tamaño variable.

4.1.5.6. Mina Ragra

Ubicada en el distrito de Huayllay, en la provincia y región de Pasco, a una altitud aproximada de 4500 m.s.n.m, en los andes centrales.

4.1.5.6.1. Formación Pariatambo

Esta unidad tiene una litología muy homogénea, esencialmente margas de color marrón oscuro o grisáceas, con horizontes marcados de caliza nodular o laminar de color grisáceo oscuro o negro (se encuentran en todas las secuencias) y otros pedernales nodulares de color gris oscuro. Tanto las margas como las calizas desprenden un olor fétido cuando se rompen. Por su color y estructura la formación Pariatambo se identifica fácilmente estructuralmente en la zona axial de los sinclinales según Wilson (1963) contiene una fauna característica del Albiano medio a tardío.

4.1.5.6.2. Formación Jumasha

Esta formación es la mayor unidad del centro del Perú, compuesta por calizas de color gris claro in situ y azul en fractura fresca, con una serie importante de dolomitas (Wilson, 1963). Cerca de Baños y en el sinclinal al sureste de Parquín, se ha observado que la parte inferior de esta formación es margosa, lo que es difícil distinguir su diferencia con la Formación Pariatambo que la subyace. La secuencia de esta unidad en esta zona se encuentra incompleta debido a la erosión en la parte superior, lo que impide determinar su grosor total. Además, en la gran cantidad de calizas presentes a lo largo de la Divisoria Continental, las numerosas dislocaciones dificultan la medición precisa de su espesor.

En contraste, al este del lago Patón, en la parte oriental del anticlinal, cerca de Cachipampa, donde no existe perturbaciones, se le reconoce como el techo de la formación, pero no aflora el piso. Esto hace que la secuencia calcárea, con un espesor aproximado de 800 metros, también sea incompleta. Aunque el área se encuentra fuera de la cuenca del Cretáceo, se indica por razones referenciales. Considerando la interpretación, en el anticlinal fallado en su flanco invertido. El espesor de esta formación, calculando a partir de su contacto con la Formación Celendín, es 1,000 a 1,800 metros en los límites de la zona tectónica de pliegue y la zona del bloque falla. En el cuadrángulo de Ondores, en el flanco del sinclinal Rapaz, el espesor parcial se estimó en 1,500 metros, donde Harrison (1956) lo estimó en 1,600 metros y Wilson (1963) lo consideró solo 400 metros en promedio. Dada esta evidencia, consistente con las impresiones de campo, el espesor de esta área se estima en 1,200 metros lo que coloca a la Formación Jumasha como la unidad cretácea más importante.

4.1.5.6.3. Formación Celendin

Se compone de margas de color gris azulado que, al intemperizar, adquieren un tono amarillo crema. En el campo, esta formación es similar a la Formación Chulec, aunque no presenta una estratificación tan marcada y contiene capas de caliza. Sin embargo, la zona de transición con la Formación Jumasha se caracteriza por una serie de capas finamente

estratificadas del mismo color y litología, con delgadas intercalaciones de margas.

4.1.5.7. Iscaycruz

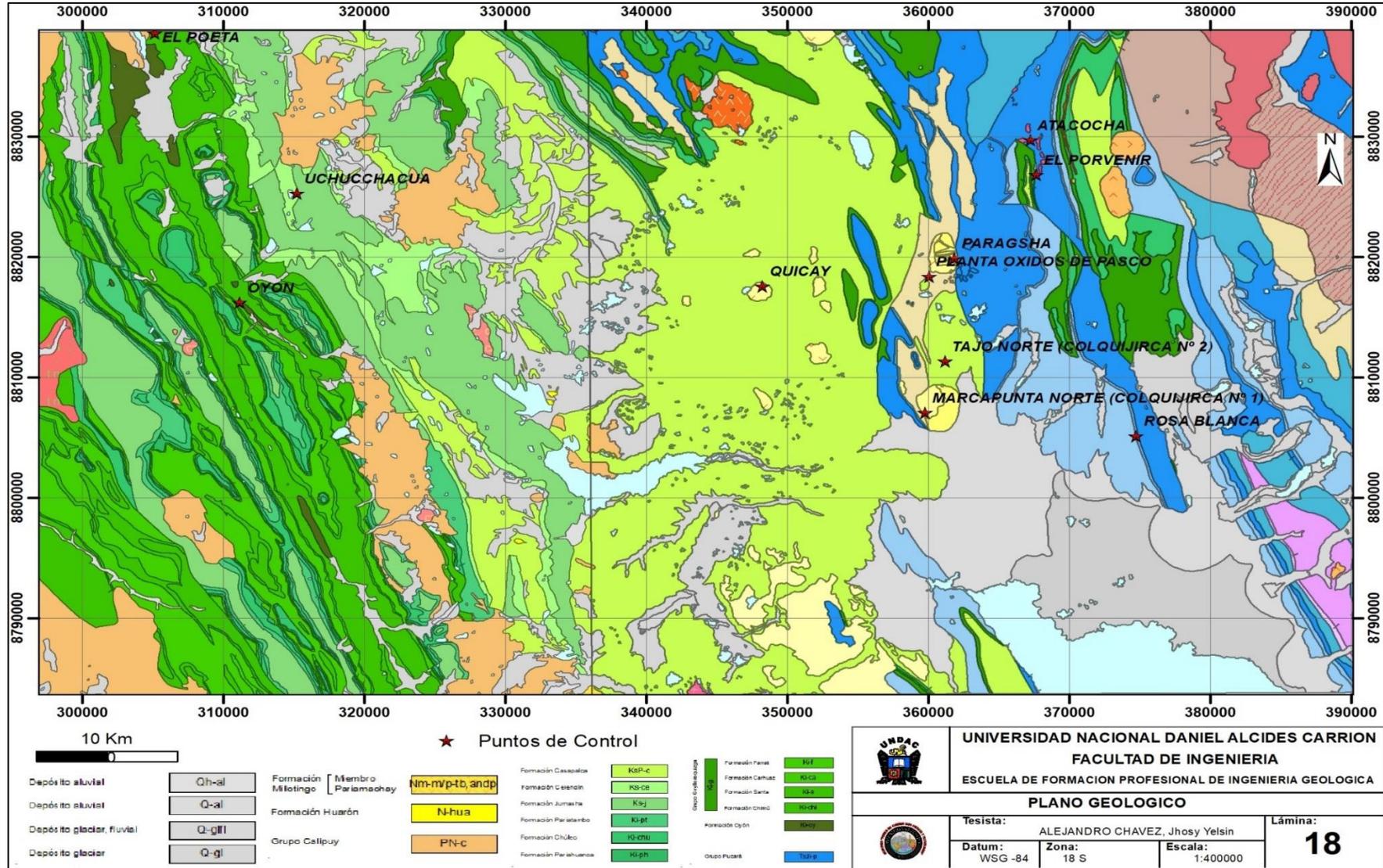
El yacimiento de Iscaycruz se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental de los Andes, cerca del nacimiento del río Huaura. Está ubicado en el distrito de Pachangara, provincia de Oyón, departamento de Lima, a unos 12 km al sureste de Oyón. Estratigráficamente, pertenece a una cuenca sedimentaria cretácea (Cobbins, 1973) y estructuralmente está en una zona de pliegues y cabalgamientos (Wilson, 1967). Los sedimentos del Cretáceo en esta área se distribuyen en tres unidades u horizontes bien definidos. La parte inferior está compuesta principalmente por rocas clásticas como areniscas silíceas, calizas y lutitas (Formaciones Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat). La sección intermedia consiste en rocas calcáreas asociadas con dolomitas y lutitas (Formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín). La parte superior contiene las capas rojas de la Formación Casapalca. Todas estas formaciones cretáceas están cubiertas por volcanes terciarios de la Formación Calipuy y han sido intruidas por tonalitas, dacitas y pórfido granítico.

Las rocas sedimentarias han experimentado intensos movimientos estructurales como resultado de la Orogenia Andina, formándose pliegues con una orientación NNO-SSE. Los anticlinales y sinclinales se presentan con intervalos de 2 a 3 km, y en algunos casos locales, intervalos de hasta 10 metros, lo que provoca que el mismo estrato se exponga repetidamente en la superficie. El basamento paleozoico,

sobre el cual descansa la cuenca sedimentaria, aflora en la parte oriental de los Andes. En el flanco occidental, los sedimentos están cubiertos por formaciones volcánicas intruidas por el Batolito de la Costa.

Gráfico N°21

Plano Geológico de la zona de estudio



Nota: Plano Geológico de la zona de estudio abarcando las cartas nacionales 22K y 22J, dentro de ellos teniendo rocas del triásico y cretácico con unidades volcánicas recientes.

4.1.6. Calibración del Landsat 8:

4.1.6.1. Radiométrico:

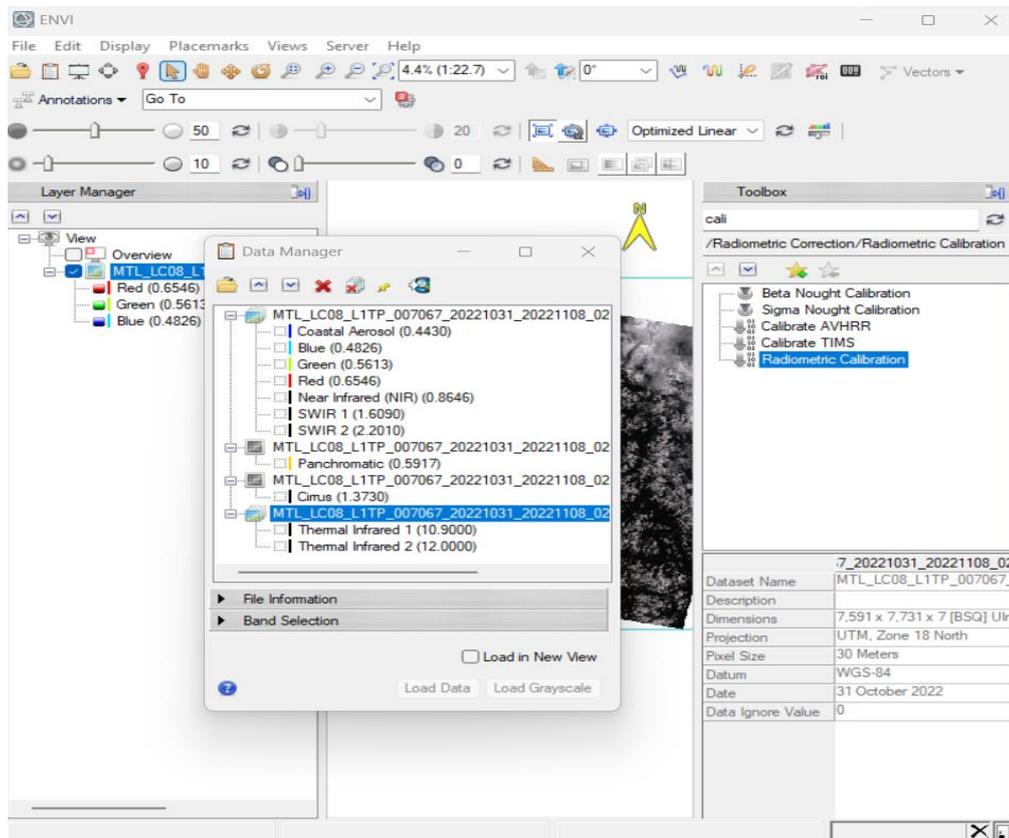
Estas correcciones minimizan errores en lo cual afecta la radiación o el valor radiométrico de cada elemento detectado en la escena, y eliminan los efectos de los ángulos de incidencia de la energía solar y la distancia Tierra – Sol.

4.1.6.2. Proceso de calibración:

Dentro del entorno ENVI 5.6 (Entorno Gis) seleccionamos el Metadato de la imagen LC8, en Toolbox buscamos la calibración Radiométrica.

GráficoN°22

Calibración Radiométrica entorno Envi 5.6

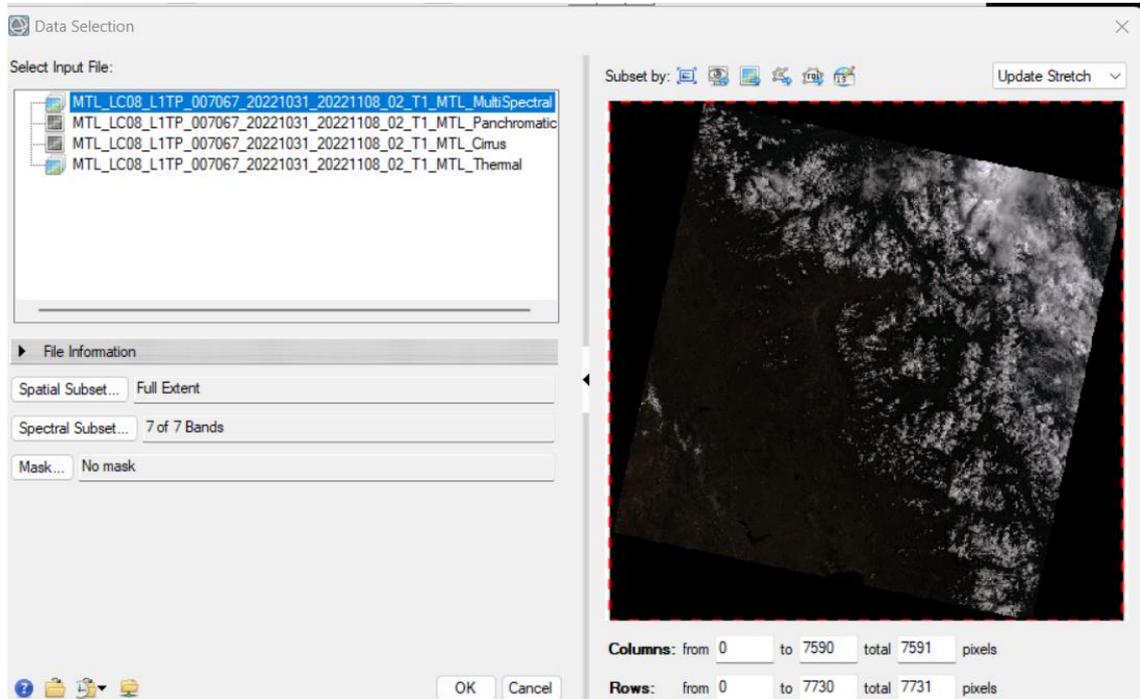


Nota: Se observa las bandas del LC8 juntamente con su Panchromatic. Fuente: Propia.

Determinamos la banda Multiespectral a calibrar para los fines de búsqueda de óxidos dentro de nuestra escena.

GráficoN°23

Selección de Banda a calibrar.

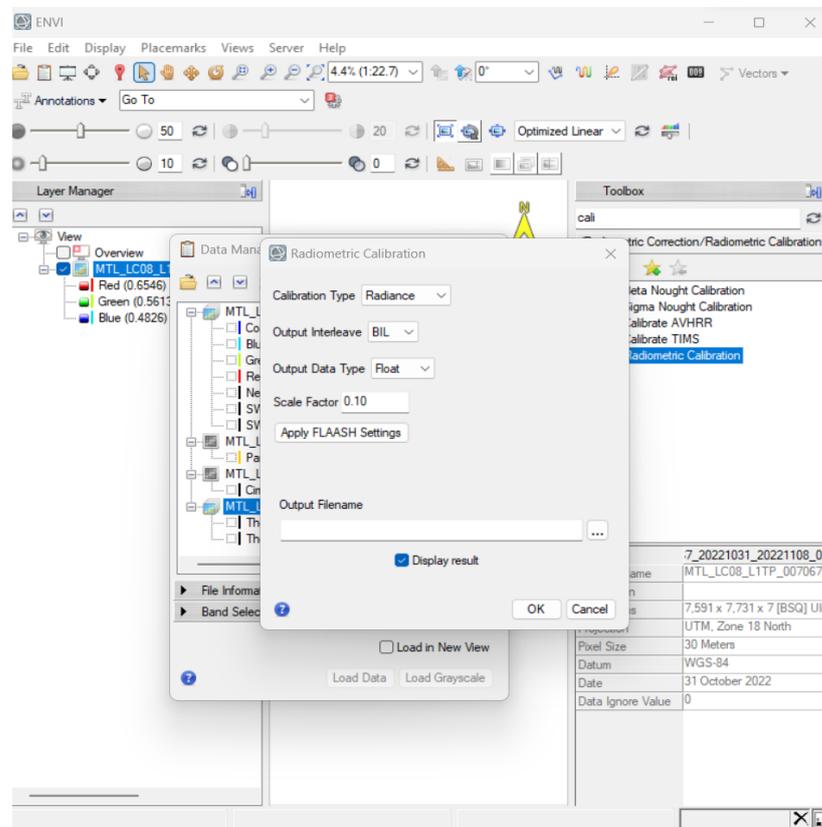


Nota: La calibración Radiométrica estará aplicada a las 7 bandas del Multiespectral. Fuente: Propia.

Determinamos los campos a través de la sugerencia FLAASH

GráficoN°24

Aplicación FLAASH en calibración Radiométrica.



Nota: Determinación de calibración en tipo Radiance. Fuente: Propia.

4.1.6.3. Atmosférico:

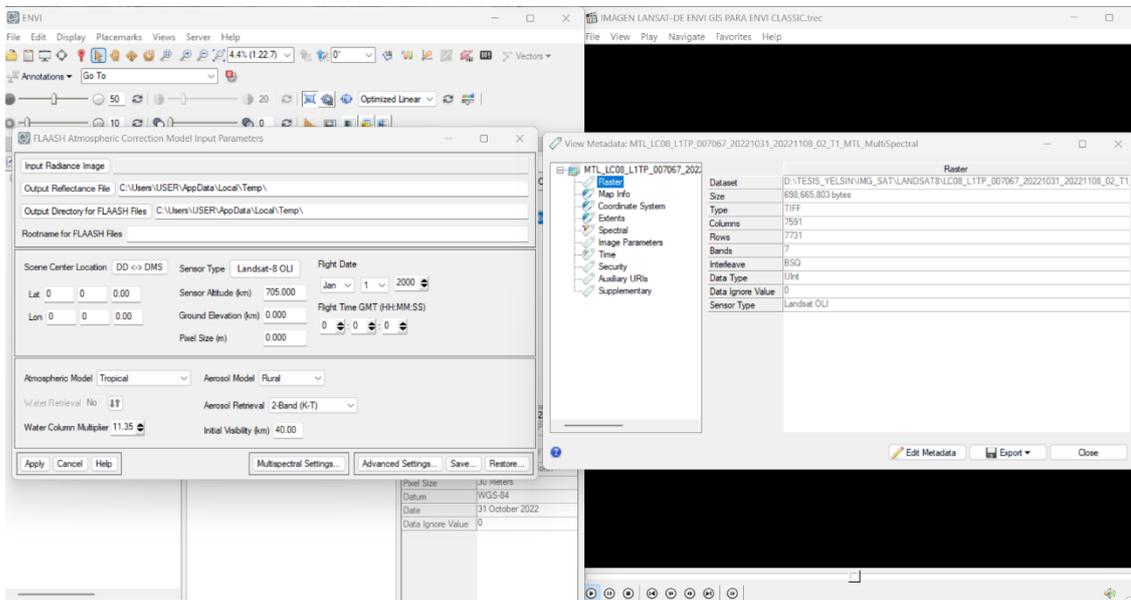
El proceso de corrección atmosférica aplica de manera opcional la corrección de neblina y/o el enmascaramiento de nubes, por este motivo es de suma importancia revisar previamente la imagen para detectar nubes y/o neblina evidente, se obtiene una imagen en valores de reflectancia que mejora la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen corregida (coberturas de la Tierra) respecto a la imagen original.

4.1.6.4. Proceso de calibración

A través del proceso FLAASH realizamos la corrección atmosférica de la imagen, considerando en rellenar datos dentro del recuadro.

GráficoN°25

Calibración Atmosférica entorno Envi 5.6

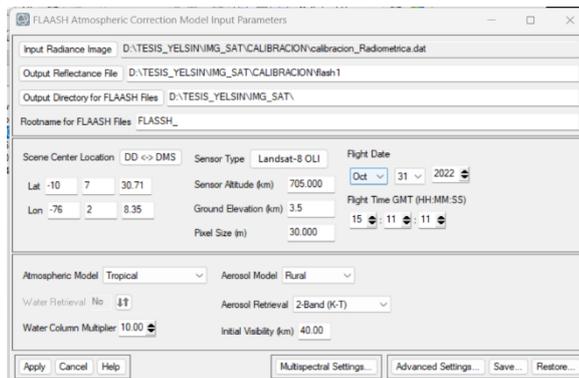


Nota: Se observa las características de hora y fecha de la imagen LC8. Fuente: Propia

Se rellena los requisitos específicos para la calibración Atmosférica entre ellos el píxel, tipo de sensor etc.

GráficoN°26

Datos en la calibración Atmosférica.



Nota: Se usa la imagen de calibración Radiométrica para el procesamiento de esta.

Fuente: Propia

Al finalizar el proceso de calibración, nos brinda un cuadro de reporte sobre la calibración realizada.

GráficoN°27

Reporte de resultados del FLAASH



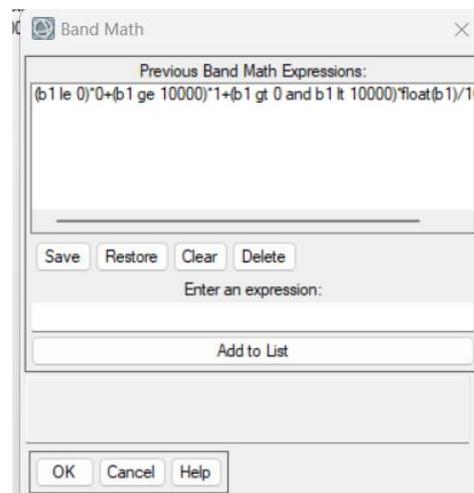
Nota: Se indica que a 21.41 Km. Se indica una visibilidad de 0.5575 cm de vapor de agua.

Fuente: Propia.

En la Herramienta Band Math colocamos el algoritmo, que es necesario para convertir las señales digitales en valores físicos que puedan ser interpretados y utilizados.

GráficoN°28

Algoritmo de conversión

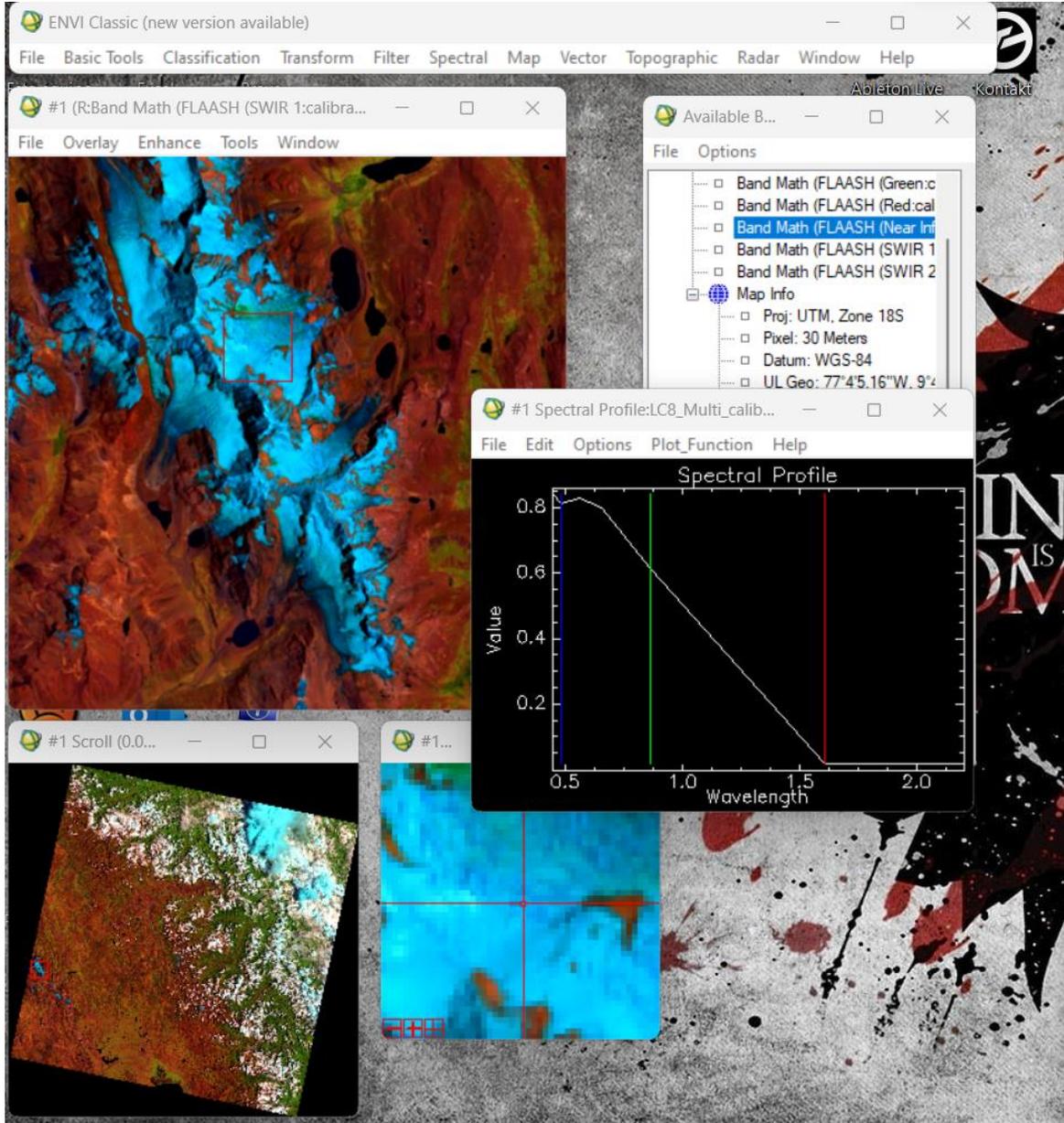


Nota: Se observa la formula del algoritmo. Fuente: Propia.

4.1.6.5. Demostración que esta calibrado

GráficoN°29

Firma espectral de la Nieve.

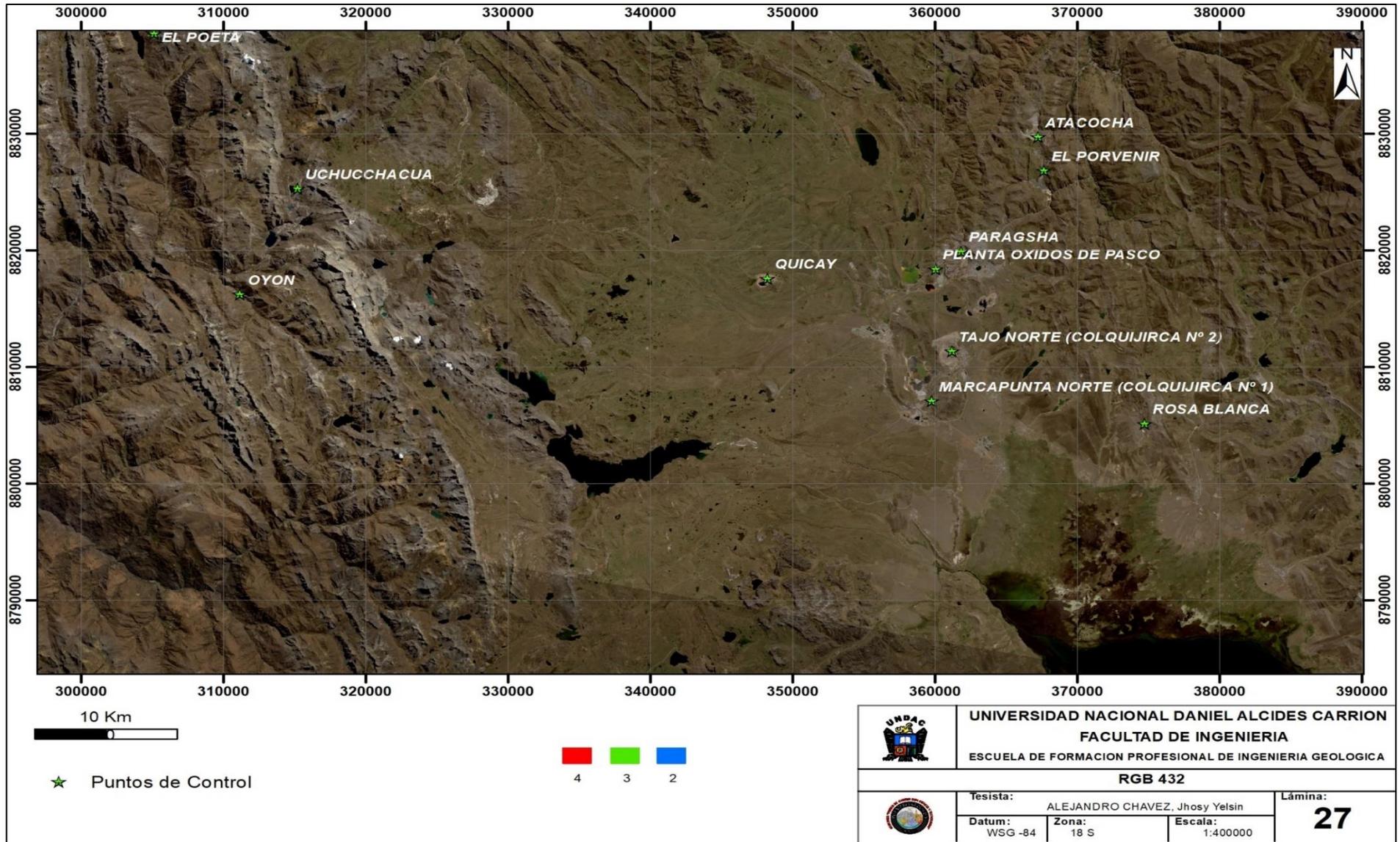


Nota: La imagen representa a un falso color, podemos ver en la firma que existe una alta reflectancia en el campo de luz visible y decae al estar próximo al infrarrojo cercano y medio, esta es característico de la firma espectral de la nieve, confirmando con ello que está bien calibrado. Fuente: Propia

4.1.6.6. RGB en el sensor Landsat 8

GráficoN°30

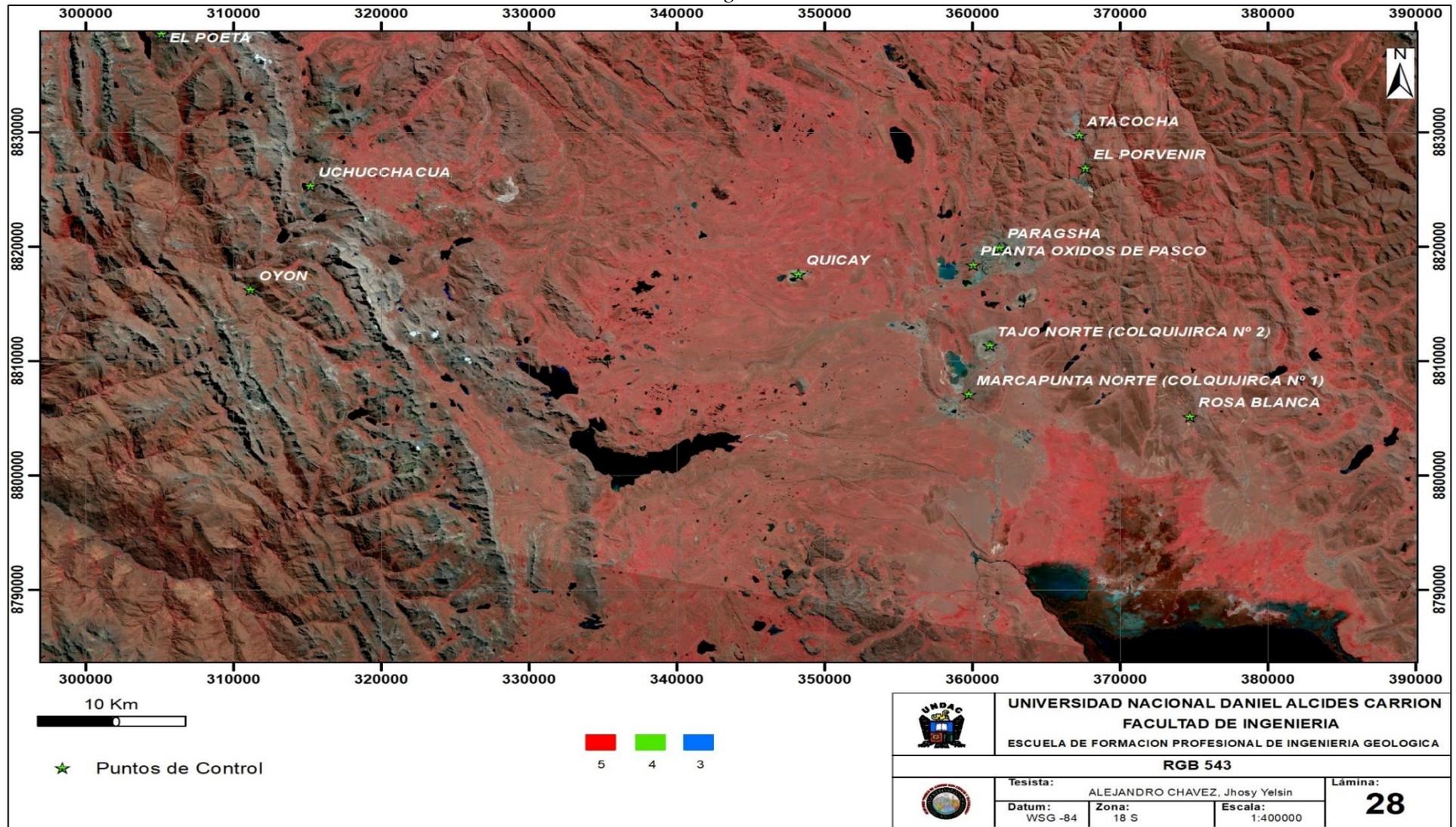
RGB 432 Imagen Landsat 8



Nota: El color natural de esta imagen se da porque las bandas visibles reaccionan a la luz, lo que permite distinguir entre el agua poco profunda y aguas turbias, corrientes y zonas con sedimentos. Fuente: Propia.

GráficoN°31

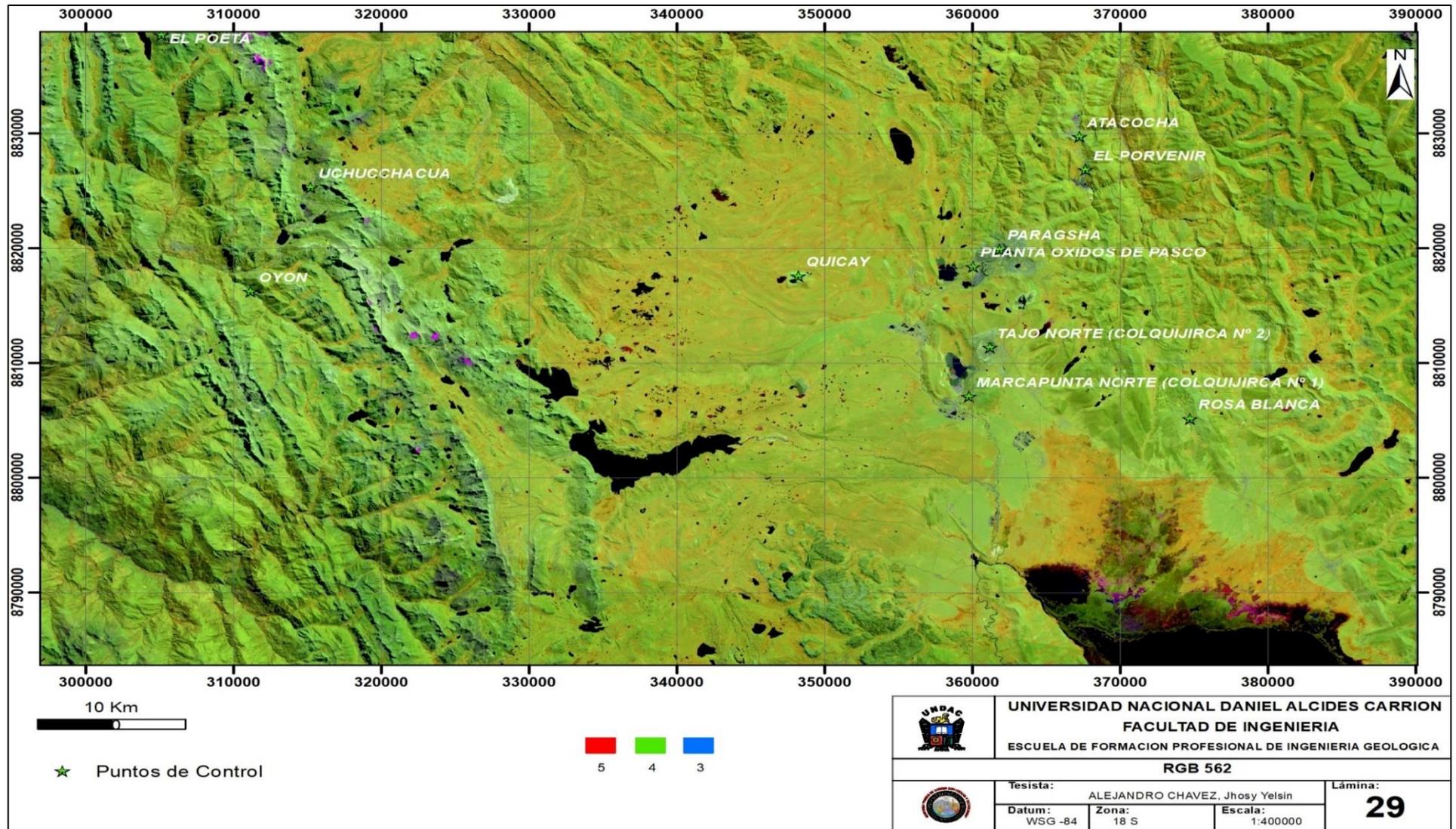
RGB 543 Imagen Landsat 8



Nota: Se observa de color rojo brillante la vegetación, para estudios de vegetación, patrones de suelo, monitoreo de drenajes y desarrollo de cultivos, en color gris afloramientos de rocas y suelos removidos. Fuente: Propia.

GráficoN°32

RGB 562 Imagen Landsat 8

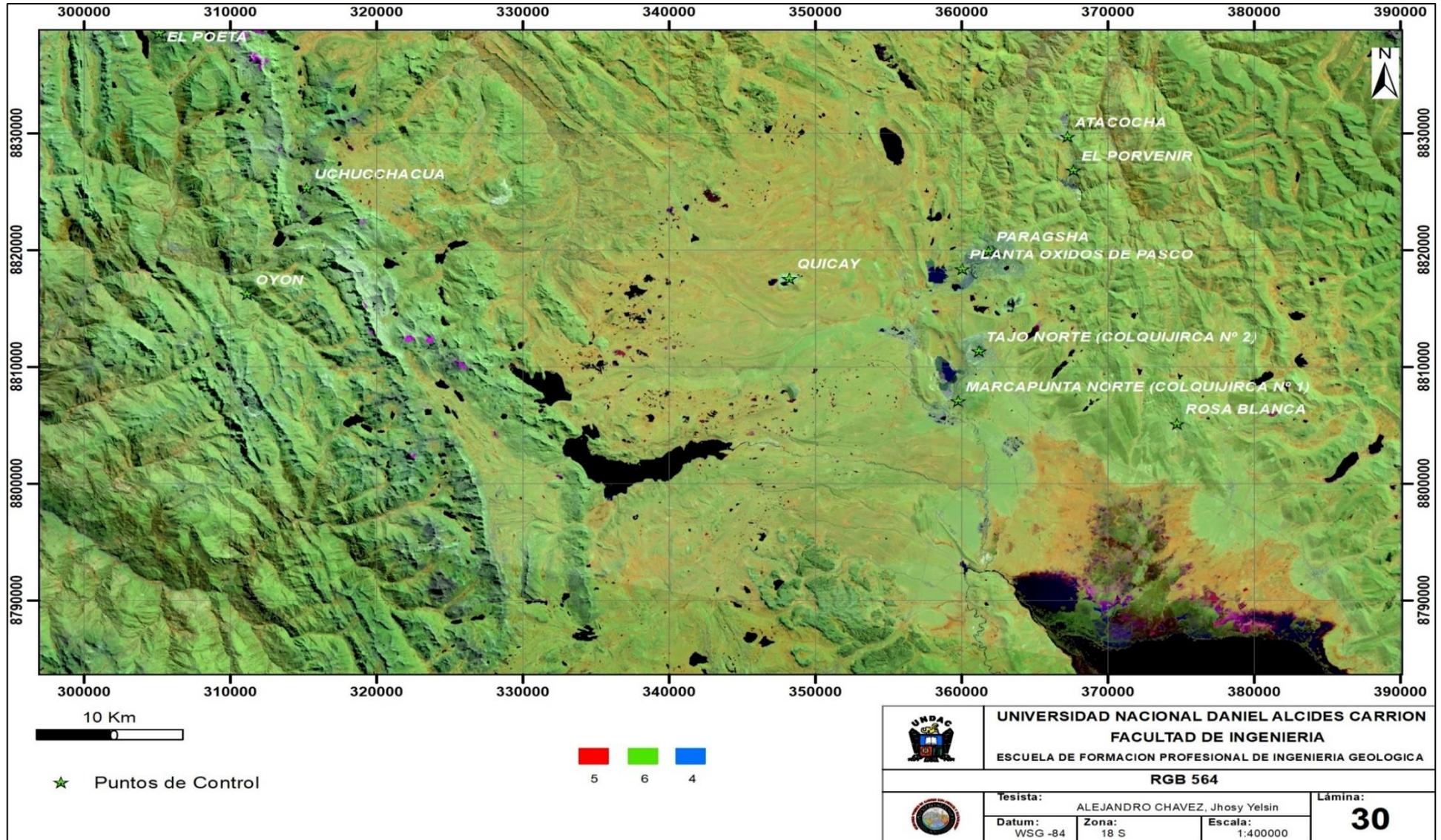


Nota: El color verde hace representación a tipo de suelo saludable, en color marrón claro suelo no saludable, en color fucsia – morado presencia de nevados. Fuente:

Propia.

GráficoN°33

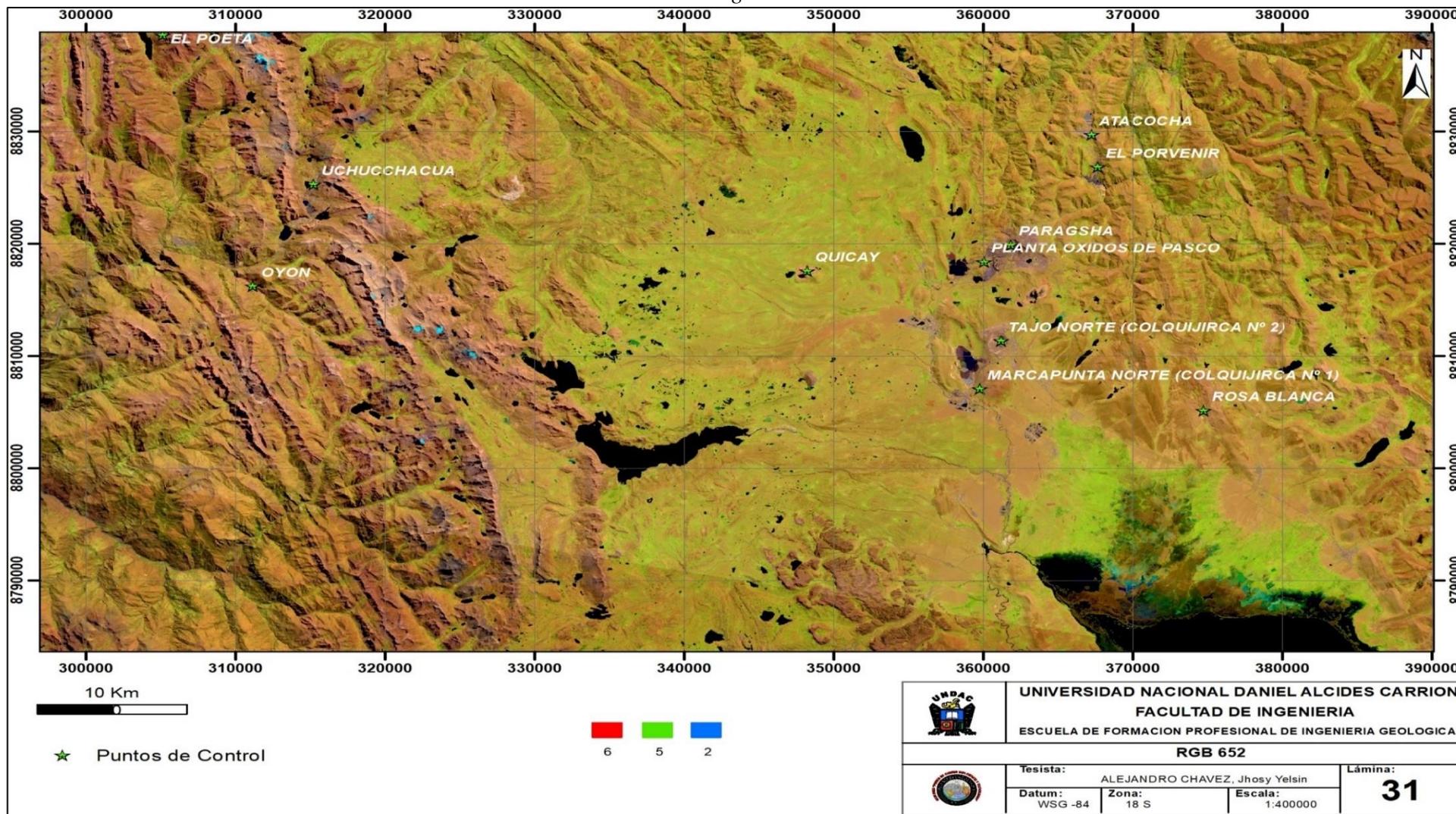
RGB 564 Imagen Landsat 8



Nota: Con esta combinación se puede observar en los colores azulados los suelos húmedos. Fuente: Propia.

Gráfico N°34

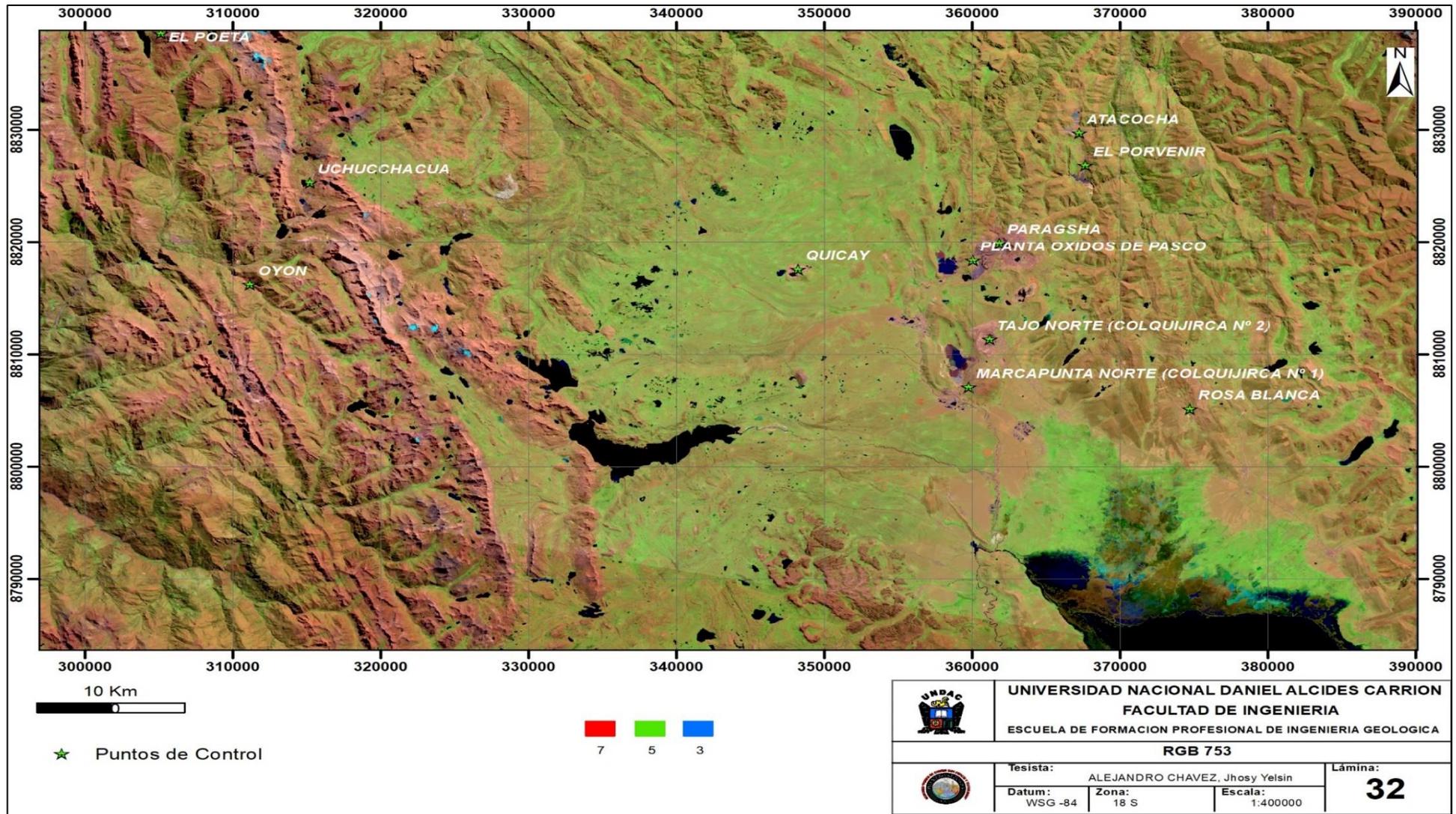
RGB 652 Imagen Landsat 8



Nota: Las tonalidades de color marrón son suelos trabajados, se usa esta combinación para distinguir zonas agrícolas, en celestes nevados, tonalidades rosáceas rocas aflorantes. Fuente Propia

Gráfico N°35

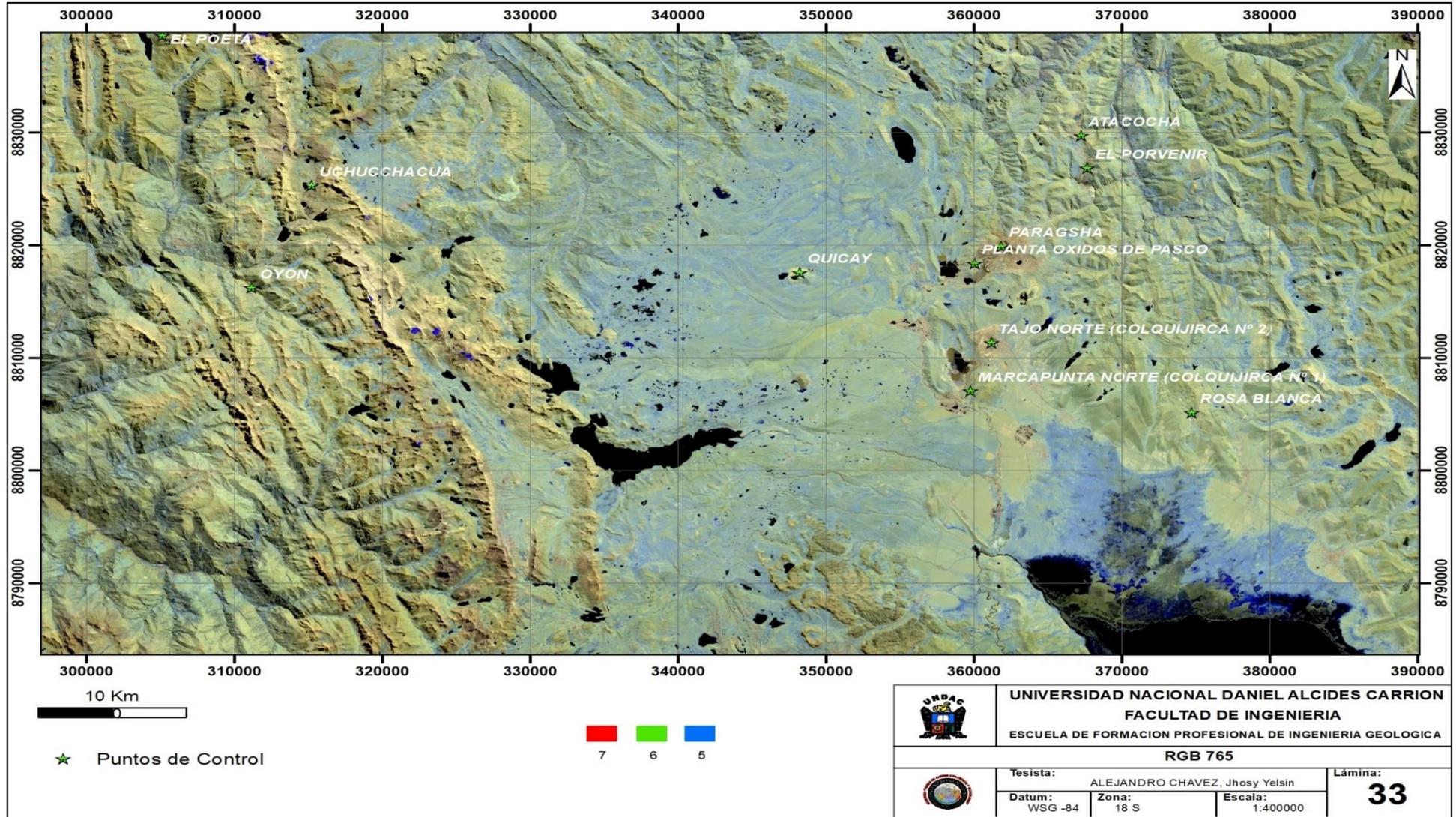
RGB 753 Imagen Landsat 8



Nota: Imagen de falso color, esta combinación es similar a la combinación 564. La vegetación se ve en tono verde brillante, el suelo de color naranja, el hilo de color purpura, el agua de tonalidades azuladas, Fuente: Propia.

GráficoN°36

RGB 765 Imagen Landsat 8



Nota: Debido a que no incorpora bandas del espectro visible, esta combinación reduce las influencias atmosféricas. Es útil para estudio de análisis de suelos humedad de suelos en tonalidades azules. Fuente: Propia.

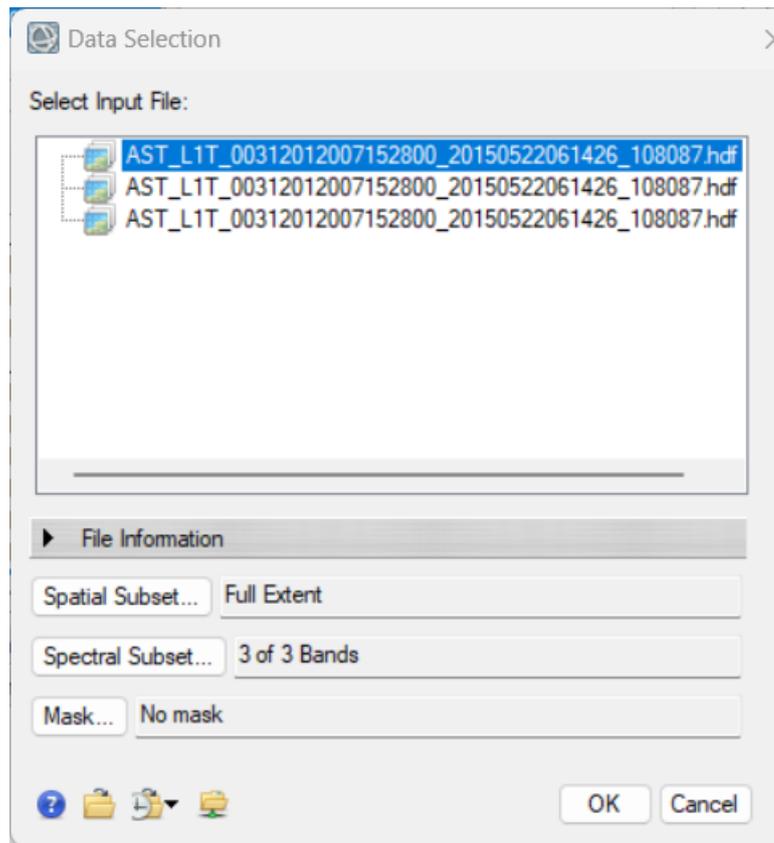
4.1.7. Calibración Aster *1LT*

4.1.7.1. Calibración Radiométrica

Con el software Envi 5.6 se realiza la calibración Radiométrica de las bandas en el campo del VNIR y SWIR.

GráficoN°37

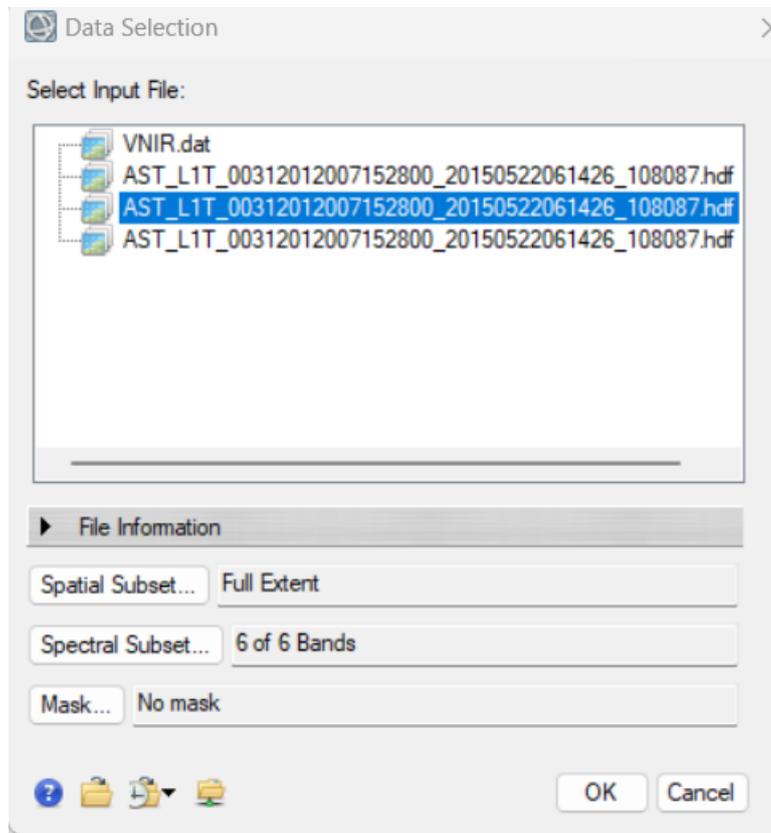
Calibración Radiométrica del campo VNIR.



Nota: Se observa que la calibración se dará en las 3 bandas del campo VNIR. Fuente: Propia.

GráficoN°38

Calibración radiométrica del campo del SWIR.



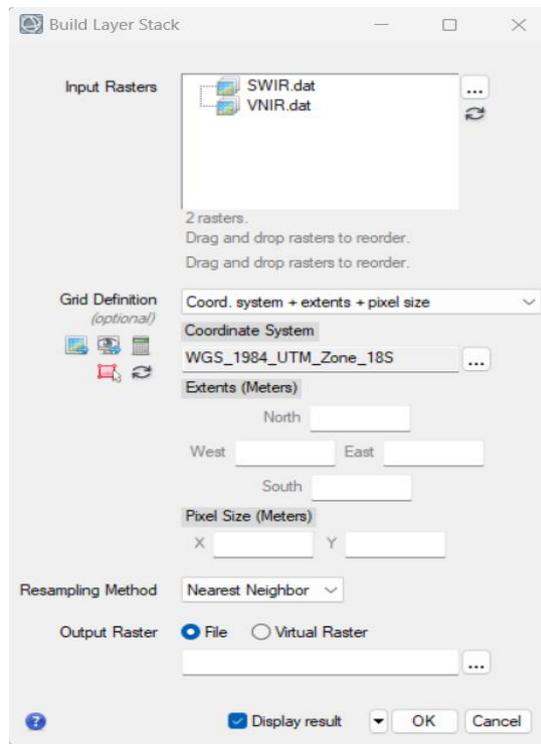
Nota: Se observa que la calibración se dará en las 6 bandas del campo SWIR. Fuente: Propia.

4.1.7.2. Creación de Layer Stack

Realizaremos la creación del layer stack para la unión de las bandas, haremos la conversión de intervalo a BIL, para su posterior calibración atmosférica.

GráficoN°39

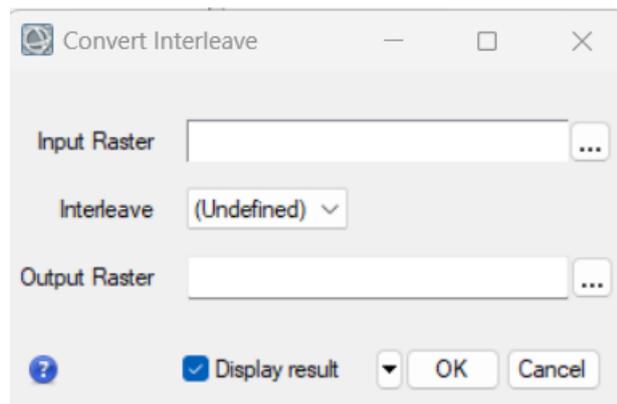
Creación de Layer Stack para los campos VNIR y SWIR



Nota: Se rellena los campos con especificaciones de los campos a unir. Fuente: Propia.

GráficoN°40

Conversión a Formato BIL.



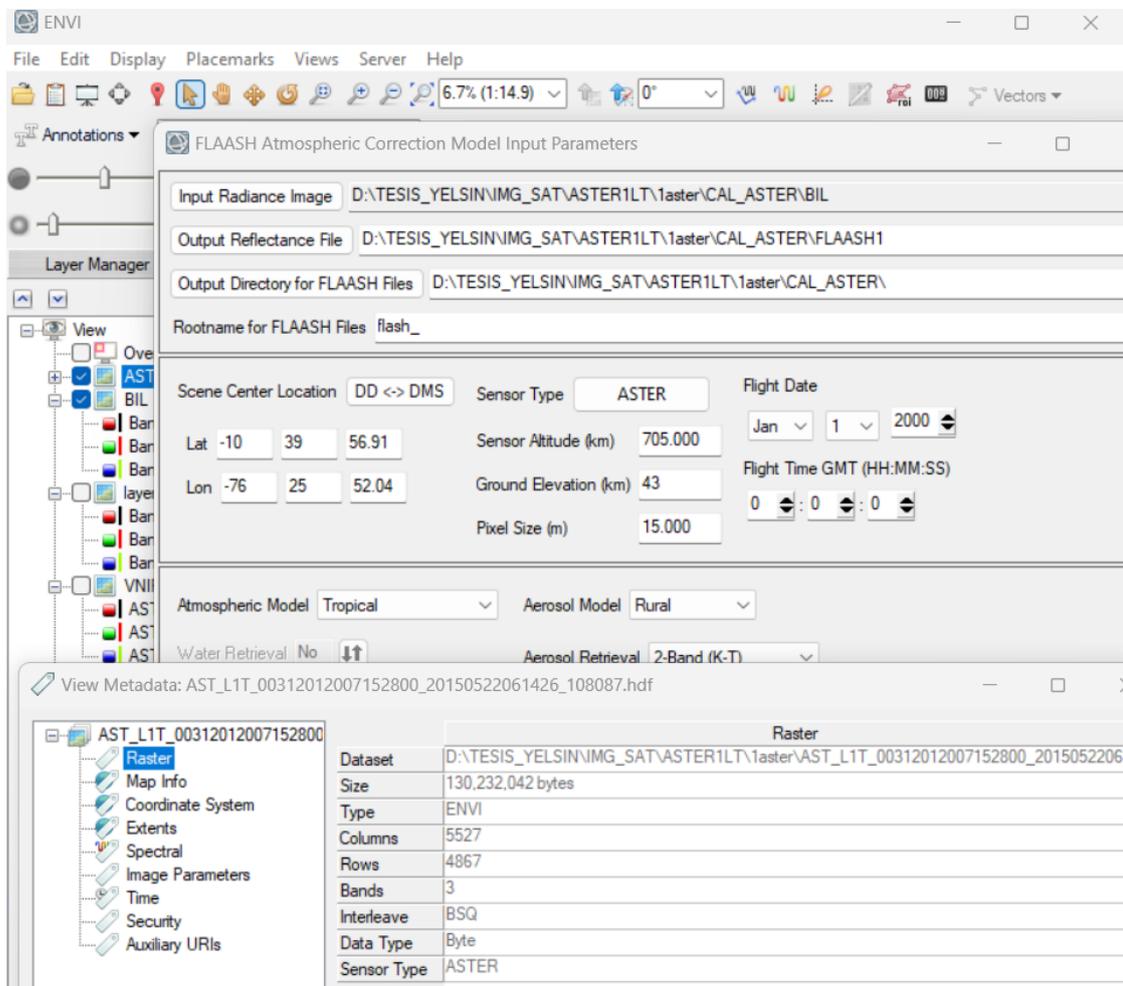
Nota: Seleccionamos el layer creado para poder darle el formato BIL. Fuente: Propia.

4.1.7.3. Calibración Atmosférica

- Debido a las inevitables diferentes condiciones atmosféricas y de iluminación, por lo que se hace necesaria la corrección atmosférica de las imágenes.
- Se calibro por el método de módulo **FLAASH**
- Se completa los campos entre ellos la fecha y hora de la imagen obtenida.

GráficoN°41

Calibración Atmosférica en el entorno Envi 5.6



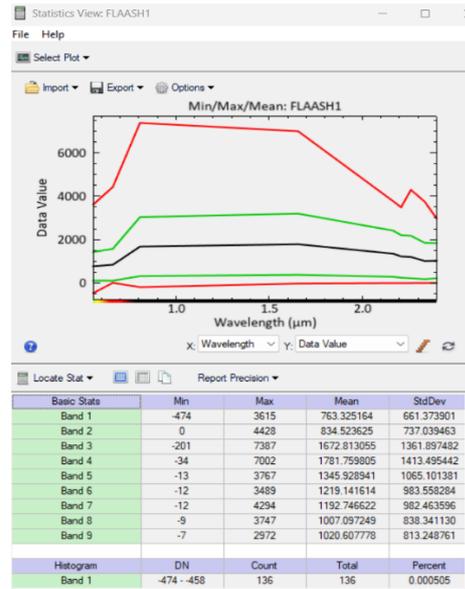
Nota: Inserción de datos para la calibración atmosférica. Fuente: Propia.

4.1.7.4. Inserción de ecuación para el calibrado Radiométrico y Atmosférico.

Verificación de Statistics en la calibración.

GráficoN°42

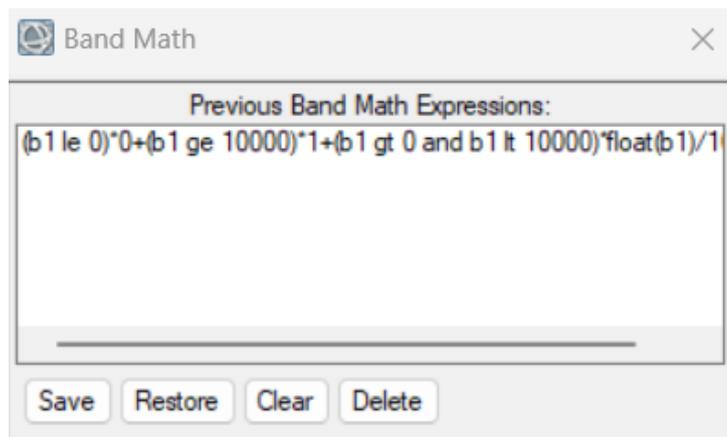
Campo de Statistics en entrono Envi 5.6



Nota: Se observa valores mínimos por convertir en 0 y máximos convertir en µm. Fuente: Propia

GráficoN°43

Ecuación algorítmica para conversión de datos.

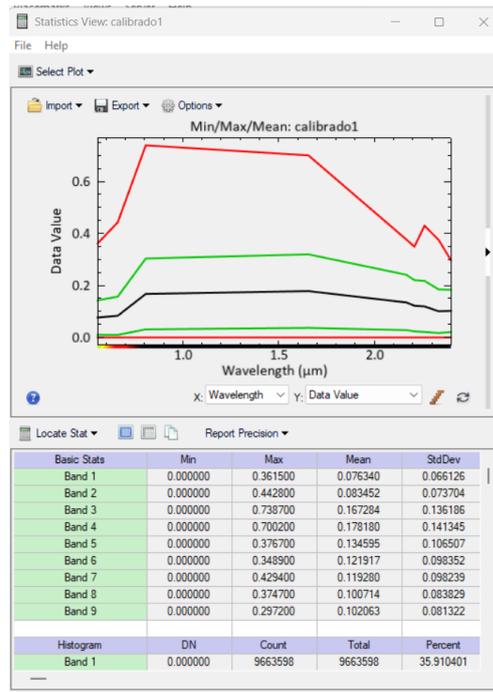


Nota: Esta expresión matemática ayudara en la conversión de datos. Fuente: Propia.

Luego de Insertar la ecuación en la cual convertirá los datos estadísticos en cada banda, verificaremos nuevamente la estadística de las bandas.

GráficoN°44

Campo de Statistics en entrono Envi 5.6



Nota: Se verifica los datos estadísticos convertidos en cada banda. Fuente: Propia.

4.1.7.5. RBG del Aster 1LT

Determinamos las diferentes combinaciones de bandas

(RGB) 9,3,2—equivalente a la combinación (RGB) 7, 4, 2 de Landsat TM, permite diferenciar los cambios litológicos y estructurales.

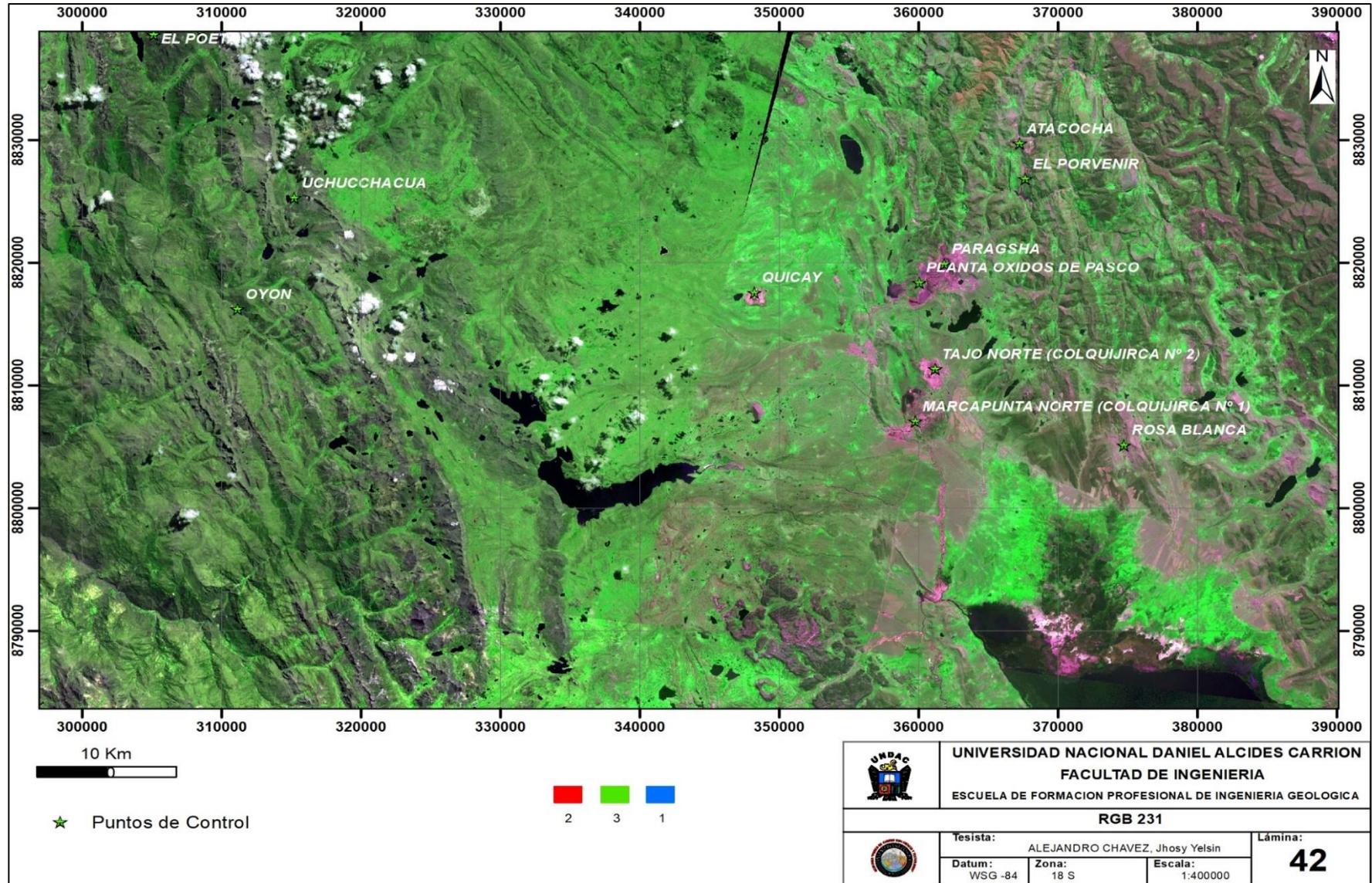
(RGB) 2, 3,1- resalta la vegetación.

(RGB) 4,6,1—con saturación del color, muestra halos de alteración, incluyendo la alteración argílica.

(RGB) 5, 2,1—es equivalente a la combinación (RGB) 7, 3, 1 de Landsat TM, útil para identificar zonas de alteración argílica y de oxidación

Gráfico N° 45

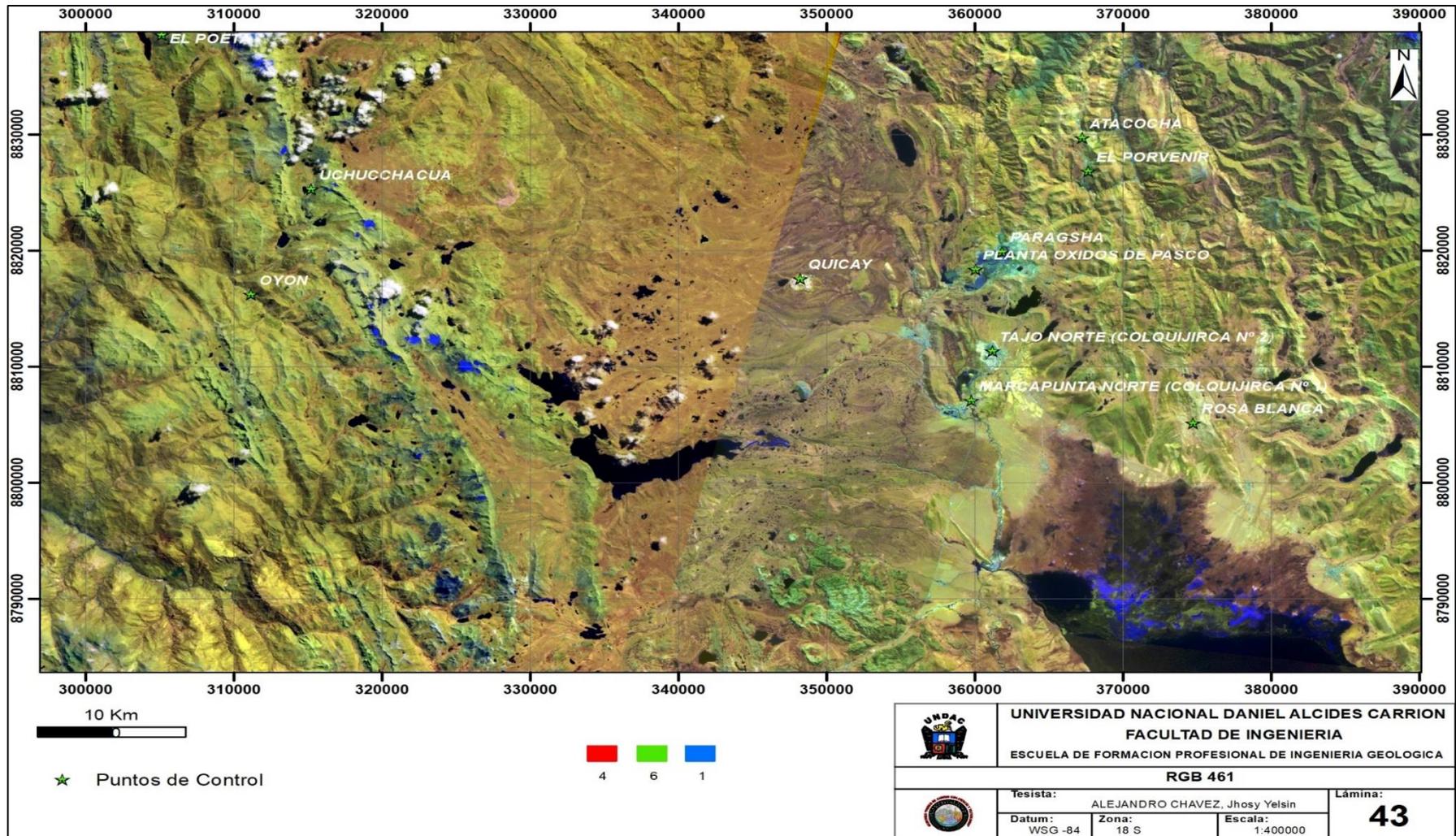
RGB 231 Imagen Aster 1LT



Nota: Esta combinación nos permite resaltar la vegetación y diferenciarla de afloramientos rocosos (tonos rosáceos-gris). Fuente: Propia.

Gráfico N° 46

RGB 461 Imagen Aster1LT

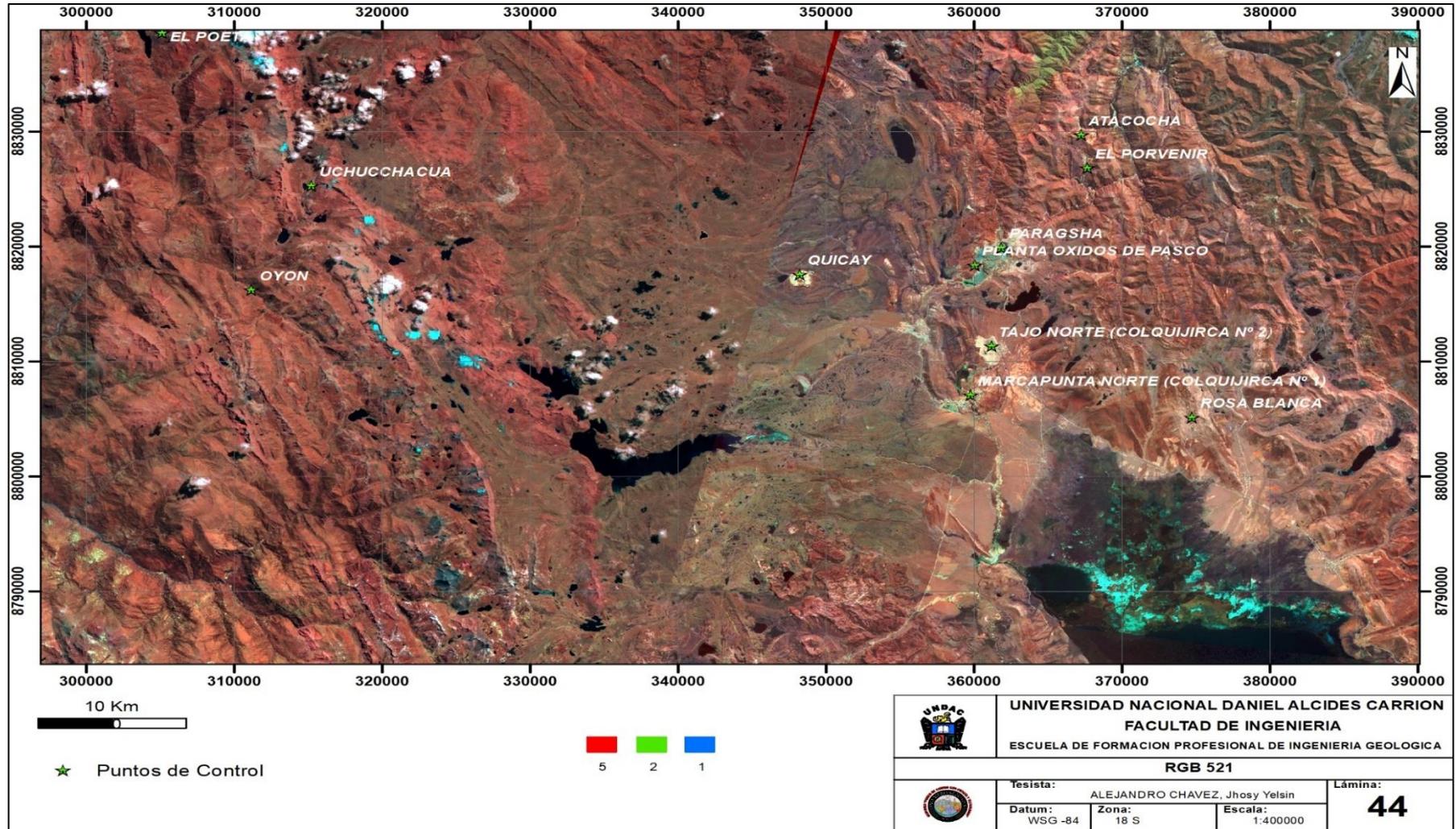


Nota: Nos permite inferir que: el magenta del halo externo se debe a una fuerte absorción de la B6 (2.20µm.) en este rango espectral absorben los minerales de arcilla debido al enlace Al-OH. El amarillo se debe a una fuerte absorción de B1 (0.55µm) en este rango espectral tenemos la absorción debida a procesos electrónicos del catión Fe3+ (Hunt y Salisbury, 1970).

Fuente: Propia.

Gráfico N° 47

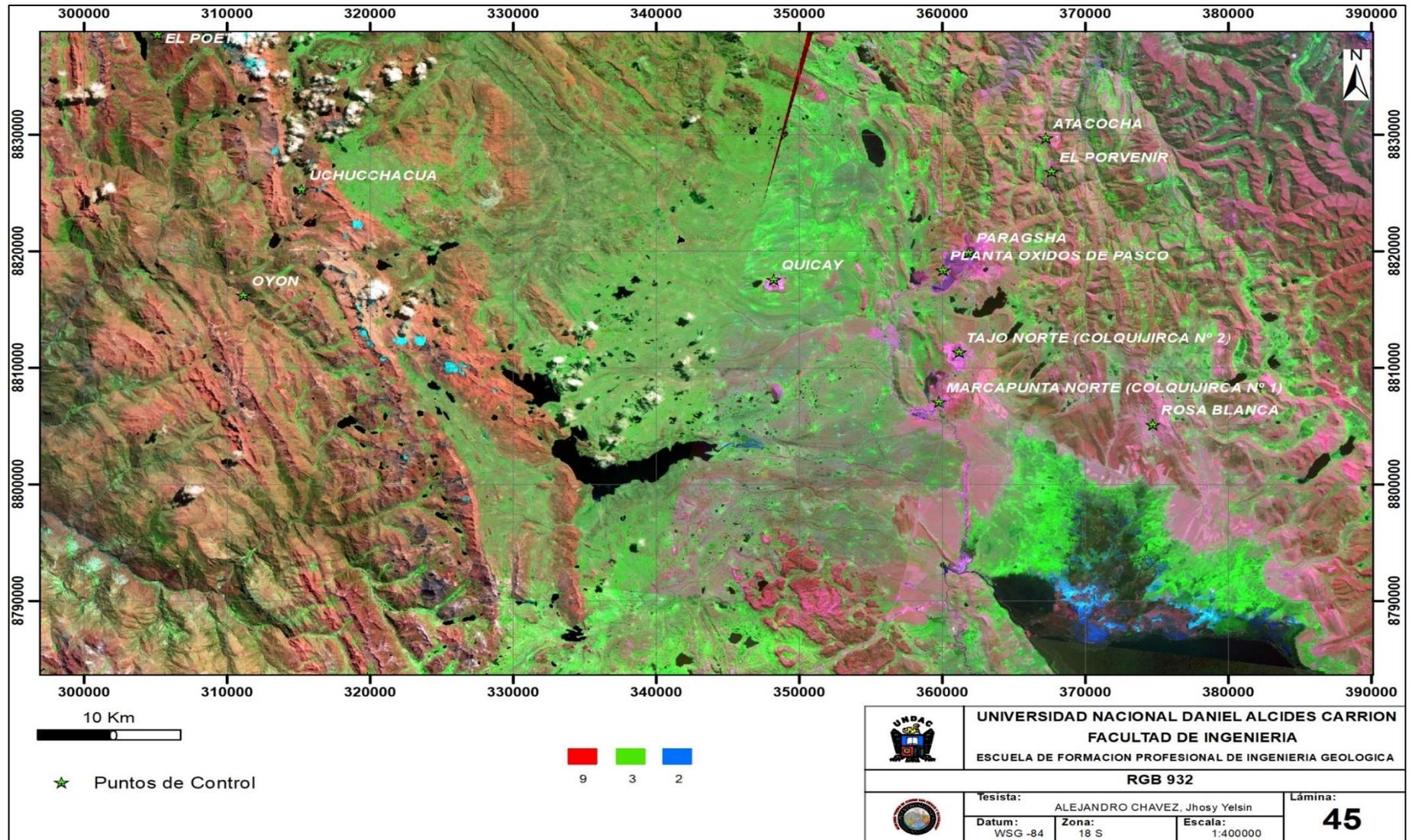
RGB 521 Imagen Aster1LT



Nota: Equivalente al RGB 7,3,1 de Landsat, útil para la determinación de zonas de alteración argílica que aparecen en tonos que combinan con reflectancia baja en el infrarrojo de onda corta a menudo en tonos marrones o grises y de oxidación en tonos rojos -naranjas. Fuente: Propia

Gráfico N° 48

RGB 932 Imagen Aster1LT



Nota: Equivalente al RGB 7,4,2 de Landsat, en ella se puede ver áreas con vegetación saludable (tonos de verde brillante) suelo y roca (tonos terrosos o grises). Fuente:

Propia.

4.1.8. Calibración Sentinel 2A

4.1.8.1. Pre – Procesado TOA

Se hizo uso del Software QGIS para el procesamiento de las imágenes Sentinel 2A

4.1.8.2. Atmosférico

Debido a las inevitables diferencias en las condiciones atmosféricas y de iluminación, se requiere una corrección radiométrica de las imágenes.

La imagen se adquirió el 18 de agosto del 2023 a las 15:026:009

4.1.8.3. RGB del Sentinel 2A

Tabla6

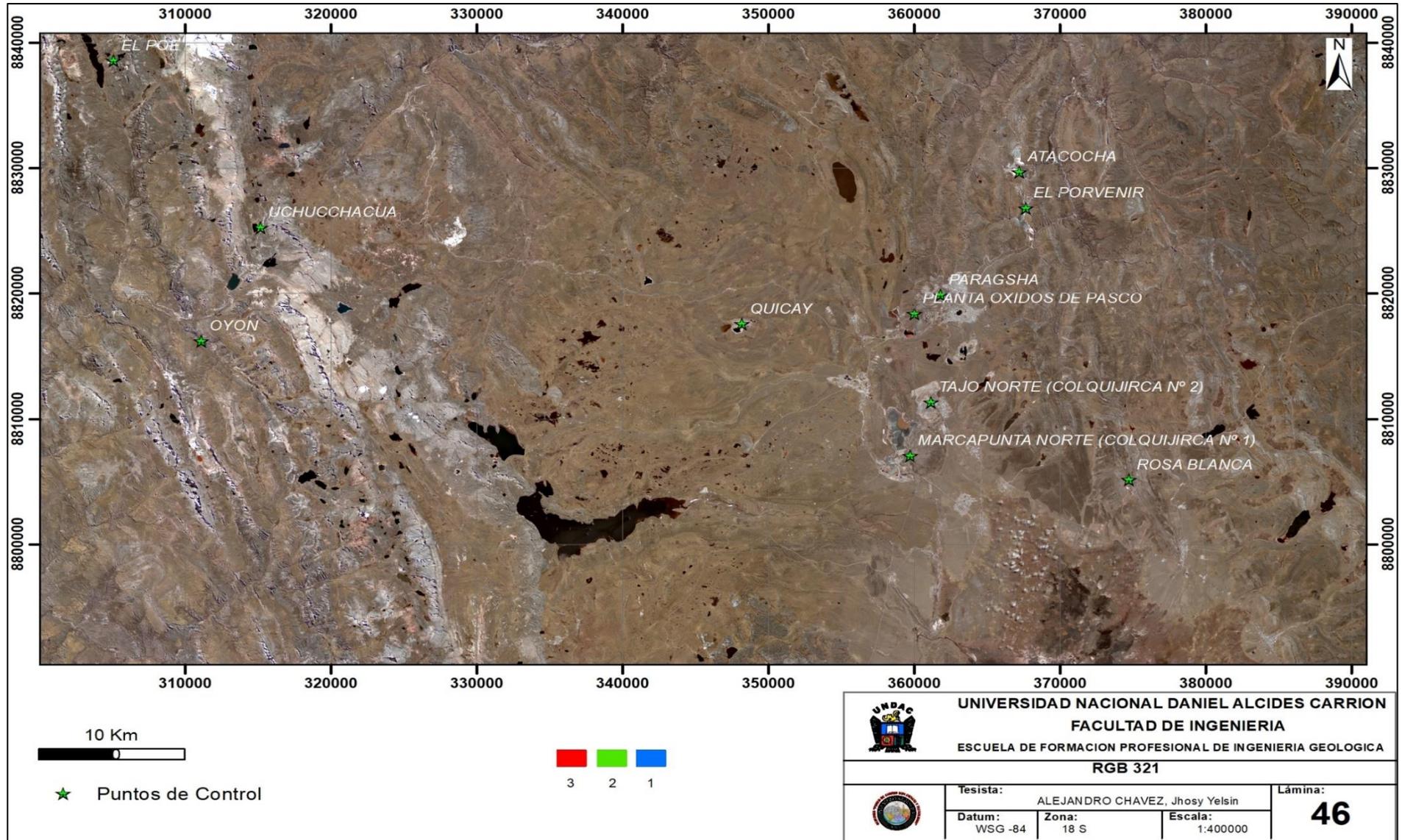
categoría de algoritmo

ALGORITMO	ANOMALIA
CUSTOM	432
COLOR NATURAL	432
FALSO COLOR URBANO	12,11,4
VEGETACION IR	843
AGRICULTURA	11, 8A,2
PENETRACION ATMOSFERICA	12,11,8 A
ALTA VEGETACION	8 A, 11, 2
LAND/WATER	8 A, 11,4
ATMOSPHERIC REMOVAL	12, 8 A, 3
SHORTWAVE INFRARED	12, 8 A,4
ANALISIS DE VEGETACION	11, 8 A, 4
SNOW /CLOUDS	2,11,2

Nota: Fuente: Propia

Gráfico N°49

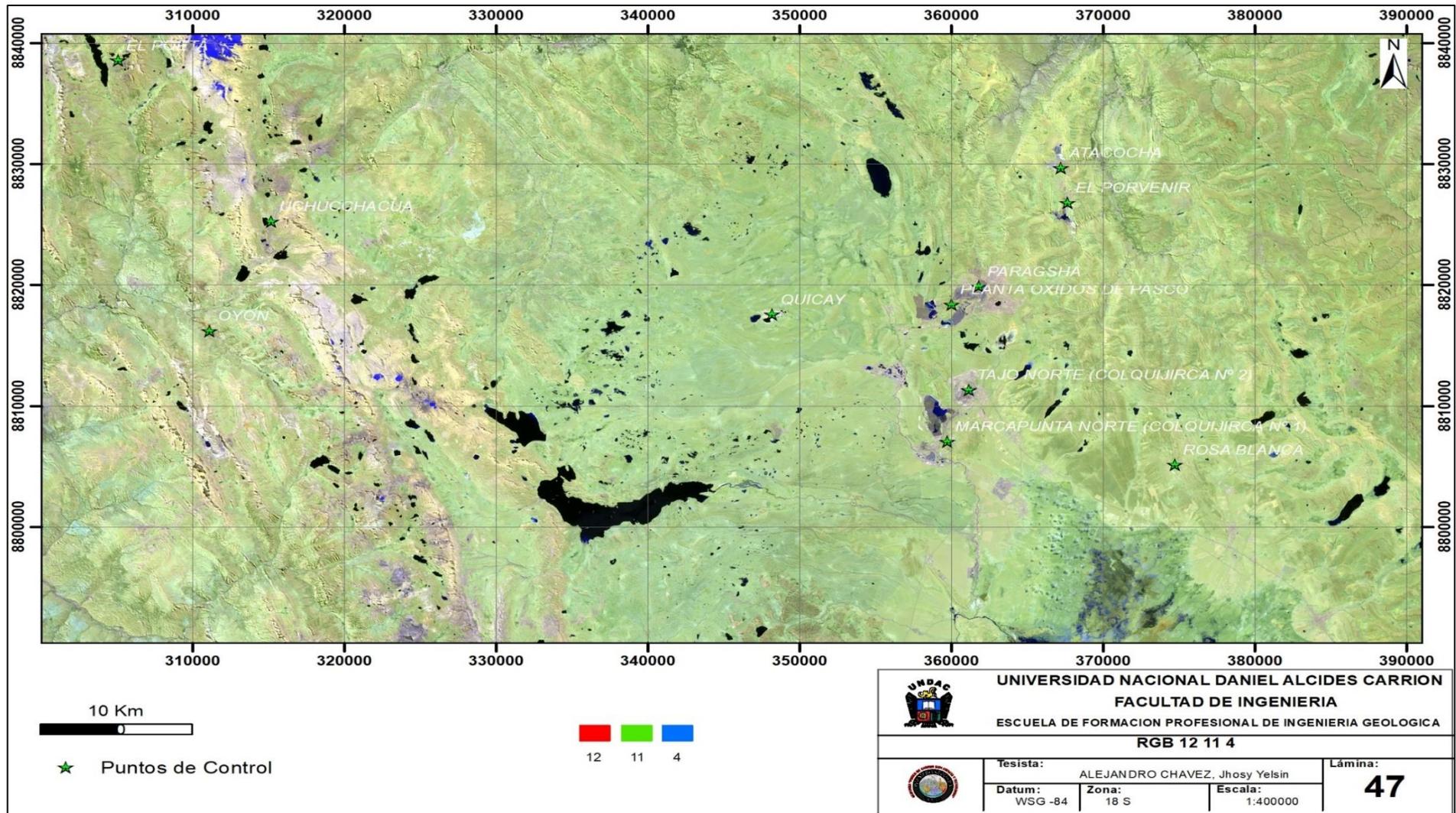
RGB 321 Imagen Sentinel 2A



Nota: Esta combinación nos permite ver el verdadero color de la imagen. Fuente: Propia.

GráficoN°50

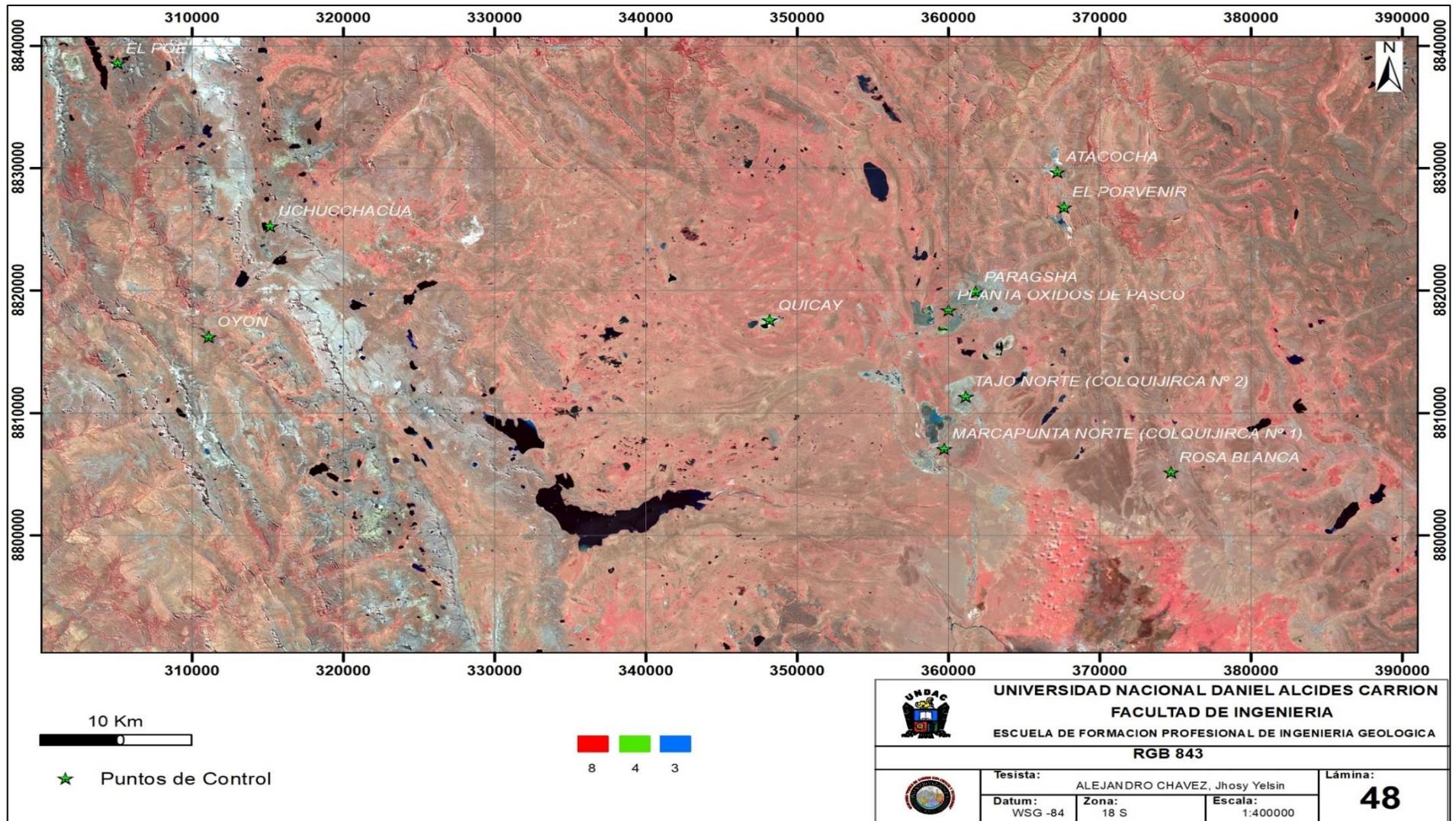
RGB 12,11, 4 Imagen Sentinel 2A



Nota: Equivalente al RGB 764 del Landsat 8, se observa áreas con vegetación saludable (tonos de verde brillante) y roca y suelo (tonos terrosos y grises), las estructuras geológicas como fallas, pliegues y fracturas pueden ser identificadas mediante cambios en la vegetación. Fuente: Propia

Gráfico N°51

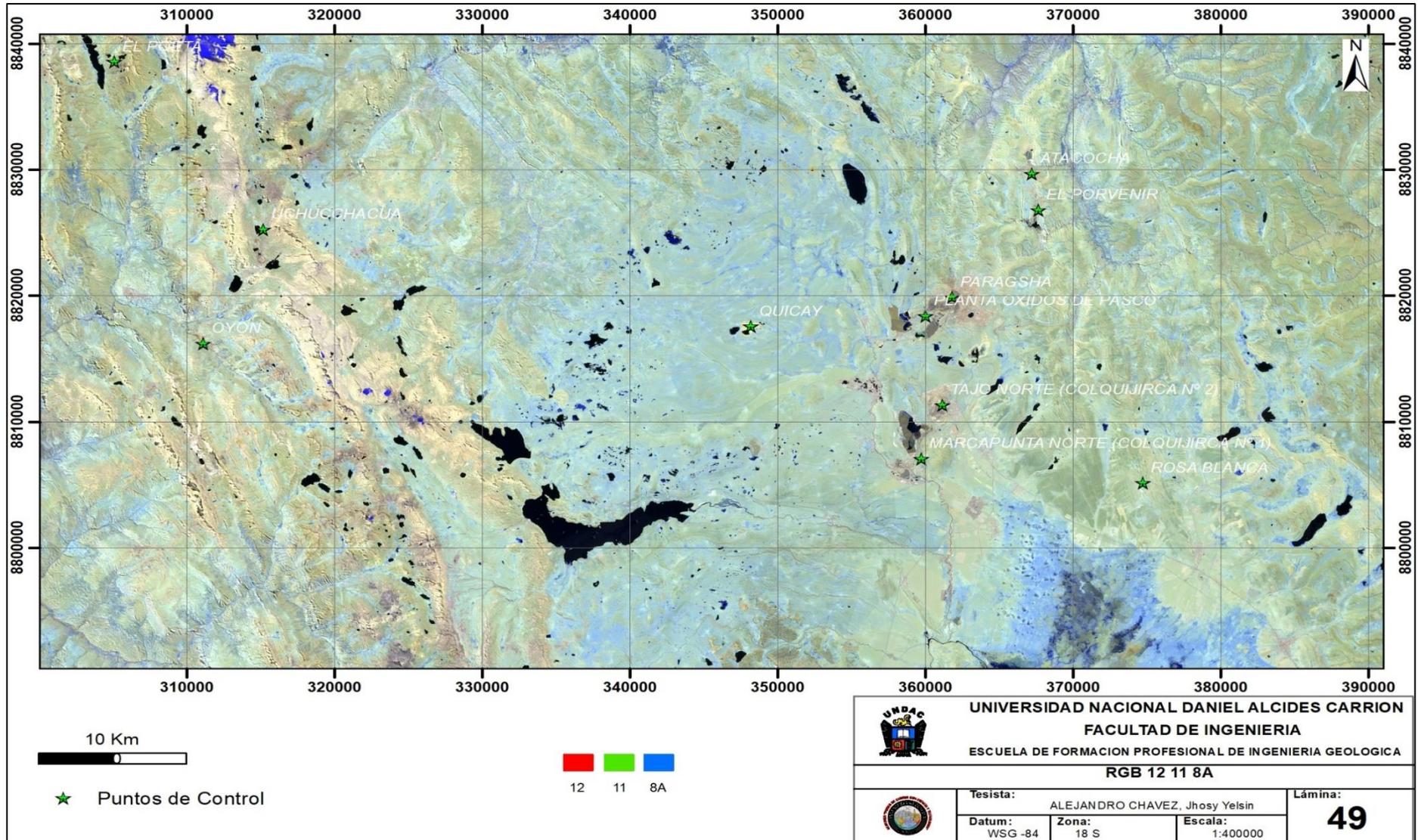
RGB 8A 4 3 Imagen Sentinel 2A



Nota: Podemos ver la vegetación en tonos rojos, los suelos varían de marrón oscuro a marrón claro; esta combinación de banda es útil para estudios de vegetación como pastizales y praderas, y monitoreo de drenaje. Fuente: Propia.

Gráfico N°52

RGB 12,11,8A Imagen Sentinel 2A



Nota: Equivalente al RGB 7,6,5 del Landsat 8, esta combinación se usa para ver la penetración atmosférica. Fuente: Propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

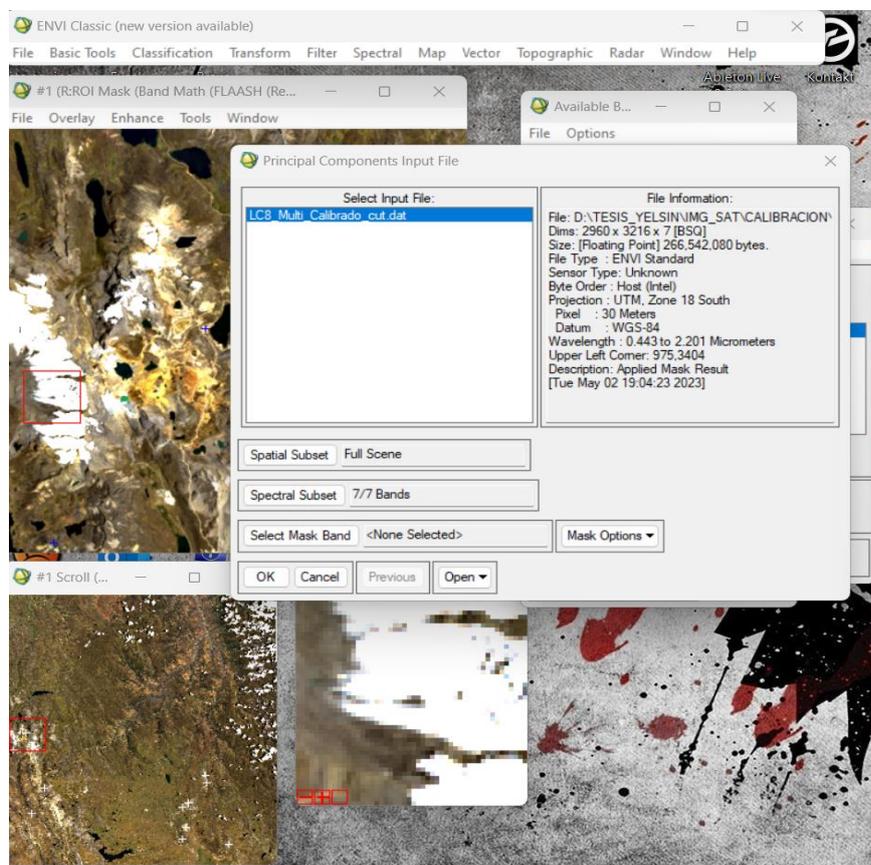
4.2.1. Creación de máscara de Anomalías en el sensor Landsat 8

4.2.1.1. Mascara de Óxidos (Método Principal Componentes)

Para la creación de máscara de óxido se usa el método de Componentes principales en el entorno Envi 5.6.

GráficoN°53

Componentes principales.

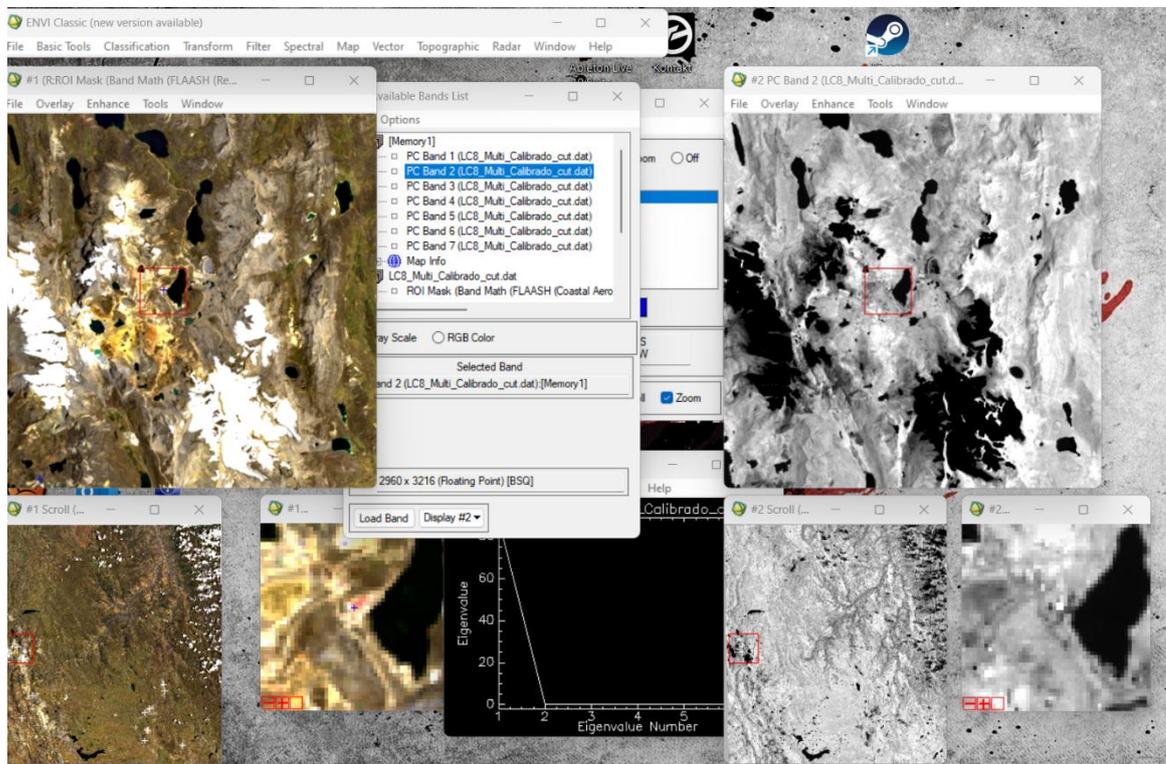


Nota: Con este método se dará realce características espectrales más importante en la escena como detección de óxidos. Fuente: Propia.

Con la ayuda de un punto de control (Raura) hacemos la verificación de los datos de óxidos que nos determinara tonos grises para la obtención de estos. Para este caso elegimos PC Band 2

GráficoN°54

Tonalidades de Oxido en la PC Band 2.

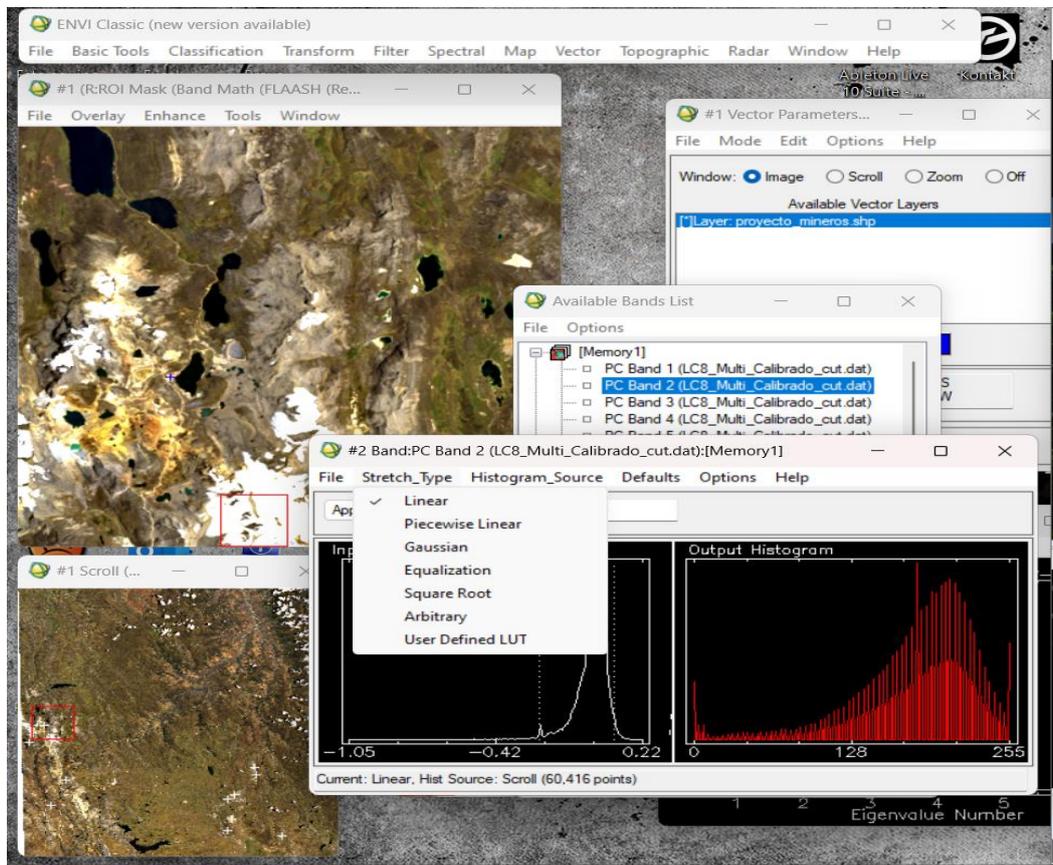


Nota: Los tonos grises dentro de la escena nos darán una representativa de óxidos.

Escogemos el histograma Gaussiano que nos permite ver un tipo de distribución normal.

GráficoN°55

Determinación Gaussiana

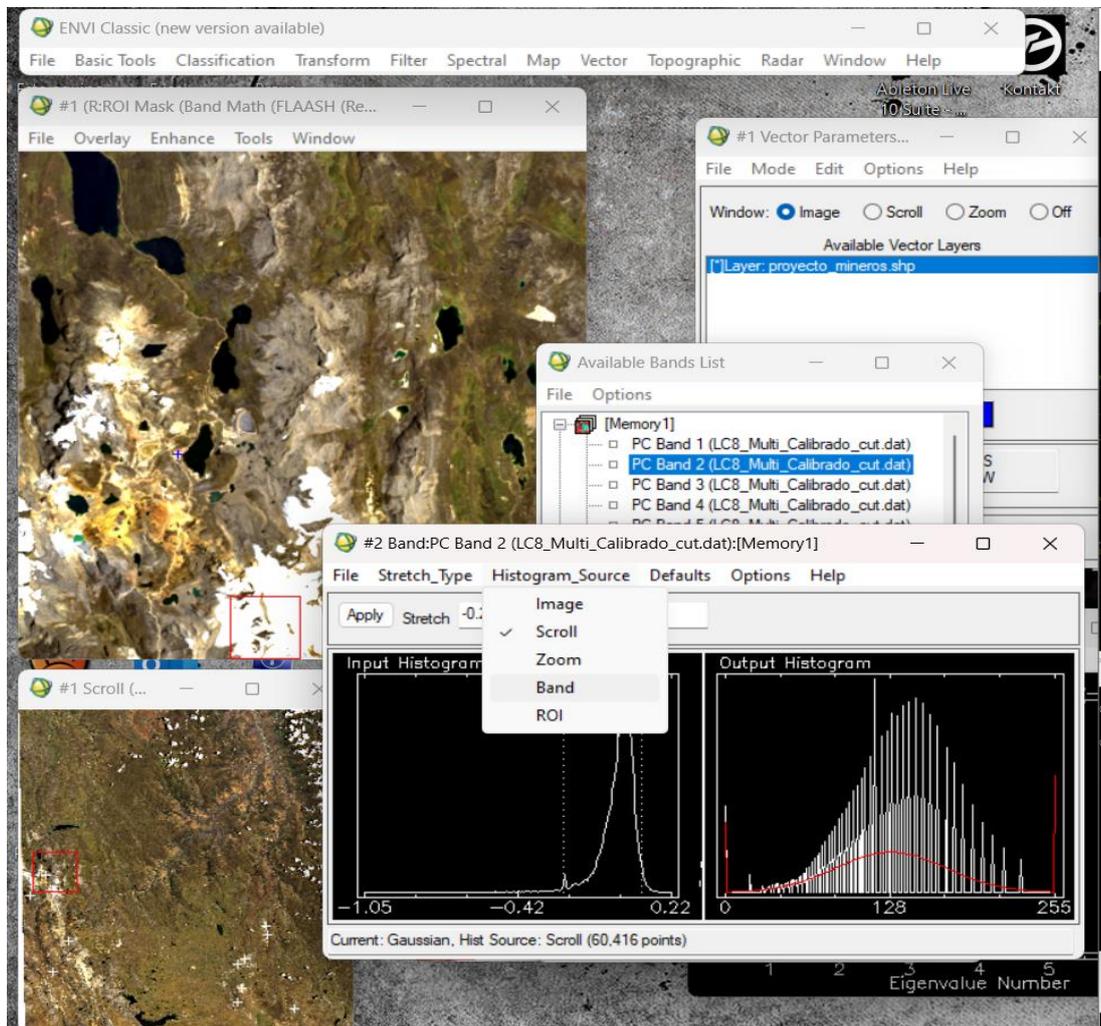


Nota: Determinación de tipo de histograma. Fuente: Propia.

Asignaremos a nuestras bandas la aplicación normal.

GráficoN°56

Entorno Stretch type.

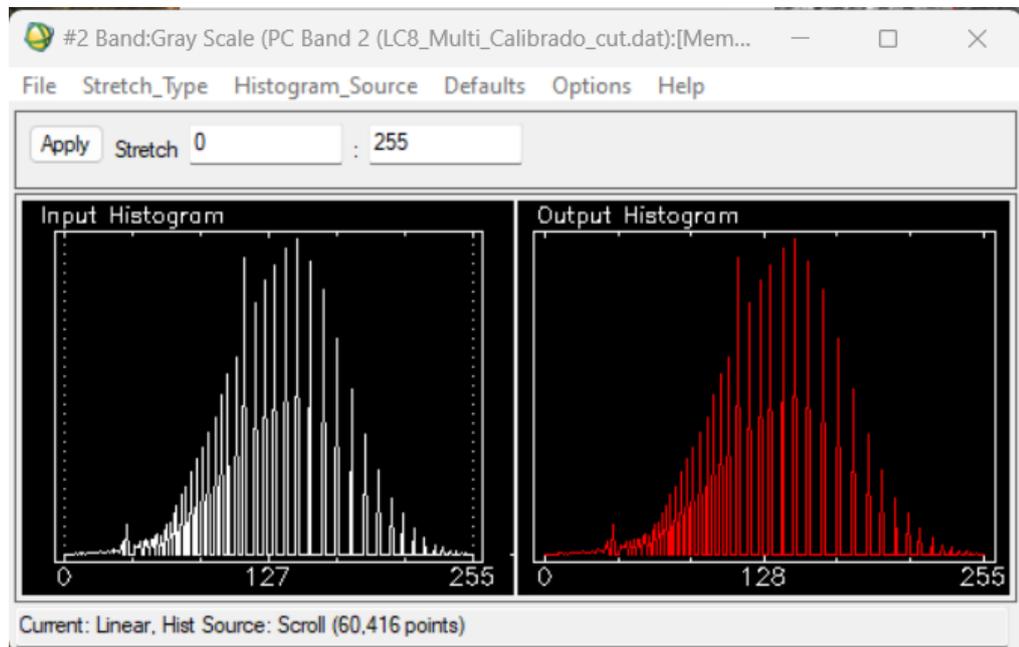


Nota: Elección para las bandas. Fuente: Propia.

Dentro del histograma nos muestra valores de 0 que significara acercamiento a tonos más oscuros, mientras que 255 tonas más blancos, determinaremos en que rango se presenta los óxidos.

GráficoN°57

Valor mínimo y máximo

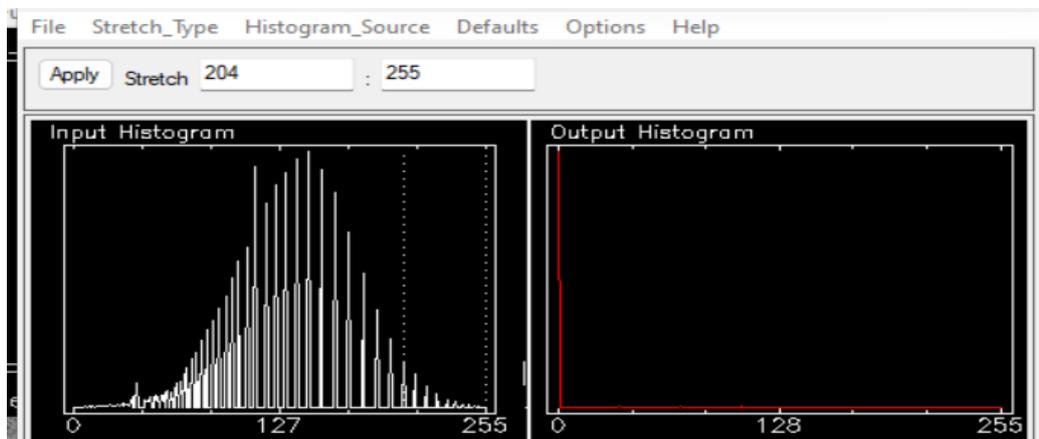


Nota: Histograma obtenida de las bandas espectrales. Fuente: Propia.

Aplicaremos el 98% en el valor mínimo en lo cual nos determina los rangos de entre 204 y 255, ya con ello se procede a la creación de la máscara de óxido.

GráficoN°58

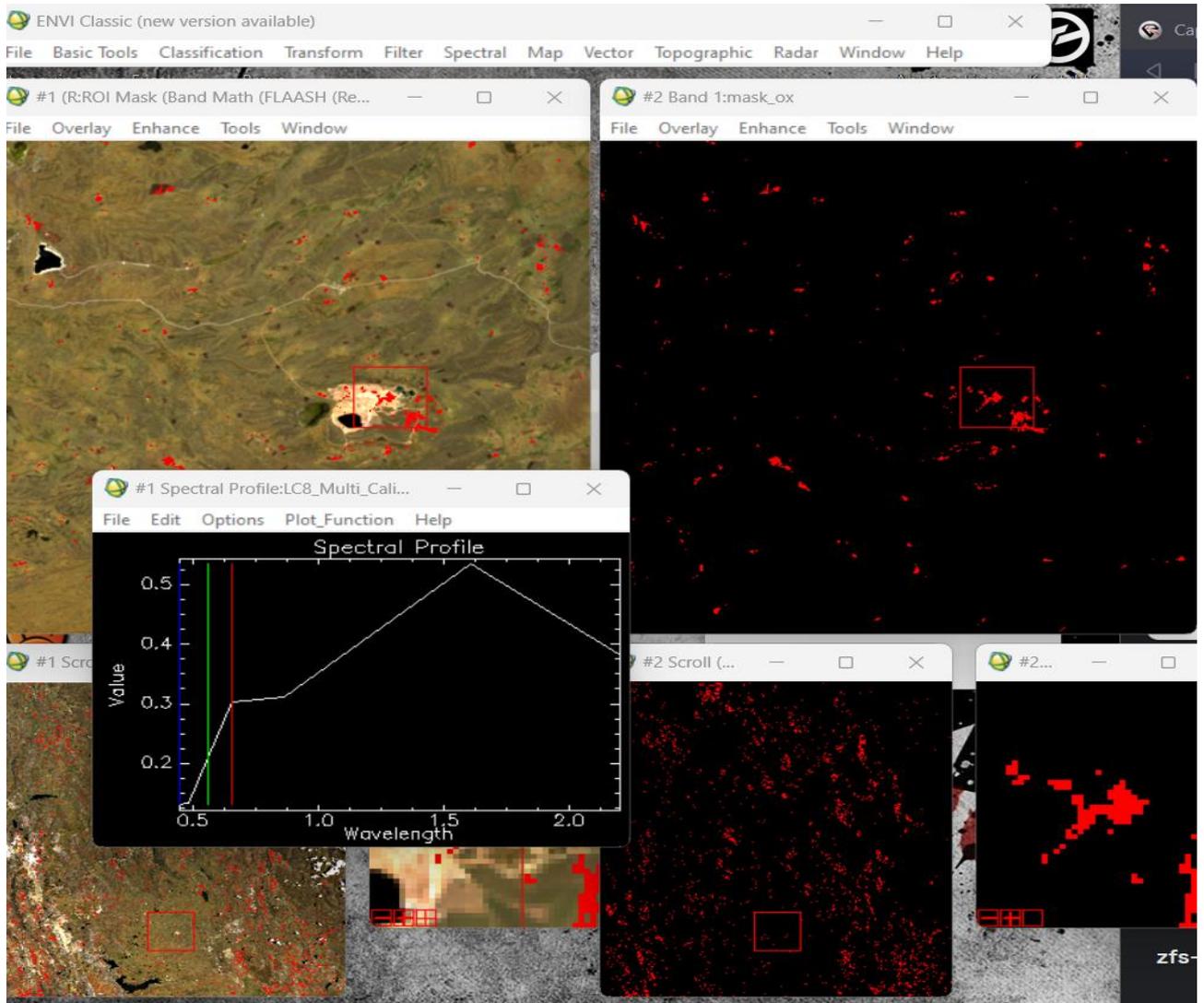
Rango mínimo y máximo para la obtención de óxidos.



Nota: Para el valor mínimo a un 98% nos da 204. Fuente: Propia.

GráficoN°59

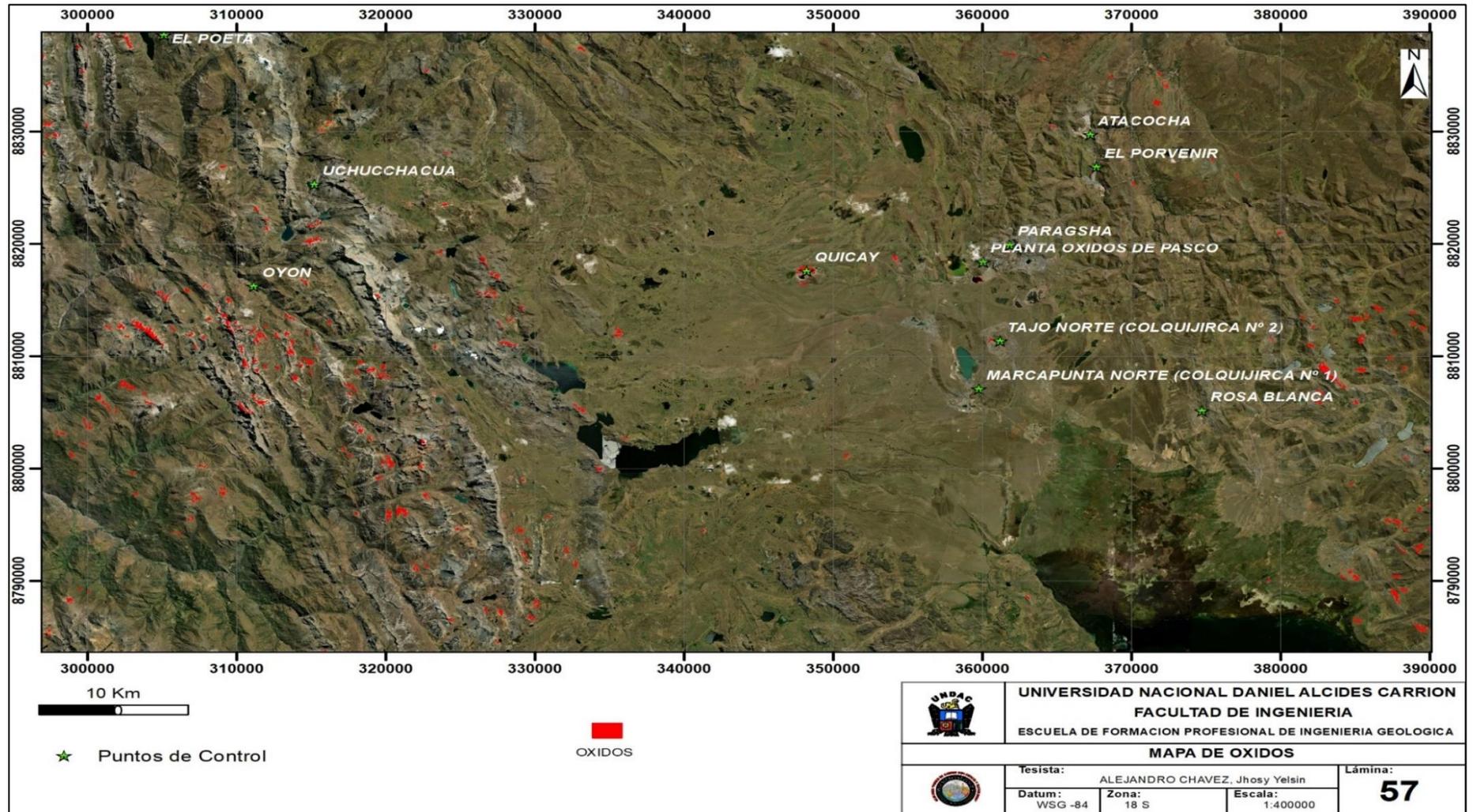
Análisis de firma espectral Landsat 8



Nota: Se observan anomalías de óxidos en el centro minero Quicay, estas fueron procesadas por el método PCA. Fuente: Propia.

GráficoN°60

Concentración de óxidos en la Escena

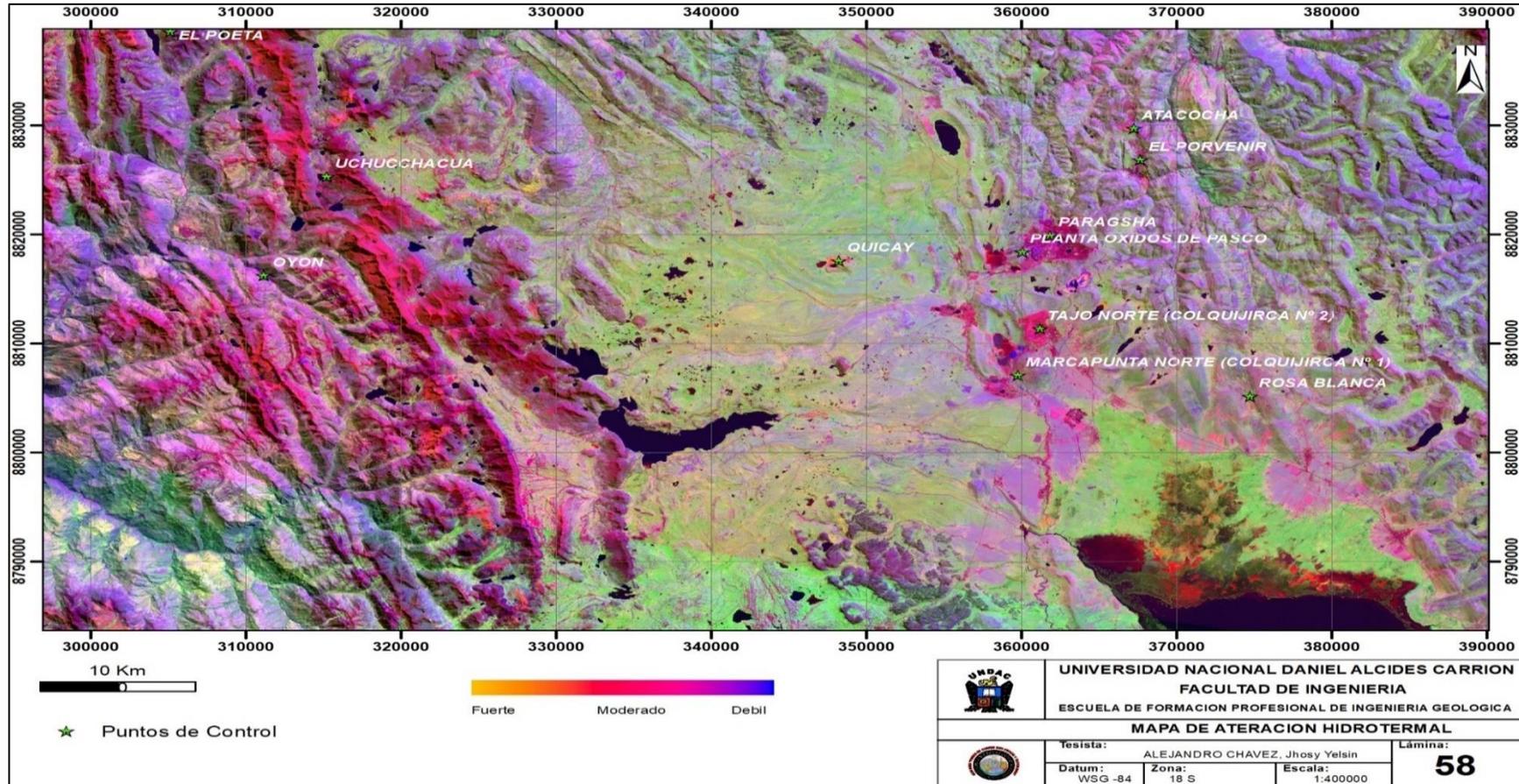


Nota: La concentración de óxidos son muy resaltantes en la zona de Quicay, Uchucchacua y Oyon. Fuente: Propia

4.2.1.2. Método Band Ratios para Alteración Hidrotermal

Gráfico N°61

Concentración de anomalías de alteración hidrotermal.



Nota: Se observa anomalías de alteración hidrotermal que involucra óxidos y alteración argílica. En tonalidades amarillentas a rojizas, este proceso corresponde al método de band ratios, la cual se da con operaciones matemáticas entre diferentes bandas, en este caso se usó lo siguiente: $b4/b2$, $b6/b7$ y $b10$, para obtener anomalías de alteración hidrotermal se hizo el compósito de la operación de bandas. Fuente: Propia.

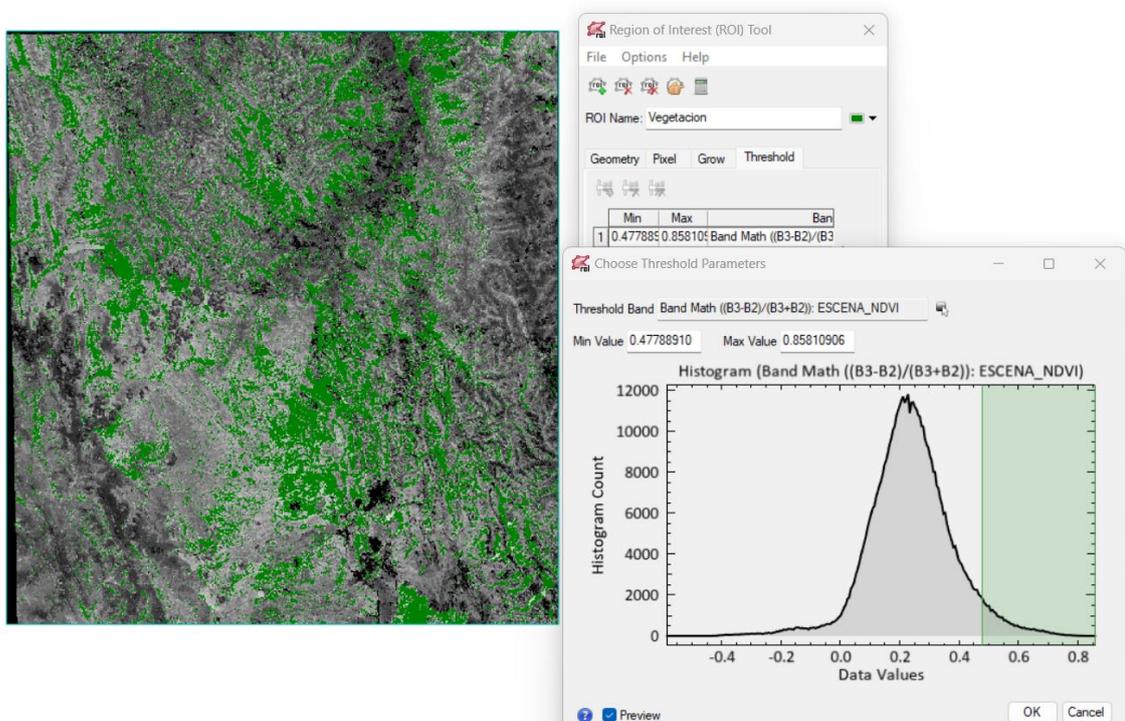
4.2.2. Mascara de anomalías en el Sensor Aster 1LT

4.2.2.1. Mascara de Vegetación

- Crearemos el NDVI para la extracción de máscaras de Vegetación.
- Aplicaremos la siguiente ecuación: $(B3-B2)/(B3+B2)$.
- Previamente crearemos ROIS

GráficoN°62

Creación de Mascara de Vegetación



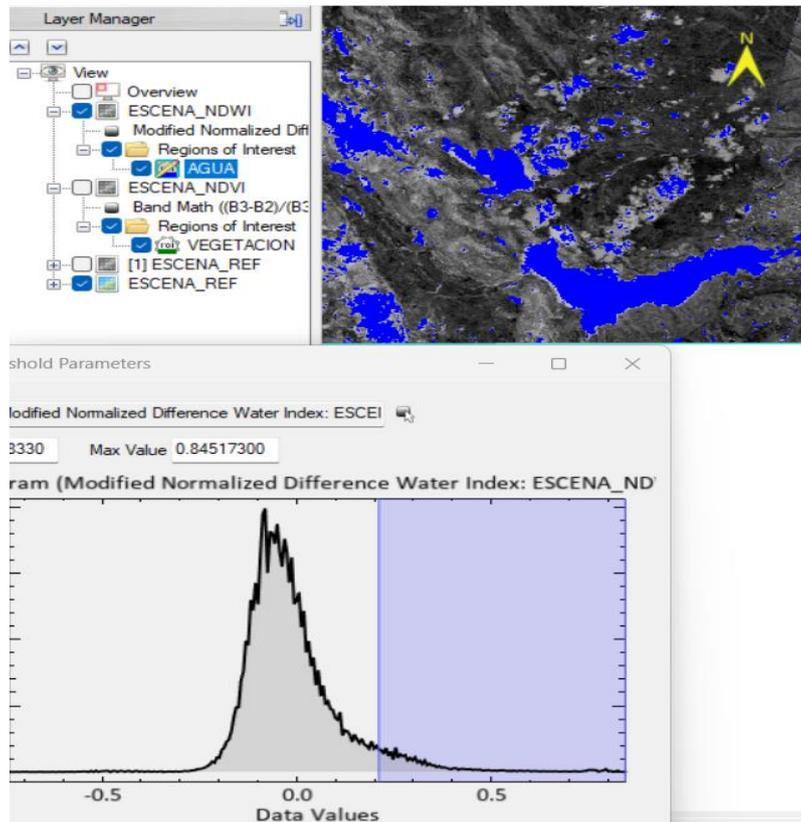
Nota: Con la ayuda del histograma podemos definir nuestro umbral mínimo y máximo de vegetación. Fuente: Propia.

4.2.2.2. Mascara de agua

- La herramienta de Spectral Indices nos ayudara a la creación de mascara de agua.
- Elegimos la opción Normalized Difference Wáter Index.
- Se nos crea el NDWI

GráficoN°63

Creación de Mascara de Agua



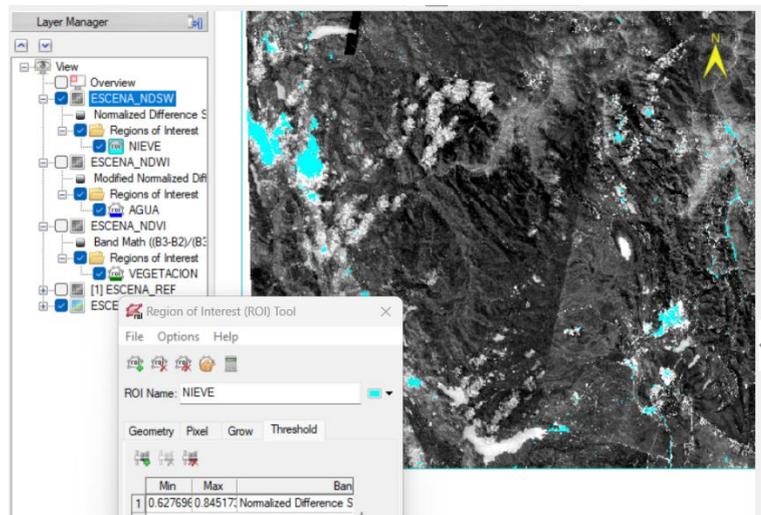
Nota: Se define los umbrales que abarcan la zona de agua. Fuente: Propia.

4.2.2.3. Mascara de Nieve

- La herramienta de Spectral Indices nos ayudara a la creación de mascara de Nieve.
- Elegimos la opción Normalized Difference Snow Index.
- Se nos crea el NDSW.

GráficoN°64

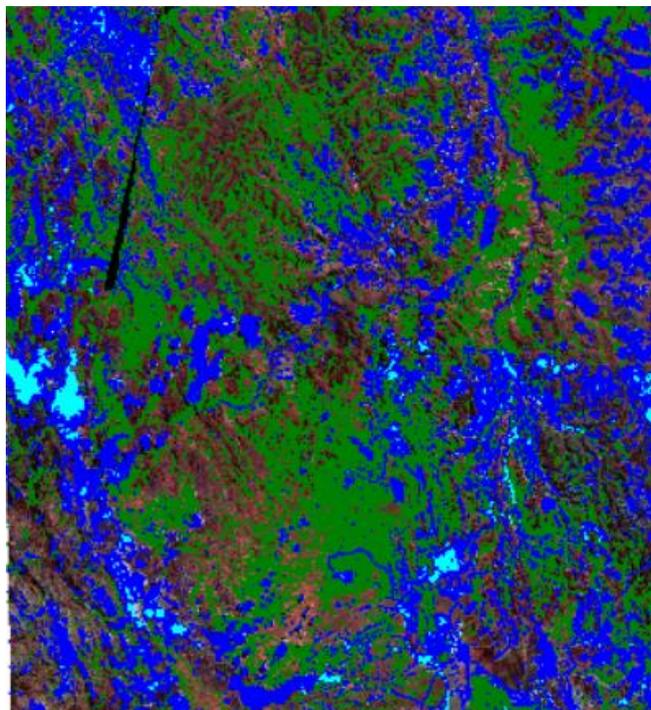
Creación de Mascara de Nieve



Nota: Definición de umbral de nieve en la escena. Fuente: Propia.

GráficoN°65

Mascara unida de Vegetación, Nube, Nieve, Sombra y Agua



Nota: Esta Mascará unida nos permitirá discriminar pixeles de vegetación, nube, nieve, sombra y agua. Fuente: Propia.

4.2.2.4. Mascara de Óxidos

4.2.2.4.1. Mascara de Jarosita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B2-B3

Seleccionada: B3

Información: Anomalías en nubes y agua

Técnica: Band Ratios

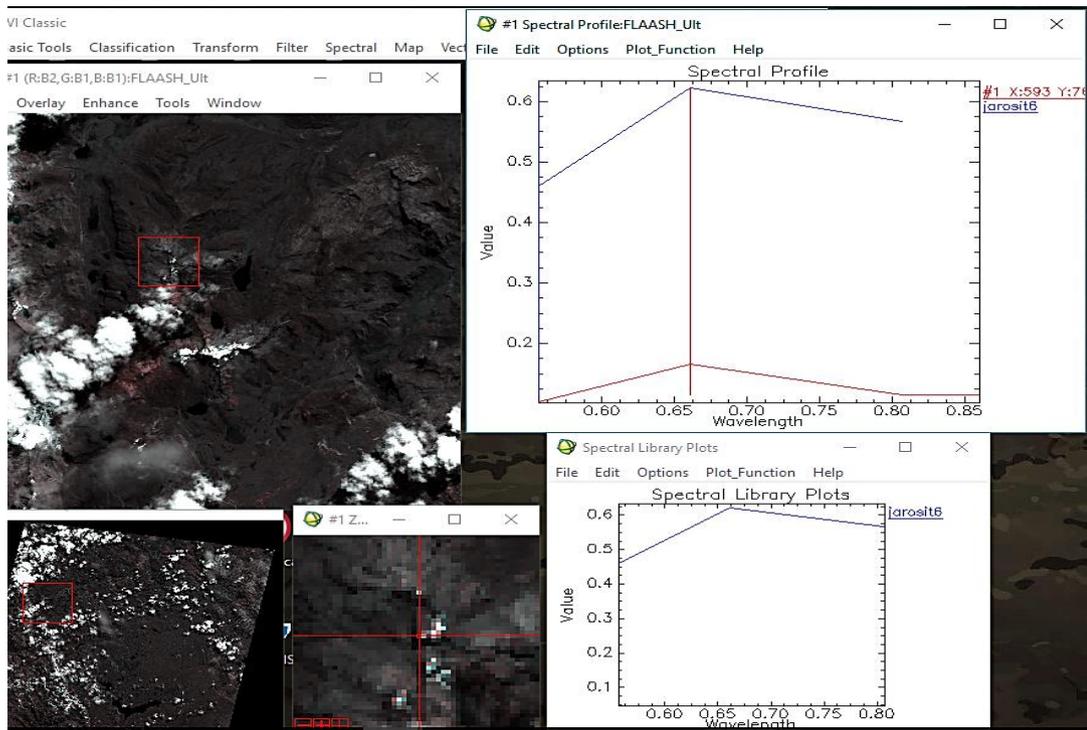
Operación Matemática: B2/B1

Información: Anomalías en cuaternario

Combinación: Band Ratios - PCA

GráficoN°66

Análisis de firma espectral de la Jarosita Aster 1LT

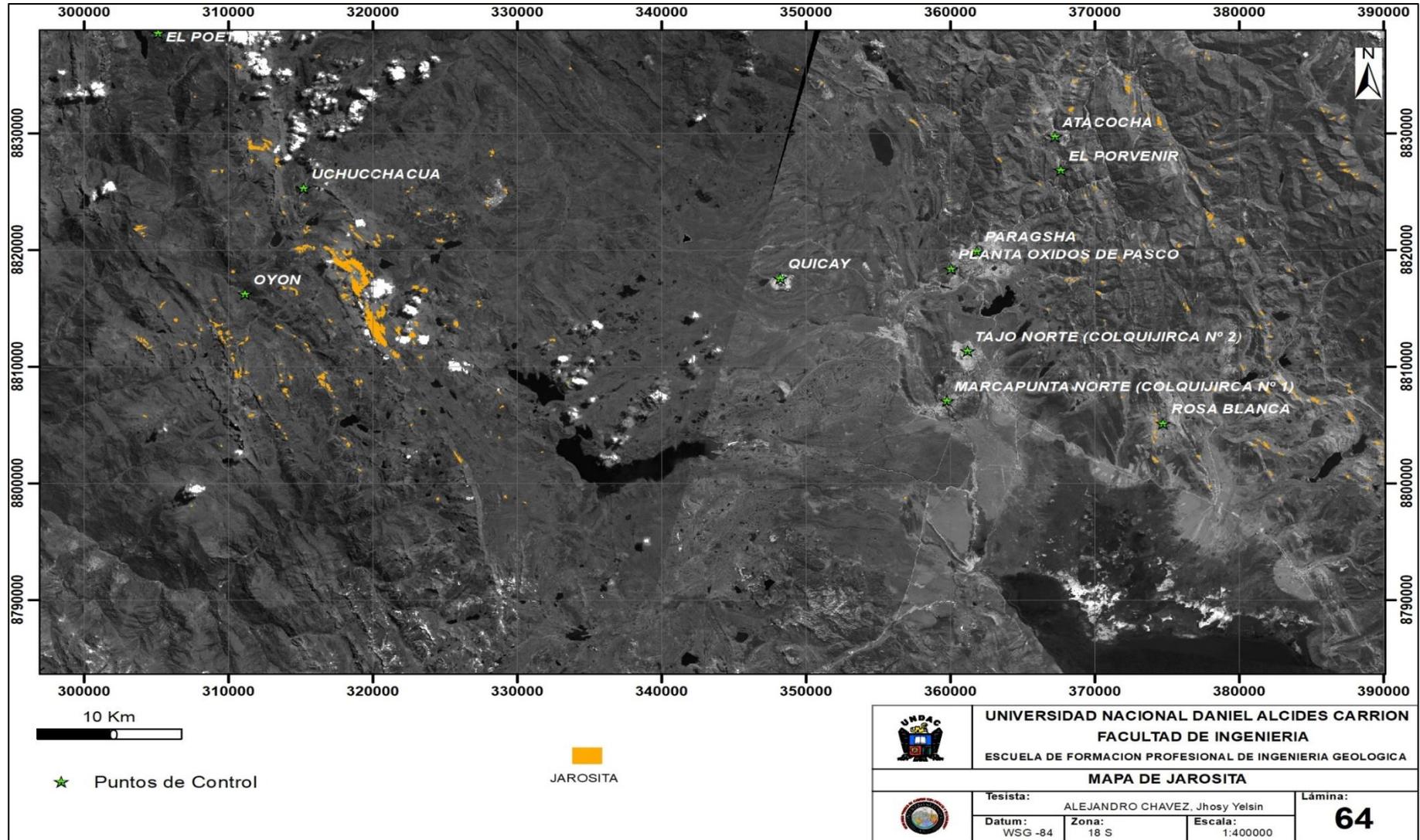


Nota: La imagen muestra el análisis espectral del pixel dándonos similitud al mineral Jarosita. Fuente:

Propia

GráficoN°67

Anomalía de Jarosita en la escena



Nota: La concentración de jarosita (en color naranja) su mayor concentración se ubica al noroeste de la escena, entre el centro minero de Uchucchacua y Oyon. Fuente:

Propia.

4.2.2.4.2. *Mascara de Hematita*

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B2-B3

Seleccionada: B3

Información: Anomalías en agua y nubes

Técnica: Band Ratios

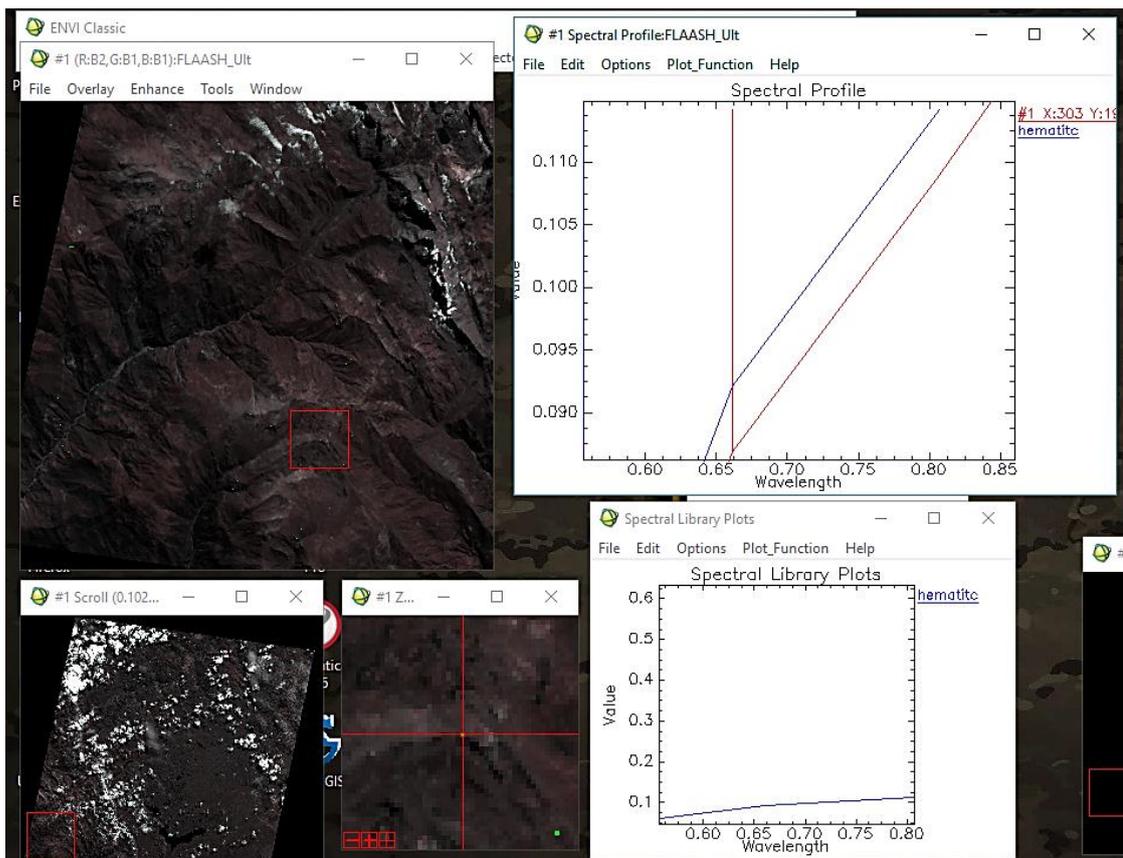
Operación Matemática: B2/B1

Información: Anomalías en cuaternario

Combinacion: Band Ratios - PCA

GráficoN° 68

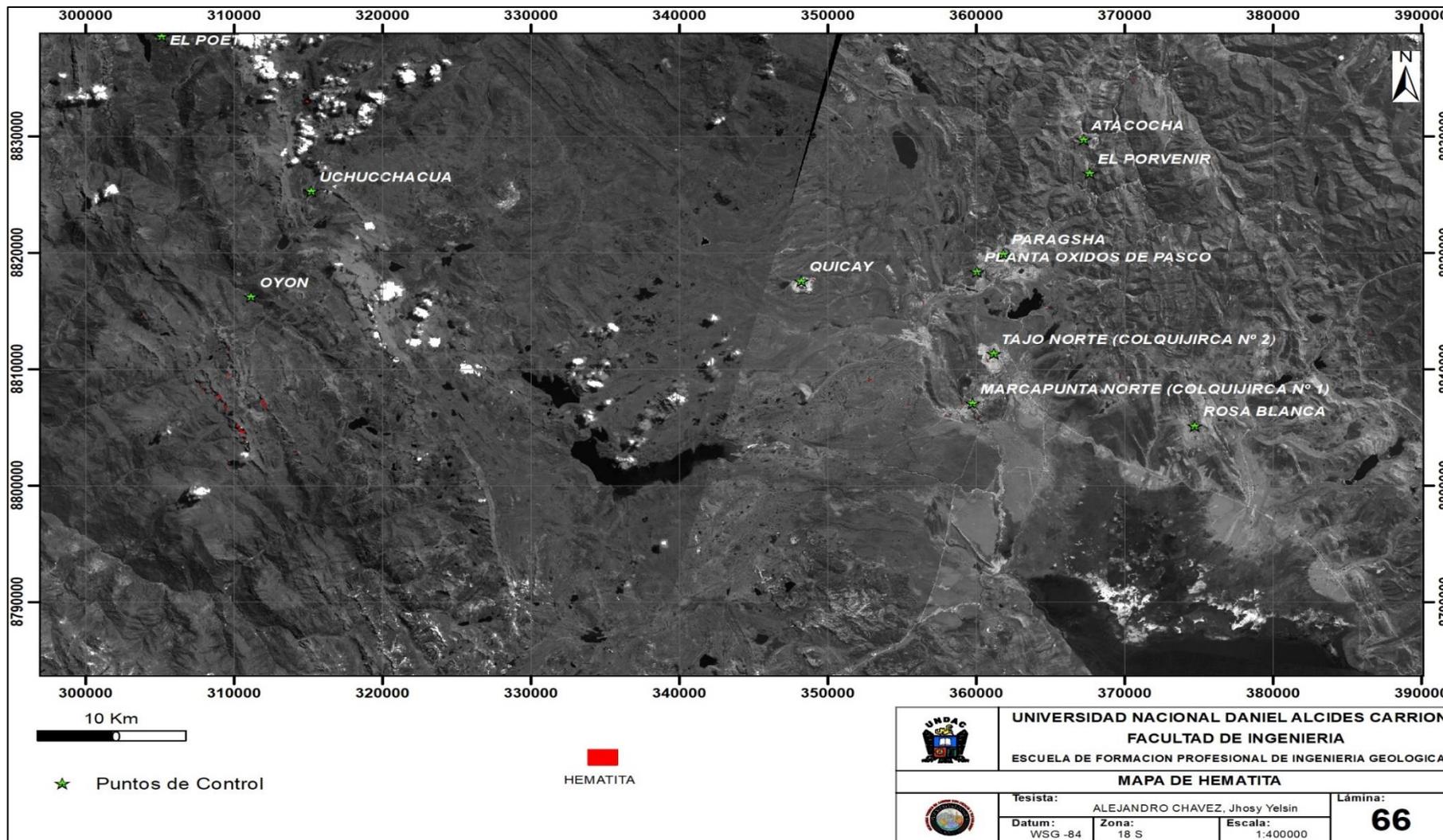
Análisis de firma espectral de la Hematita Aster 1LT



Nota: El análisis espectral de hematita al suroeste de la escena. Fuente: Propia

GráficoN°69

Anomalía de Hematita en la escena



Nota: La concentración de Hematita se encuentra al suroeste de Oyon, y en zonas puntuales como Quicay Fuente: Propia.

4.2.2.4.3. Mascara de Goethita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B2-B3

Seleccionada: B3

Información: Anomalías en agua y nubes

Técnica: Band Ratios

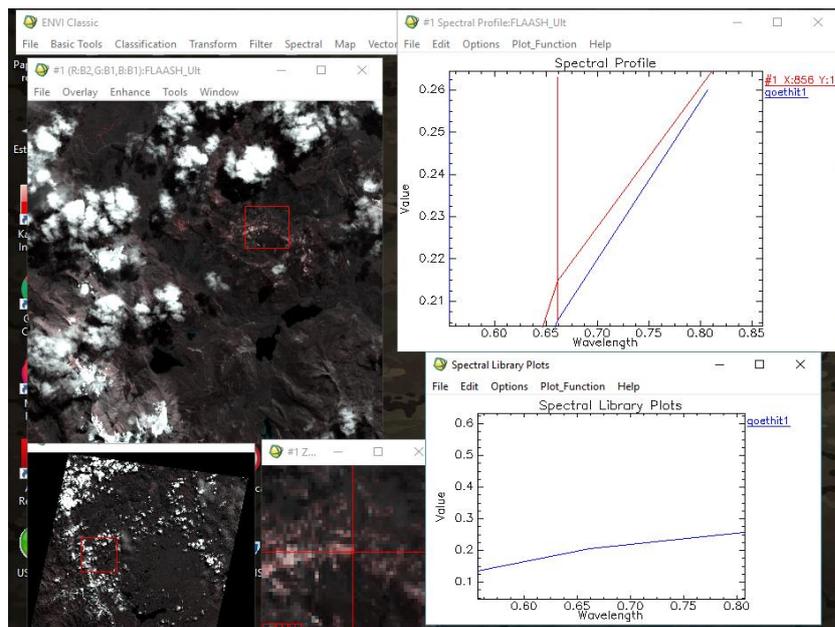
Operación Matemática: B2/B1

Información: Anomalías en cuaternario

Combinación: Band Ratios (or) PCA

GráficoN°70

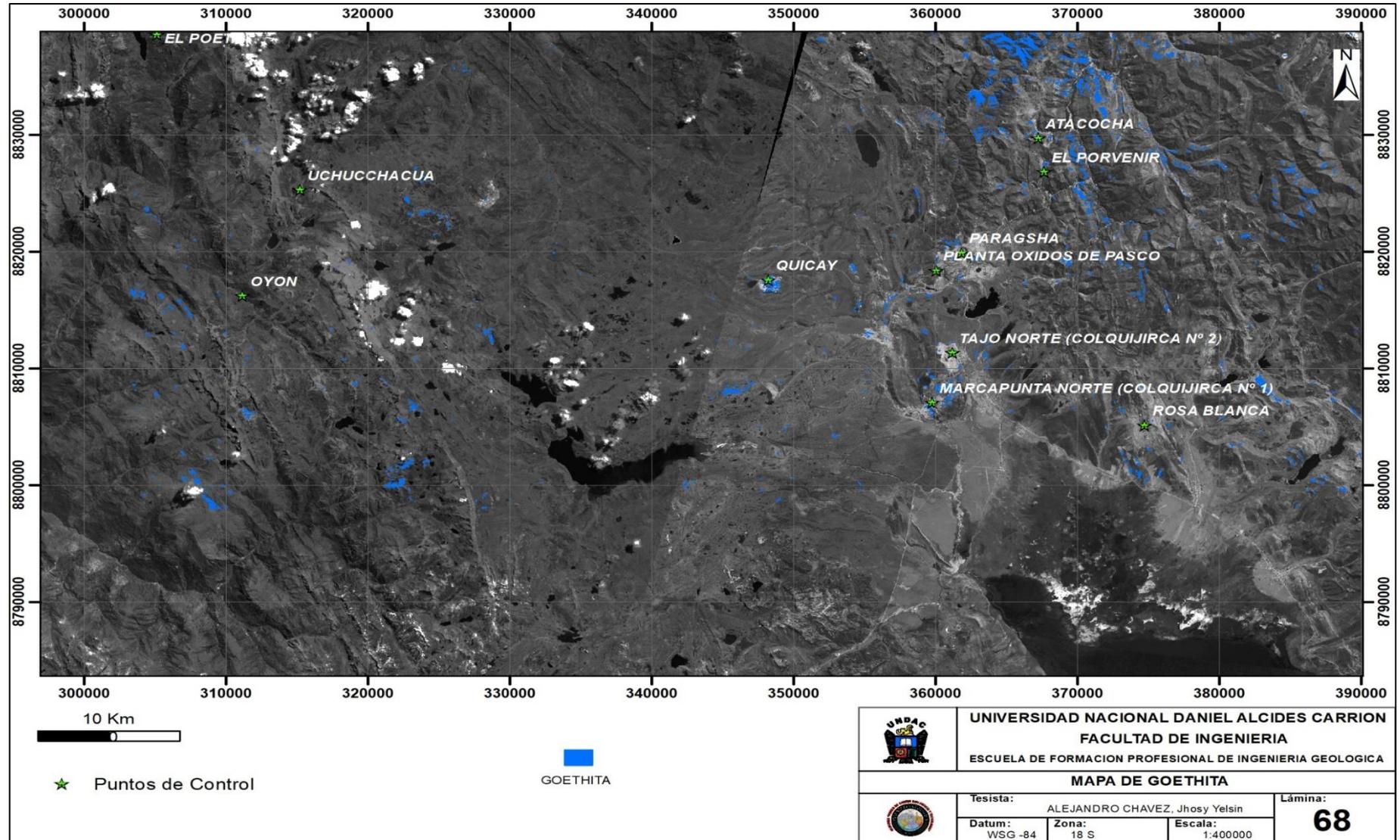
Análisis de firma espectral de la Goethita Aster 1LT



Nota: En la imagen (lado superior derecho) se muestra en línea roja la firma espectral de un píxel encontrado en la zona de Uchucchacua, esta muestra un valor bajo de reflectancia, esto indica absorción de luz, común en minerales con presencia de hierro, en línea azul la firma espectral característico de la goethita, ambas se correlacionan en un aumento en reflectancia a medida que la longitud de onda aumenta, la forma de la curva sugiere una correspondencia en el comportamiento espectral general. Fuente Propia.

GráficoN°71

Anomalía de Goethita en la escena



Nota: En la imagen vemos la concentración de Goethita en Marcapunta, Quicay, Colquijirca, Uchucchacua. Fuente Propia.

4.2.2.5. Mascara de Arcillas

4.2.2.5.1. Mascara de Alunita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B3-B5-B7

Seleccionada: B7

Información: Anomalías en agua y nubes

Técnica: Band Ratios

Operación Matemática: B4/B6

Información: Anomalías sale en cuaternario

Técnica: Mapeo (MTFM)

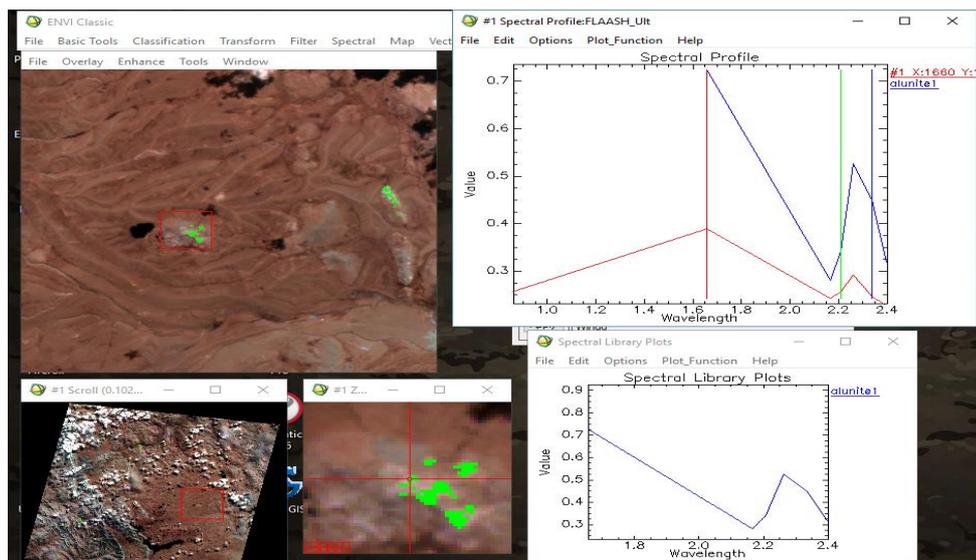
Seleccionada: SWIR

Cantidad: 98%

Combinación: Band Ratios (or) PCA

GráficoN°72

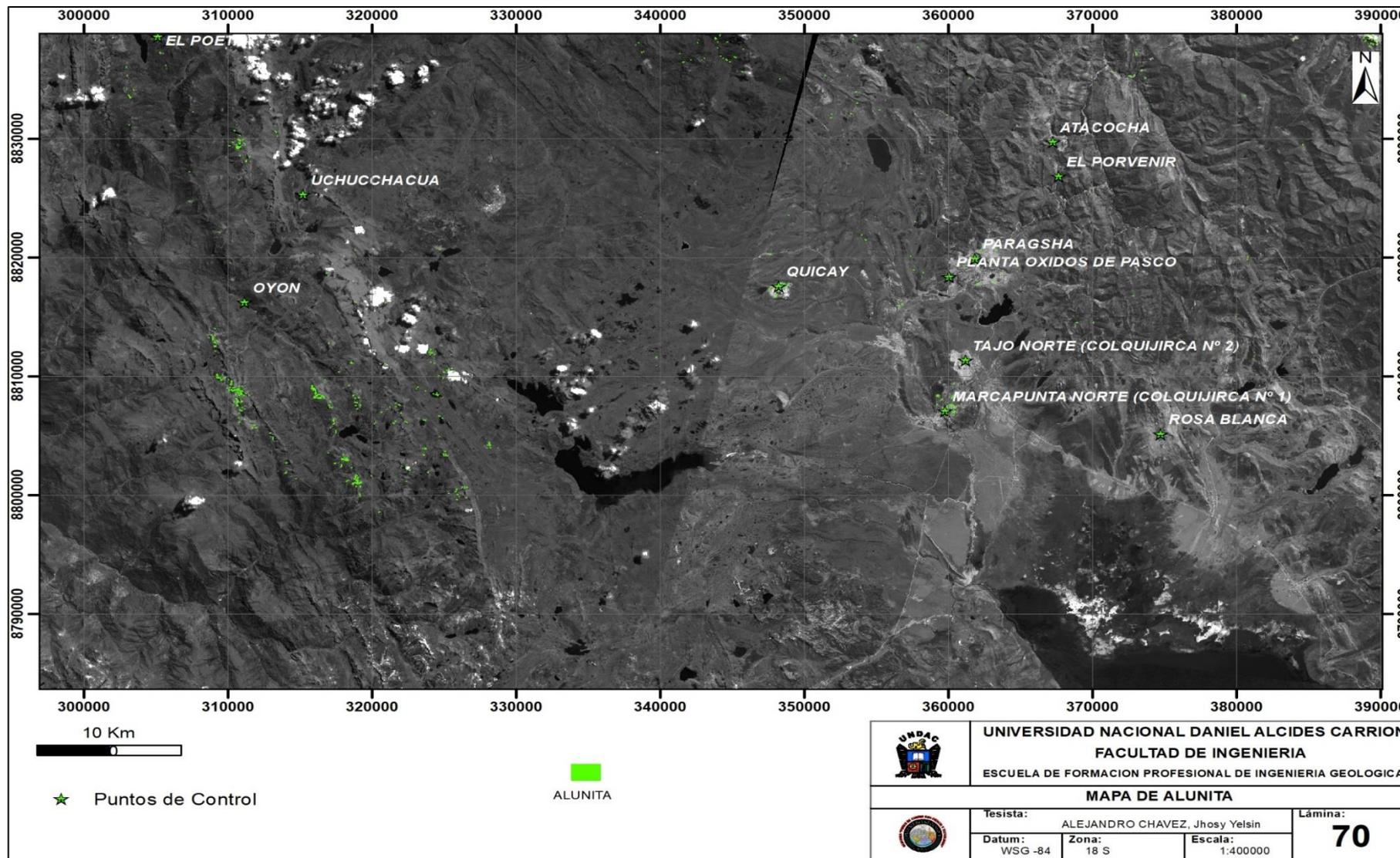
Análisis de firma espectral de la Alunita Aster 1LT



Nota: La imagen muestra el análisis espectral de la Alunita en Quicay. Fuente Propia.

Gráfico N°73

Anomalía de Alunita en la escena



Nota: La concentración de anomalías de Alunita se muestra Marcapunta, Quicay y Uchucchacua. Fuente: Propia.

4.2.2.5.2. *Mascara de Pirofilita*

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B2-B4-B6-B8

Seleccionada: B6

Información: Anomalías en nubes, vegetación.

Técnica: Band Ratios

Operación Matemática: $(B4+B6) / B3$

Información: Las anomalías eran mínimas en los puntos de control, en cuaternario.

Técnica: Mapeo (MTFM)

Seleccionadas: B4-B5-B6-B7-B8-B9

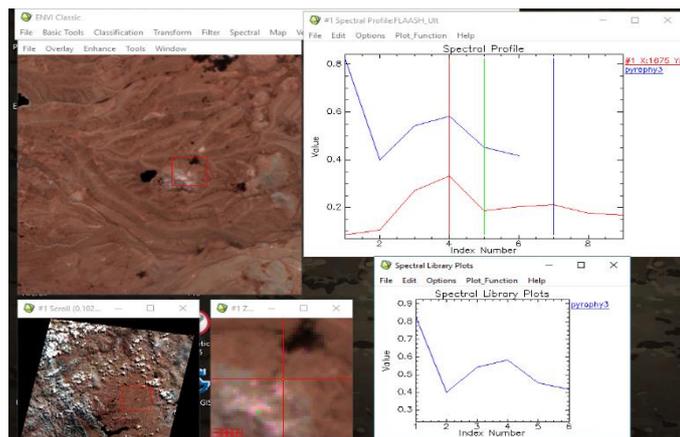
Cantidad: 98%

Información: Anomalías agua y nube

Combinación: PCA- Band Ratios-MTFM

GráficoN°74

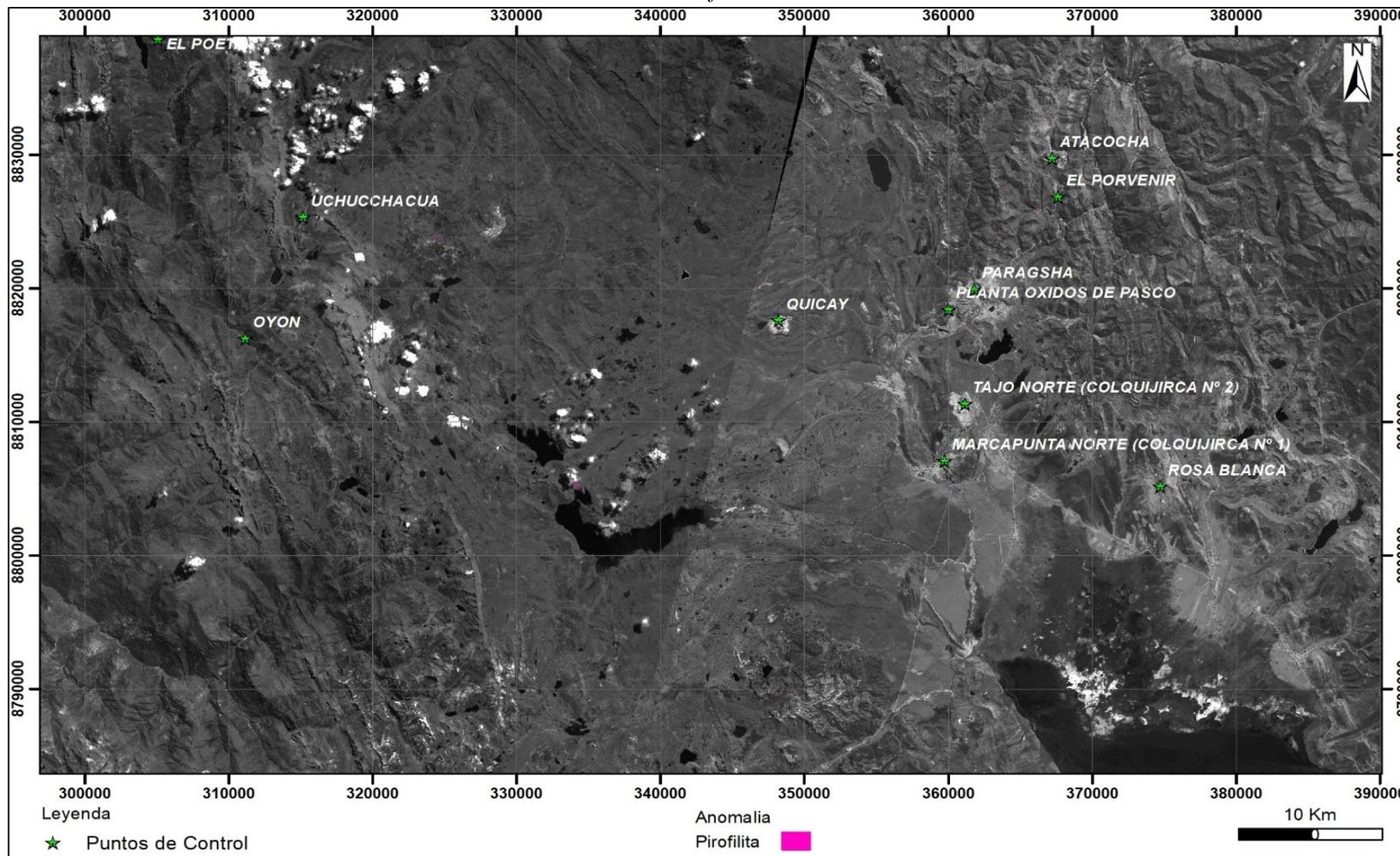
Análisis de firma espectral de la Pirofilita Aster 1LT



Nota: La imagen presenta el análisis espectral de la Pirofilita en la zona de Quicay. Fuente Propia.

GráficoN°75

Anomalía de Pirofilita en la escena



Nota: La concentración de Pirofilita en Quicay, Marcapúnta y Uchucchacua. Fuente: Propia

4.2.2.5.3. *Mascara de Dickita*

Técnica: Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B4-B6-B7

Seleccionada: B7

Información: Anomalías en nubes

Técnica: Band Ratios

Operación Matemática: B4/B6

Información: Anomalías en agua y nubes

Técnica: Mapeo (MTFM)

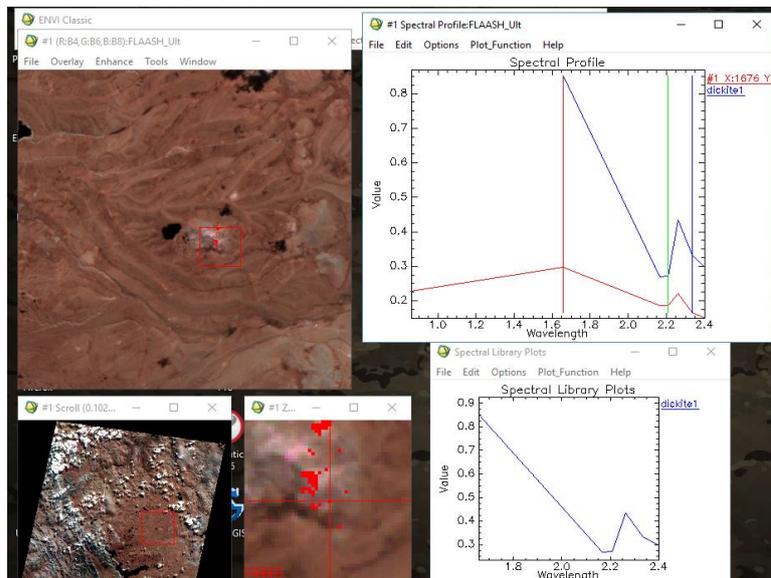
Seleccionada: B4-B5-B6-B7-B8-B9

Cantidad: 98%

Combinación: PCA-Band Ratios-MTFM

GráficoN°76

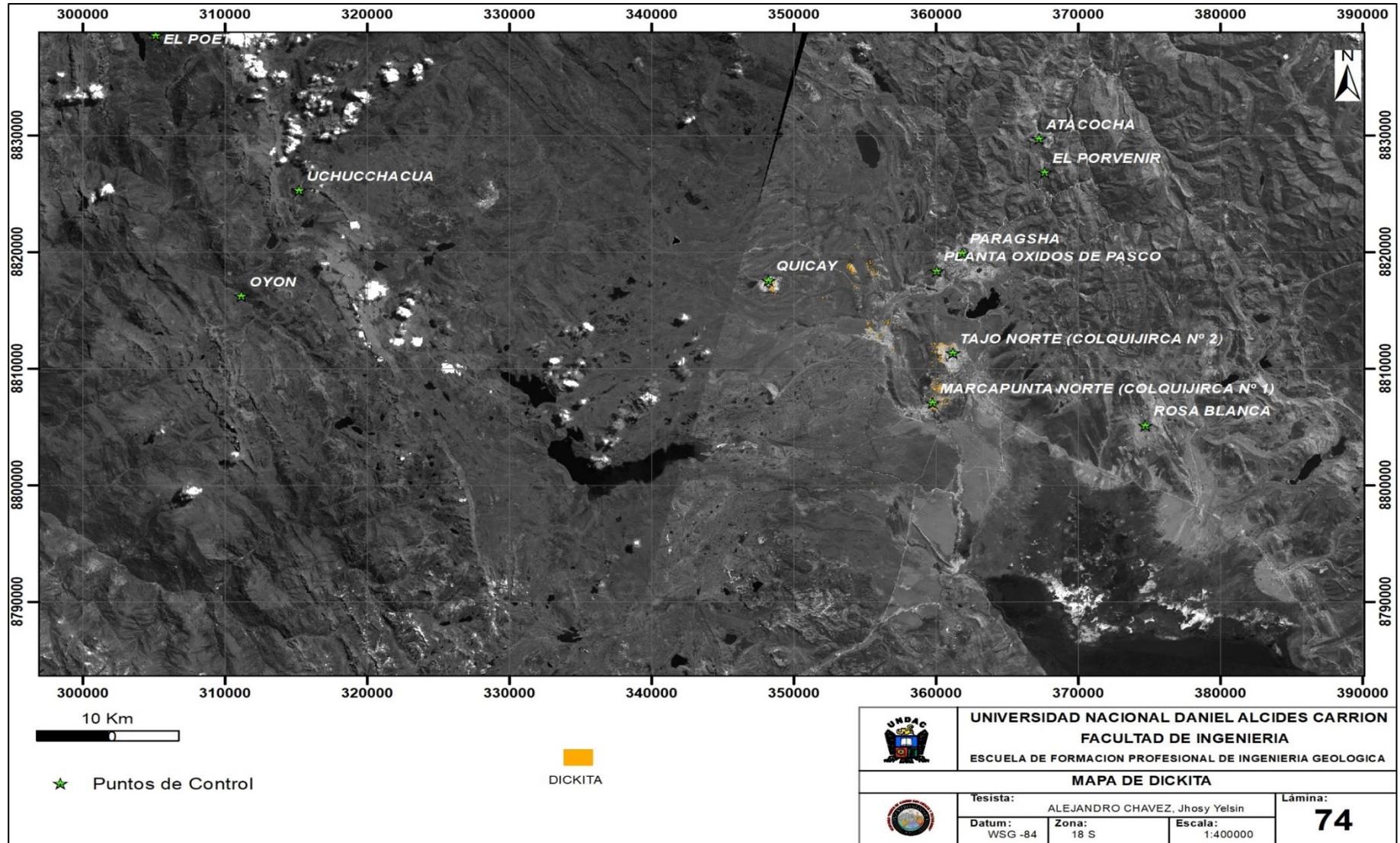
Análisis de firma espectral de la Dickita Aster 1LT



Nota: La imagen muestra el análisis espectral de la Dickita en Quicay. Fuente Propia.

GráficoN°77

Anomalía de Dickita en la escena



Nota: Anomalías de Dickita con mayor concentración en puntos de control, de depósito tipo epitermal, Colquijirca y Quicay. Fuente: Propia.

4.2.2.5.4. Mascara de Caolinita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1, B2, B3

Seleccionada: B3

Información: Anomalías en agua y nubes

Técnica: Band Ratios

Operación Matemática: B6/B7

Información: Normalidad

GráficoN°78

Análisis de firma espectral de la Caolinita Aster ILT

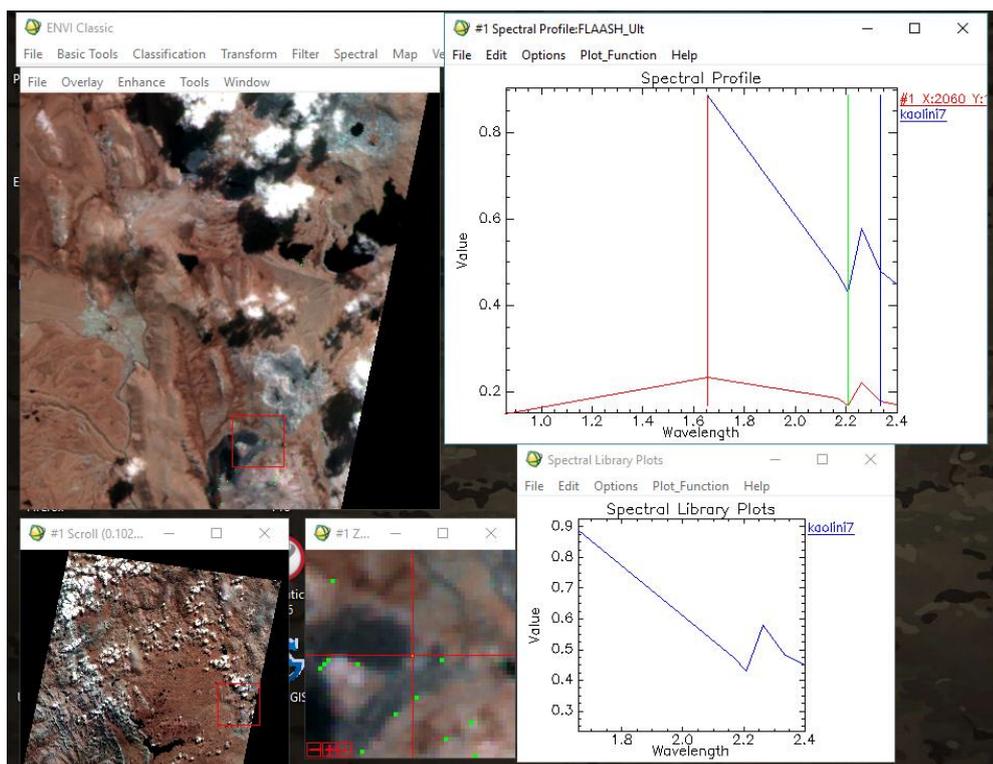
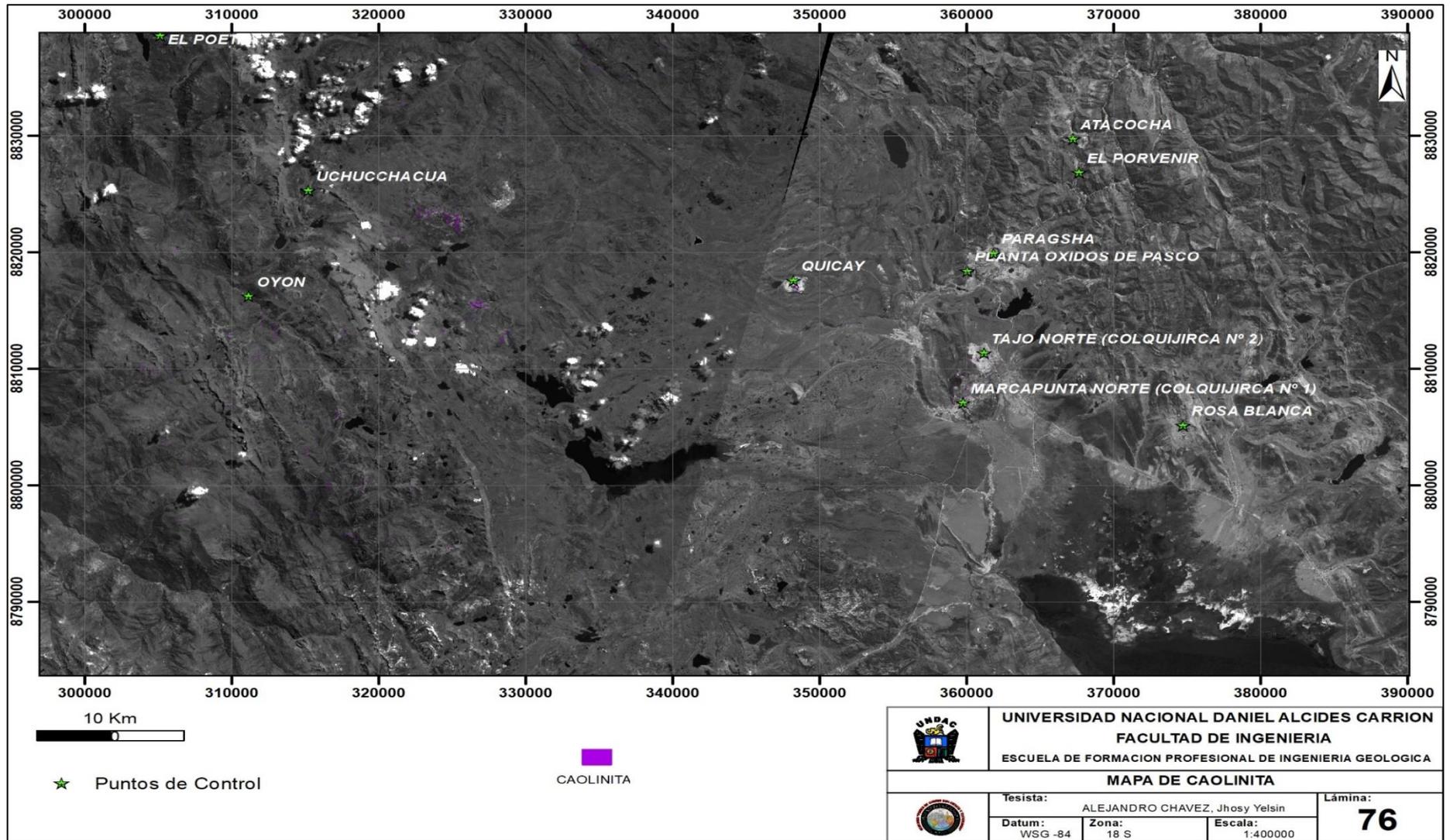


Fig. Nota: Análisis espectral de caolinita en Colquijirca Fuente Propia

GráficoN°79

Anomalía de Caolinita en la escena



Nota: La concentración de anomalías de Caolinita con mayor concentración al SE de Uchucchacua y Oyon. Fuente: Propia

4.2.2.5.5. Mascara de Moscovita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B1-B3-B5-B8

Seleccionada: B8

Información: Anomalías en nubes

Técnica: Band Ratios

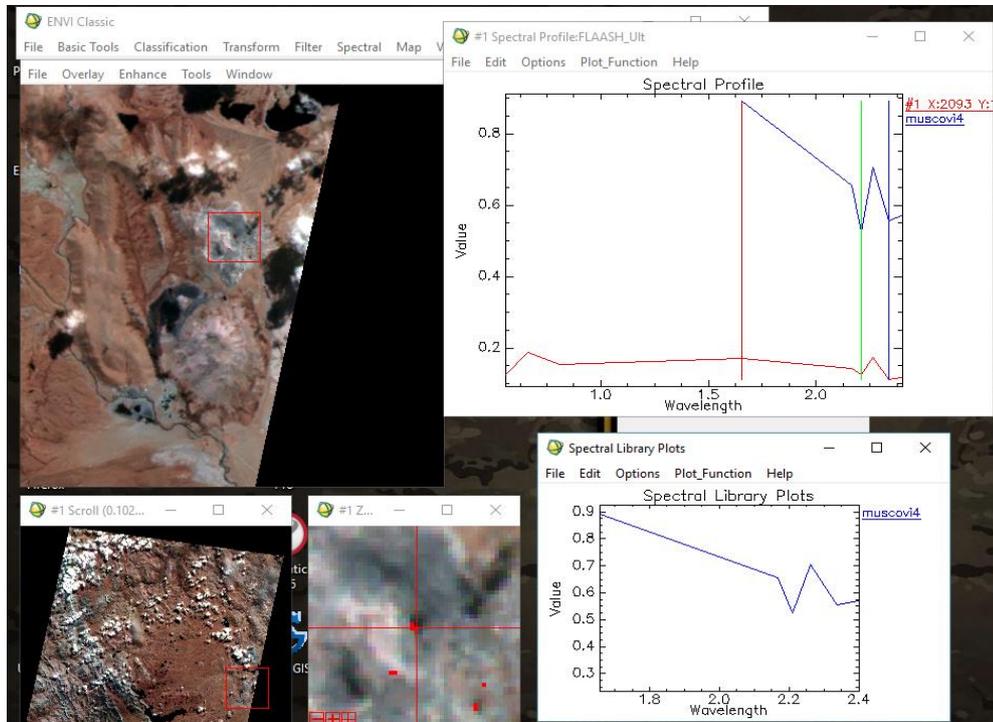
Operación Matemática: B7/B6

Información: Anomalías en cuaternario

Combinación: PCA – Band Ratios

GráficoN°80

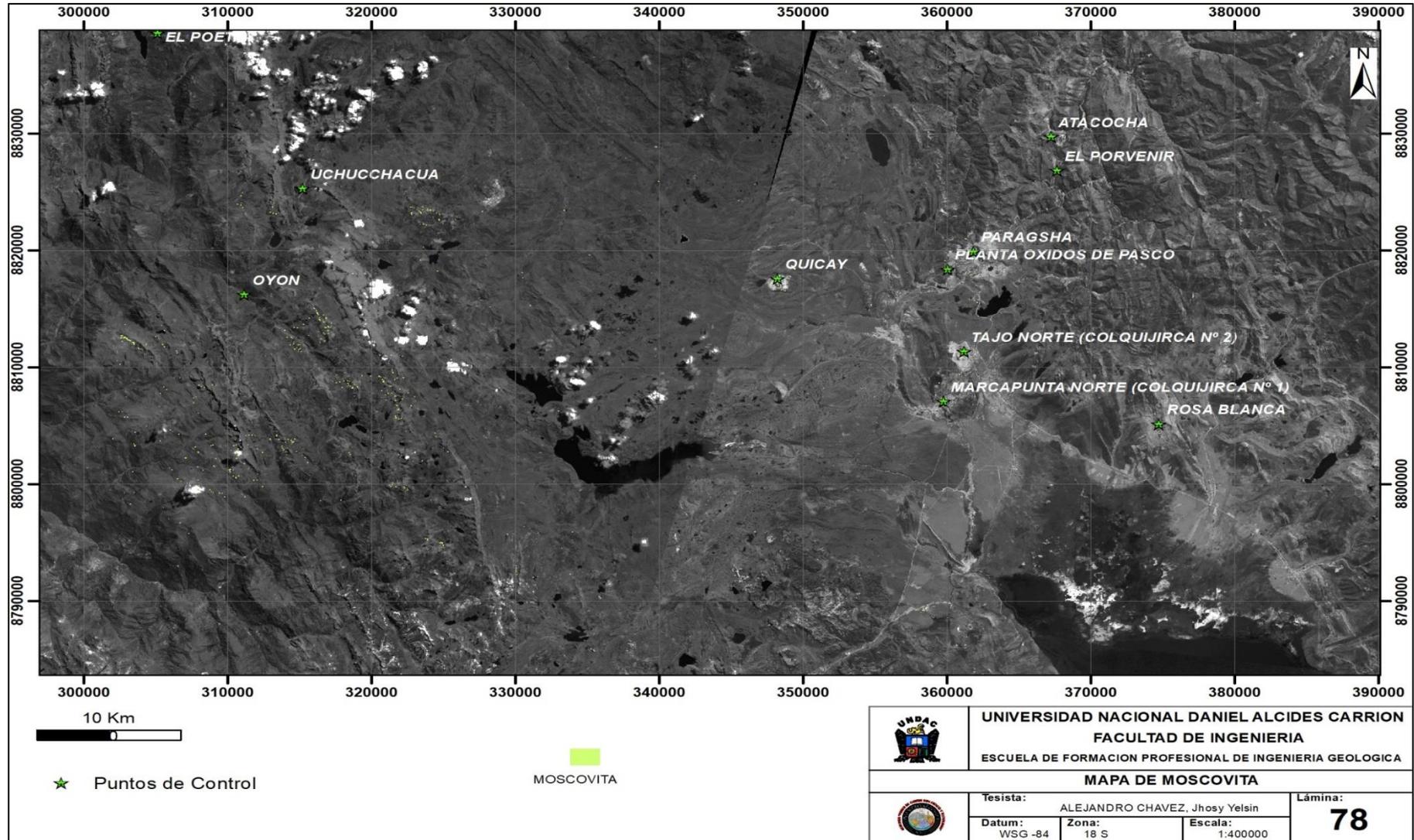
Análisis de firma espectral de la Moscovita Aster 1LT



Nota: Análisis espectral de moscovita en Cerro de Pasco. Fuente Propia

Gráfico N°81

Anomalía de Moscovita en la escena



Nota: La concentración mayor de anomalías de moscovita se encuentra en el centro minero de Uchucchacua y Oyon, pequeñas concentraciones en Quicay y Marcapunta
 Fuente: Propia

4.2.2.6. Mascara de Sílice y Carbonatos

4.2.2.6.1. Mascara de Dolomita – Calcita

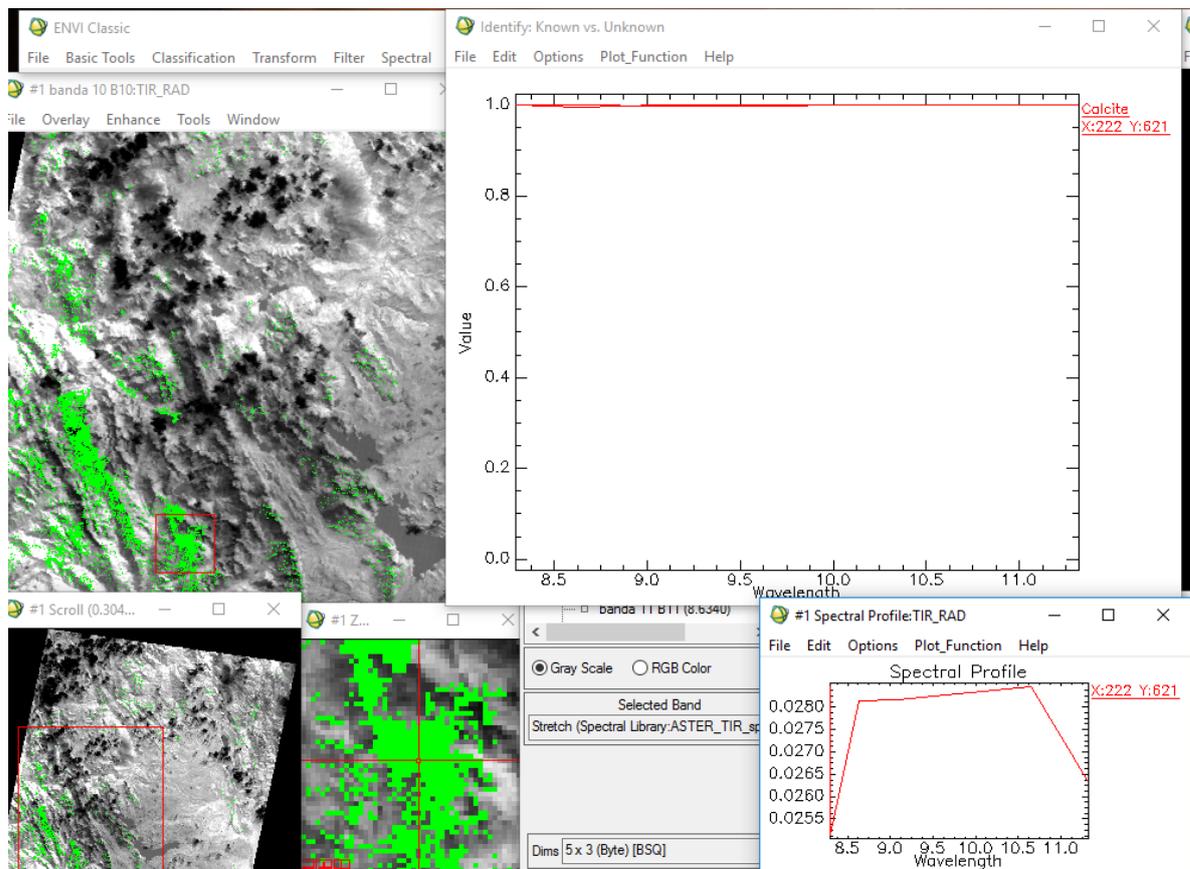
Técnica: Mapeo (MTFM)

Seleccionada: B10-B11-B12-B13-B14

Cantidad: 98%

GráficoN°82

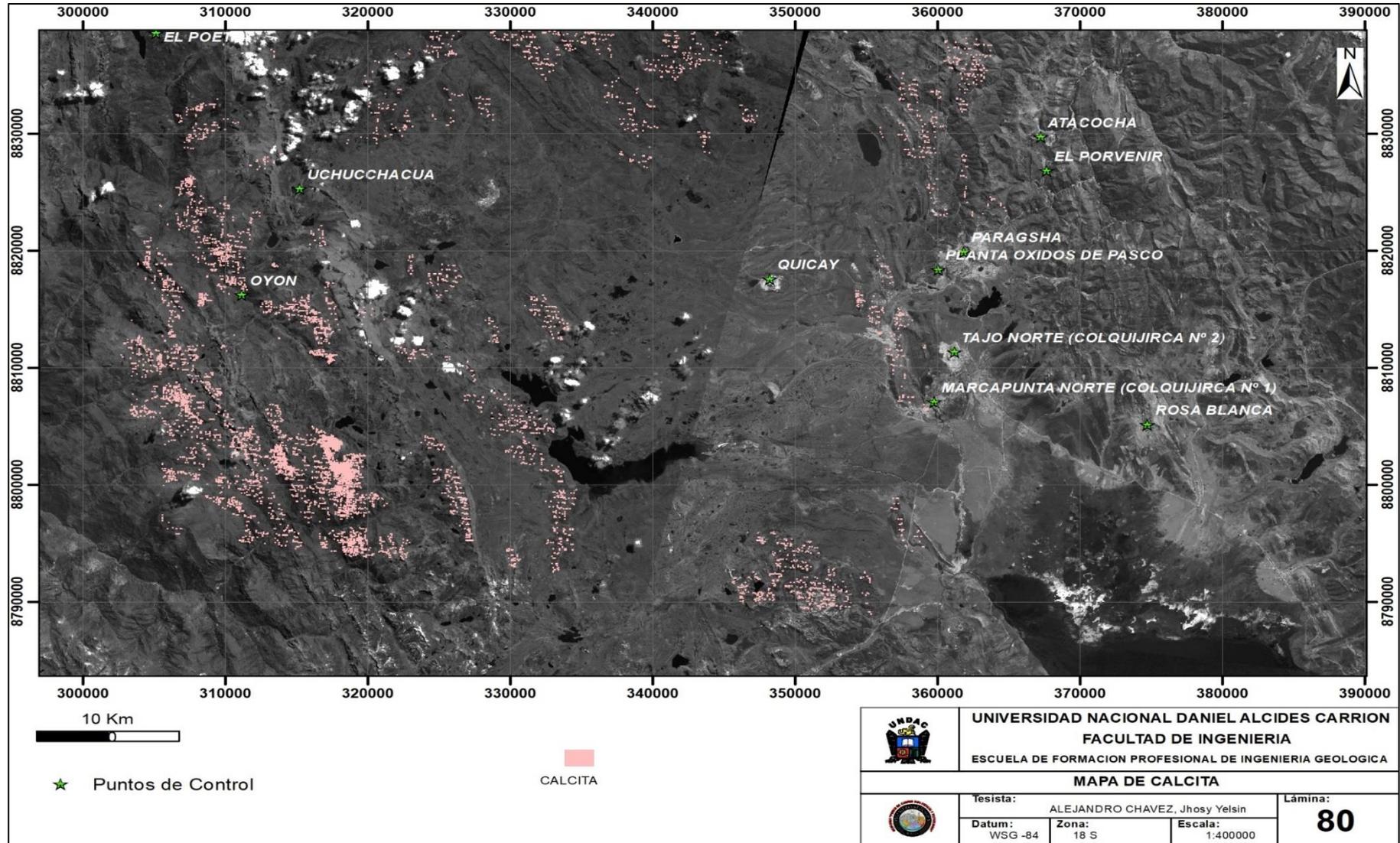
Análisis de firma espectral de la Calcita Aster 1LT



Nota: Análisis espectral de carbonatos al suroeste de la escena. Fuente: Propia

Gráfico N° 83

Anomalía de Calcita en la escena



Nota: Las anomalías de carbonatos están asociado al grupo de litología sedimentaria; en mayor concentración tenemos al SW de la escena. Fuente Propia.

4.2.2.6.2. Mascara de Cuarzo

Técnica: Band Ratios

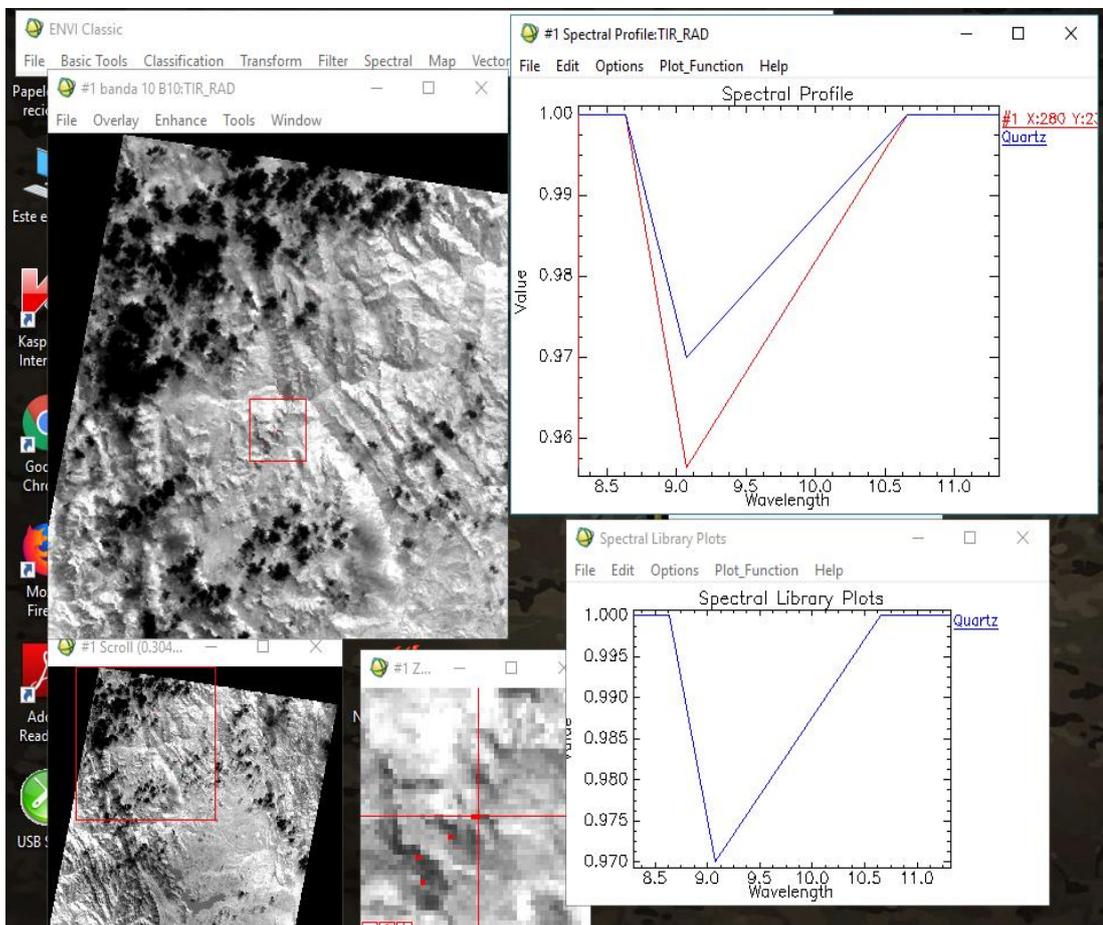
Operación Matemática: B14/B12

Información: Anomalías en Nubes

Combinación: PCA con la máscara Total

GráficoN°84

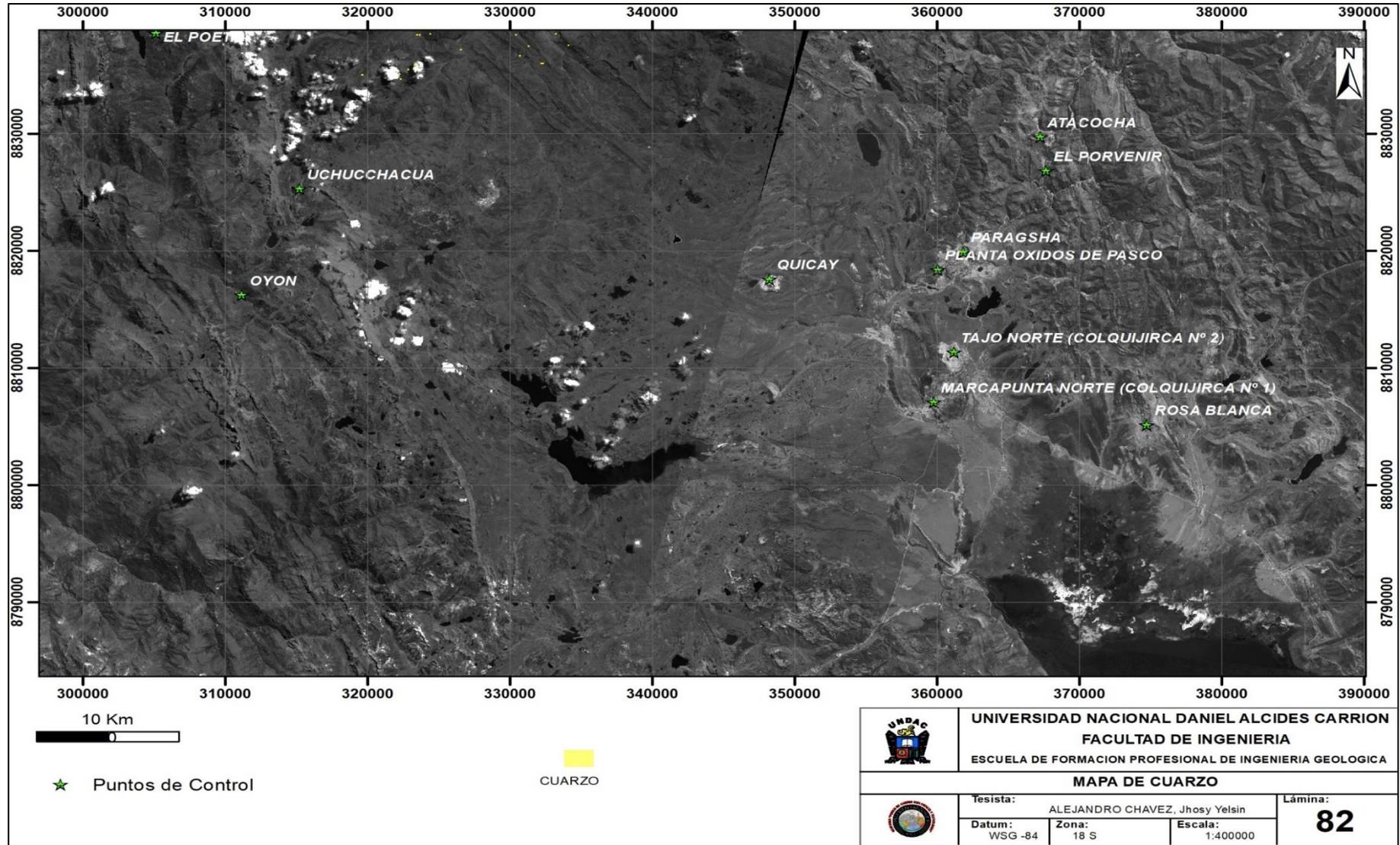
Análisis de firma espectral del Cuarzo Aster 1LT



Nota: Análisis espectral de cuarzo por la zona de Yanahuanca. Fuente Propia

Gráfico N°85

Anomalía de Cuarzo en la escena



Nota: La concentración de anomalía de cuarzo se presenta al NE de Uchucchacua. Fuente: Propia

4.2.2.6.3. *Mascara de Granates*

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B10-B12-B13

Seleccionada: B13

Información: Anomalías en nubes, agua y cuaternario

Técnica: Band Ratios

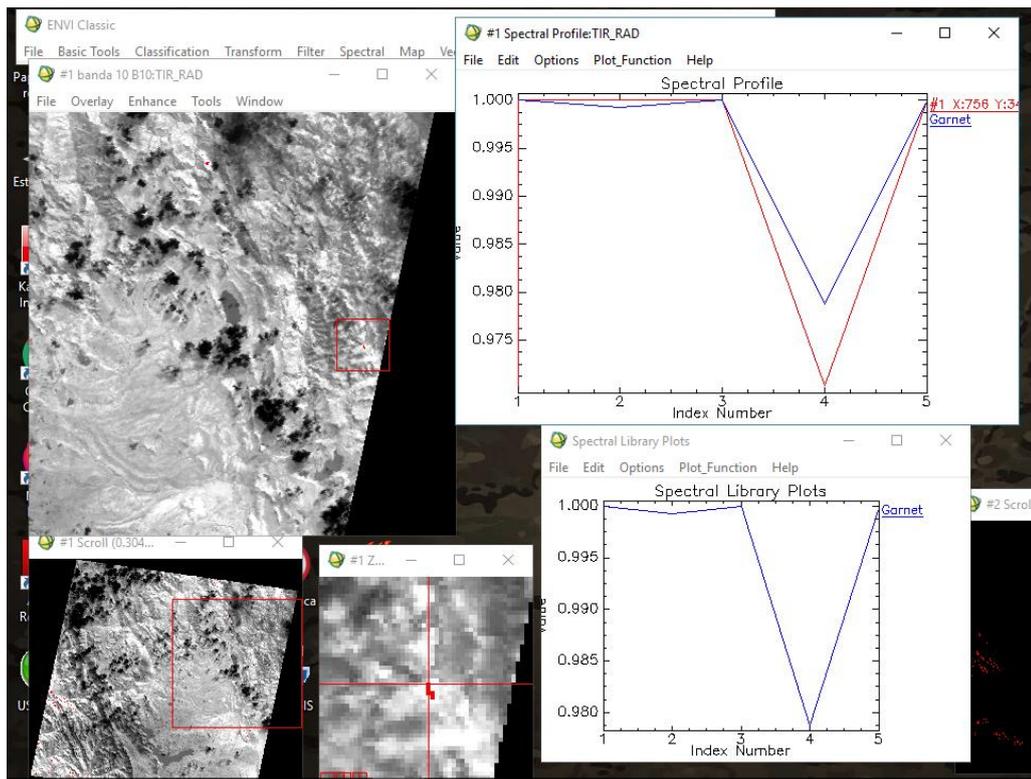
Operación Matemática: B12/B13

Información: Anomalías en cuaternario y calizas

Combinación: PCA- Band Ratios

GráficoN°86

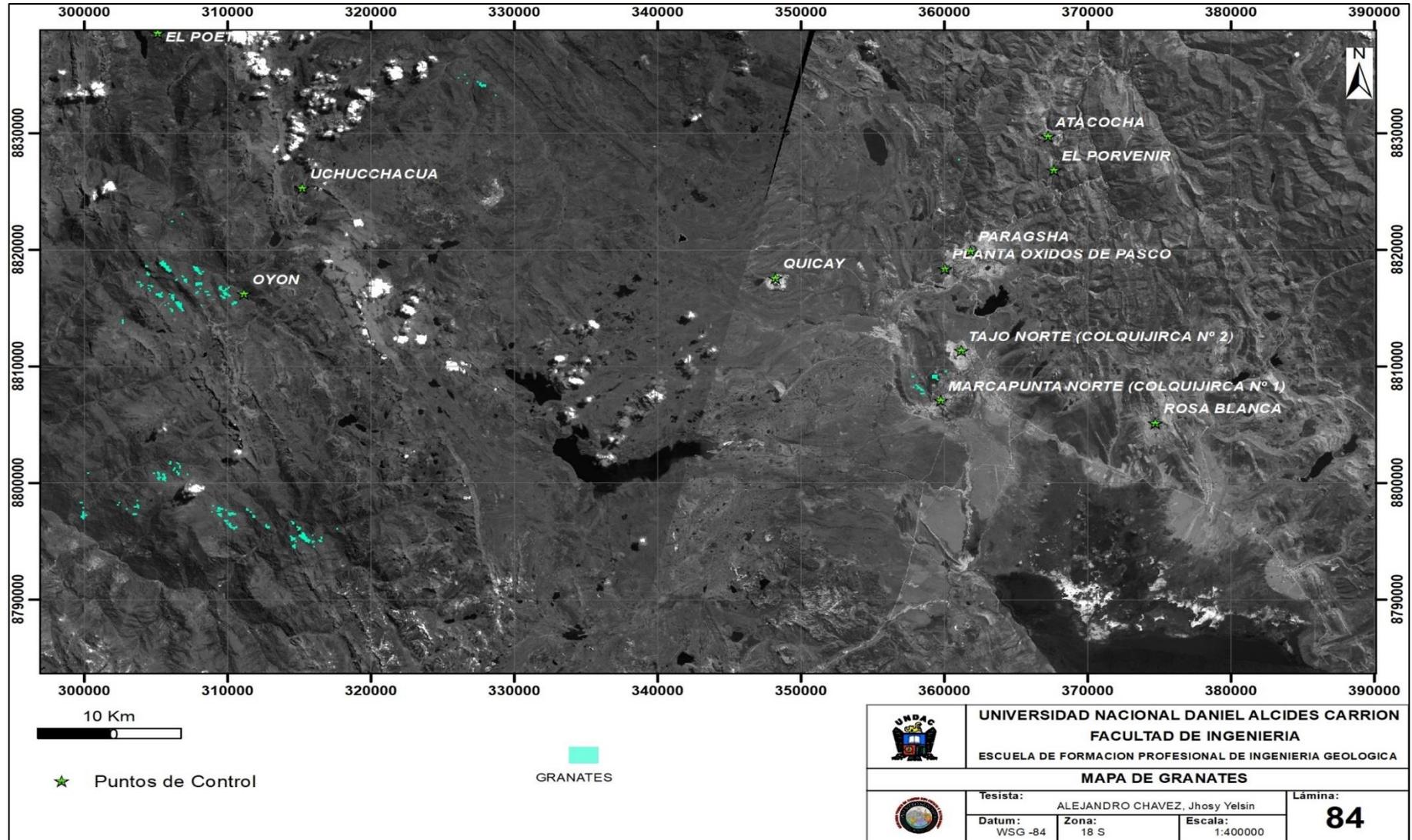
Análisis de firma espectral de Granates Aster 1LT



Nota: Análisis espectral de granates por Pallanchaca. Fuente: Propia

GráficoN°87

Anomalía de Granates en la escena



Nota: La concentración de Anomalías de Granates tenemos hacia el SW de Oyon y Uchucchacua. Fuente: Propia

4.2.3. Mascara de Anomalías en el sensor Sentinel 2A

4.2.3.1. Mascara de Óxidos

4.2.3.1.1. Mascara de Goethita

Técnica: Mapeo (MTFM)

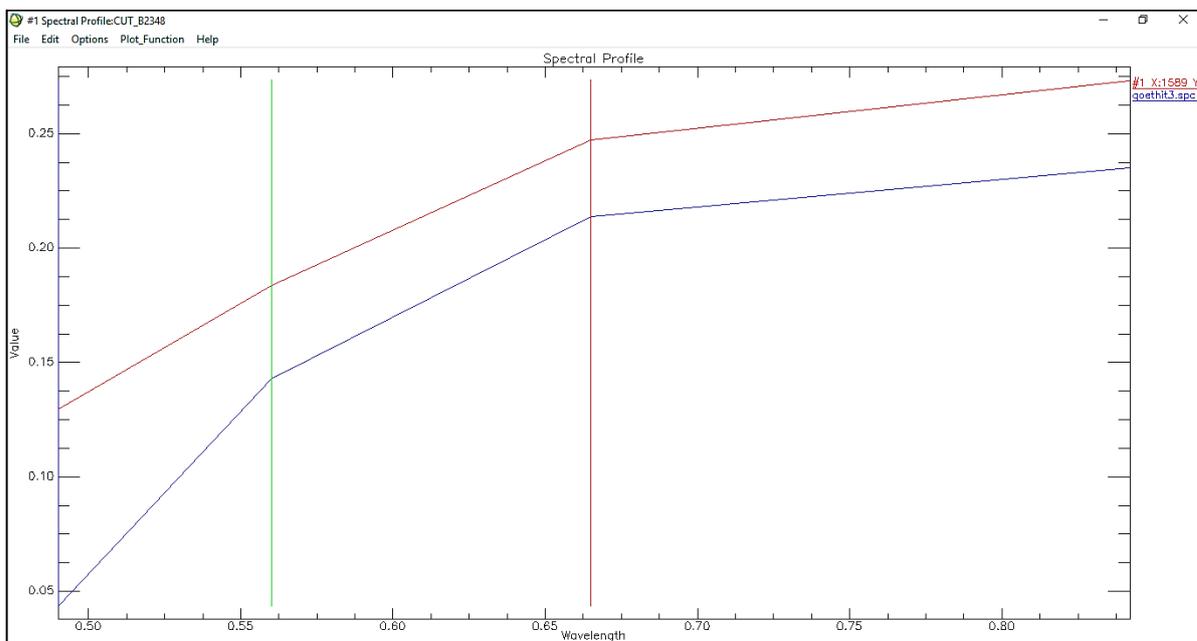
Para iniciar el proceso: B2-B3-B4-B8 (10m)

Librería: Goethita 1 y 3

Usamos goethita 2 al 99% y para comparar la firma se usó goethita 3, de la librería.

GráficoN°88

Análisis de firma espectral de Goethita Sentinel2A

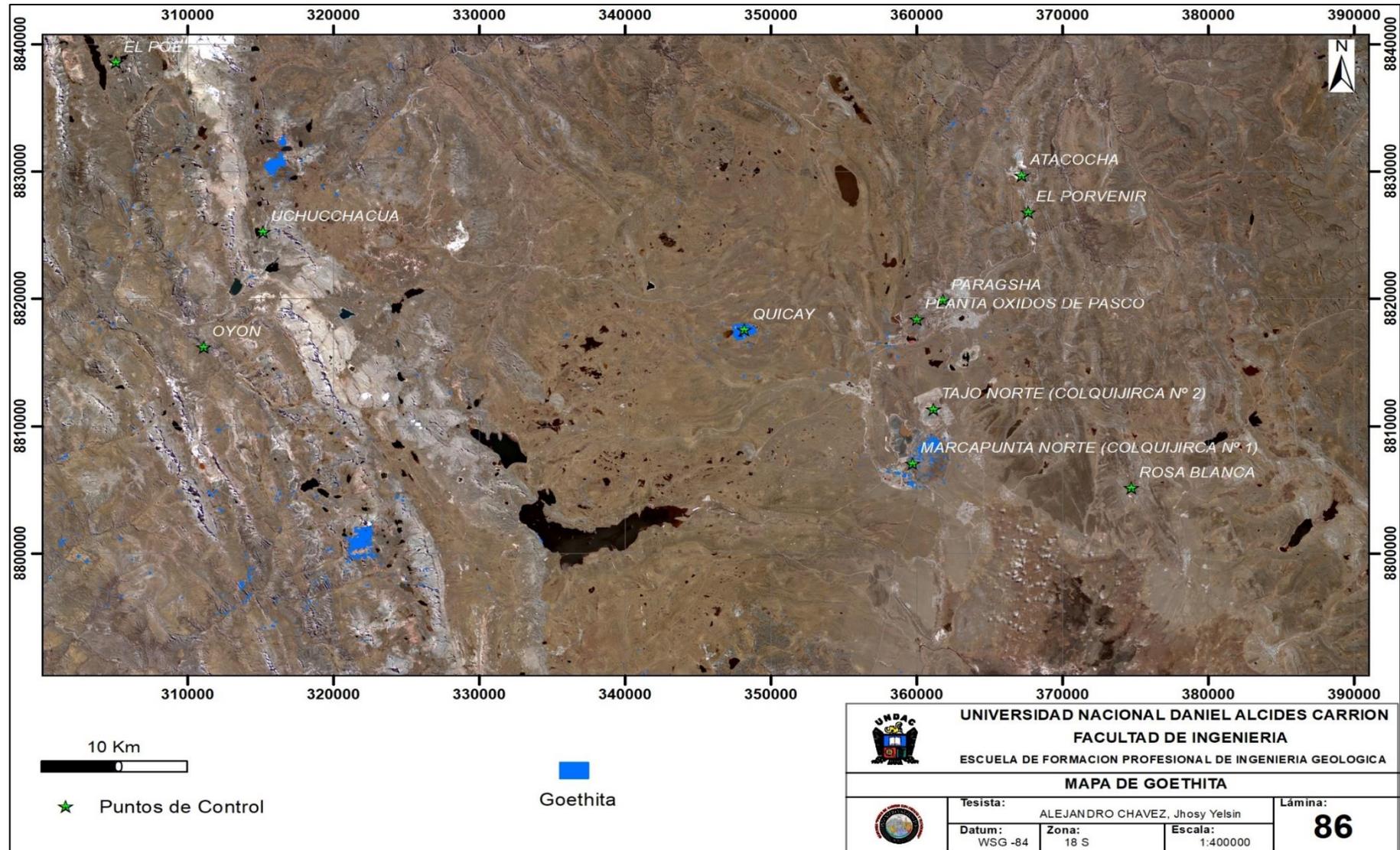


Nota: Análisis espectral en un punto de control en quicay comparación de firmas espectrales. Fuente:

Propia

GráficoN°89

Anomalía de Goethita en la escena



Nota: La concentración de Goethita en la zona de Marcapunta, y Quicay Fuente: Propia

4.2.3.1.2. Mascara de Jarosita

Técnica: Análisis de Componentes principales (PCA)

Para iniciar el proceso: B2-B3-B4-B8 (10m)

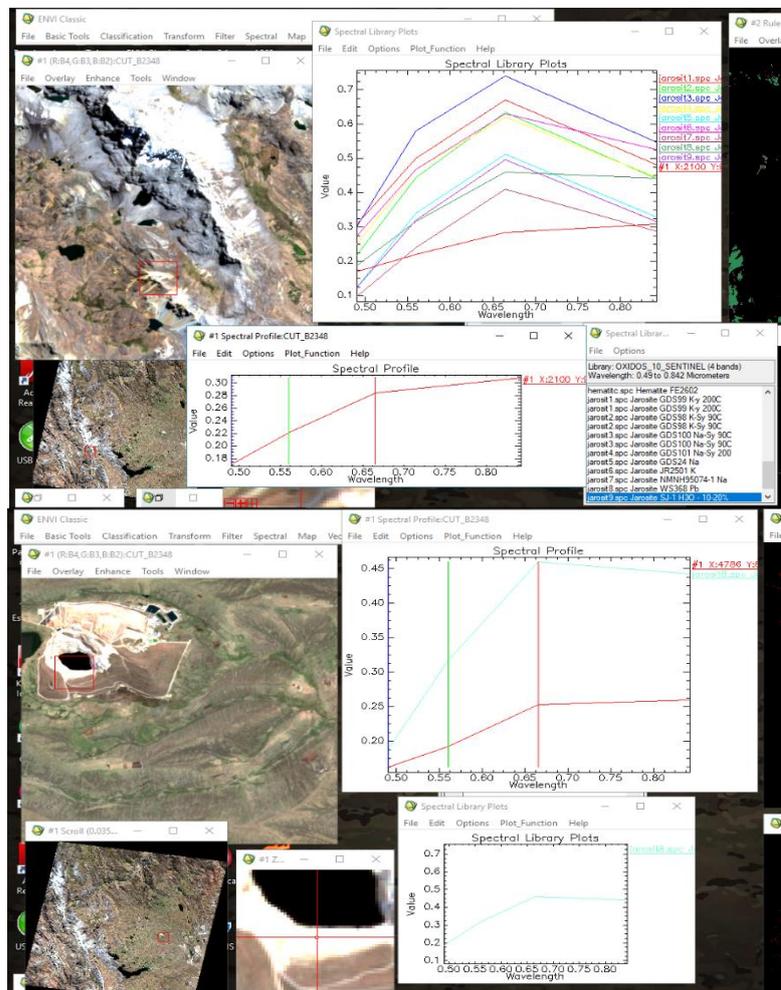
Técnica: Mapeo (MTFM)

Librería: Jarosita 8.

Usamos la jarosita 7 al 99% en comparación con la firma espectral de la librería.

GráficoN°90

Análisis de firma espectral de Jarosita Sentinel2A

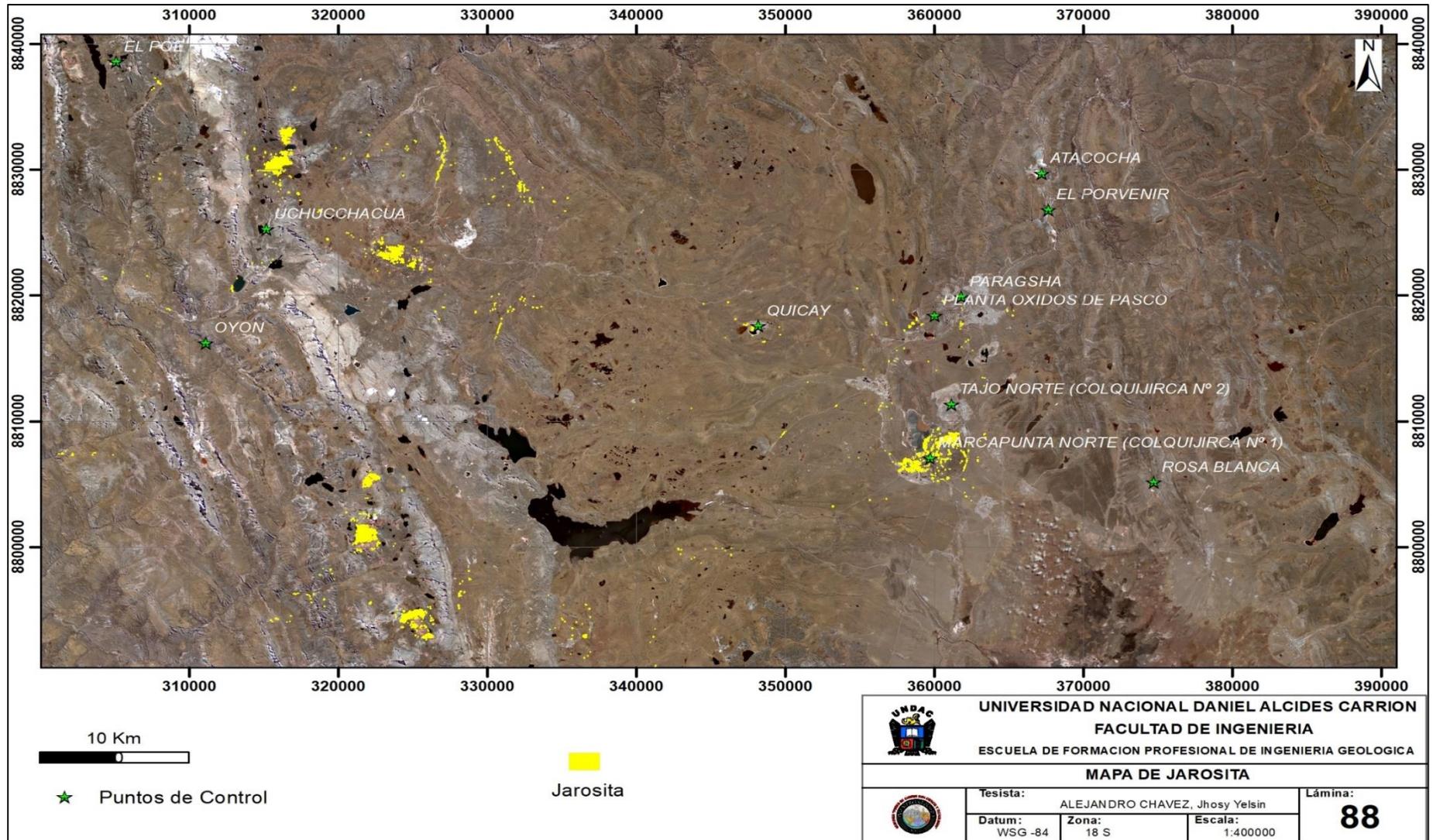


Nota: Utilizamos jarosita 7 con la firma espectral de la librería jarosita 8 Fuente:

Propia

GráficoN°91

Anomalía de Jarosita en la escena



Nota: Concentración de Jarosita en las zonas de Marcapunta, Quicay y Uchucchacua Fuente: Propia

4.2.3.1.3. Mascara de Hematita

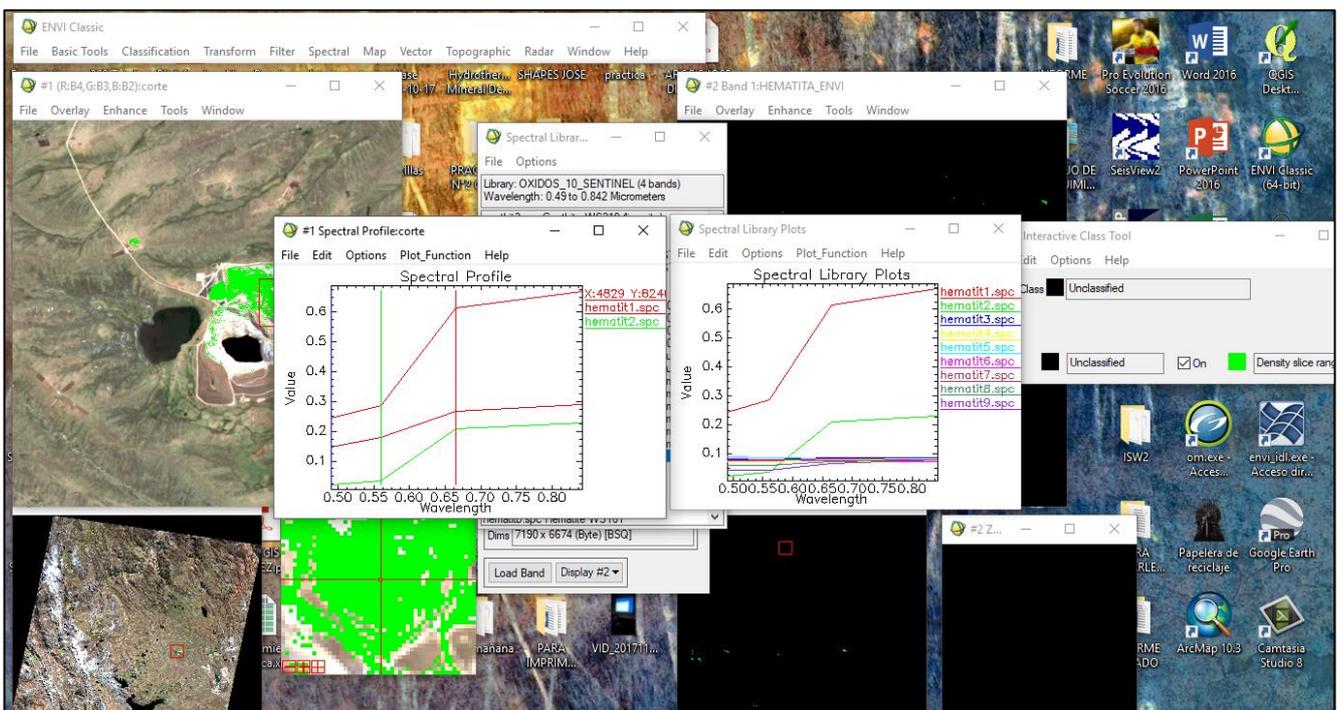
Técnica: Mapeo (MTFM)

Librería: Hematita 9

Comparación de la firma espectral con las anomalías en Quicay, lo cual coincide con la hematita 9.

GráficoN°92

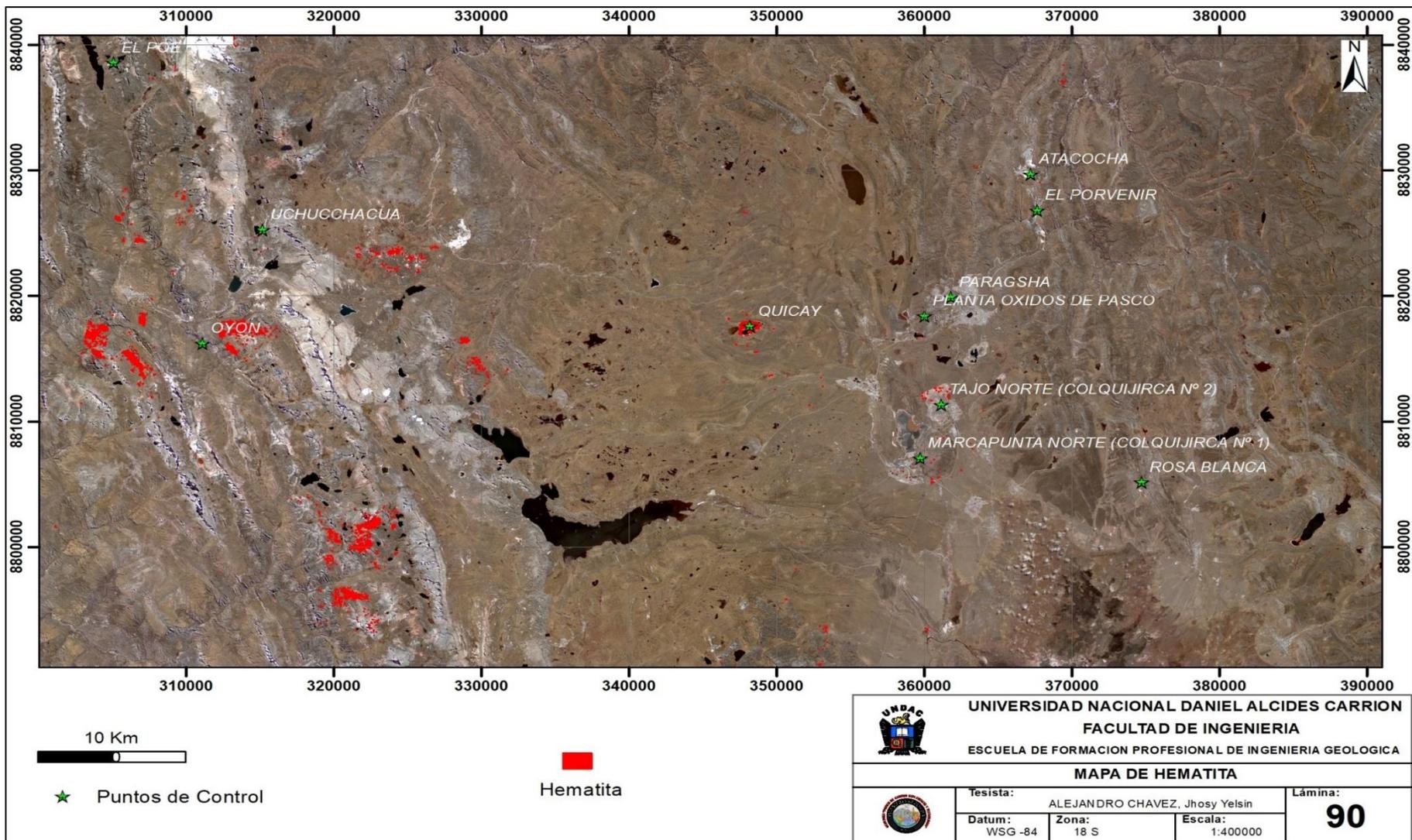
Análisis de firma espectral de Hematita Sentinel2A



Nota: Comparación de la firma espectral en Quicay y hematita 9, ambos coinciden. Fuente: Propia.

GráficoN°93

Anomalía de Hematita en la escena



Nota: Concentración de hematita en distintos puntos de la zona: Propia.

4.2.3.1.4. Mascara de Limonita

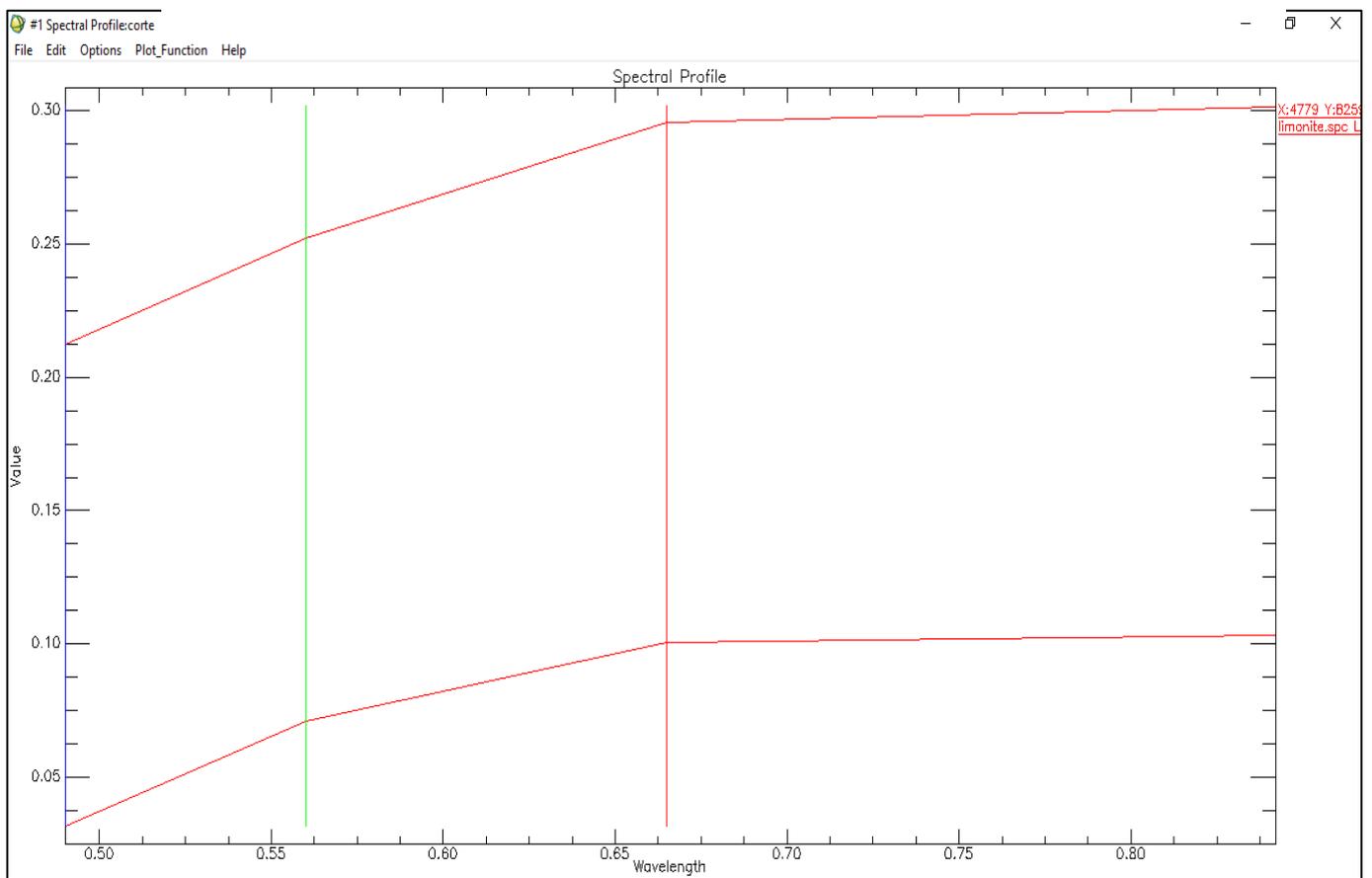
Técnica: Mapeo (MTFM)

Librería: limonita 9

Comparación de la firma espectral con las anomalías en Quicay, lo cual coincide con la limonita.

GráficoN°94

Análisis de firma espectral de Limonita Sentinel2A

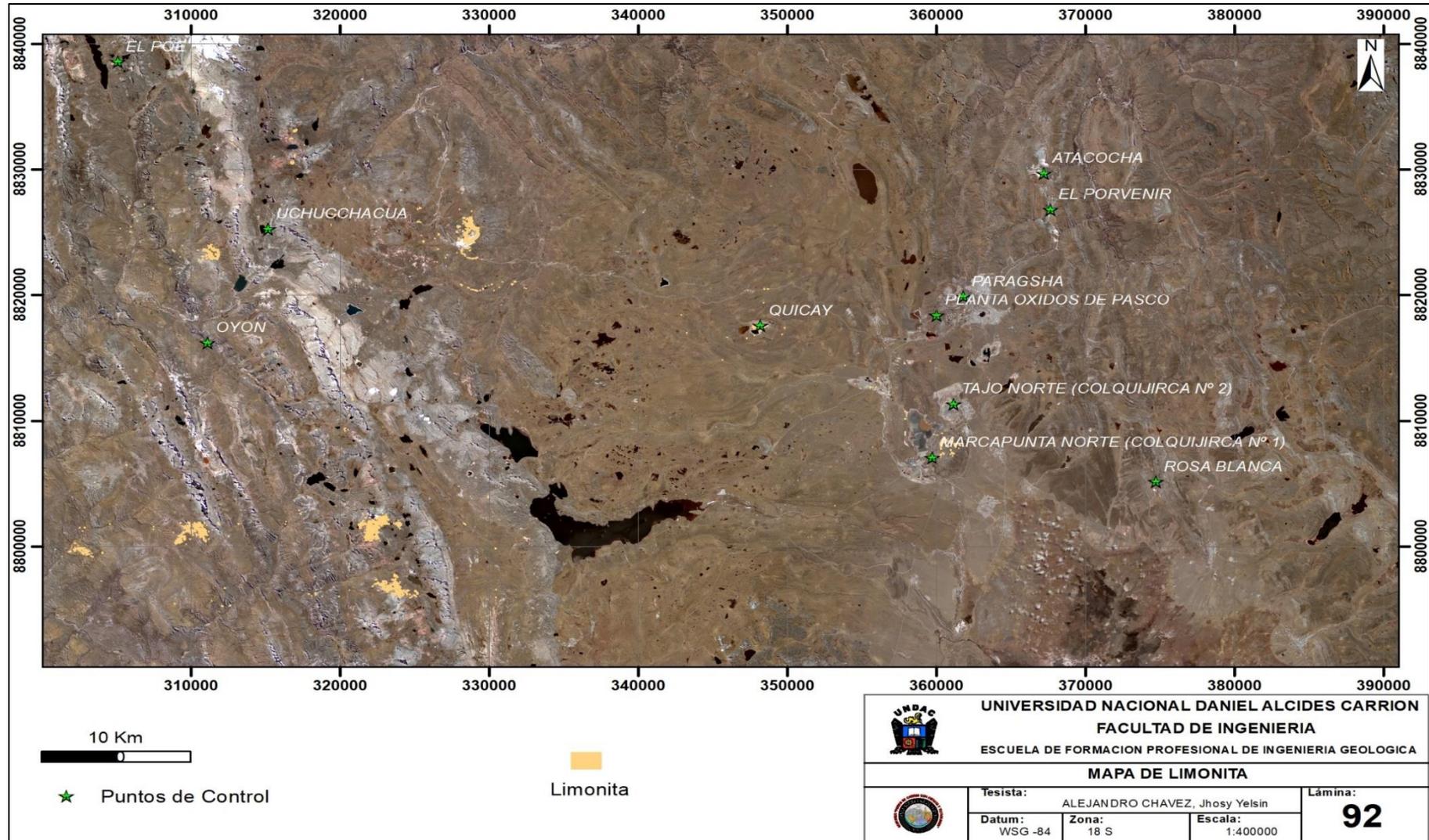


Nota: Análisis espectral en un punto de control en Quicay comparación de firmas espectrales. Fuente:

Propio.

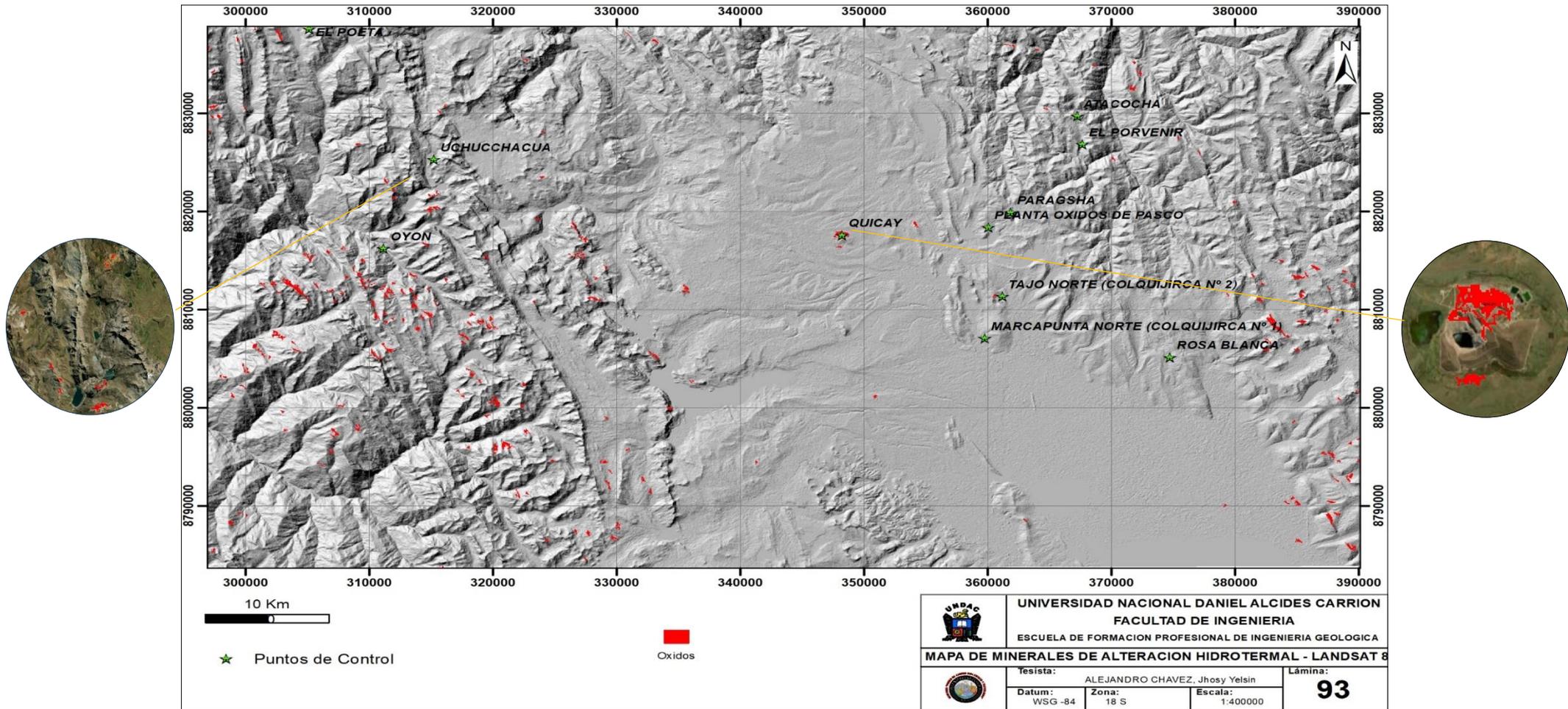
Gráfico N°95

Anomalía de Limonita en la escena



Nota: Concentración de Limonita en Quicay, al S de Uchucchacua y Oyon, Fuente Propia.

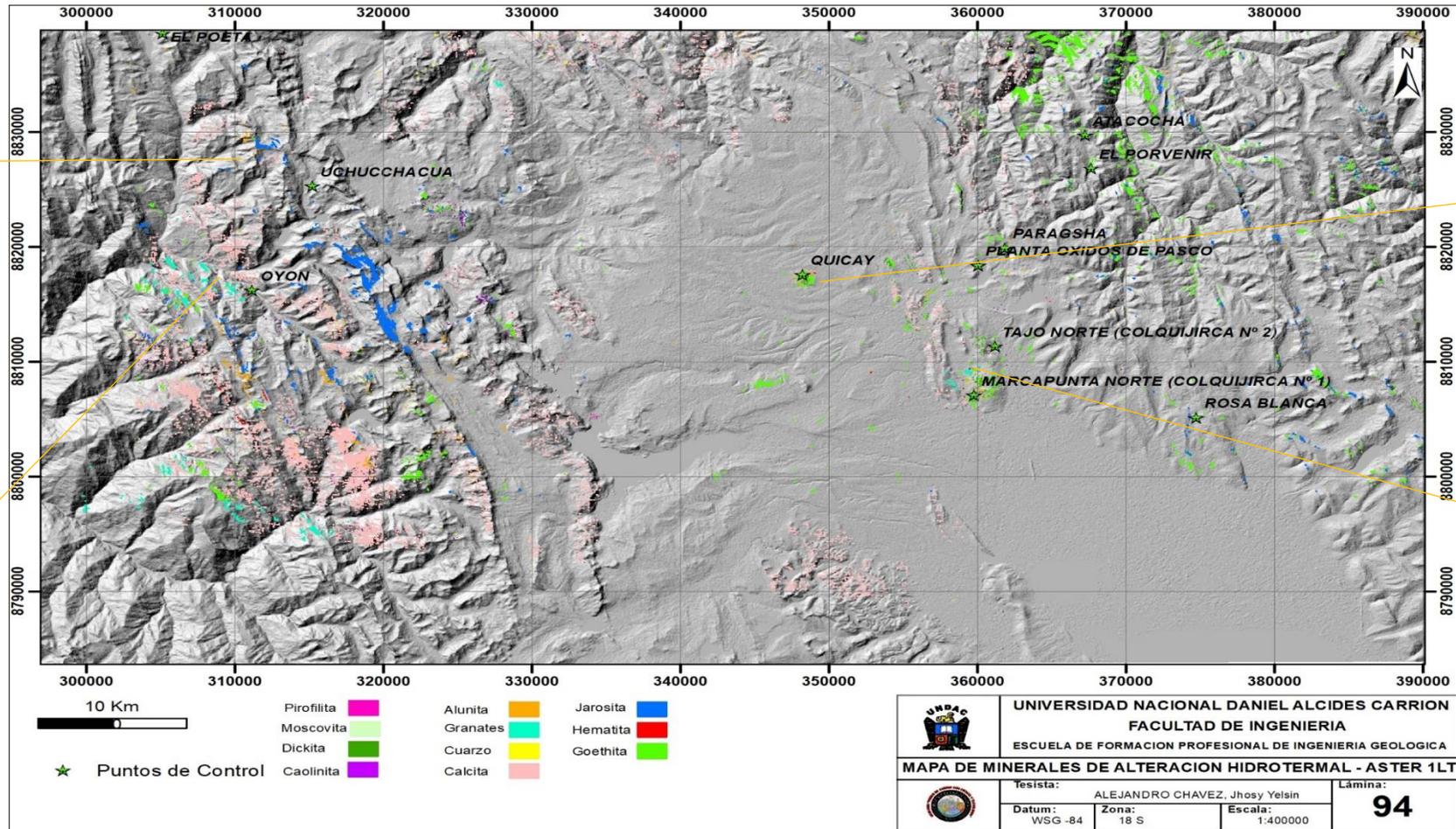
Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Landsat 8



Nota: En la zona de estudio observamos que en los puntos de control la anomalía de óxidos, son marcadas en Quicay, Uchucchacua y Oyón, el análisis de minerales en el sensor Landsat 8 por el método de componentes principales, nos determina un zoneamiento característico general de los depósitos minerales, la presencia de óxidos en la escena pueden indicar zonas de enriquecimientos de minerales, donde los minerales sulfuros primarios se han oxidado en la parte superior, seguida por una zona de transición y luego la zona de sulfuros primarios. Fuente: Propia.

GráficoN°97

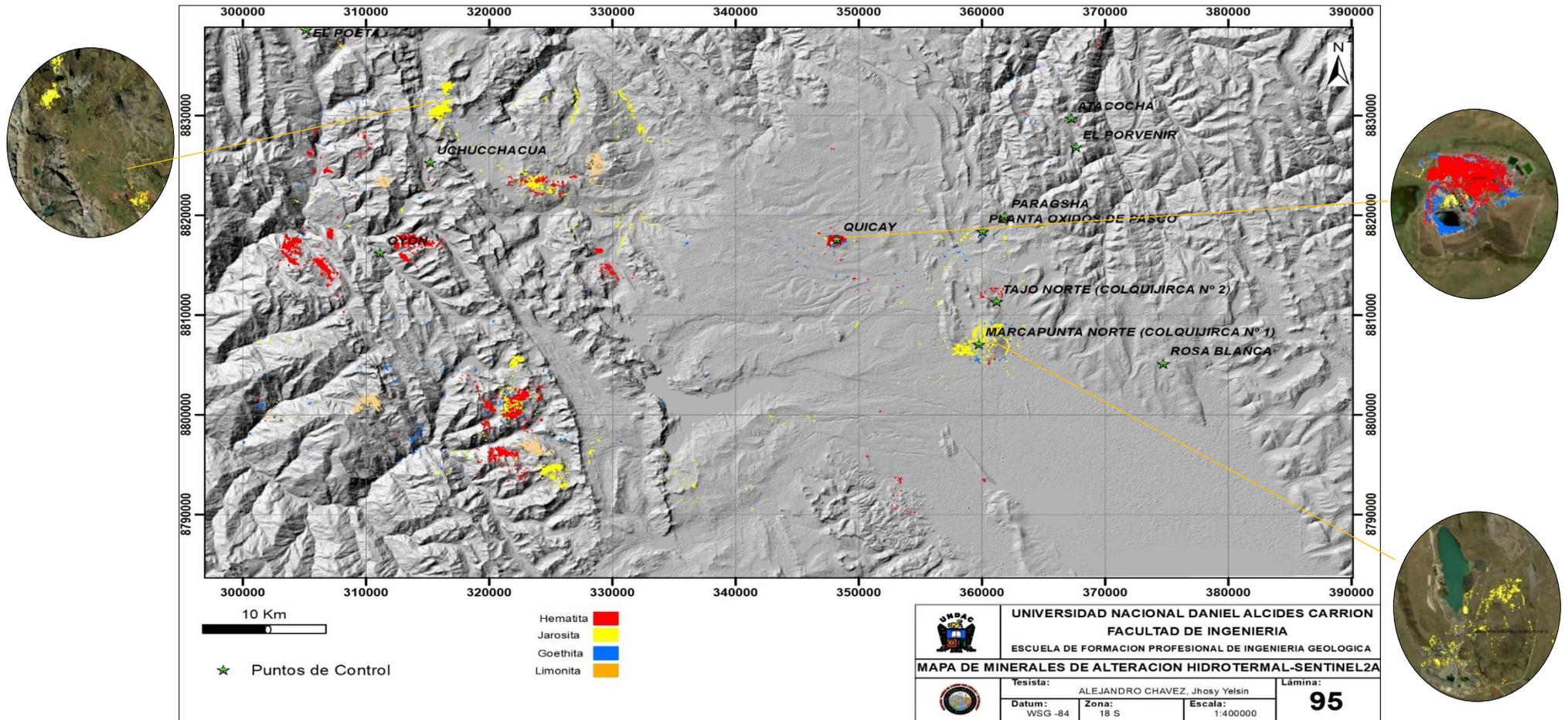
Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Aster 1 LT



Nota: En la zona de estudio observamos que en los puntos de control la anomalía de óxidos y de arcillas, son marcadas en Quicay, Marcapunta Uchucchacua y Oyón, el análisis de minerales en el sensor Aster 1LT por el método de Mapeo(MTFM), nos determina un zoneamiento característico general de los depósitos minerales, la presencia de arcillas y óxidos en la escena nos indican áreas donde los fluidos hidrotermales han interactuado con la roca, alterando su mineralogía, esta es un indicador de presencia de depósitos minerales. Fuente: Propia.

Gráfico N°98

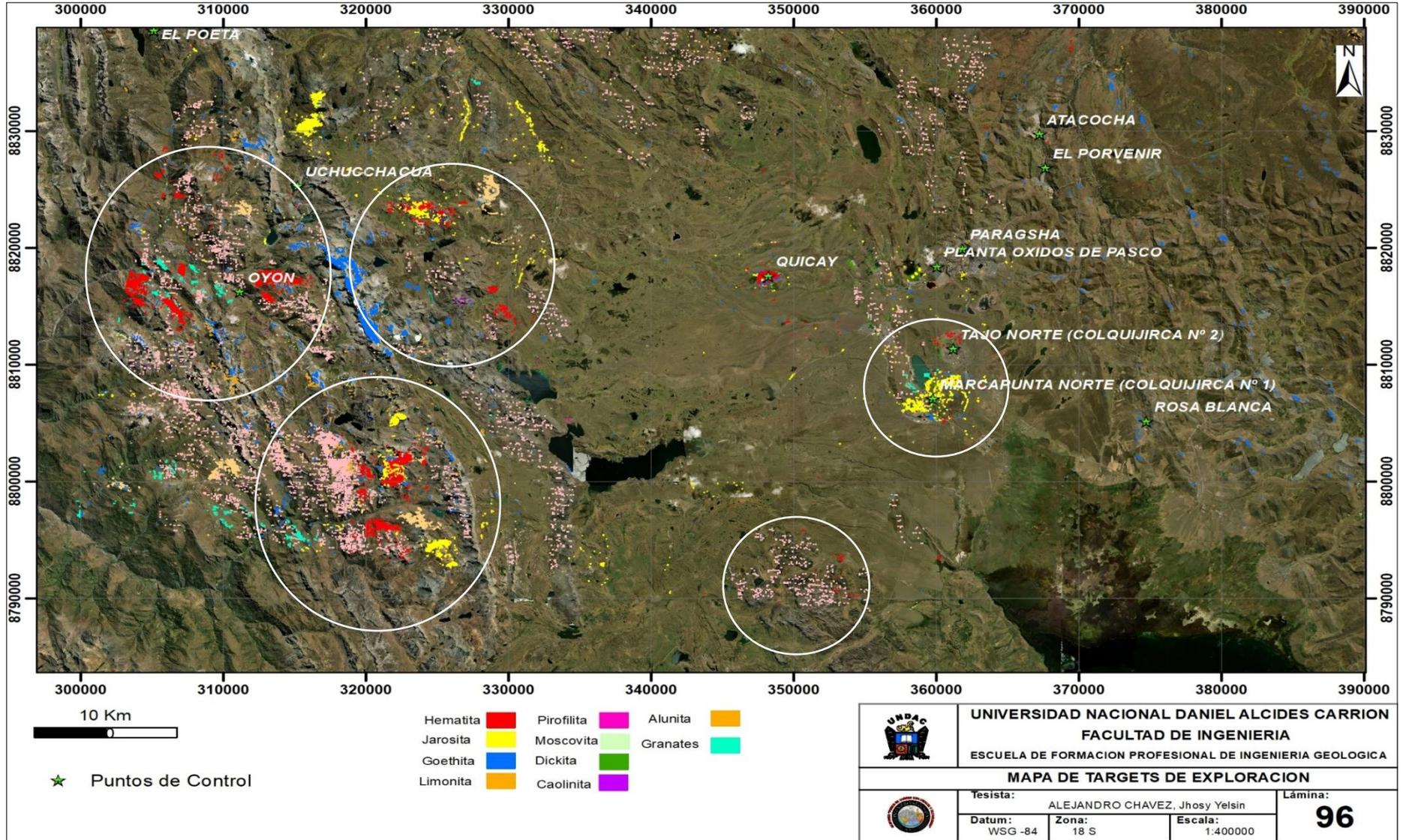
Análisis de Minerales de Alteración Hidrotermal en el sensor Sentinel 2A



Nota: En la zona de estudio observamos que en los puntos de control la anomalía de óxidos está marcada en Quicay, Marcapunta y Uchucchacua. El análisis de minerales con el sensor Sentinel 2A a través del método de Mapeo (MTFM) muestra la presencia de Hematita, Jarosita, Goethita y Limonita, la cual indica ambientes ricos en hierro y azufre bajo condiciones acidas, asociada a la alteración de minerales de sulfuros, por lo tanto, su presencia en la escena sugiere la presencia de depósitos de minerales. Fuente: Propia

GráficoN°99

Targets de Exploración



Nota: Se tiene 5 targets de Exploración que se encuentra al W de Oyón con un radio de 10km de influencia, SE de Oyón con un radio de 8Km, E de Uchucchacua con un radio de 5km, zonas aledañas a Marcapunta radio de 4 Km y SW de Marcapunta con un radio 4km. Fuente: Propia

4.3. Prueba de hipótesis.

4.3.1. Prueba de Hipótesis General

El análisis espectral de minerales de alteración hidrotermal obtenido por los sensores y el procesamiento del software Envi 5.6 permitió identificar zonas prospectables al W de Oyón, SE de Oyón, E de Uchucchacua, zonas aledañas a Quicay y al SW de Marcapunta, para la exploración futura de depósitos minerales.

4.3.2. Prueba de Hipótesis Específicas

Los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, demostraron una aceptable identificación de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, 2023.

Los minerales de óxidos (Hematita, Goethita y Jarosita) son identificados de manera más precisa por el sensor Sentinel 2A, y de manera generalizada con el sensor Landsat 8, mientras que con el sensor Aster mayormente los minerales arcillosos (Caolinita, dickita, alunita, etc.)

Las técnicas de componentes principales, band ratios y de mapeo (MTFM) permitió una interpretación precisa de las anomalías espectrales y así la identificación de áreas de interés prospectivo.

La integración de anomalías espectrales de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A permitió una identificación significativa en el mapeo de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, 2023.

4.4. Discusión de Resultados.

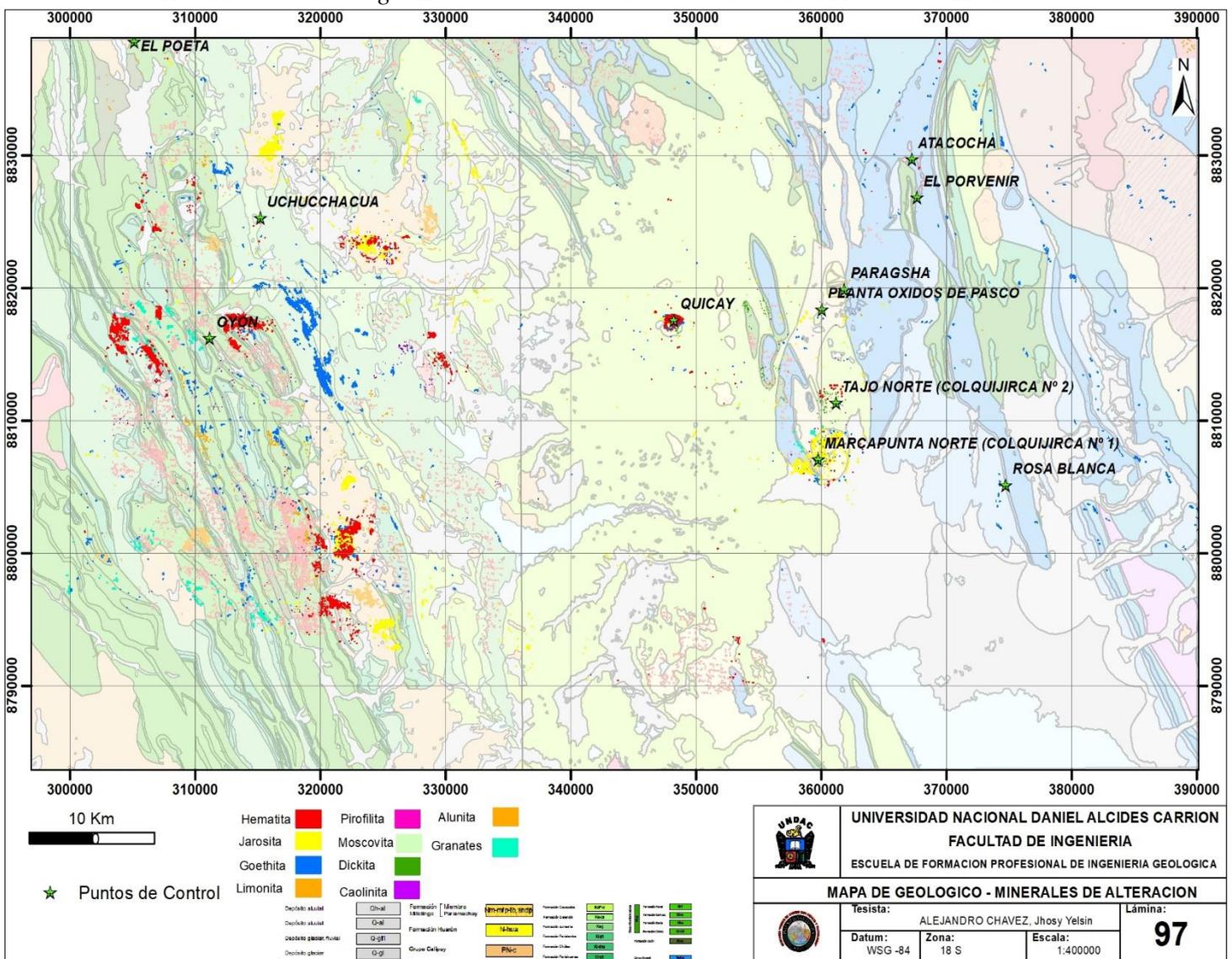
4.4.1. Geología Local

Con el procesamiento de las imágenes satelitales, de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, se detectaron minerales de alteraciones hidrotermales

(fig.97) estas se relacionan de manera eficaz con la geología local de la zona, por ejemplo, las anomalías detectadas en la escena están dentro de unidades volcánicas, entre ellas el grupo Calipuy, y unidades andesíticas, riolíticas entre otras, con roca caja del metalolecto Jumasha, rocas del Cretácico entre calizas, areniscas, lutitas etc. Estas anomalías de alteración hidrotermal son indicadores de procesos mineralizadores. Por ejemplo, la presencia de minerales como la caolinita puede señalar la proximidad de depósitos de cobre, oro y otros metales

Gráfico N° 97

Release de la Geología Local con anomalías de minerales de Alteración Hidrotermal



Nota: Parte de nuestra anomalía se encuentra entre el contacto de rocas cretácicas y unidades volcánicas.

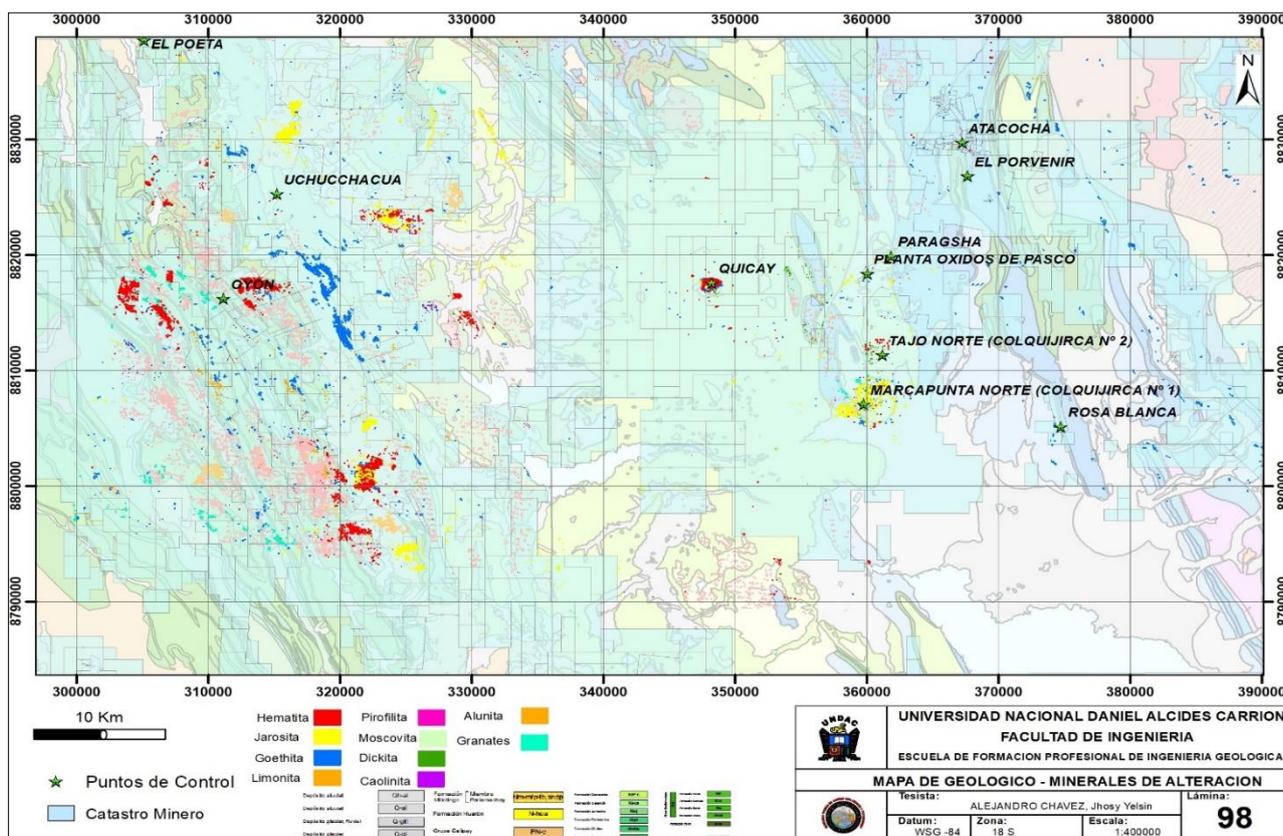
Fuente: Propia.

4.4.2. Catastro Minero

Con el uso de imágenes satelitales, es posible llevar a cabo una evaluación preliminar del potencial minero de una región. La relación con el catastro minero resulta fundamental para el monitoreo de las actividades mineras, lo cual ayuda tanto a las autoridades como a las empresas mineras a priorizar áreas para una exploración detallada y posibles concesiones mineras. El contraste de anomalías que se observó en nuestros puntos de control (fig. 98) fue útil para identificar zonas con potencial minero para futuras exploraciones. A través del catastro minero, podemos contrastar nuestros objetivos de exploración, ya que muchos de ellos están sujetos a concesiones mineras por parte de empresas nacionales y extranjeras, lo que valida nuestros resultados para la detección de anomalías de

GráficoN°101

Catastro Minero en relación con anomalías de minerales de Alteración Hidrotermal



Nota: Se observa que gran en parte de nuestras anomalías, son zonas que están sujetas a concesiones mineras. Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- El nivel de precisión de los sensores es al 85%, la comparación entre los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A reveló diferencias significativas en su precisión para identificar minerales de alteración hidrotermal. Con el sensor Sentinel 2A se identificaron minerales de óxidos específicos (Hematita, Jarosita y Goethita) debido a una mayor capacidad de resolución espacial y espectral, lo que permite una mejor identificación de los minerales de óxidos. Landsat 8, aunque menos preciso que Sentinel 2A, demostró ser útil en la detección de grandes zonas de óxidos. Aster 1LT proporcionó información valiosa debido a su capacidad de capturar una amplia gama de bandas espectrales, identificándonos minerales específicos como: Hematita, Jarosita, Goethita, Limonita, Pirofilita, Dickita, Moscovita, Caolinita, etc.
- El análisis de imágenes satelitales permitió mapear efectivamente la distribución espacial de los minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú. Se observó que las zonas de alteración están correlacionadas con estructuras geológicas preexistentes, confirmando la utilidad de las imágenes satelitales en la identificación de áreas de interés geológico. Los datos combinados de los tres sensores proporcionaron una visión más completa y detallada de la distribución de minerales, mejorando la comprensión de la geología regional.
- Se aplicó varias técnicas de procesamiento espectral, como el análisis de componentes principales (PCA), Band Ratios, RGB, MTFM y el análisis de firmas espectrales específicas, que demostraron ser efectivas para interpretar los datos de los sensores. Estas técnicas permitieron una mejor diferenciación y caracterización de los minerales de alteración hidrotermal, optimizando la identificación de zonas de interés prospectivo. La combinación de técnicas espectrales específicas con el uso de múltiples sensores aumentó significativamente la precisión de los resultados.

- La integración de los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A mejoró notablemente la identificación y el mapeo de minerales de alteración hidrotermal. Su fusión permitió aprovechar las fortalezas individuales de cada sensor, ofreciendo una mayor resolución espacial y espectral, así como una cobertura más amplia. Esta integración facilitó una caracterización más precisa y detallada de las zonas de alteración hidrotermal, dándonos como resultado 5 targets de exploración con un alto potencial geológico, al W de Oyón, SE de Oyón, E de Uchucchacua, zonas aledañas a Quicay y al SW de Marcapunta, estos hallazgos respaldan la viabilidad de realizar exploraciones más detalladas en las áreas identificadas, lo que podría llevar a la identificación de nuevos yacimientos minerales con un alto potencial económico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener mucho criterio al momento de interpretar los resultados, comparando la geología de la zona y descartando zonas erróneas.
- Se recomienda descargar imágenes con el menor porcentaje de nubes (10%)
- Se recomienda realizar máscaras de agua, nubes, vegetación, etc. para distinguir entre los píxeles que están donde no deberían de estar.
- Se recomienda tener información geológica local de minas cercanas a la zona y a la vez darle la función de puntos de control.
- Se recomienda realizar un análisis adicional para validar la extensión y la viabilidad económica de estas anomalías fuera de los puntos de control antes de emprender exploraciones más detalladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, M. H. (1999). *Aster user handbook, Version 2*. NASA.
- Abrams, J.M. (1983). *Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona. Economic Geology*.
- Agency, E. S. (2014). *Sentinel-2 Calibration and Validation Plan for the Operational Phase*. Esrin.
- Arbelo, M. (1999). *Tutorial de teledetección*. Department of Physics of University of La Laguna.
- Ariza, A. (2013). *Descripción y corrección de productos Landsat 8*. LDCM.
- Chander, G. &. (2003). *Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges Geoscience and Remote Sensing*. IEEE Transactions on, 41, 2674 - 2677.
- Chander, G. M. (2009). *Summary of current radiometric*.
- Charles J. Moon, M. K. (2013). *Introduction to Mineral Exploration*. Wiley-Blackwell.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. RIALP 3º EDICION.
- Chuvieco, E. (2011). *Teledetección Ambiental*. Ariel 3º EDICION.
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of satellite Remote Sensing An Environmental Approach Second Edition*. CRC Press.
- Cristhian, G. (2022). *Prospección de minerales con clasificación supervisada en base a texturas y dimensiones fractales de imágenes satelitales multiespectrales*. Tesis de Magister.
- Danny, M. (2020). *Prospección geológica minera mediante el análisis de imágenes Aster y Landsat8 en los cantones de Girón, Nabón y Oña en la provincia de Azuay, Ecuador*. Tesis de Pregrado.
- Eastman, R. (2003). *Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. Clark Labs.

- Francisco, R. (2020). *Análisis de imágenes satelitales Landsat 8 por componentes principales para la identificación de zonas con mineralización por carbonatos de cobre en la región de Jolalpan, Puebla*. Tesis de Licenciatura
- Gupta, R. (2015). *Remote Sensing Geology*. Springer Third Edition.
- Gutierrez, M. (1993). *Compendio de Teledetección Geológica*. Universidad De Oviedo.
- INGEMMET (1998). *Estudio geológico regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minera en un área en el norte de la república del Perú*. Boletín N° 20
- Interior, D. o. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. U.S. Geological Survey.
- INEGI (2021). *Indice de Vegetación de Diferencia Normalizada*. Landsat
- Jensen, J. R. (2006). *Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson.
- Jhon, A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer Fifth Edition.
- Jimenez, J. C. (2010). *A Single-Channel Algorithm or Land-Surface Temperature Retrieval from ASTER Data IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*.
- José, H. (2020). *Análisis geológico de imagen satelital Aster del cuerpo Gloria en zonas aledañas para la exploración Brownfield en la Unidad Minera Shuntur S.A.C*. Tesis de pregrado.
- Kruse, F. a. (2006). *District-level mineral survey using airborne hyperspectral data, los Menucos, Argentina*. ANNALS OF GEOPHYSICS VOL 49.
- Lenny, E. y Yuliana, A. (2021). *identificación de las zonas de alteración hidrotermal por medio de procesamiento de imágenes satelitales en el área geotérmica del municipio de Paipa-Bocaya*. Proyecto de investigación.

- Macedo, G. I. (2016). *IMAGENES DE SATÉLITE Y TELEDETECCIÓN COMO HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL DESARROLLO DE MINAS DE YESO Y ESCOMBREAS EN EL ARARIPE*. HOLOS, vol. 7.
- Manikiam, .. S. (2011). *Geological Applications of Remote Sensing and GIS*. Springer.
- Manning, C. (10 de Agosto de 2021). *Nasa*. Obtenido de Nasa: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html
- Morales, N. B. (2017). *TEORÍA – TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER LIT y MODIS*. GEOMÁTICA AMBIENTAL.
- Muñoz, C. P. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Universidad de Salamanca.
- Pirajno, F. (2008). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer.
- Pirajno, F. (2018). *Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Springer.
- Prost, G. L. (2021). *Remote Sensing for Geologists: A Guide to Image Interpretation*. Wiley-Blackwel.
- Sillitoe, R. H. (2003). *Hydrothermal Alteration in Volcanic Rocks*. Geological Society of America.
- Simon, M. (2008). *Aster User Handbook*. Eros Data Center.
- Taquia, A. L. (2015). Descripción, descarga y manipulación de productos Sentinel-2. 22.
- Thomas Lillesand, R. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.
- UEGPS (2018). *Manual técnico, Metodología para la clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales*.
- Yersi, M. (2018). *Teledetección de áreas para prospección minera mediante la interpretación de imágenes satelitales aster y firmas espectrales, en Huambocancha alta, Cajamarca*. Tesis de pregrado.

Yuling Xie, X. Y. (2019). *Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-Forming Systems*. Springer.

ANEXOS

ANEXO N°1

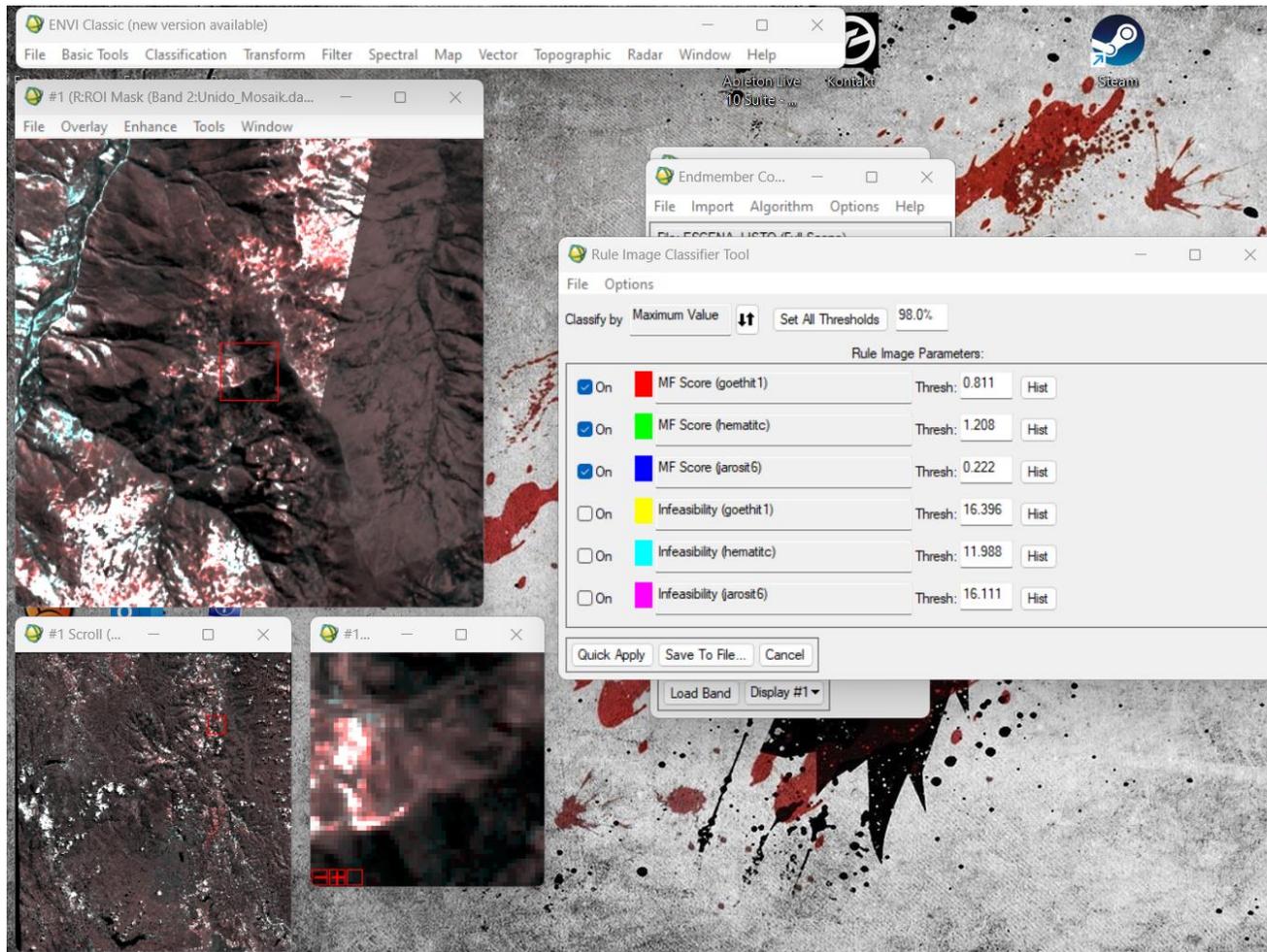
Instrumentos de recolección de datos

The screenshot displays the Earth Explorer interface. The top navigation bar includes 'earthexplorer.usgs.gov', 'arthExplorer', and 'Manage Criteria'. The main content area is divided into a left sidebar and a right map area. The sidebar, under the 'Additional Criteria' tab, lists various search parameters with expandable icons:

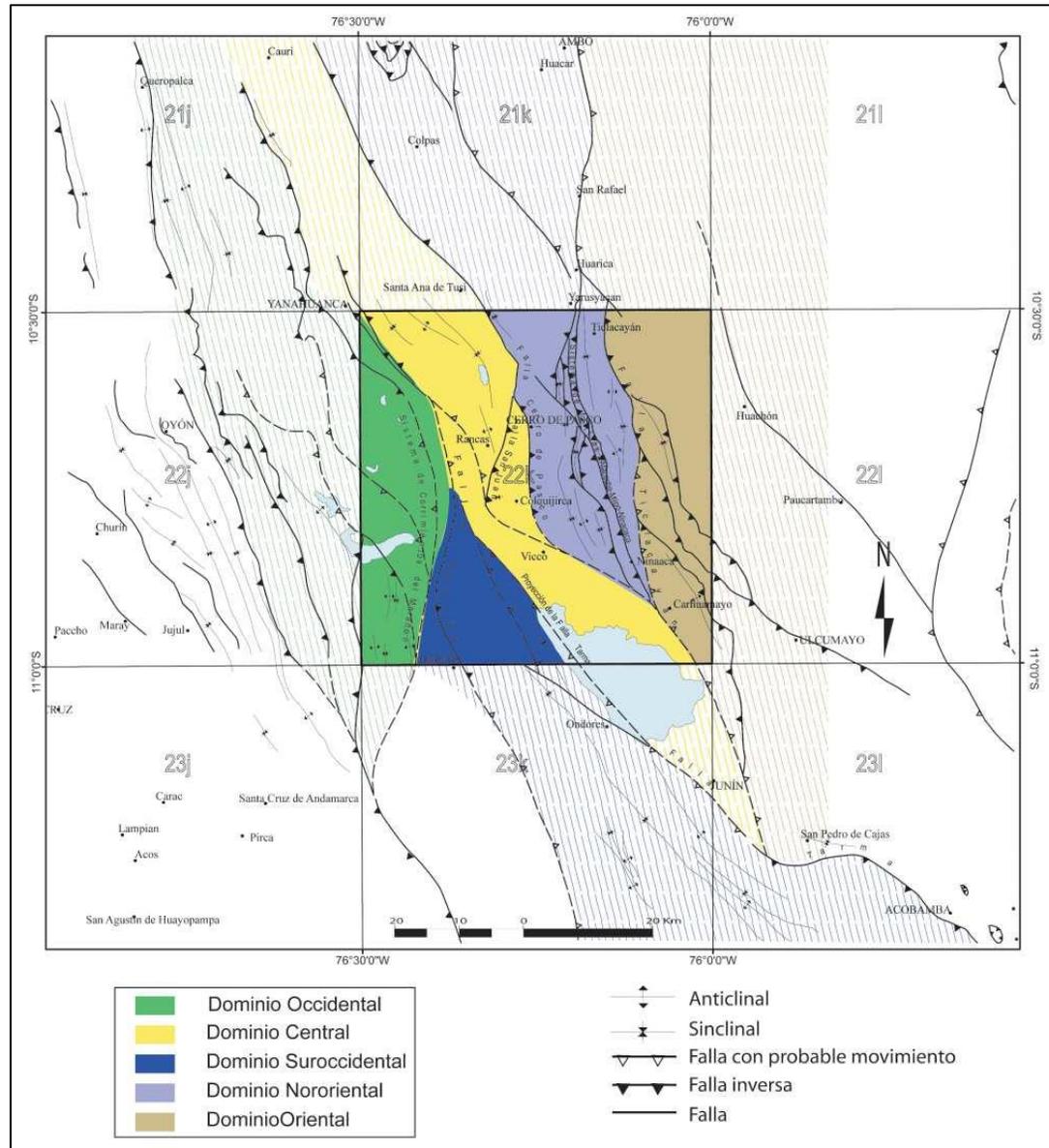
- Additional Criteria (Optional): If you have more than one data sets selected, use the dropdown to select the additional criteria for each data set.
- Data Sets: Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2
- Landsat Product Identifier L2
- Landsat Product Identifier L1
- Landsat Scene Identifier
- WRS Path
- WRS Row
- Satellite: 8
- Sensor Identifier
- Nadir/Off Nadir
- Collection Category
- Date Product Generated L2 (YYYY/MM/DD)
- Date Product Generated L1 (YYYY/MM/DD)

The right side of the interface shows a 'Search Criteria Summary' and a map of the region. The map features a red rectangular search area over a mountainous terrain. The map includes a coordinate display: (10° 00' 00" S, 077° 24' 00" W) and a 'Clear Search Criteria' button.

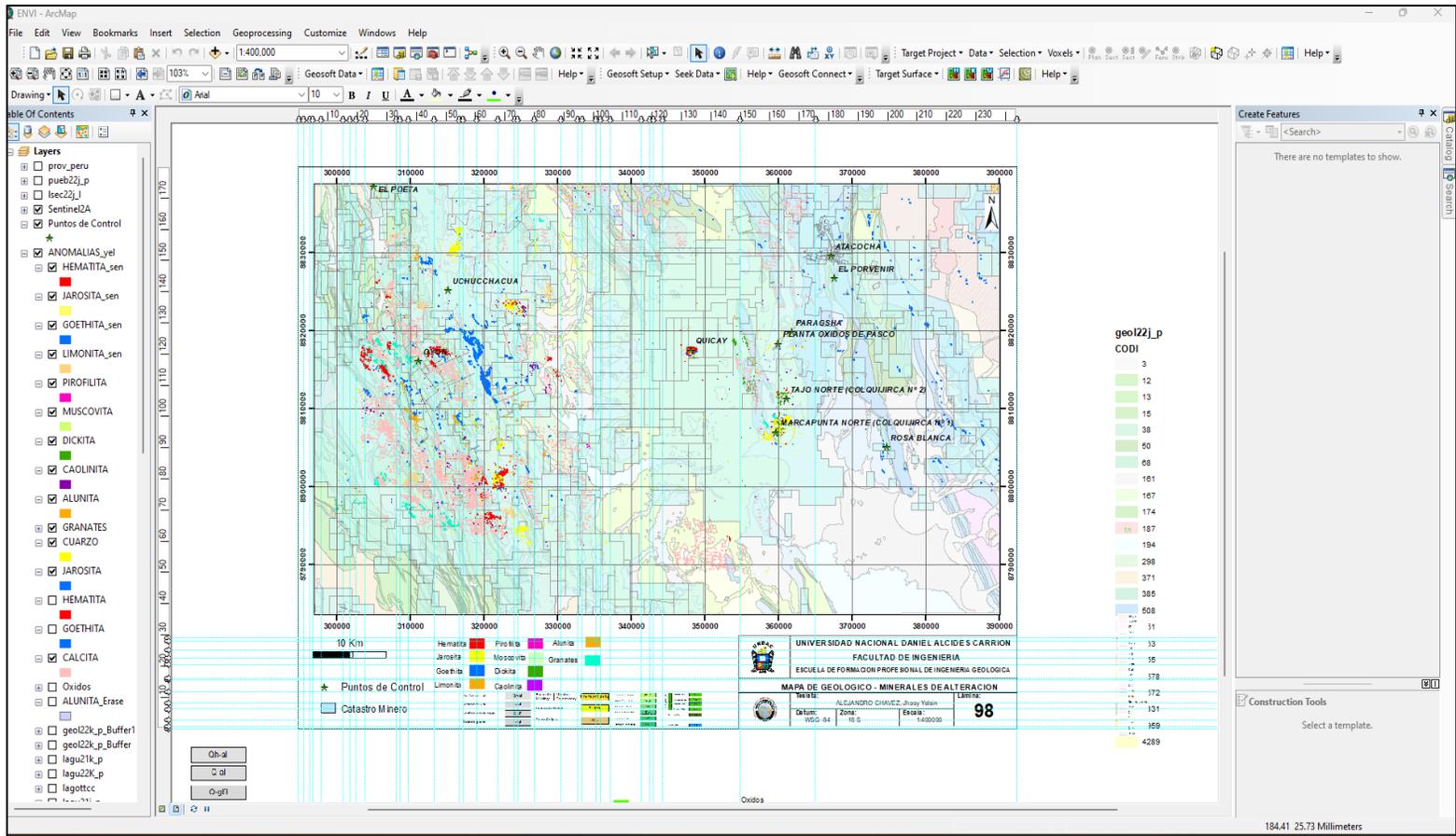
Descarga de Imagen Landsat 8 de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Entorno Envi 5.6 Método de mapeo MTFM



Asignacion de cartas de nacionales 22K y 22J para su descarga de shp del <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>



Entorno ArcGis 10.8 creación de mapas temáticos de anomalías de alteraciones Hidrotermales.

ANEXO N°2

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODO DE INVESTIGACION
<p>PROBLEMA GENERAL ¿El análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú permitirá identificar zonas prospectables en el 2023?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué nivel de precisión ofrecen los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para la identificación de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22Ky 22J del centro del Perú? • ¿Cómo se distribuyen espacialmente los minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22Ky 22J del centro del Perú? • ¿Qué técnicas de procesamiento de imágenes satelitales son más efectivas para identificar zonas prospectables de alteración hidrotermal? • ¿Cómo se pueden integrar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para mejorar la identificación y el mapeo de minerales de alteración hidrotermal? 	<p>OBJETIVO GENERAL Analizar minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú para identificar zonas prospectables, 2023.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el nivel de precisión de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la identificación de minerales de alteración hidrotermal. • Mapear la distribución espacial de los minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú mediante el análisis de imágenes satelitales de Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A. • Desarrollar y aplicar técnicas de procesamiento espectral que sean más efectivas para interpretar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la identificación de zonas de interés prospectivo • Integrar los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A para mejorar la identificación y el mapeo de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú. 	<p>HIPOTESIS GENERAL El análisis de minerales de alteración hidrotermal con los sensores Landsat 8, Aster 1LT, Sentinel 2A de la zona 22K y 22J del centro del Perú permite identificar zonas prospectables, 2023.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A demuestran una precisión aceptable en la identificación de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, lo que se reflejará en una concordancia significativa con los datos geológicos de referencia. • Existe una correlación significativa entre las anomalías detectadas por los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A en la zona 22K y 22J del centro del Perú y la presencia de depósitos minerales conocidos, validando la efectividad de estos sensores para la prospección mineral • El uso de técnicas avanzadas de procesamiento espectral permite una interpretación más precisa de los datos de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A, lo que resulta en una identificación más precisa de zonas de interés prospectivo en las zonas 22K y 22J del centro del Perú. • La integración de datos provenientes de los sensores Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A permite una mejora significativa en la identificación y mapeo de minerales de alteración hidrotermal en las zonas 22K y 22J del centro del Perú, proporcionando una visión más completa y detallada de las características geológicas de interés. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Imágenes satelitales de los sensores Landsat8, Aster 1LT, Sentinel 2A y la zona de estudio correspondiente a las cartas nacionales 22K y 22J.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Presencia y distribución de minerales de alteración hidrotermal, características espectrales de los minerales, áreas de interés prospectivo identificadas.</p> <p>VARIABLE INTERVINIENTE Software Envi 5.6 - Arcgis 10.8</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION El tipo de investigación es analítico, porque se enfoca en el análisis detallado de las características espectrales de cada píxel obtenidas de las imágenes satelitales Landsat 8, Aster 1LT y Sentinel 2A. Este análisis permite comparar estas características con una librería de firmas espectrales para identificar anomalías que indiquen la presencia de minerales de alteración hidrotermal.</p>