



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN
HIDROTERMAL USANDO IMÁGENES ASTER EN EL
DISTRITO DE LLACANORA – 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Carrera Llaxa, Diana Marisell
Bach. Terrones Mendoza, Celeni Perlita

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca – Perú
2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres: **Carrera Llaxa, Diana Marisell y Terrones Mendoza, Celeni Perlita**, denominada:

**“PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL
USANDO IMÁGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA – 2017”**

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque
ASESOR

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido
JURADO

Ing. Daniel Alva Huaman
JURADO

DEDICATORIA

Dedico de manera especial la presente tesis:
A Dios ya que con el todo es posible, a mis
padres Olga Y Samuel quienes me brindaron
su apoyo de manera incondicional a lo largo
de mi formación profesional durante la cual
obtuve los conocimientos necesarios que me
ayudaron al desarrollo de este proyecto.

A mis abuelos Víctor y Tiva quienes siempre
me dieron palabras de aliento para seguir
adelante, a mis tíos Jamerly y Elmer quienes
me encaminaron en el inicio de mi carrera
profesional.

Carrera Llaxa, Diana Marisell

Dedico de manera especial la presente tesis:
A Dios por haber permitido el logro de esta,
pues sin el nada es posible, a mis padres
Marino Terrones Vargas y Nelida Rosa
Mendoza Ramos por la motivación y apoyo
constante en mi formación profesional.

A mis hermanos, Flor Elizabeth, Roxana y
Ever Baldemaro por brindarme todo su apoyo
y darme fuerzas para seguir adelante.

Terrones Mendoza, Celeni Perlita

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por las bendiciones que hemos tenido a lo largo de nuestra formación profesional

A nuestros padres y familiares por haber confiado en nosotros y habernos dado la oportunidad de estudiar una carrera profesional, por su incondicional apoyo y porque a pesar de todos los obstáculos y dificultades que se presentaron nos enseñaron a luchar por lo que queremos, a no rendirnos y a ser personas de bien para la sociedad.

A nuestro asesor el Ingeniero Elmer Ovidio Luque Luque, a quien agradecemos por el tiempo que nos brindó, por habernos compartido sus conocimientos y guiarnos en la realización de esta Tesis.

Finalmente, agradecemos a la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por habernos permitido formar parte de ella, así como también a los diferentes docentes que nos compartieron sus conocimientos y su apoyo para ser mejores cada día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE PLANOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Justificación.....	13
1.4. Limitaciones	14
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo general	14
1.5.2. Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. Teledetección	17
2.2.2. Alteración hidrotermal.....	26
2.2.3. Comportamiento espectral de minerales representativos de alteraciones hidrotermales..	28
2.2.4. Definición de términos básicos.....	29
2.3. Hipótesis.....	31
CAPÍTULO 3. GENERALIDADES	32
3.1. Ubicación.....	32
3.2. Población.....	33
3.3. Accesibilidad	33
3.4. Geología regional	34
3.4.1. Estratigrafía	34
3.4.2. Geología estructural y tectónica	39
3.4.3. Metalogenia	39
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	41

4.1. Operacionalización de variables.....	41
4.2. Diseño de investigación.....	41
4.3. Unidad de estudio	41
4.4. Población.....	41
4.5. Muestra	41
4.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	41
4.7. Procedimientos de análisis de datos	42
4.7.1. Adquisición De Imágenes Aster	42
4.7.2. Pre Procesamiento De Imagen Aster	42
4.7.3. Procesamiento De Imagen Aster.....	43
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	53
5.1. Firmas espectrales de alunita.....	53
5.2. Firmas espectrales de caosmectita	54
5.3. Firmas espectrales de kaolinita	55
5.4. Firmas espectrales de Montmorillonita.....	56
5.5. Firmas espectrales de Dikita	57
5.6. Firmas espectrales de Jarosita.....	58
5.7. Análisis de variogramas	59
5.7.1 Variograma de la alunita.....	59
5.7.2 Variograma de la Caosmectita.	60
5.7.3 Variograma de la Caolinita.	61
5.7.4 Variograma de la Montmorillonita.....	62
5.7.5 Variograma de la Dikita.	63
5.7.6 Variograma de la Jarosita.....	64
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN Y CONTRASTACIÓN	66
6.1 DISCUSIÓN	66
6.2 CONTRASTACIÓN	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los 3 sistemas de sensores ASTER.....	20
Tabla 2: Productos generados a partir de los niveles L1A y L1B.	23
Tabla 3: Principales tipos de alteración hidrotermal	26
Tabla 4: Coordenadas de referencia de la zona de estudio.	33
Tabla 5: Accesibilidad al distrito de Llacanora.....	33
Tabla 6: Accesibilidad al distrito de Llacanora.....	34
Tabla 7: Marco operacional de variables e indicadores.	41
Tabla 8: Combinación de bandas.....	45
Tabla 9: Zonas de Alteración y Presencia de minerales mayores y menores (ROWAN; LATHRAM, 1980).....	46
Tabla 10: Formaciones Litoestratigráficas.....	49
Tabla 11: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	53
Tabla 12: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	54
Tabla 13: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	55
Tabla 14: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	56
Tabla 15: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	57
Tabla 16: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de un sistema de teledetección.....	18
Figura 2: Espectro Electromagnético	19
Figura 3: Quicklook ASTER_L1A, RGB 321. (USGS,2016)	21
Figura 4: Quicklook ASTER_L1B, RGB 321. (USGS,2016)	22
Figura 5: Mapeo de los minerales: alunita, caolinita, illita, esmectita y sus respectivas mezclas....	24
Figura 6: Las firmas extraídas de la mina Pierina (alunita, caolinita, illita y la mezcla de la alunita + caolinita y/o dickita).....	24
Figura 7: Realce de Alteración Argilica Avanzada.	25
Figura 8: Realce de Arcillas.....	25
Figura 9: Detalle de las características del espectro de caolinita obtenido de un espectrómetro ...	29
Figura 10: Ubicación de la zona de estudio.	32
Figura 11: Estratigrafía característica de la zona de estudio.....	34
Figura 12: columna estratigráfica de la zona de estudio.	38
Figura 13: Imagen corregida vs Imagen sin corrección.....	43
Figura 14: Unión de macaras aplicadas a la imagen corregida.....	44
Figura 15: Combinación 321	48
Figura 16: Combinación 931 vs Formaciones Litológicas	48
Figura 17: Combinación 468	49
Figura 18: combinación 943	50
Figura 19: Firmas espectrales de los pixeles puros de la zona de estudio	51
Figura 20: Firmas espectrales de los minerales característicos de la zona	52
Figura 20: Comparación de rangos espectrales para la Alunita.	53
Figura 21: Comparación de rangos espectrales para la Caosmectita.	54
Figura 22: Comparación de rangos espectrales para la Caolinita.	55
Figura 23: Comparación de rangos espectrales para la Montmorillonita.....	56
Figura 24: Comparación de rangos espectrales para la Dikita.	57
Figura 25: Comparación de rangos espectrales para la Jarosita	58
Figura 26: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Alunita ..	59
Figura 27: Muestras de ocurrencia de Alunita en la zona de estudio.....	59
Figura 28: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Caosmectita	60
Figura 29: Muestras de ocurrencia de Caosmectita en la zona de estudio	60
Figura 30: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Caolinita	61
Figura 31: Muestras de ocurrencia de Caolinita en la zona de estudio	61
Figura 32: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Montmorillonita.....	62

Figura 33: Muestras de ocurrencia de Montmorillonita en la zona de estudio.....	62
Figura 34: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Dikita	63
Figura 35: Muestras de ocurrencia de Dikita en la zona de estudio	63
Figura 36: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Jarosita .	64
Figura 37: Muestras de ocurrencia de Jarosita en la zona de estudio	64
Figura 39: Zonas probables de alteración Hidrotermal.....	67

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Compósito de mineralización en la zona de estudio	65
Plano 2: De contrastación de minerales.....	68
Plano 3: Plano topográfico	74
Plano 4: Plano Geológico.....	75

RESUMEN

En la presente investigación se pondrá en uso técnicas de prospección espectral para determinar zonas de alteración hidrotermal por medio del análisis y procesamiento de imágenes satelitales aster en el distrito de Llacanora, con lo cual se pretende identificar características mineralógicas propias de una alteración hidrotermal así como condiciones estructurales que favorezcan la deposición mineral; ya que no se cuenta con este tipo de información en la zona, por ello que es necesario un estudio y análisis a fin de puntualizar las zonas minerales de alteración hidrotermal fuera del alcance de afectación de la comunidad y sin una gran inversión para su identificación, para lo cual se trabajó con imágenes aster del 2017, imágenes tomadas en época de sequía para favorecer el trabajo, posteriormente a sus correcciones se realizó un análisis espectral para identificación de minerales de alteración hidrotermal, identificando así minerales como caolinita, alunita, jarosita, montmorillonita, entre otros además se realizó un análisis visual para la identificación de zona de interés en función a la combinación de bandas y así discriminar zonas con algún tipo de alteración hidrotermal. Finalmente partiendo del análisis espectral y visual obtenido, se contrastó con estudios estructurales realizados en la zona, llegando a identificarse zonas estructurales favorables para la mineralización como es la falla Cajamarca, evidencia de ello es la alteración textural de las areniscas de la formación Farrat, así como la presencia de minerales de alteración hidrotermal, concluyendo que en el distrito de Llacanora fue posible la prospección de zonas de alteración hidrotermal usando imágenes satelitales aster, y se determinó zonas con presencia de alteración argílica.

ABSTRACT

In the present investigation, it will use spectral prospecting techniques to determine zones of hydrothermal alteration through the analysis and processing of aster satellite images in the district of Llacanora, with which it is intended to identify mineralogical characteristics of a hydrothermal alteration as well as structural conditions and mining companies that favor mineral deposition; since this type of information is not available in the area, therefore, a study and analysis is necessary in order to specify the mineral zones of hydrothermal alteration beyond the reach of the community and without a large investment for their identification, for which we worked with 2017 aster images, images taken during the dry season to favor the work, after its corrections a spectral analysis was made to identify hydrothermal alteration minerals, identifying minerals such as kaolinite, alunite, jarosite, montmorillonite , among others, a visual analysis was also carried out to identify the area of interest according to the combination of bands and thus discriminate zones with some type of hydrothermal alteration. Finally, based on the spectral and visual analysis obtained, we contrasted with structural studies carried out in the area, identifying favorable structural zones for mineralization such as the Cajamarca fault, evidence of this is the textural alteration of the sandstones of the Farrat formation, as well as as the presence of minerals of hydrothermal alteration, concluding that in the district of Llacanora it was possible to prospect for hydrothermal alteration zones using satellite aster images, and areas with the presence of argillic alteration were determined.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad la utilización de la percepción remota como ciencia se considera una herramienta de gran ayuda no solo en función a costos sino también en relación con el tiempo que nos ahorra la utilización de sus resultados, los países que más utilidad tienen de esta herramienta, han desarrollado mejores avances en todas las ramas del conocimiento, países como: Ecuador, Colombia, Brasil, España y México, lo cual permite dar un salto tecnológico y mejorar muchos procesos.

Particularmente en Perú tenemos poco conocimiento de la percepción remota, debido a la restricción de acceso a información satelital propia, es por ello que generalmente se trabaja con imágenes satelitales brindadas por institutos de otros países, hecho que repercute en la búsqueda de nuevas técnicas de teledetección

Es por ello que en la presente investigación pondremos en uso técnicas de prospección espectral para determinar zonas de alteración hidrotermal por medio del análisis y procesamiento de imágenes satelitales aster en el distrito de Llacanora, con lo cual se pretende identificar características mineralógicas propias de una alteración hidrotermal; ya que no se cuenta con este tipo de información en la zona, la teledetección se ha configurado en una herramienta de indudable valor para el estudio de la superficie terrestre lo cual nos servirá de ayuda en la clasificación de los sistemas de mineralización

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las zonas de alteración hidrotermal y su relación con ensamblajes mineralógicos determinables por medio de imágenes ASTER en el distrito de Llacanora?

1.3. Justificación

En el distrito de Llacanora se encuentra mucho potencial mineral, por ello es necesario hacer un estudio y análisis a fin de puntualizar las zonas minerales que podamos utilizar, fuera del alcance de afectación de la comunidad y sin una gran inversión para su identificación

El estudio se realizará identificando las zonas de alteración hidrotermal por medio del análisis espectral de imágenes aster con la finalidad de dar un aporte para la ubicación de yacimientos minerales,

Además, se tendrá en cuenta la cercanía entre zonas mineralizadas y zonas cercanas a comunidades, por lo que obtendremos un resultado más controlado para la minería en el caso se diera la explotación

Con la finalidad de favorecer a la comunidad con una minería responsable y al medio ambiente puesto que determinaremos las zonas de mayor potencial económico con menor impacto ambiental.

Los resultados de estudio constituyen una contribución en el conocimiento del comportamiento espectral de zonas alteración hidrotermal la cual servirá como base para estudios posteriores más detallados, favoreciendo así a comunidades aledañas a las zonas minerales y dando un aporte para la protección medio ambiental.

1.4.Limitaciones

La poca accesibilidad al uso de imágenes ASTER, pues las imágenes gratuitas están en formato TIF lo cual no sirve para realizar dicho estudio, por lo que se realizó la compra de la misma a un precio de s// 1000.00

Baja resolución espacial de las imágenes satelitales, no obstante, esto se subsanará con un remuestreo de pixeles para obtener una mejor resolución.

Condiciones meteorológicas en las imágenes que muchas veces genera la pérdida de información, sin embargo, esto será corregido con filtros atmosféricos y radiométricos, además de descargar imágenes satelitales en época de estiaje

1.5.Objetivos

1.5.1.Objetivo general

- Realizar la prospección de yacimientos de alteración hidrotermal usando imágenes satelitales ASTER en el distrito de Llacanora - 2017

1.5.2.Objetivos específicos

- Analizar e interpretar las firmas espectrales que nos proporciona el programa ENVI 5.3 a partir del cambio de coloraciones de las imágenes a procesar.
- Determinar las zonas mineralógicamente favorables para la ubicación de zonas de alteración hidrotermal.

- Proporcionar información mineralógica en mapas temáticos para una localización espacial con alta precisión

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Existen diferentes trabajos de investigación de prospección minera a partir de uso de imágenes satélites con resultados que permitieron identificar de proyectos mineros.

DI Y RUBINSTEIN (2005). Mapeo de alteración hidrotermal a partir de datos aster en el pórfido de Cu - Mo el infiernillo, Mendoza - Argentina. A partir de una escena ASTER nivel 3A radiancia a sensor, se aplicaron técnicas de procesamiento digital en los subsistemas (VNIR+SWIR), cociente de bandas y métodos de mapeo espectral permitió caracterizar las asociaciones de minerales de alteración. El análisis del espectro de reflectancia (VNIR+SWIR), detecto absorciones en la banda 6 2.20 μm y en la banda 7 2.26 μm . Los datos de muestras de campo medidos con el espectro radiómetro GER 3700 mostró una buena correlación con los datos del ASTER.

Los datos ASTER permitieron discriminar asociaciones minerales de alteración montmorillonita, illita/sericita y jarosita. La combinación de bandas RGB 461 que involucra los picos de absorción característicos de las vibraciones de los enlaces Al-OH, Fe-OH, y a los procesos electrónicos del Fe permitió discriminar notoriamente al halo de alteración argílica y el núcleo rico en hematita.

HUANACUNI Y CASAS (2012) Reconocimiento de zonas de alteración hidrotermal en depósitos epitermales con imágenes aster - sur del Perú

Los yacimientos epitermales de oro y plata de alta sulfatación en el sur del Perú muestran características geológicas especiales y están hospedados principalmente en rocas volcánicas del Mio-plioceno. Su descubrimiento se debe al desarrollo de diferentes herramientas de prospección como la geoquímica, geofísica y sensores remotos, los cuales se han aplicado en las diversas campañas de exploración. En este trabajo se presenta un ejemplo de aplicación con imágenes ASTER

El resultado del procesamiento de imágenes ASTER sirvió para identificar 3 zonas importantes, denominadas A, B y C.

Zona A. Se ubica al noreste de la imagen y muestra una alteración del tipo argílica

Zona B. Se encuentra al sur oeste en el sector de Charaque. En el área existen afloramientos de rocas volcánicas de origen efusivo y explosivo (andesitas, traquitas y tufos) del Grupo Barroso.

Zona C. Está al sureste y noroeste de la zona de estudio donde predomina la alteración propilítica.

BOLETIN N°20 (1998) Estudio geológico regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la república de Perú.

El propósito del estudio es evaluar el potencial regional de recursos en Trujillo y Cajamarca, pertenecientes al norte de Perú mediante el análisis de imágenes de satélite. Este estudio se llevó a cabo con el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) Y Perúpetro S.A.

Se obtuvo como resultados mapas de interpretación geológica de la región Ucayali, ratios de área minera Michiquillay, cuenca Ucayali, densidad de lineamiento detallado; así como los espectros de reflectancia de las muestras de roca.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teledetección

Teledetección (Remote Sensing) es la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que se está investigando. La obtención de los datos involucra el uso de instrumentos llamados sensores capaces de ver o captar las relaciones espectrales y espaciales de objetos y materiales observables a una considerable distancia de aquellos (LILESAN; KIEFER, 1994).

2.2.1.1. Principios básicos de teledetección

El principio de la teledetección se basa en que cada área emite o refleja una radiación específica, en función de su propia naturaleza, por consiguiente, el flujo energético es un factor indispensable en la adquisición de información para conseguir como producto una imagen o escena (CHUVIECO, 1995) (fig. 1).

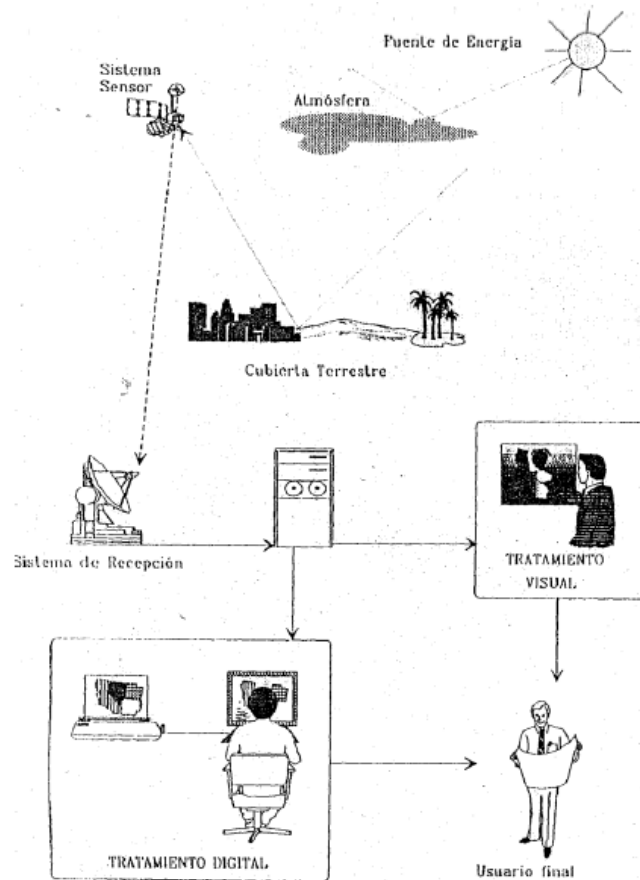


Figura 1: Componentes de un sistema de teledetección

Fuente: Chuvieco, (1995)

2.2.1.2. Espectro electromagnético

De las fórmulas anteriores, se deduce que podemos describir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia. Aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia se denomina espectro electromagnético (fig. 2). Comprende, en un continuo, desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (telecomunicaciones). Las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda. Para las más cortas se utilizan micras ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ metros), mientras las más largas se miden en centímetros o metros. Normalmente a estas últimas (denominadas microondas) se les designa también por valores de frecuencia (en gigahercios, $\text{GHz} = 10^9 \text{ Hz}$). (PLANCK; EINSTEIN, 1900)

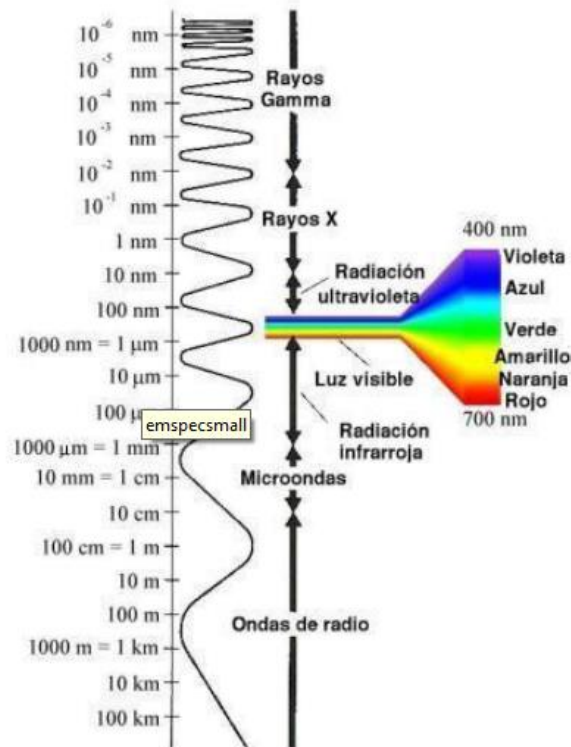


Figura 2: Espectro Electromagnético

Fuente: Chuvieco, (2008)

2.2.1.3. Firmas espectrales

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral”. (JOGMEC, 2006).

2.2.1.4. Imágenes aster

ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón METI. En 1999 el instrumento se lanzó a bordo del satélite TERRA de la NASA. El objetivo principal de la misión ASTER es mejorar el entendimiento de los procesos a escala local y regional que ocurren sobre o cerca de la superficie de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera.

ASTER presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001). ASTER también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos.

Tabla 1: Características de los 3 sistemas de sensores ASTER

Subsystem	Band No.	Spectral Range (μm)	Spatial Resolution, m	Quantization Levels
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

Fuente: (USGS 2016)

Los productos de ASTER se comercializan en formato HDF – EOS, este formato soporta varios tipos de datos: tablas, anotaciones de texto, varios tipos de imágenes ráster, metadatos, entre otros.

A continuación, haremos una breve descripción de algunos productos de ASTER.

AST_L1A, Son datos crudos, dentro del archivo HDF se incluyen, pero no se aplican los coeficientes radiométricos, geométricos y las tablas de corrección del paralaje del SWIR, y una serie de datos suplementarios como la fecha y

hora de la captura de la imagen y del procesamiento de la misma, etc. Este producto es utilizado por la ERSDAC para la generación de DEMs.



Figura 3: Quicklook ASTER_L1A, RGB 321.
Fuente: USGS, 2016

AST_L1B, a diferencia del producto anterior, este tiene los coeficientes de calibración radiométrica y geométrica aplicados a la imagen, los datos se encuentran orientados al norte de la trayectoria del satélite, el error de paralaje que afecta al SWIR es corregido y se incorpora el atributo SceneCenter, el mismo que nos da las coordenadas centrales de la escena.

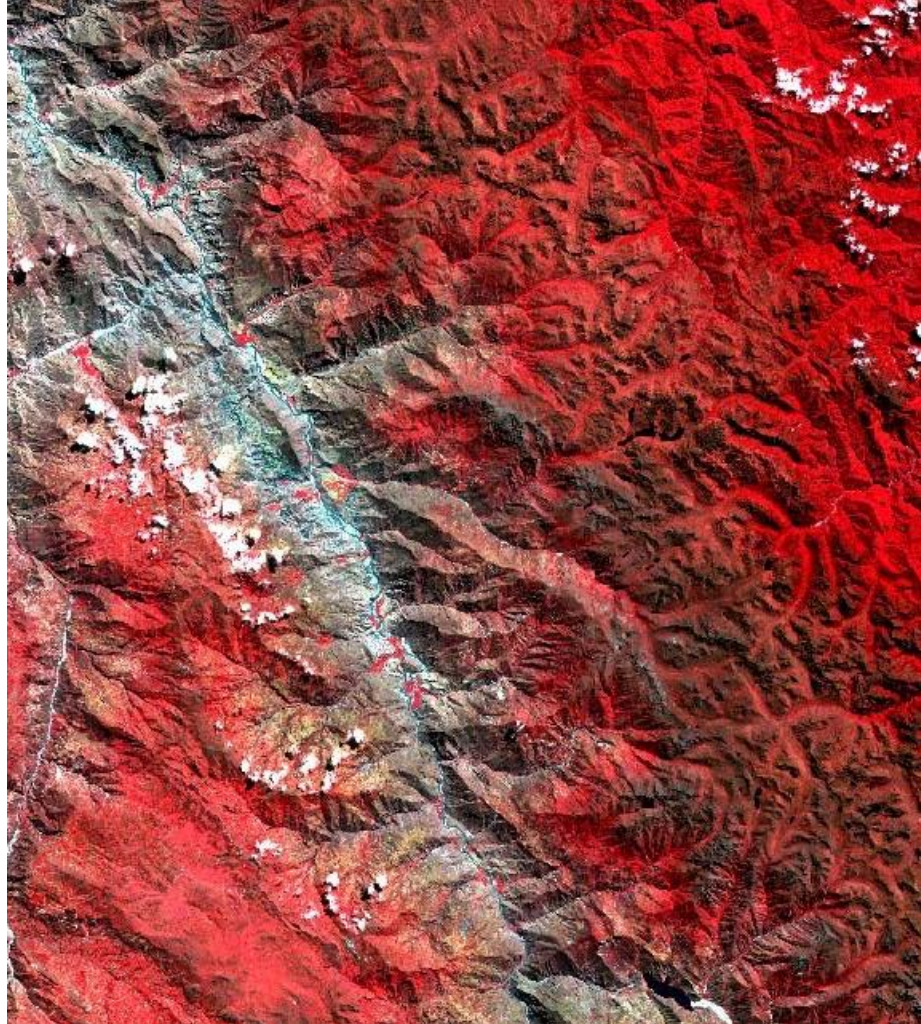


Figura 4: Quicklook ASTER_L1B, RGB 321.

Fuente: USGS, 2016

Otros Productos:

- AST_06 (VNIR-SWIR-TIR), Archivos a los que se le aplica el realce por decorrelation stretch.
- AST_07 (VNIR-SWIR), Archivos en valores de reflectancia de superficie.
- AST_09 (VNIR-SWIR-TIR), Archivos en valores de radiancia de superficie.
- AST_14DEM, modelo de elevación digital relativo, extraído a partir del producto L1A.

Tabla 2: Productos generados a partir de los niveles L1A y L1B.

Short Name	Level	Parameter Name	Production Mode	Units	Absolute Accuracy	Relative Accuracy	Horizontal Resolution (m)
AST_06V	2	Decorrelation stretch -VNIR	routine	none	N/A	N/A	15
AST_06S	2	Decorrelation stretch -SWIR	routine	none	N/A	N/A	30
AST_06T	2	Decorrelation stretch -TIR	routine	none	N/A	N/A	90
AST_04	2	Brightness temperature	on-demand	degrees C	1-2 C	0.3 C	90
AST_07	2	Surface reflectance VNIR_SWIR	on-demand	none	4%	1%	15, 30
AST_09	2	Surface radiance -VNIR, SWIR	on-demand	W/m ² /sr/ μm	2%	1%	15, 30
AST_09T	2	Surface radiance -TIR	on-demand	W/m ² /sr/ μm	2%	1%	90
AST_05	2	Surface emissivity	on-demand	none	0.05-0.1	0.005	90
AST_08	2	Surface kinetic temperature	on-demand	degrees K	1-4 K	0.3 K	90
AST13POL	2	Polar surface and cloud classification	on-demand	none	3%	3%	15, 30, 90
AST14DEM	3	Digital elevation model (DEM)	on-demand	m	>= 7 m	>= 10 m	30

Fuente: USGS, 2016.

2.2.1.5. Mapeo de Minerales utilizando Análisis Espectral e imágenes ASTER

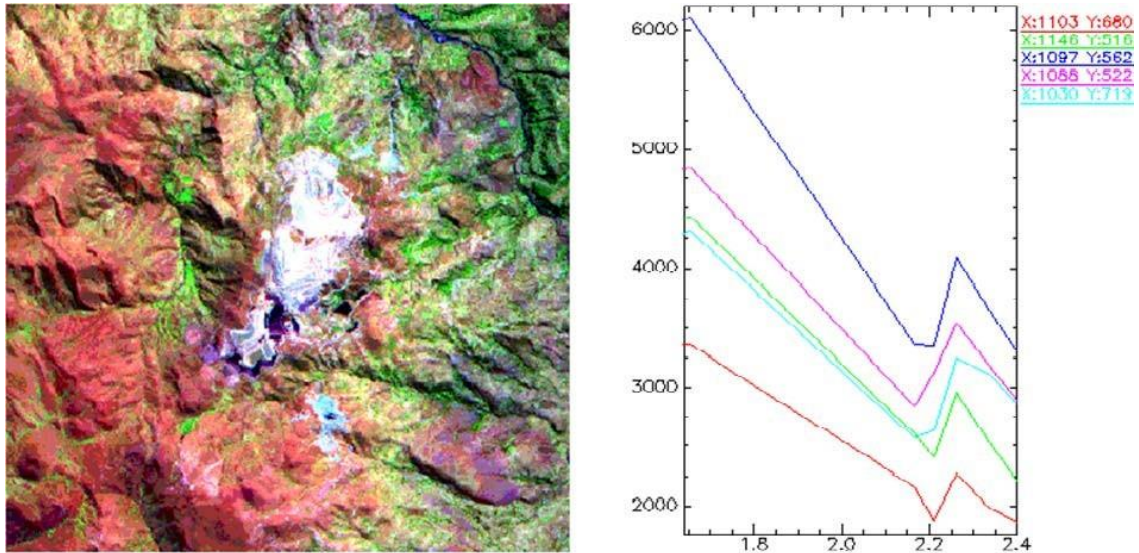


Figura 5: Mapeo de los minerales: alunita, caolinita, illita, esmectita y sus respectivas mezclas.

Fuente: R S Geoimagen SAC

2.2.1.6. Análisis de firmas espectrales

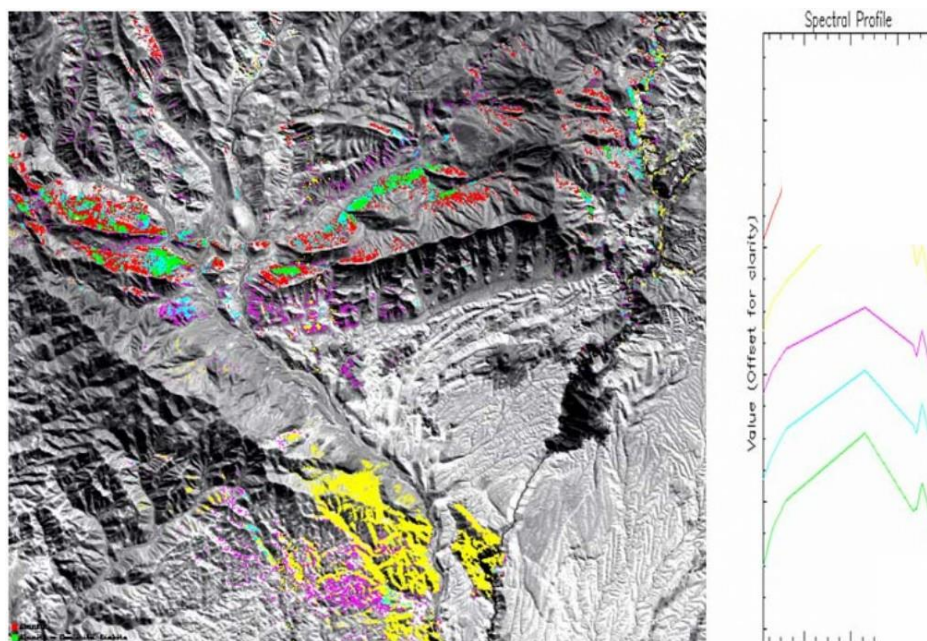


Figura 6: Firmas de alunita, caolinita, illita y la mezcla de la alunita + caolinita y/o dickita

Fuente: R S Geoimagen SAC

2.2.1.7. Aplicación de ratios

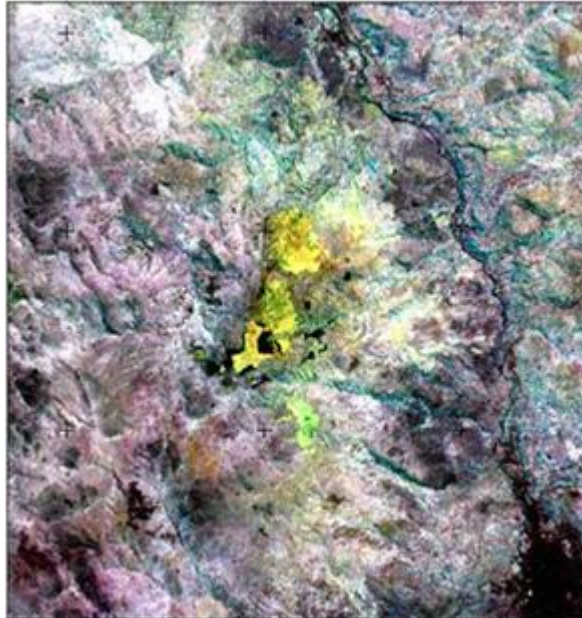


Figura 7: Realce de Alteración Argílica Avanzada.
Fuente: R S Geoimagen SAC

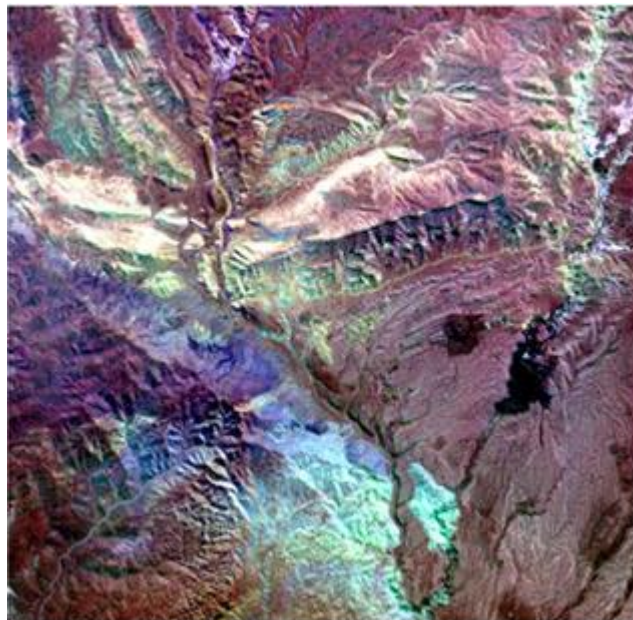


Figura 8: Realce de Arcillas
Fuente: R S Geoimagen SAC

2.2.2.Alteración hidrotermal

Son los cambios en mineralogía y textura de las rocas encajonantes circundantes a las estructuras mineralizadas. La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral y para indicar el carácter de las soluciones asociadas (PH, etc.). Es la conversión de un ensamble de minerales primarios a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos. se conocen los siguientes tipos de alteraciones hidrotermales: Potásica, albítica, silicificada, argilizada, propilitizada, cloritización, zeolitización, alunitización, listvenitización, dolomitización, serpentización, adularización, piritización y hematización (Tabla 1, Rose y Burt 1979, Utada 1980).

Tabla 3: Principales tipos de alteración hidrotermal

	1) Greisen	2) Potásica	3) Silicificación	4) Sericitización	5) Argilización	6) Propilitización	7) Cloritización	8) Zeolitización	9) Alunitización	10) Listvenitización
Albita		B						B		
Alunita			B		B				A	
Anhidrita		B						C	B	
Apatito		B		B						
Biotita	A	A		B			A			
Calcita						A		C		
Caolin		C	B		A				B	
Carbonatos		C					A	C		A
Clorita		B		B		A	A	B		
Cuarzo	A	A	A	A			A	B	A	A
Epidota		C				A				
Illita				B	A					
Montmor.		C			A					
Ortosa		A						C		
Pirita			C	A		A		C	B	A
Rutilo		C	C	C						
Sericita		B	B	A			A	B		A
Turmalina	B	C	C	C						

NOTA: A=mineral principal, B= mineral accesorio y C= mineral raro

Fuente: Rose y Burt (1979), Utada (1980).

2.2.2.1. Tipos de alteración hidrotermal más representativos en Perú.

Existe un gran número de clasificaciones de alteraciones hidrotermales, basadas en el ambiente de formación, los depósitos minerales a los que se asocian, etcétera. Sin embargo, existen dos grandes categorías de clasificación: por asociaciones mineralógicas y por cambios químicos. La primera consiste en una descripción de las asociaciones mineralógicas dominantes, mientras que la segunda categoría hace referencia a la química del fluido involucrado en el proceso de alteración. Dados los objetivos del presente estudio, sólo se describirán las paragénesis de alteración más comunes, descritas ampliamente por Franco Pirajno (2009).

Alteración Propilítica

Propilítica es un término viejo utilizado para describir la alteración de rocas volcánicas. La alteración propilítica se caracteriza por la adición de agua y dióxido de carbono a la estructura de los minerales. Los minerales típicos de este tipo de alteración son la epidota, la clorita, algunos carbonatos, albita, feldespato potásico y piritita. También es común encontrar sericita, óxidos de hierro, montmorillonita y zeolitas.

Se identifica porque produce una coloración verdosa en las rocas. Tiende a ser más penetrante en las zonas interiores del sistema hidrotermal, es decir, aumenta con la cercanía a la fuente de calor.

Alteración Fílica

La alteración fílica o sericítica se caracteriza por la asociación mineral cuarzo-sericita-piritita. Otras fases minerales asociadas usuales son el feldespato potásico, la caolinita, la calcita, la biotita, la anhidrita y la apatita.

Alteración argílica y argílica avanzada

La alteración argílica está caracterizada por la formación de minerales arcillosos debido al intenso proceso de hidrólisis, producto de la gran acidez de los fluidos. Ocurre a temperaturas entre 100 °C y 300 °C. Los minerales arcillosos son producto de la alteración de plagioclasas, feldespatos y silicatos máficos.

La alteración argílica se divide a su vez en argílica y avanzada. La alteración argílica se define por la presencia de montmorillonita y arcillas del grupo de la caolinita. Es común encontrar algunos sulfatos asociados.

Por su parte, la alteración argílica avanzada se produce cuando el ataque de fluidos ácidos es muy intenso y es acompañado por la lixiviación de cationes alcalinos, produciendo la destrucción total de los feldespatos y silicatos máficos. Los minerales típicos de este tipo de alteración a diferentes

temperaturas son la caolinita, dickita, pirofilita, barita, alunita y diásporo. Asociados a ella se pueden encontrar algunos sulfuros como la covelita, la digenita y la enargita (Pirajno, 2009).

2.2.3. Comportamiento espectral de minerales representativos de alteraciones hidrotermales.

Las características de absorción son manifestaciones de reflejos o tonos de primero y segundo orden y la combinación de tonos de modos fundamentales que ocurren en la región media del infrarrojo. El espectrómetro SWIR es particularmente sensitivo a ciertas moléculas y radicales, incluyendo OH, H₂O, NH₄, CO₃ y los enlaces del catión OH tales como Al-OH, Mg-OH y Fe-OH. Las posiciones características en el espectro de cada mineral y sus formas típicas son función de los enlaces moleculares presentes en el mineral. Las variaciones en su composición química pueden ser detectadas en el tamaño y posición de las características de cada espectro, el cual cambia consistentemente por la sustitución de elementos. El espectrómetro SWIR es parcialmente sensitivo a variaciones de cristalización, pero podría no detectar cambios primarios en la estructura molecular. Un típico espectro consiste de varias características de absorción. La Figura 24 ilustra los diferentes aspectos de un espectro de absorción típico, incluyendo la posición de sus ondas, profundidad y ancho (alto completo, medio-ancho máximo). Se muestra también un perfil generalizado denominado "hull" o "continuun" (HUNT, 1977 y GOETZ et al 1982).

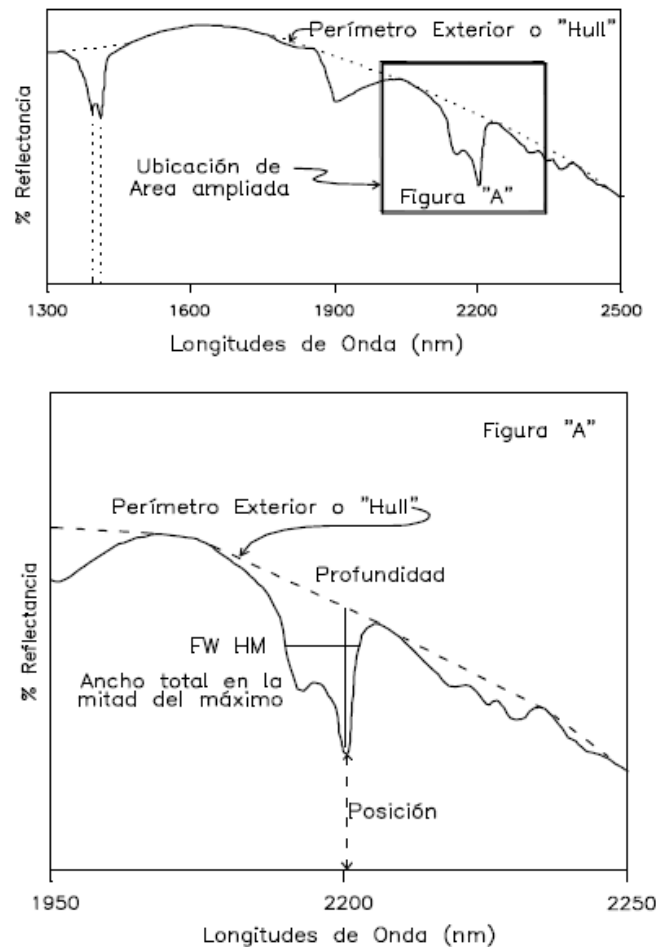


Figura 9: Detalle de las características del espectro de caolinita obtenido de un espectrómetro

Fuente: HUNT, 1977 y GOETZ et al (1982)

2.2.4. Definición de términos básicos

Absorción atmosférica: Indica la eliminación que realiza la atmósfera de distintos tipos de energía, en razón de sus propios componentes, y principalmente del ozono, oxígeno atómico y vapor de agua. (Chuvieco, 1996).

Banda espectral: se refiere este término a una selección de longitudes de onda con comportamiento electromagnéticos similares. (Chuvieco, 1996).

Calibración: Proceso de comparar ciertas medidas específicas con otro instrumento estándar. (Chuvieco, 1996).

Correcciones atmosféricas: Indican las operaciones digitales tendentes a eliminar errores en la adquisición de las imágenes, ya sean radiométricos o geométricos. (Chuvieco, 1996).

Emisividad: proporción entre la energía emitida por un determinado objeto y la que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura. (Chuvieco, 1996).

Espectro electromagnético: Se trata de la agrupación de la radiación electromagnética en distintas bandas, definidas por la longitud de onda o la frecuencia, que presentan un comportamiento radiométrico similar. (Chuvieco, 1996).

Firma espectral: Forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Está afectadas por las características físicas o químicas del objeto que interactúan con la energía electromagnética, y varía según las longitudes de onda. (Chuvieco, 1996).

Infrarrojo: Porción del espectro comprendida entre 0,7 y 100 micras, que tiene gran importancia para estudios de teledetección. Normalmente suele dividirse en infrarrojo cercano, medio y lejano. Este último también se conoce como infrarrojo térmico. (Chuvieco, 1996).

Landsat: Serie de satélites construida por NASA dedicados específicamente a la detección de recursos naturales. (Chuvieco, 1996).

Longitud de onda: Es la medida de la distancia que separa dos valores culminantes entre sucesivas ondas. (Chuvieco, 1996).

Numero digital: Valor entero que traduce numéricamente la intensidad radiométrica recibida por un sensor óptico-electrónico. (Chuvieco, 1996).

Píxel: Derivado del inglés "picture element". Es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado. (Chuvieco, 1996).

Reflectividad: Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional. (Chuvieco, 1996).

Resolución: La resolución es la medida de la habilidad de un sistema sensor para discriminar información dentro de la imagen. Refiere al tamaño de la mínima unidad de información en el terreno (espacial), al número de bandas disponibles (espectral), a los niveles de codificación (radiométrica) o a la frecuencia de cobertura (temporal). (Chuvieco, 1996).

Sensor: Cualquier instrumento que detecta energía electromagnética, la convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechada para su estudio. (Chuvieco, 1996).

Teledetección: Es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación. (Chuvieco, 1996).

2.3.Hipótesis

Las características estructurales y mineralógicas identificadas mediante firmas espectrales de los minerales determinan zonas de alteración hidrotermal características de yacimientos prospectables.

CAPÍTULO 3. GENERALIDADES

3.1. Ubicación

La zona de estudio abarca enteramente el distrito de Llacanora en la provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca

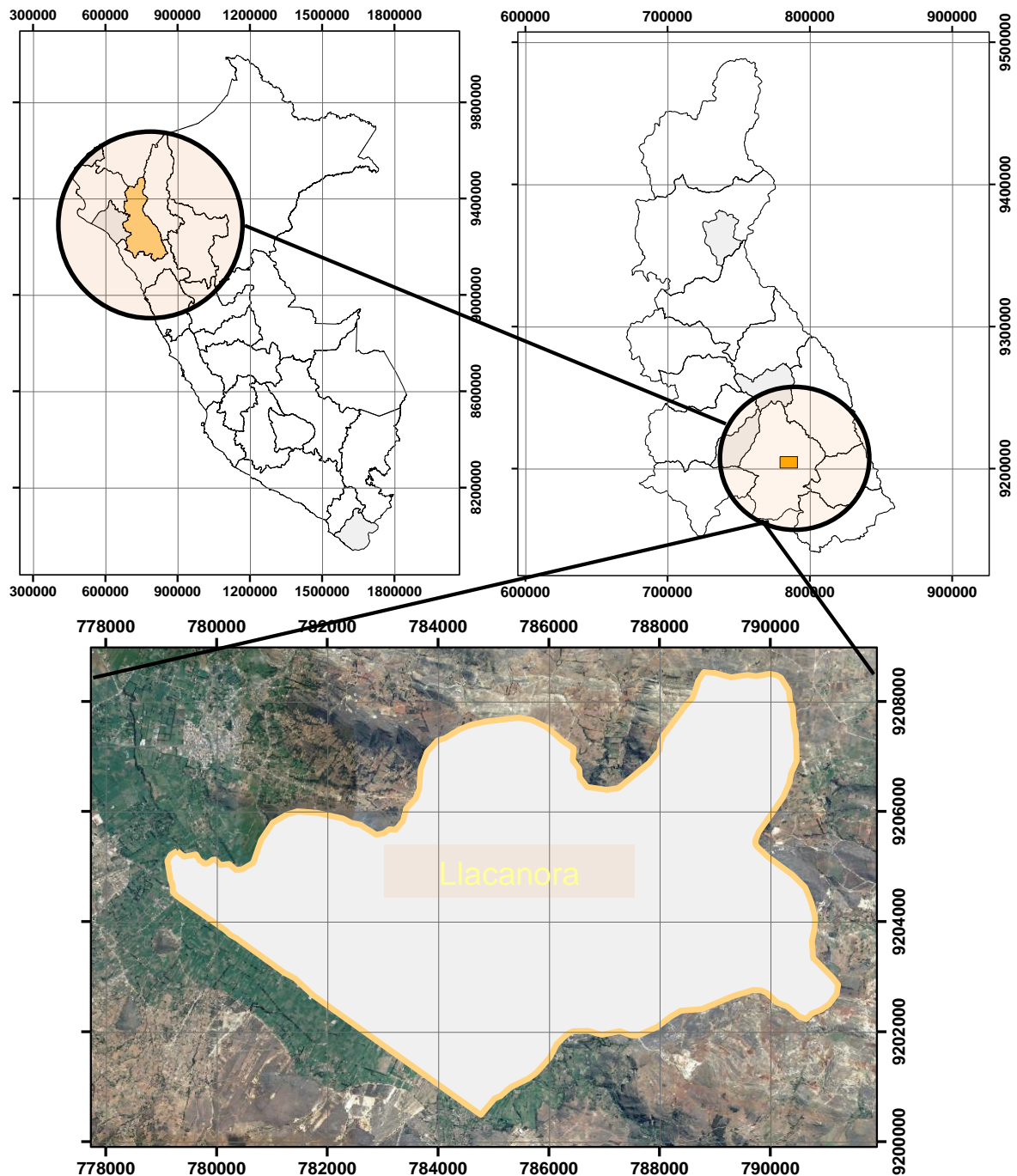


Figura 10: Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración de los investigadores

Coordenadas referenciales:

El área de estudio queda limitada en las siguientes coordenadas referenciales que enmarca el distrito de Llacanora

Tabla 4: Coordenadas de referencia de la zona de estudio.

Punto	Este	Norte
01	779024	9208558
02	791280	9208558
03	779024	9200472
04	791280	9200472

Fuente: Elaboración de los investigadores

3.2. Población

El distrito de Llacanora es uno de los 12 distritos de la Provincia de Cajamarca ubicada en el departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, en el norte del Perú, con una población de 5,218 habitantes, siendo 2,785 mujeres y 2,543 hombres.

3.3. Accesibilidad

Para acceder al distrito de Llacanora podemos usar los siguientes accesos.

Primer acceso a la zona de estudio

Tabla 5: Accesibilidad al distrito de Llacanora.

Tramo	Tipo de vía	Longitud	Tiempo
Cajamarca – Baños del inca	Carretera asfaltada	5km	15min.
Baños del inca - Llacanora	Carretera asfaltada	6km	20 min.
Total		11km	35 min.

Fuente: Elaboración de los investigadores

Segundo acceso a la zona de estudio

Tabla 6: Accesibilidad al distrito de Llacanora.

Tramo	Tipo de vía	Longitud	Tiempo
Cajamarca – Shaullo	Carretera asfaltada	14 km	25min.
Cajamarca - Puylucana	Carretera asfaltada	18 km	35 min.
Total		32 km	60 min.

Fuente: Elaboración de los investigadores

3.4. Geología regional

3.4.1. Estratigrafía

Las siguientes formaciones descritas a continuación son las que afloran en el área de estudio y que corresponde al distrito de Llacanora.

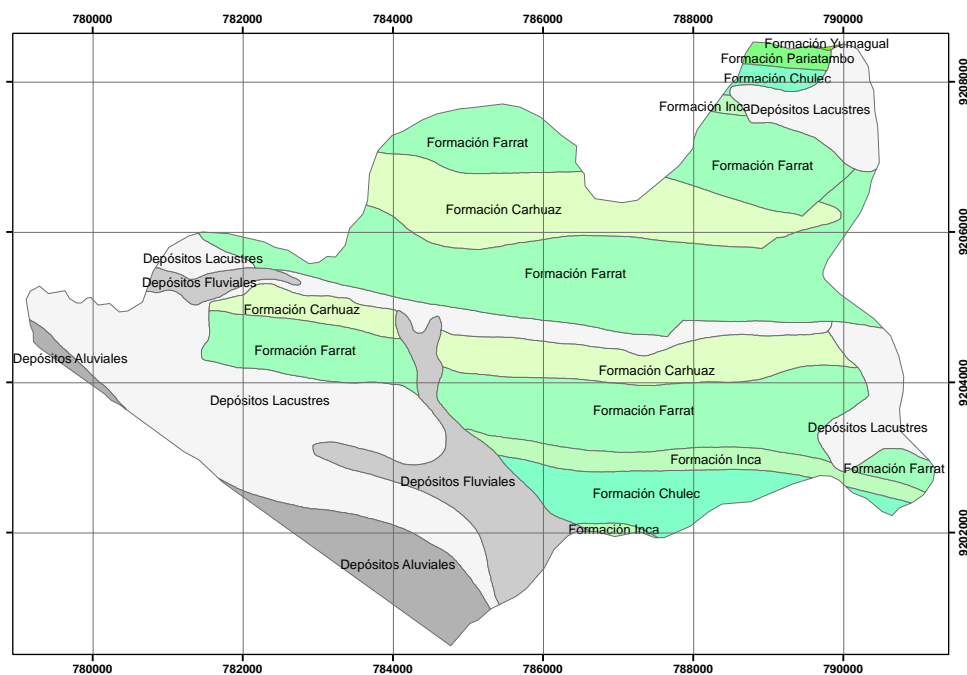


Figura 11: Estratigrafía característica de la zona de estudio

Fuente: Elaboración de los investigadores

Formación Carhuaz:

Esta formación descrita inicialmente por BENAVIDES (1956), en el área tiene aproximadamente un grosor de 500 m, con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste.

Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas.

La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordantemente a la formación Farrat. (Reyes, 1980).

Formación Farrat:

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual.

Por su similitud litológica con la formación Chimú es fácil confundirlas, siendo necesario en el campo, establecer muy bien sus relaciones estratigráficas para diferenciarlas, aunque en algunos casos solamente por la falta de mantos de carbón es posible diferenciarla de la formación Chimú.

Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y Chimú conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas. (Reyes, 1980).

Formación inca:

Esta formación, inicialmente llamada “Capas Rojas” del Barremiano por TAFUR (1950), fue posteriormente definida por BENAVIDES (1956) como formación Inca, refiriéndose a los afloramientos al este de los Baños del Inca en Cajamarca.

Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat (Foto 2), con un aparente paso transicional.

En varios lugares, se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza, pero en el resto del área, el color predominante es amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonitización. Su grosor no pasa de los 100 m.

Esta formación representa a la cuenca occidental, caracterizada entonces por un mar de poca profundidad con corrientes turbulentas y bien oxigenado. (Reyes, 1980).

Formación Chulec:

Esta formación fue determinada por MC Laughlin (1925) y al igual que en los Andes centrales, se extiende en la zona norte del Perú suprayaciendo concordantemente a la formación Inca e infrayaciendo con la misma relación a la formación Pariatambo.

Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Sus grosores varían de 200 a 250 m. con tendencia a aumentar hacia el suroeste. Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados. (Reyes, 1980).

Formación Pariatambo:

Esta unidad fue inicialmente estudiada por MC LAUGHLIN (1925); en el área consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m.

La formación Pariatambo yace concordantemente sobre la formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la formación Yumagual; relación observable en la cuenca de Pulluicana, en la carretera Cajamarca-La Encañada, al este de los Baños del Inca. En el sector oriental se hace algo masiva y cambia lateralmente a la facies del valle del Marañón. Las mejores exposiciones de esta unidad se hallan en los alrededores de Cajamarca, la Encañada, San Marcos y hacienda Tambaría. (Reyes, 1980).

Formación Yumagual:

Esta denominación fue dada por TAFUR (1950) Y BENAVIDES (1956). Suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la formación Mujarrún y Grupo Quilquiñán indiviso.

La formación Yumagual consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso amarillento, dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas elongadas debido a su dureza uniforme. Algunas veces se intercalan bancos calcáreos, compuestos en su mayor parte por restos de fósiles y microfósiles (pampa de Huanico y comienzo del desarrollo de la carretera hacia la hacienda Huagal). En algunos horizontes se observan nodulaciones calcáreas. Tiene un grosor aproximado de 700 m.(Reyes, 1980).

Depósitos clásticos cuaternarios:

Depósitos Clásticos Cuaternarios en discordancia angular sobre todas las unidades descritas anteriormente se tiene una variedad de depósitos cuaternarios, localizándose los morrénicos y fluvio-glaciares en las zonas más elevadas, los lacustres en las pequeñas cuencas interandinas, los aluviales en las faldas de cerros y laderas de valles, y finalmente los fluviales en los lechos de los ríos.

(Reyes, 1980)

De las formaciones Geológicas que afloran en el área se ha podido determinar que las areniscas de Formación Carhuaz y la Formación Inca, son buenas receptoras para eventos de mineralización, debido principalmente a su bajo grado de compactación, contenido de arcillas y porosidad

GEOLOGIA									
Erat.	SIST.	SERIE	PISO	FORMACIÓN	SIMBOLOGIA	ESPESOR (m)	COLOR (R-G-B)	FORMACIÓN	
E RA	PERIO	ÉPOCA	EDAD						
MESOZOICO	CUATER- NARIO	Holoceno	Versiliano	Depósitos aluviales, fluviales y lacustres	Qh-fg			Arenas, gravas, limos, arcillas. Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.	
	CRETÁCEO	Superior	Cenomaniano	Gpo. Pulluicana	Formación Yumagual	Ki-yu	700		Calizas gris parduscas, fosilíferas (exogyra), margas y escasos niveles de lutitas. Hacia el piso con horizontes de chert y calizas nodulares.
			Inferior		Albiano	Gpo. Crisnejas	Formación Pariatambo	Ki-pa	150-200
		Gpo. Crisnejas		Formación Chulec		Ki-chu	200-250		Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.
		Aptiano		Gpo. Goyllar	Formación Inca	Ki-in	150		Areniscas ferruginosas, argilitas, limolitas y lutitas.
			Gpo. Goyllar	Formación Farrat	Ki-f	500		Areniscas cuarzosas blanquecinas de bancos potentes y horizontes litarenosas.	
		Neocomiano	Gpo. Goyllar	Formación Carhuaz	Ki-ca	500		Areniscas rojizas y areniscas cuarzosas blancas intercaladas con lutitas grises.	

Figura 12: columna estratigráfica de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración de los investigadores

3.4.2. Geología estructural y tectónica

Las estructuras características en la zona de estudio son:

Diaclasas

Las diaclasas de la zona probablemente son originadas por esfuerzos, producto de meteorización física, tal como gelifracción, dilatación- contracción debido a la variación de la temperatura y esfuerzos tectónicos. En las rocas sedimentarias la mayoría de las fracturas se encuentran en dirección promedio N 20°, y buzamiento promedio de 60°, halladas perpendiculares a la estratificación o paralelas a la superficie. Lagos (2012)

Pliegues:

Se presentan grandes flexionamientos en los estratos, que van desde unos metros hasta algunos kilómetros, probablemente debidos a los esfuerzos que sufren las rocas por la tectónica que presenta la zona.

Fallas

La falla Cajamarca se presenta paralela a los ejes de los pliegues tanto del anticlinal Baños del Inca, como del sinclinal Namora cruzando toda la zona de estudio con una dirección NW - SE, generando la misma el afloramiento formación Carhuaz, Lagos (2012)

Dicha falla constituye una zona de debilidad por la cual han migrado los fluidos hidrotermales mineralizantes, los cuales al ponerse en contacto con areniscas de la Formación Carhuaz, han generados ambientes favorables para mineralización, debido principalmente a que este tipo de roca presenta bajo grado de compactación y alta porosidad, albergando los fluidos mineralizantes para dar origen a un sistema de mineralización en brechas hidrotermales, por lo que deducimos que tanto los rasgos litológicos como estructurales en la zona de estudio guardan relación con la mineralización. Lagos (2012)

3.4.3. Metalogenia

Los fluidos mineralizantes dieron origen a un sistema de mineralización en brechas hidrotermales usando los rasgos estructurales y litológicos que guardan relación con la mineralización, dichos fluidos hidrotermales han afectado y alterado a las areniscas de la Formación Carhuaz.

Los factores fisicoquímicos, y los factores estructurales están representados por la presencia de falla Cajamarca, la cual ha favorecido para el ascenso de los fluidos hidrotermales y para el emplazamiento del sistema de Brechas Hidrotermales. Avalando la teoría de Álvares (1955) en la cual menciona que la localización de los yacimientos minerales es la resultante de dos sistemas o factores. Un sistema que

puede denominarse factores fisicoquímicos los cuales incluyen las soluciones mineralizantes, su origen, concentración, temperatura, presión, velocidad de flujo y posiblemente otras variantes y el otro factor que intervienen en la localización del yacimiento son los rasgos estructurales, los cuales incluyen la zona de falla, fractura, horizonte y otros rasgos estructurales en los que se han depositado los yacimientos minerales. Lagos (2012)

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1. Operacionalización de variables

Tabla 7: Marco operacional de variables e indicadores.

VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES:			
Variable	Definición conceptual	Indicadores	Definición operacional Índice/Ítem
Estructura	Distribución arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso	Diaclasas fallas	<ul style="list-style-type: none"> • Normal, inversa • % fracturamiento
Litología	Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas	Tipo de roca	<ul style="list-style-type: none"> • Rocas ígneas. • Rocas metamórficas
Ensamble mineralógico	Afinidad mineral en condiciones químicas y físicas de equilibrio	Tipos de minerales	% mineral
Tipo de alteración hidrotermal	Procesos geológicos con una respuesta textural, mineralógica y química en las rocas por medio de fluidos infiltrados	Ensamblajes minerales	Minerales oxidantes y reductores

Fuente: Elaboración de los investigadores

4.2. Diseño de investigación

La investigación será del tipo no experimental – transversal - correlacional/causal.

4.3. Unidad de estudio

Con una unidad de análisis de 15 x 15 m pixel.

4.4. Población

La población de estudio será en un área de 49.42 Km², perteneciente a al cuadrángulo 14f Cajamarca, correspondiente a todo el distrito de Llacanora, departamento de Cajamarca.

4.5. Muestra

Firmas espectrales de minerales de alteración.

4.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas son la observación y el análisis espectral de las imágenes satelitales, el cual viene a ser la descomposición de dicha señal en sus diversas componentes dentro

de un dominio frecuencial; a la vez es una técnica ampliamente utilizada para discriminar diferentes tipos de materiales y generar procesamiento de datos usando instrumentos como como el software ARCGIS 10.4 y Envi 5.3, para la localización de las alteraciones Hidrotermales.

4.7. Procedimientos de análisis de datos

4.7.1. Adquisición De Imágenes Aster

Se adquirieron imágenes del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) el cual se encuentra en el satélite Terra.

4.7.2. Pre Procesamiento De Imagen Aster

4.7.2.1. Correcciones Geométricas

Los datos crudos (nivel 1A) se corrigen geoméricamente, con el software ^oENVI 5.3, el cual asigna una coordenada a cada pixel. Se realizó la corrección por la altura sobre el nivel del mar y se proyecta los datos a un plano de referencia determinada, UTM, WGS84, Zona 17.

4.7.2.2. Correcciones Radiométricas

Una vez que se haya corregido geoméricamente la imagen, se procede a hacer las correcciones radiométricas convirtiendo los niveles digitales a Radiancia espectral de la imagen.

con la siguiente relación:

$$\text{Rad}_i = (\text{ND}_i - 1) \times \text{coef}$$

Dónde:

Rad_i : Radiancia de la banda i

ND_i : Nivel Digital de la banda i

coef : Coeficiente de recalibración de la banda i.

4.7.2.3. Corrección atmosférica

Los valores de la Radiancia de las imágenes ASTER se convierten a reflectancia mediante la corrección atmosférica utilizando el modelo FLASSH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of spectral Hipercubes) incluido en el programa ENVI 5.3. 80

FLASSH recupera la cantidad de aerosoles iterando ecuaciones sobre una serie de rangos visibles. Estas variaciones de reflectancia son evidentes cuando se realiza un análisis espectral, para tal fin la Radiancia de las imágenes ASTER es transformada en reflectancia mediante la corrección atmosférica usando el modelo FLASSH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of spectral Hipercubes).

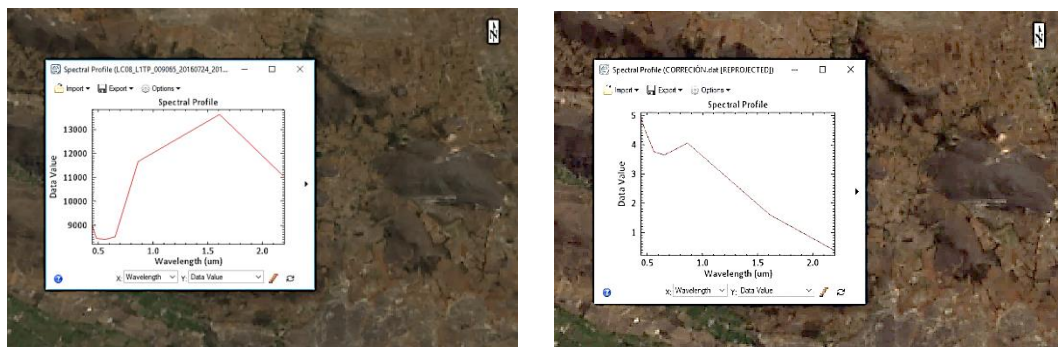


Imagen sin corrección

Imagen corregida

Figura 13: Imagen sin corrección vs Imagen corregida

Fuente: Elaboración de los investigadores

4.7.3. Procesamiento De Imagen Aster

4.7.3.1. Elaboración de máscaras

Para resaltar las anomalías espectrales es necesario enmascarar las siguientes zonas en la imagen:

- Las zonas cubiertas por vegetación (en zonas de vegetación seca resalta la presencia de arcillas y que puede no ser cierto).
- Las zonas que corresponden a cuerpos de agua y sombras por pendiente.
- Las zonas de saturación (valores máximos de zonas blancas).

I. Mascara de vegetación

- Para crear la máscara de vegetación se usa el Índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI).
- Se elige el umbral correspondiente. Generalmente la vegetación densa y/o robusta tiene un NDVI > 0.40. Sin embargo, dado que cada imagen

es diferente, se debe elegir el umbral de manera interactiva superponiendo los valores de NDVI.

- Finalmente se crea la máscara para la vegetación.

II. Mascara de sombra, agua y background

- Determinar las áreas de sombra y agua, haciendo uso de la banda 5 (valores bajos).
- Determinar el umbral a partir de esta banda, y crear una máscara.

III. Mascara de nubes y zonas saturadas:

- Determinar las áreas de nubes y las zonas saturadas haciendo uso de la banda 1 (valores altos).
- Determinar el umbral a partir de esta banda, y crear una máscara.

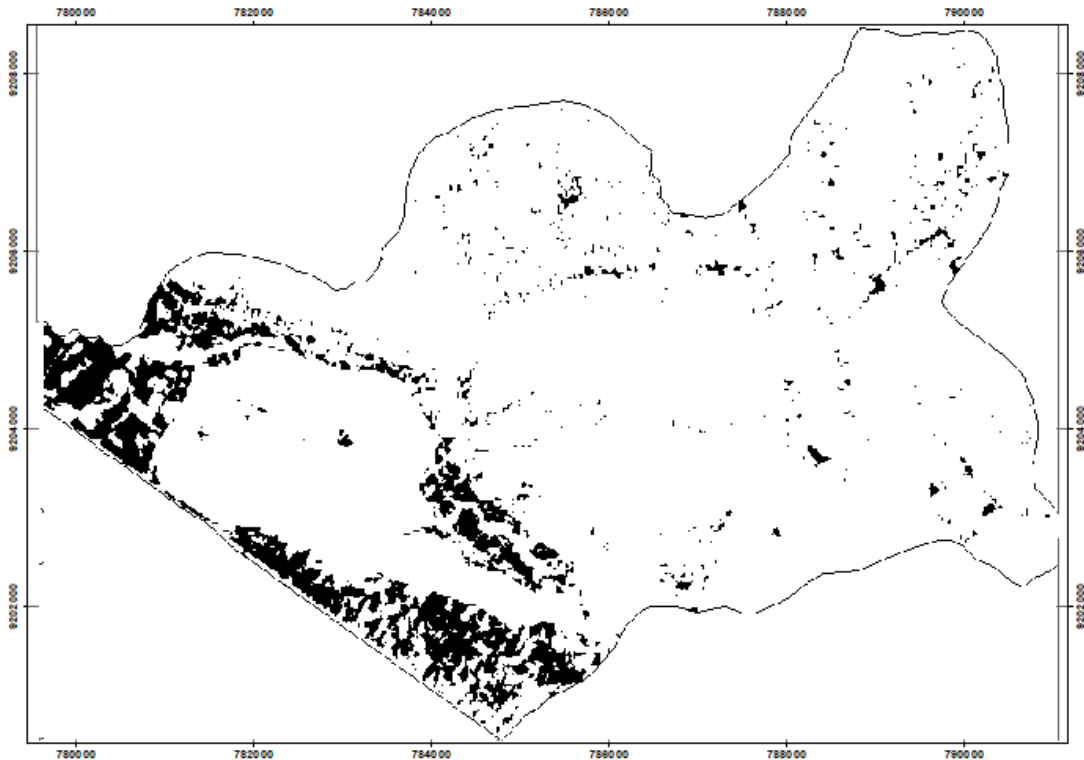


Figura 14: Unión de macaras aplicadas a la imagen corregida
Fuente: Elaboración de los investigadores

4.7.3.2. Composición de Bandas

Esta es la etapa preliminar del mapeo de minerales posterior a la adecuada preparación de los datos, se analizaron combinaciones simples de bandas y ratios.

Se hicieron diferentes combinaciones de bandas, la combinación 4, 6, 8 útil para la determinación de zonas de alteración y 3, 2, 1 de oxidación, sin el empleo de otras técnicas de procesamiento de imágenes, visualizándose en tonos amarillos de zonas alteradas y con presencia de óxidos y el empleo de ratio de bandas nos ayuda a discriminar zonas de alteración hidrotermal. (8, 9, 10).

Tabla 8: Combinación de bandas

COMPOSICIÓN DE FALSO COLOR	RGB	321
MAPEO DE ALTERACIONES	RGB	468 - 567 - 943
TIPO DE ROCAS	RGB	931

Fuente: Elaboración de los investigadores

Se procede a establecer la secuencia del procesamiento digital de las imágenes ASTER, haciendo uso del software ENVI 5.3, en la determinación en superficie de tipos de alteración.

Las imágenes ASTER (subsistemas VNIR y SWIR) permiten obtener mapas de tipos de alteración, como son alteración Argílica, Fílica y Propilítica.

Tabla 9: Zonas de Alteración y Presencia de minerales mayores y menores (ROWAN; LATHRAM, 1980).

Zona de Alteración	Minerales mayores y menores
Propilítica	Epídota, Clorita, Albita, Carbonato, Montmorillonita, Goetita + Mica potásica, Pirita, Zeolitas.
Argílica	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo, Mica Potásica, Goetita, Hematita, Jarosita + Clorita, Carbonato.
Argílica avanzada	Cuarzo, Pirofilita, Alunita, Caolinita, Opalo, Feldespato Potásico, Mica Potásica, Hematita + anastasa.
Fílica	Cuarzo, Mica Potásica, caolinita, Arcilla Esmectita, Hematita, Jarosita, Feldespato Potásico, Albita.
Opalizada	Cuarzo, Alunita, Caolinita, Pirofilita, Calcita + Anastasa.
Silicificada	Cuarzo, Alunita, Caolinita, Diáspora, Pirofilita, Hematita, Goetita, Jarosita + Anastasa, Rutilo, Opalo, Mica Potásica.

Fuente: Elaboración de los investigadores

a) Identificación visual de zonas de alteración.

Podemos identificar visualmente la presencia de zonas de alteración, vegetación, nubes, cuerpos de agua, etc. Las composiciones RGB que nos sirven para visualizar dichas características son:

RGB: 321

Identificación de vegetación en rojo, zonas de saturación en blanco, agua en color negro, Cabe resaltar que para realizar esta combinación se trabaja con la imagen antes de ser aplicada las máscaras correspondientes (Figura 15).

RGB: 931.

Se combinaron bandas a fin de realizar una primera interpretación foto geológica de la región. La combinación RGB 931, permitió identificar y correlacionar diferentes litologías con mapas preexistentes de INGEMMET (Figura 16).

En la cual se procede a la determinación de los contactos litológicos, verificando mediante los cambios de coloración y textura cada una de las formaciones existentes, delimitándose las siguientes formaciones litoestratigráficas (Tabla 10).

RGB: 468.

El análisis de la composición RGB: 468 nos permite identificar dos zonas notables de alteraciones: predominantemente zonas en color verde propio de la alteración Propilítica, acompañada del color magenta en menor proporción, estas coloraciones son debido a la fuerte absorción de la banda B6 (2.20 μ m.), en este rango espectral se absorben los minerales de arcilla debido al enlace Al- OH. (HUNT Y SALISBURY, 1970).

También se puede apreciar en menor proporción zonas en color magenta a rosado claro, esto nos permite inferir la presencia de arcillas propias de la alteración Argílica (Figura 17). (HUNT Y SALISBURY, 1970).

RGB: 943.

Esta combinación nos permite observar claramente la presencia de óxidos, en la cual se muestran, en tonos de colores, las diferentes zonas de alteración de la zona de estudio. La predominancia del color verde es propia de la alteración Propilítica, con algunas muestras de óxidos de coloración amarillo pálido. (HUNT Y SALISBURY, 1970).

en esta combinación RGB: 943, el color amarillo pálido es propio de óxidos. Esto se debe a una fuerte absorción de la banda B1 (0.55 μ m) en este rango espectral tenemos la absorción debida a procesos electrónicos del catión Fe³⁺ (HUNT Y SALISBURY, 1970).

Una vez realizado el análisis visual mediante las diferentes combinaciones y enmarcado las zonas de interés se procedió a realizar el análisis espectral para la identificación de minerales (Figura 18).

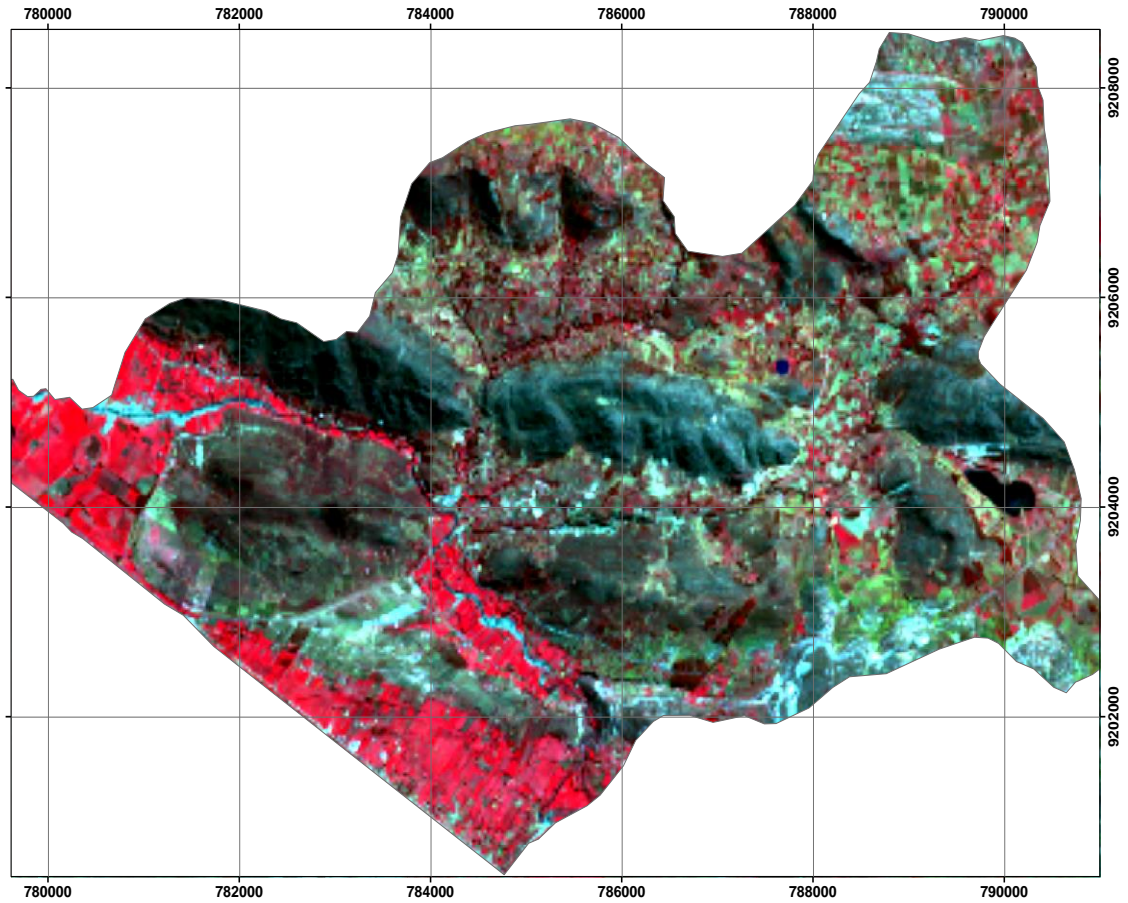


Figura 15: Combinación 321
 Fuente: Elaboración de los investigadores

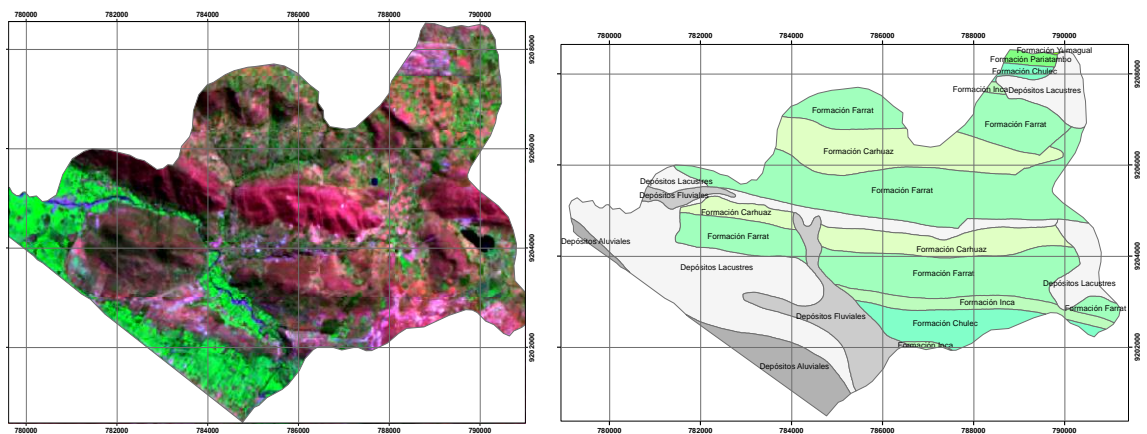


Figura 16: Combinación 931 vs Formaciones Litológicas
 Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 10: Formaciones Litoestratigraficas

GEOLOGIA				
FORMACIÓN	SIMBOLOGIA	ESPESOR (m)	COLOR (R-G-B)	FORMACIÓN
Depósitos aluviales, fluviales y lacustres	Qh-fg			Arenas, gravas, limos, arcillas. Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.
Gpo. Pullucama Formación Yumagual	Ki-yu	700		Calizas gris parduscas, fosilíferas (exogyra), margas y escasos niveles de lutitas. Hacia el piso con horizontes de chert y calizas nodulares.
Gpo. Crisnejas Formación Pariatambo	Ki-pa	150-200		Calizas bituminosas, intercaladas con lutitas grises de estratificación delgada.
	Ki-chu	200-250		Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.
Gpo. Goyllar Formación Inca	Ki-in	150		Areniscas ferruginosas, argilitas, limolitas y lutitas.
Gpo. Goyllar Formación Farrat	Ki-f	500		Areniscas cuarzosas blanquecinas de bancos potentes y horizontes litarenosas.
	Ki-ca	500		Areniscas rojizas y areniscas cuarzosas blancas intercaladas con lutitas grises.

Fuente: Elaboración de los investigadores

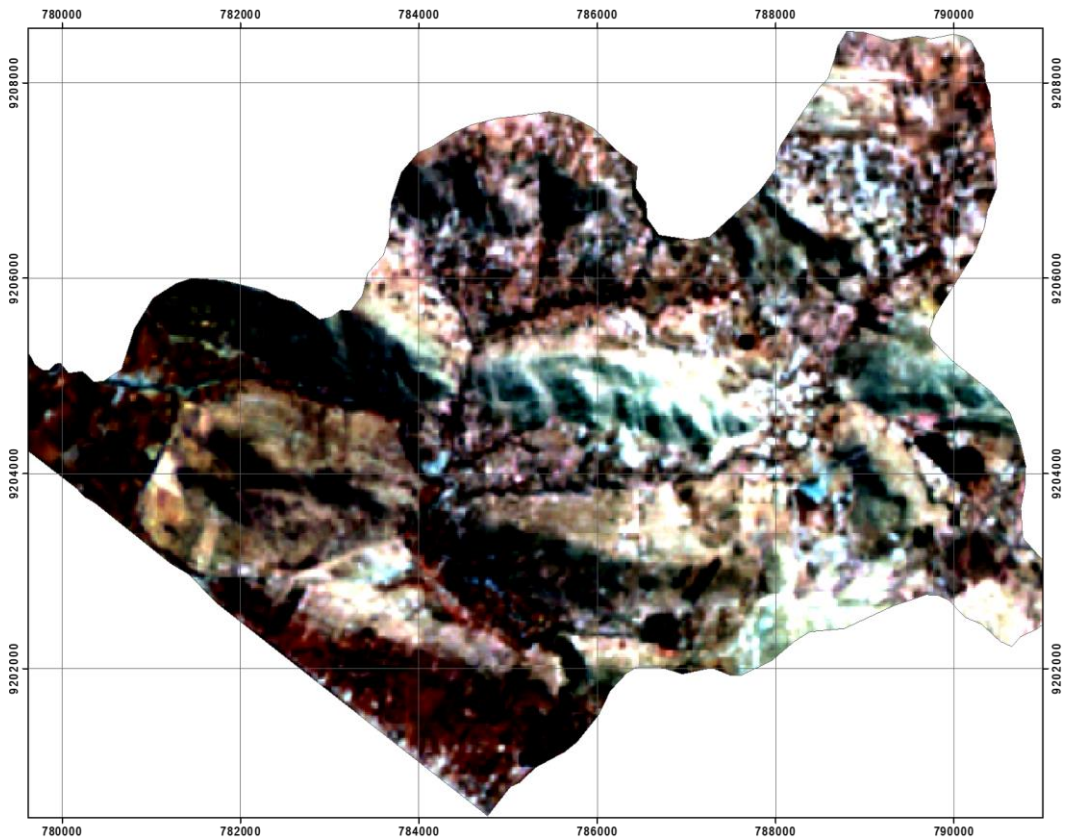


Figura 17: Combinación 468

Fuente: Elaboración de los investigadores

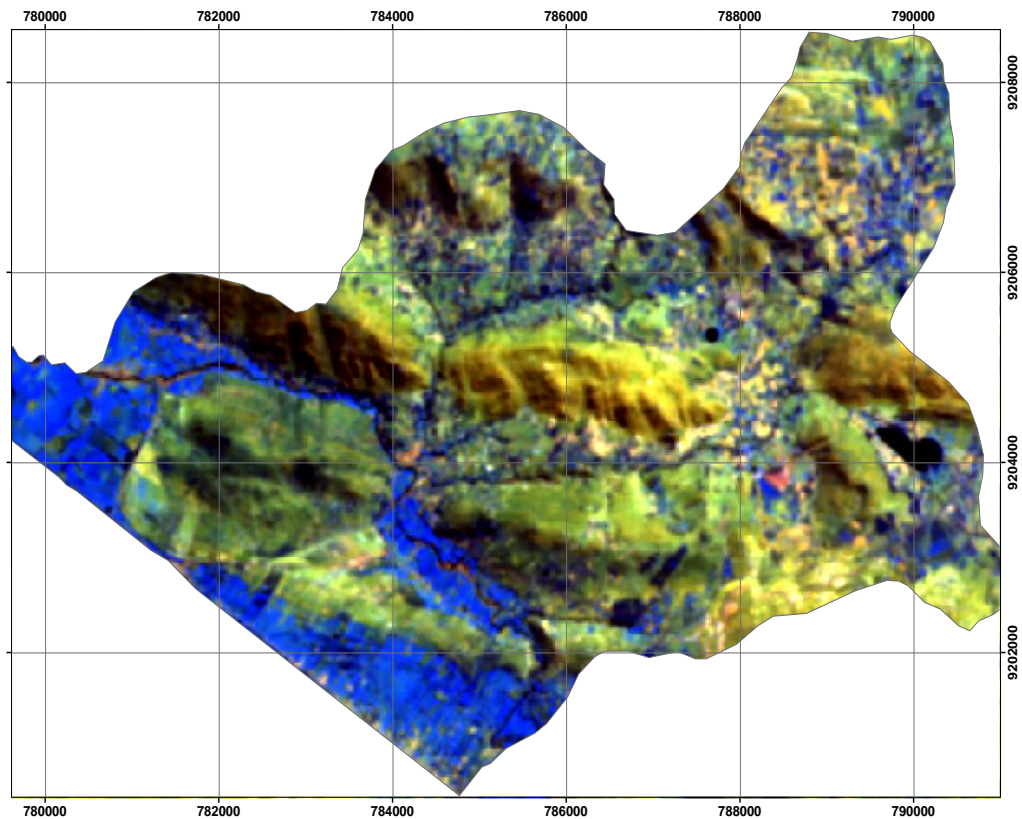


Figura 18: combinación 943

Fuente: Elaboración de los investigadores

4.7.3.3. Análisis Espectral y Clasificación Espectral de Minerales de Alteración

Se realizó la clasificación supervisada por el método Spectral Angle Mapper (SAM), el cual consiste en la determinación de similitud entre dos espectros, uno el del píxel de la imagen y otro el patrón espectral de referencia del mineral de interés (KRUSE et al., 1993).

El algoritmo determina la similitud espectral calculando el ángulo de mejor aproximación y considerando a ambos vectores. Esta técnica, cuando es utilizada con datos calibrados a reflectancia, es relativamente insensible a efectos de iluminación y albedo. Se utilizó una base de datos espectrales del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

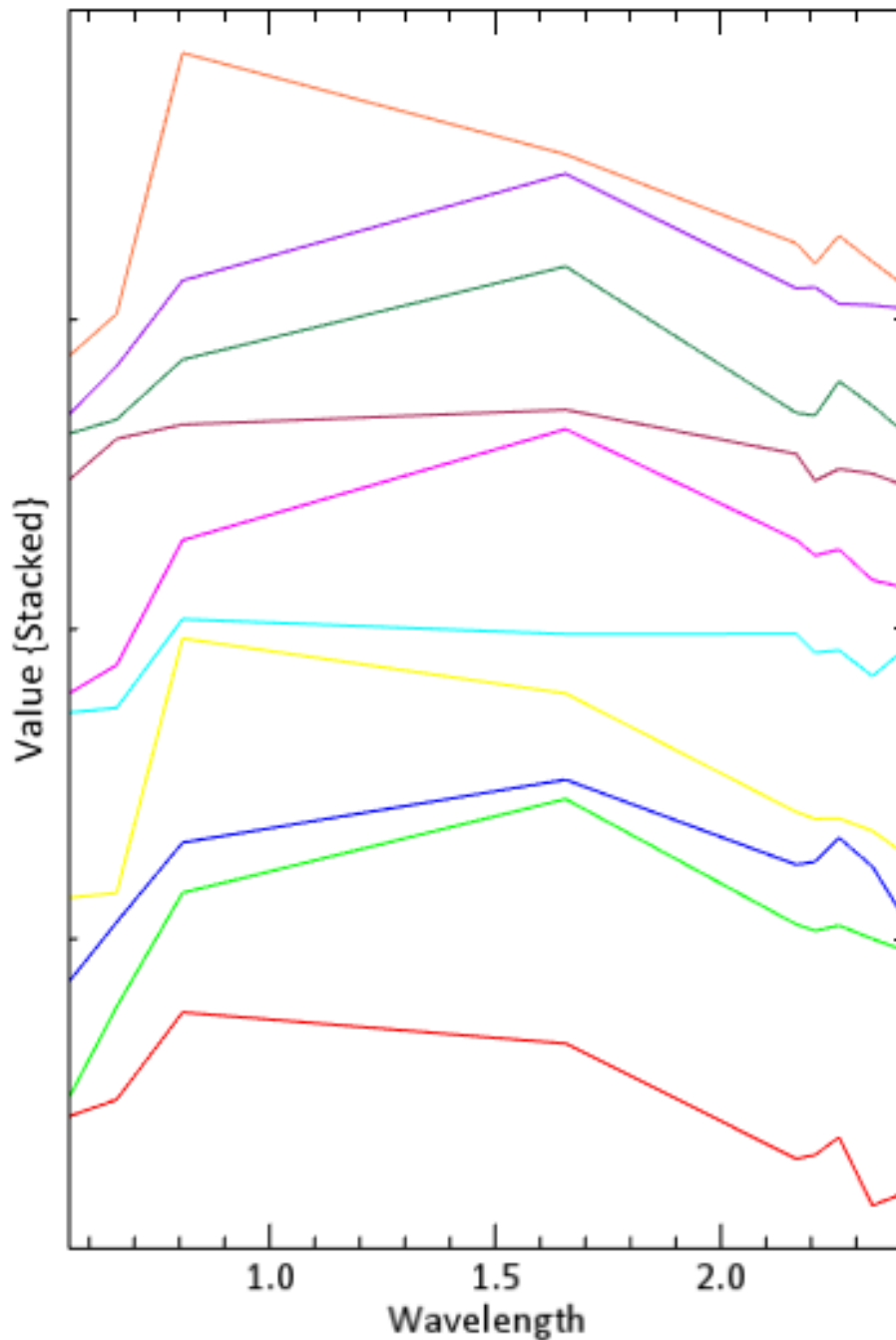


Figura 19: Firmas espectrales de los pixeles puros de la zona de estudio
Fuente: Elaboración de los investigadores

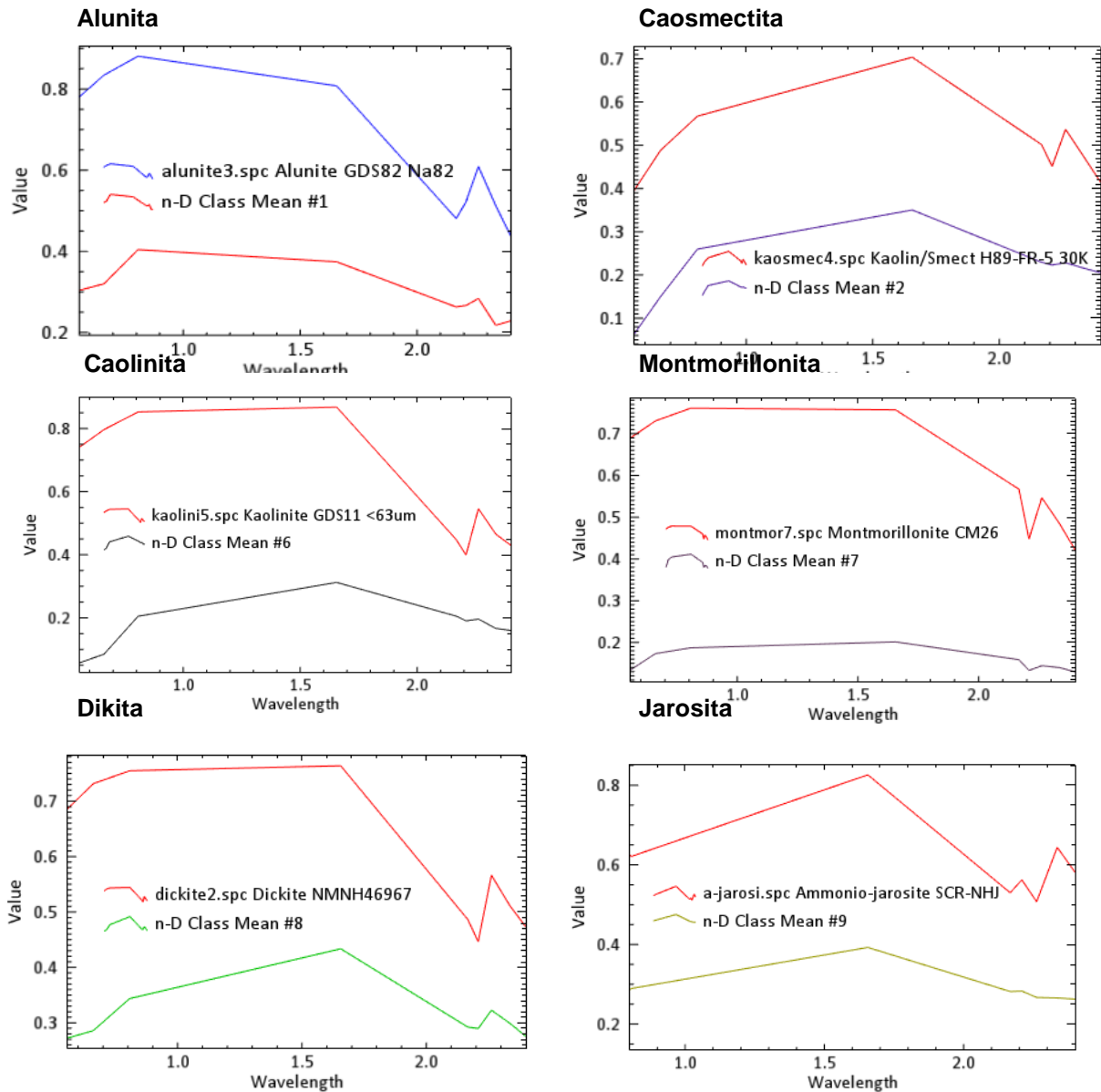


Figura 20: Firmas espectrales de los minerales característicos de la zona
 Fuente: Elaboración de los investigadores

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

El análisis de firmas espectrales parte de la comparación con las firmas de la librería espectral del USGS, en el cual se comparan los rangos de reflectancia o absorción en una longitud de onda, para determinar a manera de huella digital los diferentes minerales presentes en la zona de estudio, las firmas espectrales obtenidas son producto de una selección de información denominada pixel puro, información obtenida de una manera espectral y visual

5.1. Firmas espectrales de alunita

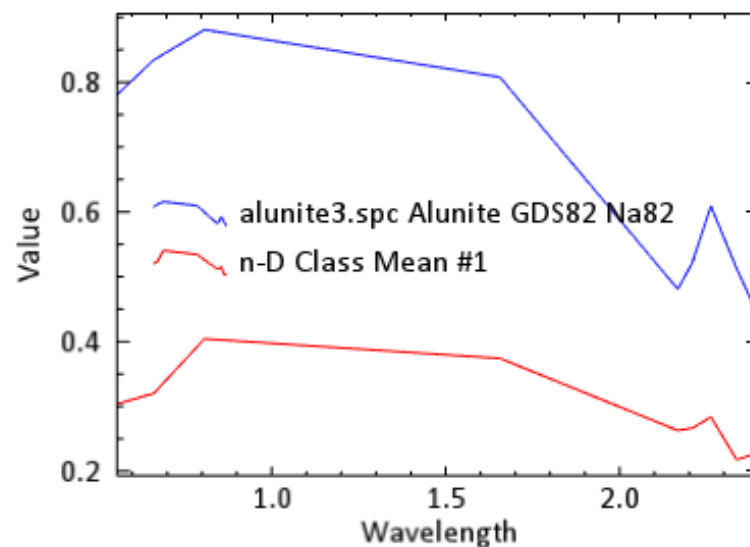


Figura 21: Comparación de rangos espectrales para la Alunita.
 Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 11: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta reflectancia	0.807 μm
Alta reflectancia	1.656 μm
Alta reflectancia	2.260 μm
Alta absorción	2.167 μm
Alta absorción	2.336 μm

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.2. Firmas espectrales de caosmectita

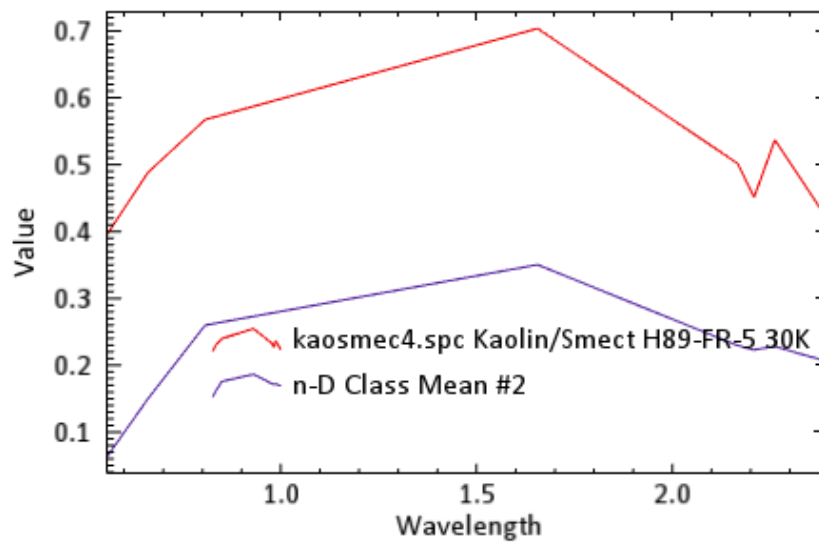


Figura 22: Comparación de rangos espectrales para la Caosmectita.

Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 12: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta absorción	0.661 µm
Alta reflectancia	0.807 µm
Alta reflectancia	1.656 µm
Alta absorción	2.209 µm
Alta reflectancia	2.262 µm

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.3. Firmas espectrales de kaolinita

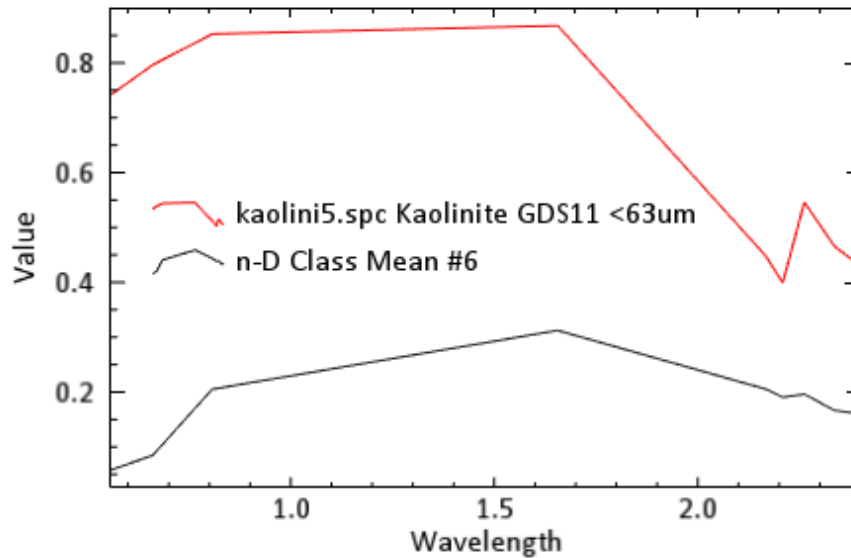


Figura 23: Comparación de rangos espectrales para la Caolinita.
 Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 13: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta reflectancia	0.807 μm
Alta reflectancia	1.656 μm
Alta absorción	2.209 μm
Alta reflectancia	2.262 μm
Alta absorción	2.226 μm

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.4. Firmas espectrales de Montmorillonita

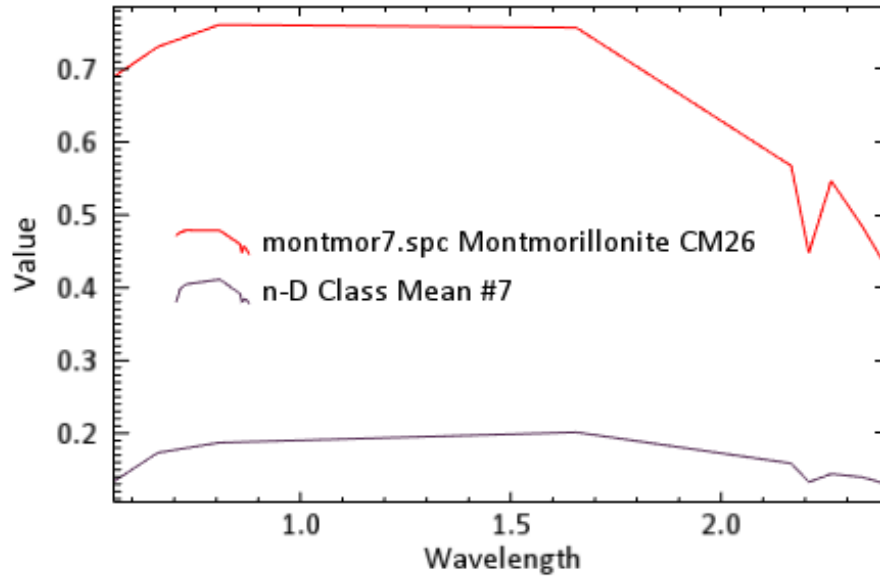


Figura 24: Comparación de rangos espectrales para la Montmorillonita.

Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 14: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta reflectancia	0.661 μm
Alta reflectancia	0.807 μm
Alta reflectancia	1.656 μm
Alta absorción	2.209 μm
Alta reflectancia	2.262 μm

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.5. Firmas espectrales de Dikita

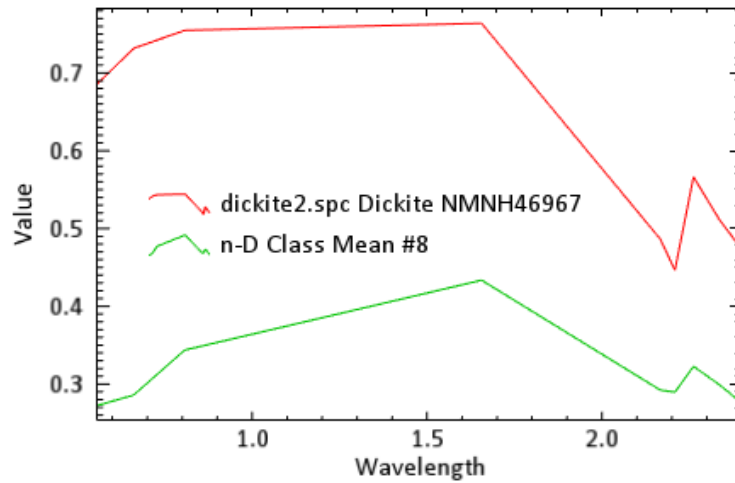


Figura 25: Comparación de rangos espectrales para la Dikita.

Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 15: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta reflectancia	0.661
Alta reflectancia	0.807
Alta reflectancia	1.656
Alta absorción	2.209
Alta absorción	2.330

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.6. Firmas espectrales de Jarosita

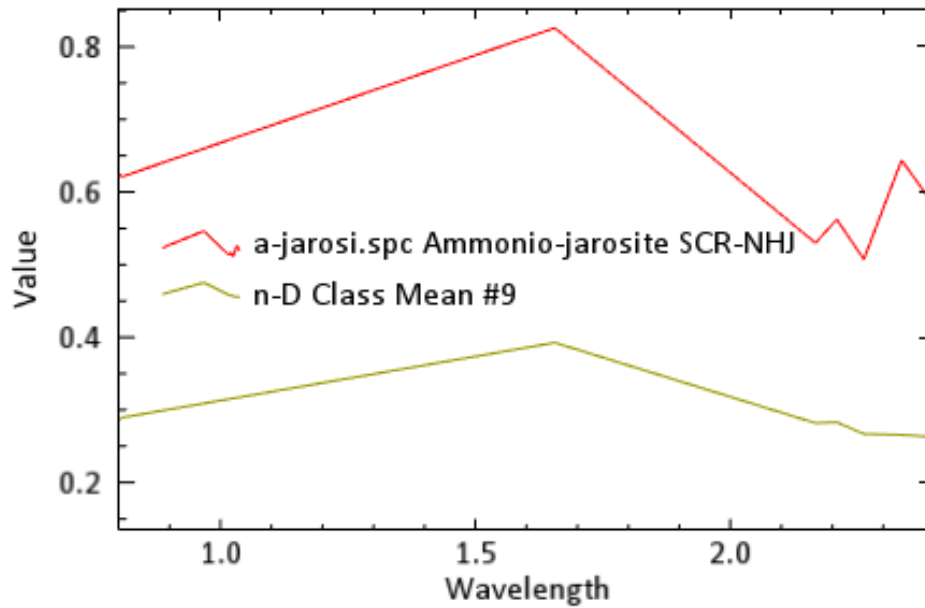


Figura 26: Comparación de rangos espectrales para la Jarosita

Fuente: Elaboración de los investigadores

Tabla 16: Comparación de los rangos espectrales en las firmas obtenidas

	Rango espectral de análisis entre ASTER y las firmas espectrales USGS
Alta reflectancia	1.656
Alta absorción	2.167
Alta reflectancia	2.209
Alta absorción	2.262
Alta reflectancia	2.235

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7. Análisis de variogramas

5.7.1 Variograma de la alunita

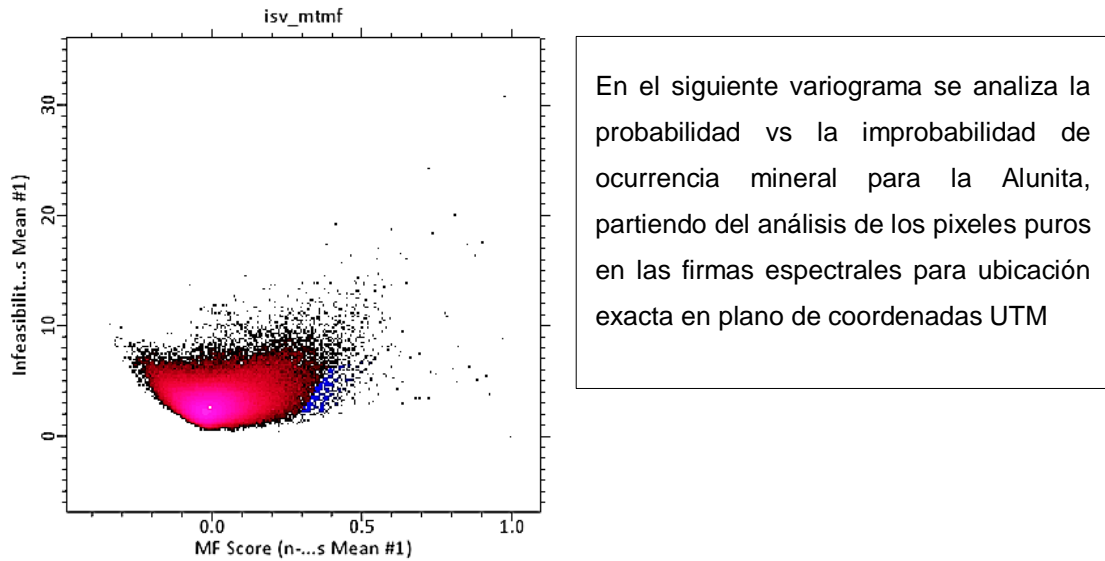


Figura 27: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Alunita
 Fuente: Elaboración de los investigadores

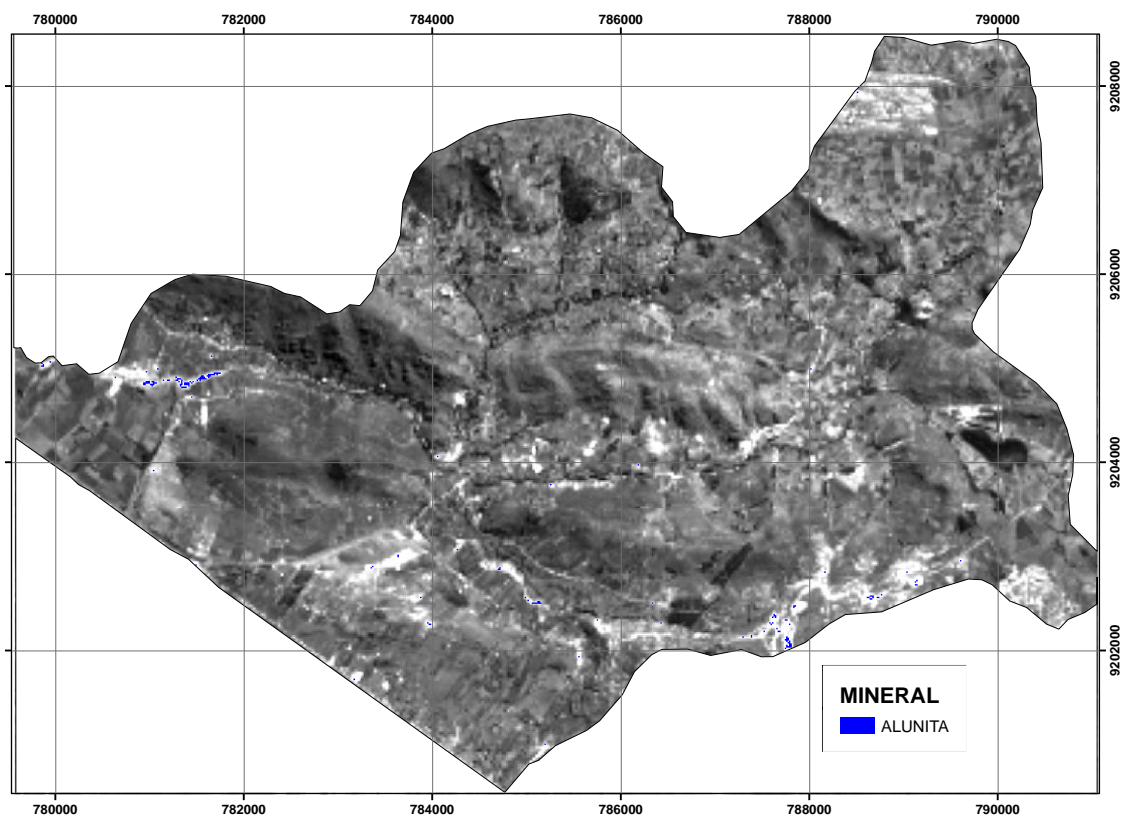
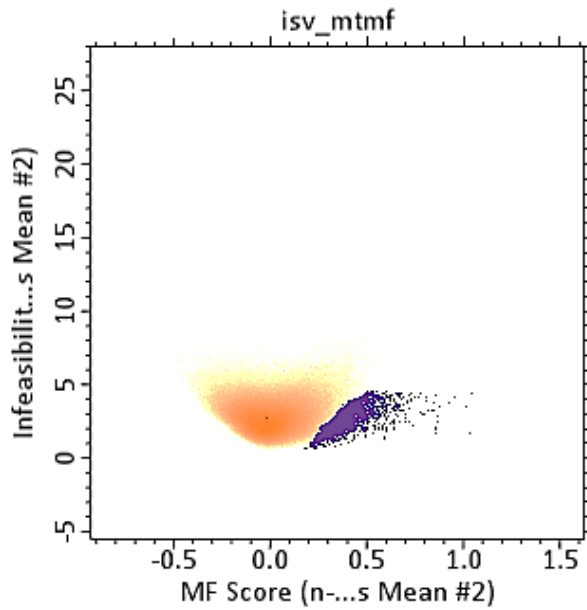


Figura 28: Muestras de ocurrencia de Alunita en la zona de estudio
 Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7.2 Variograma de la Caosmectita.



En el siguiente variograma se analiza la probabilidad vs la improbabilidad de ocurrencia mineral para la Caosmectita, partiendo del análisis de los pixeles puros en las firmas espectrales para ubicación exacta en plano de coordenadas UTM

Figura 29: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Caosmectita

Fuente: Elaboración de los investigadores

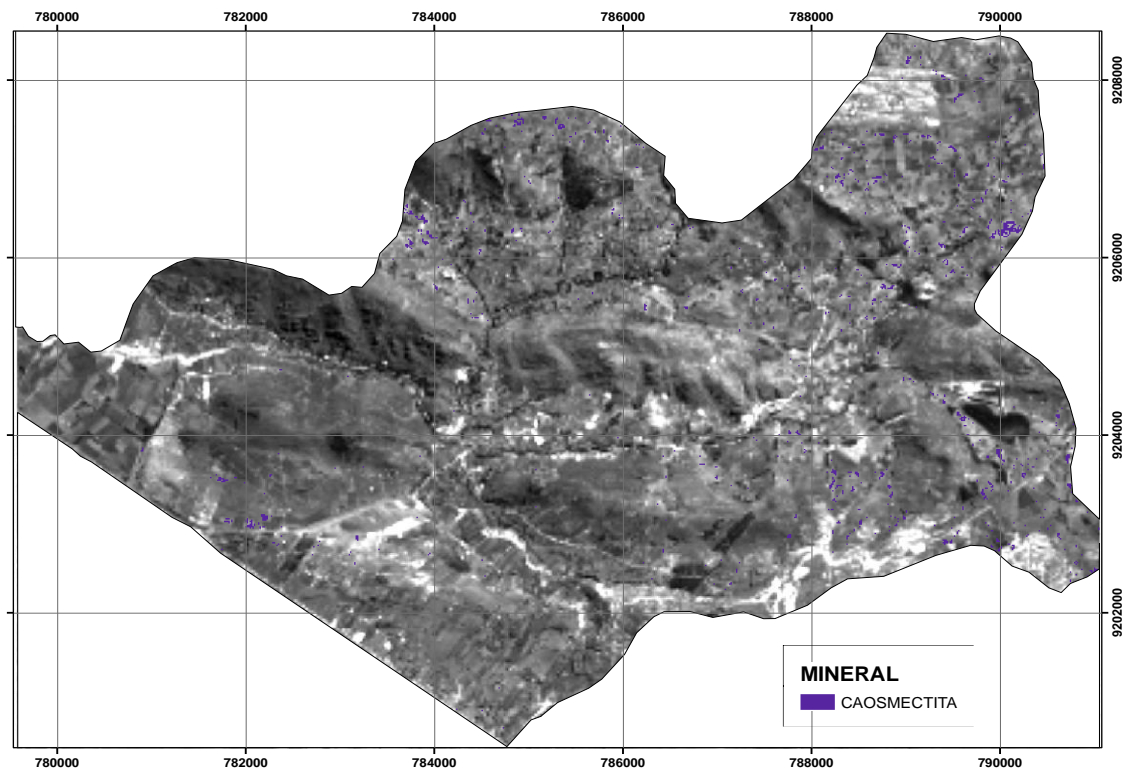
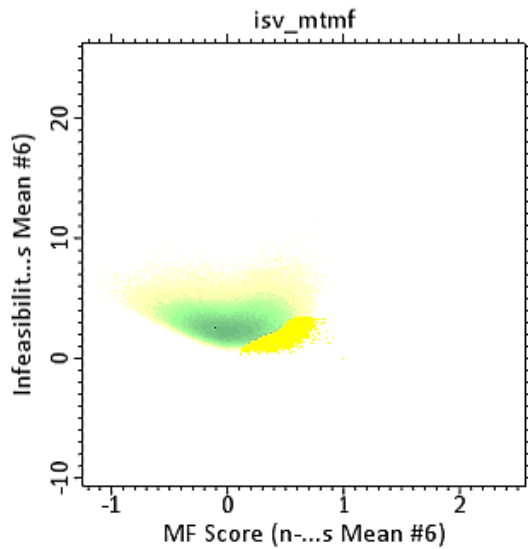


Figura 30: Muestras de ocurrencia de Caosmectita en la zona de estudio

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7.3 Variograma de la Caolinita.



En el siguiente variograma se analiza la probabilidad vs la improbabilidad de ocurrencia mineral para la Caolinita, partiendo del análisis de los pixeles puros en las firmas espectrales para ubicación exacta en plano de coordenadas UTM

Figura 31: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Caolinita
Fuente: Elaboración de los investigadores

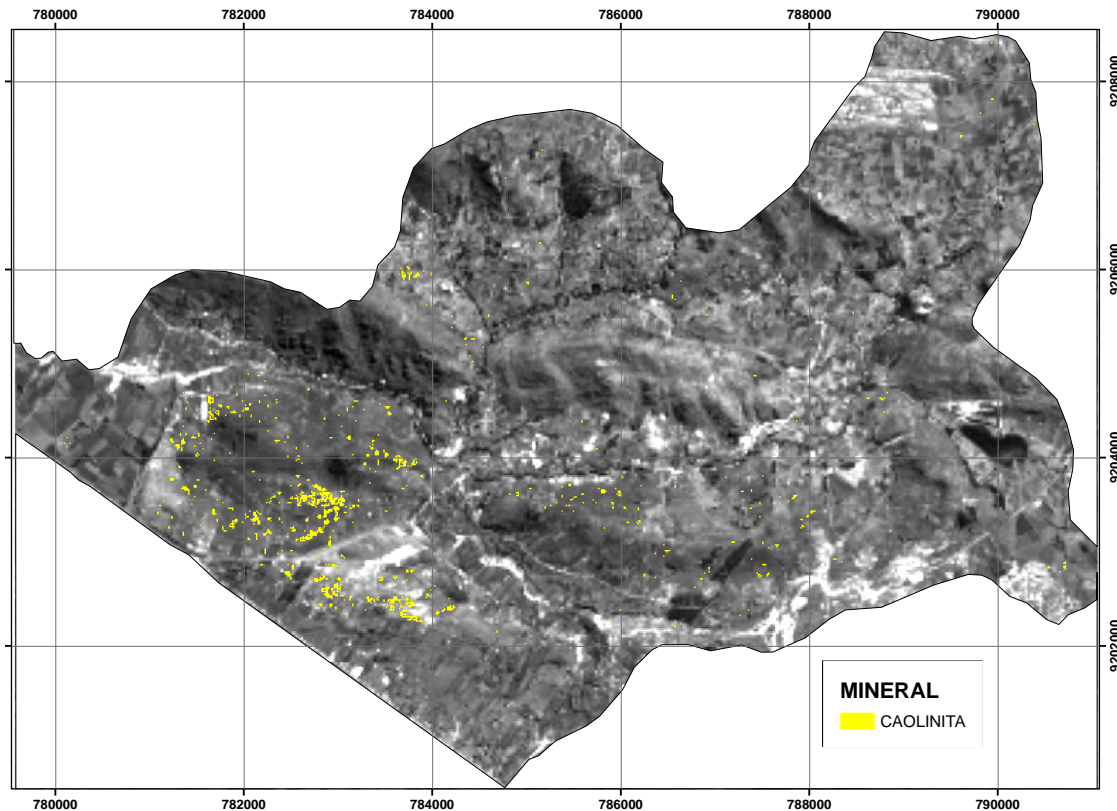
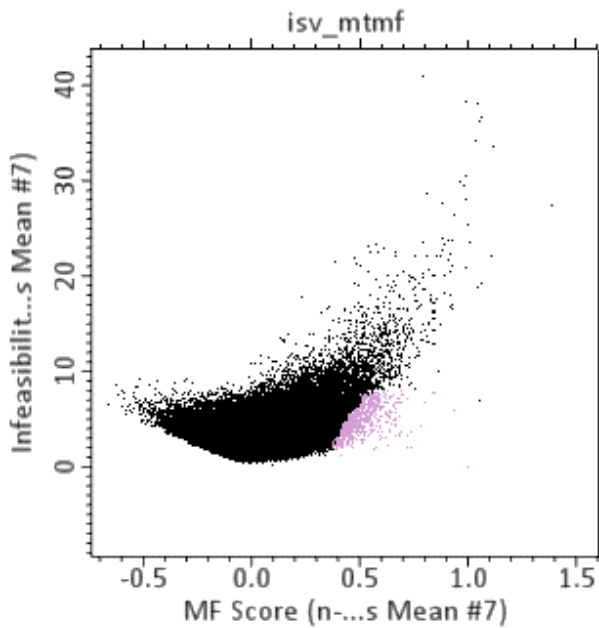


Figura 32: Muestras de ocurrencia de Caolinita en la zona de estudio
Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7.4 Variograma de la Montmorillonita.



En el siguiente variograma se analiza la probabilidad vs la improbabilidad de ocurrencia mineral para la Montmorillonita, partiendo del análisis de los pixeles puros en las firmas espectrales para ubicación exacta en plano de coordenadas UTM

Figura 33: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Montmorillonita.

Fuente: Elaboración de los investigadores

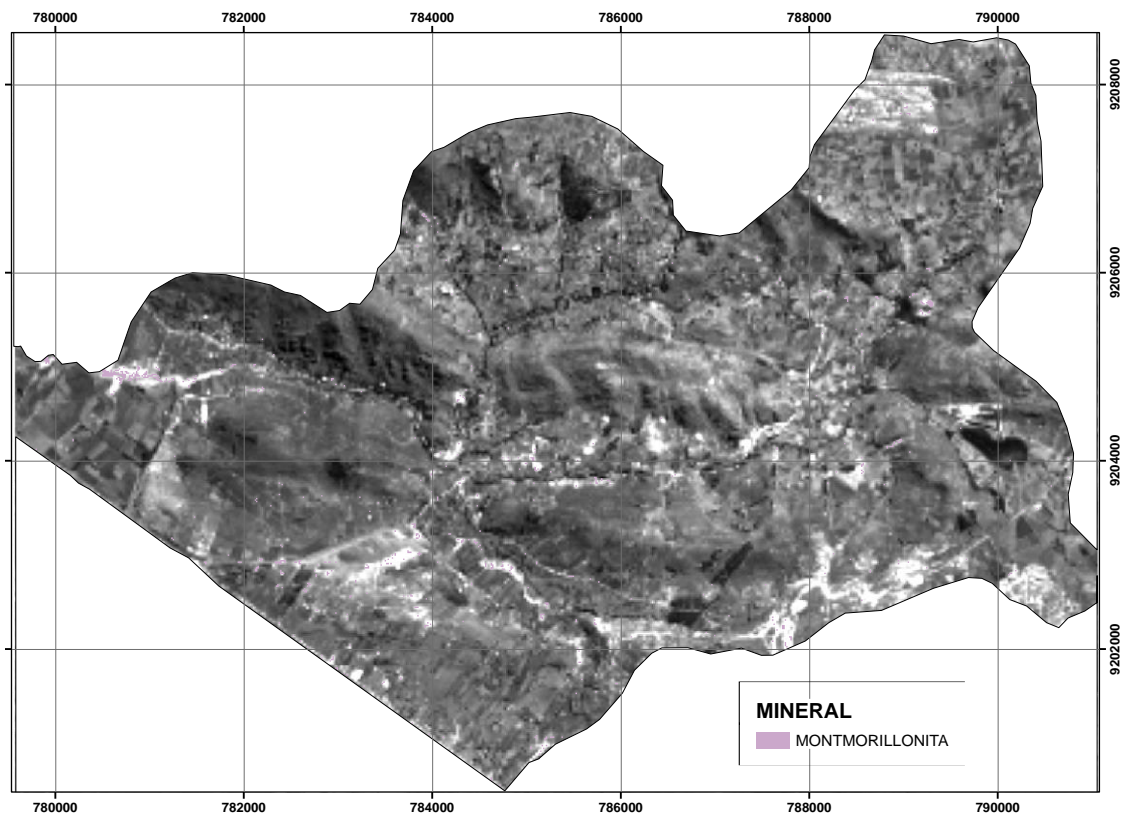
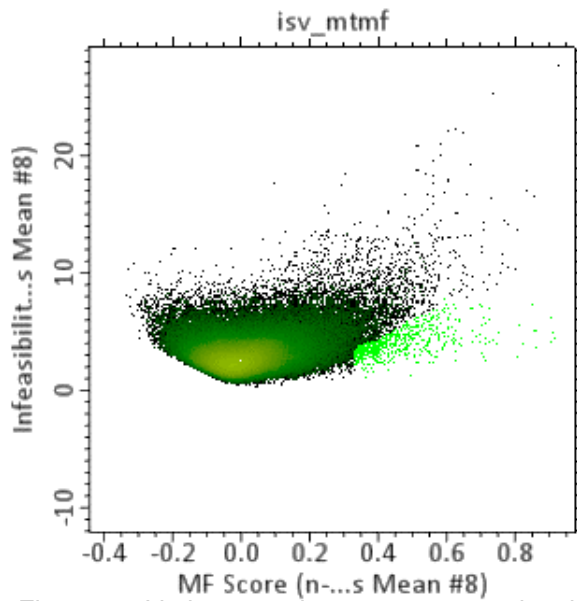


Figura 34: Muestras de ocurrencia de Montmorillonita en la zona de estudio

Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7.5 Variograma de la Dikita.



En el siguiente variograma se analiza la probabilidad vs la improbabilidad de ocurrencia mineral para la Dikita, partiendo del análisis de los pixeles puros en las firmas espectrales para ubicación exacta en plano de coordenadas UTM

Figura 35: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Dikita
 Fuente: Elaboración de los investigadores

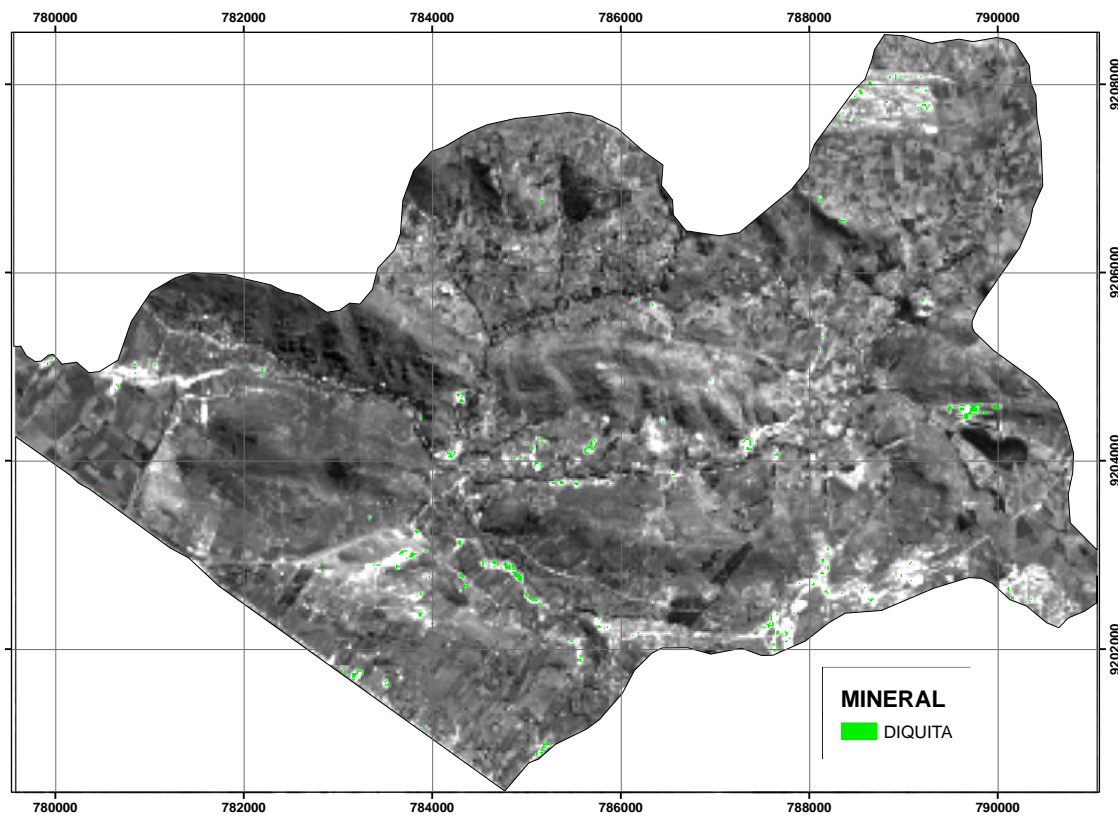


Figura 36: Muestras de ocurrencia de Dikita en la zona de estudio
 Fuente: Elaboración de los investigadores

5.7.6 Variograma de la Jarosita.

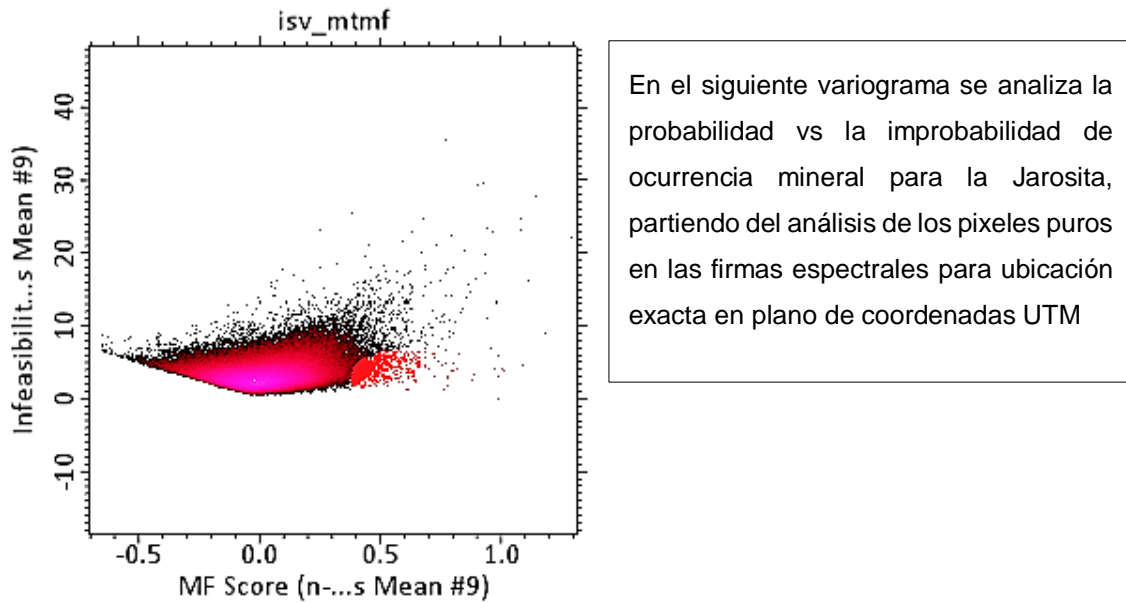


Figura 37: Variograma de rangos espectrales de probabilidad vs improbabilidad para la Jarosita
Fuente: Elaboración de los investigadores

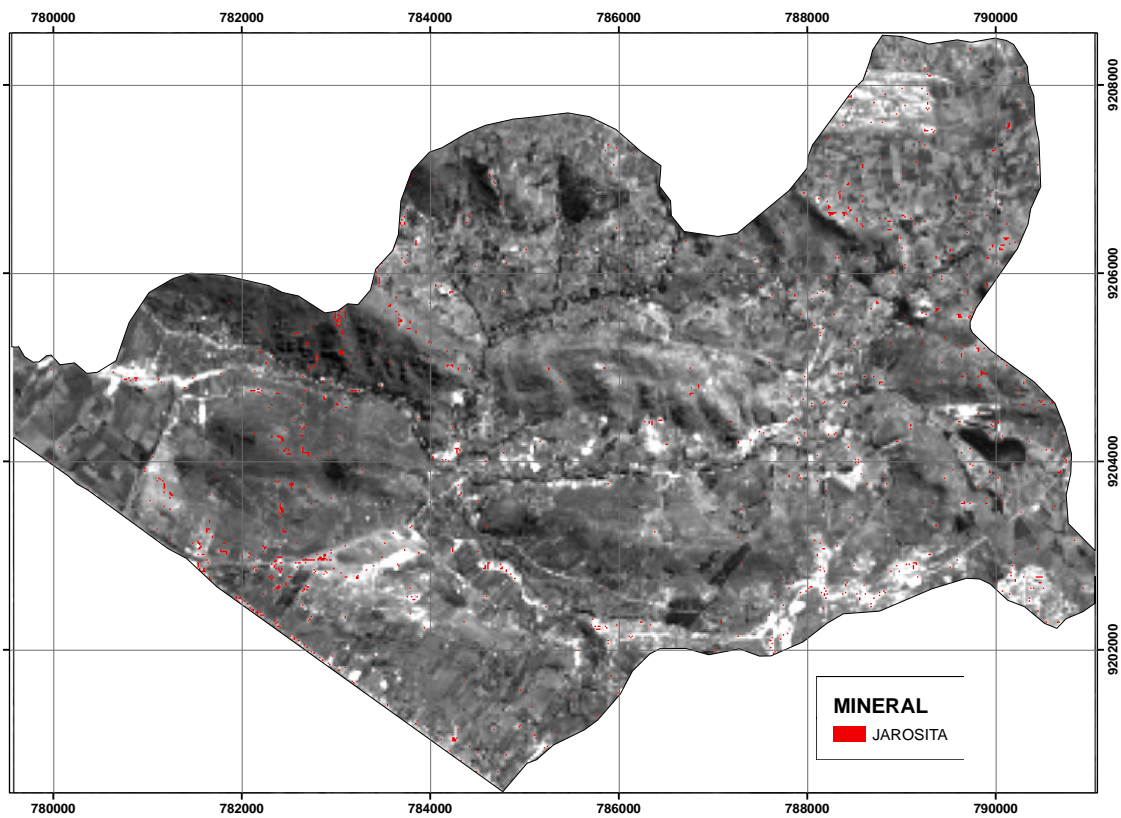
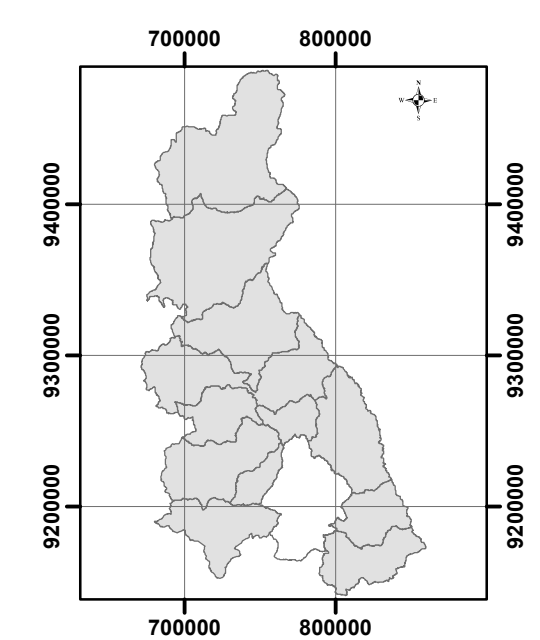
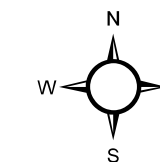
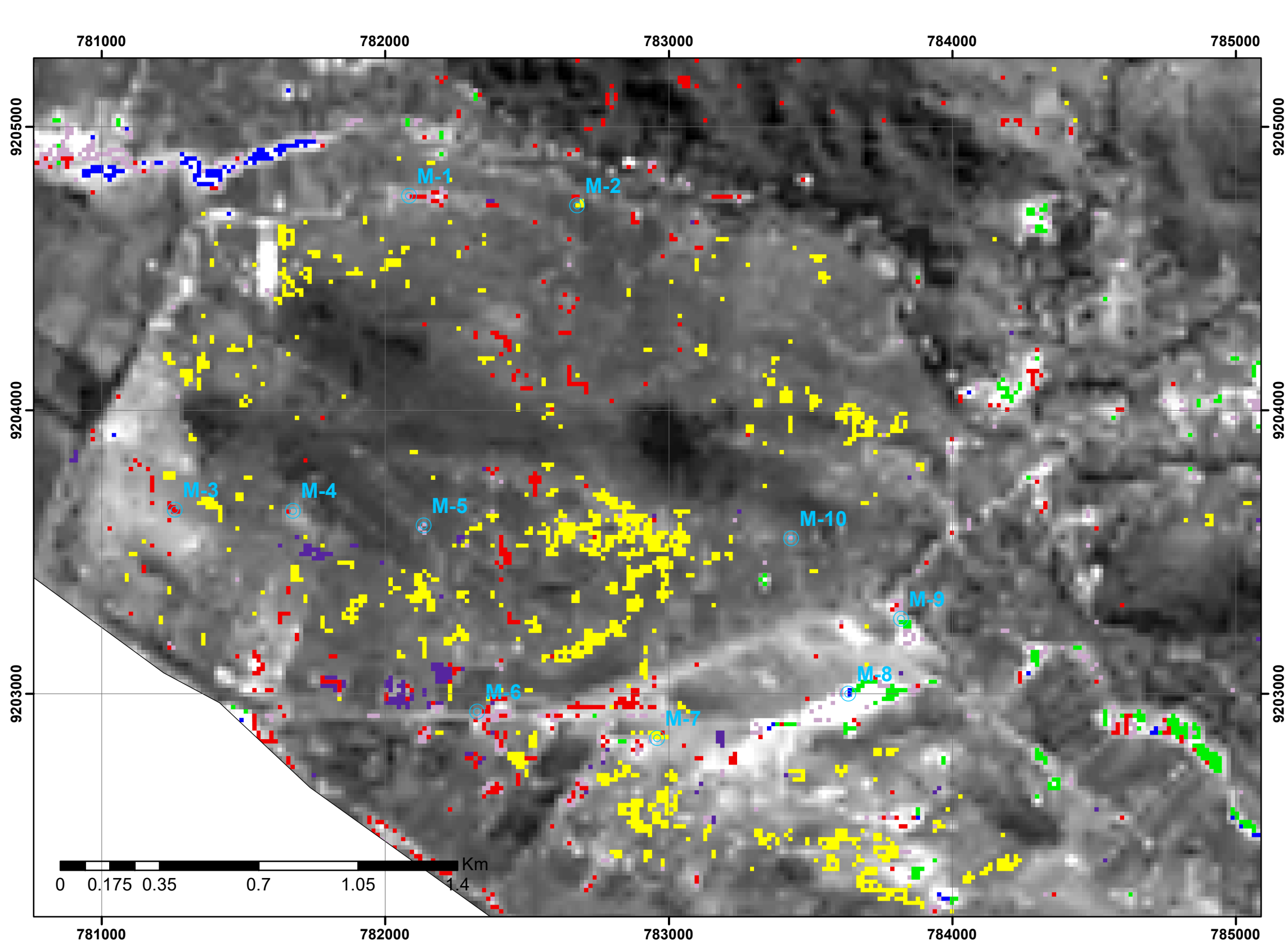
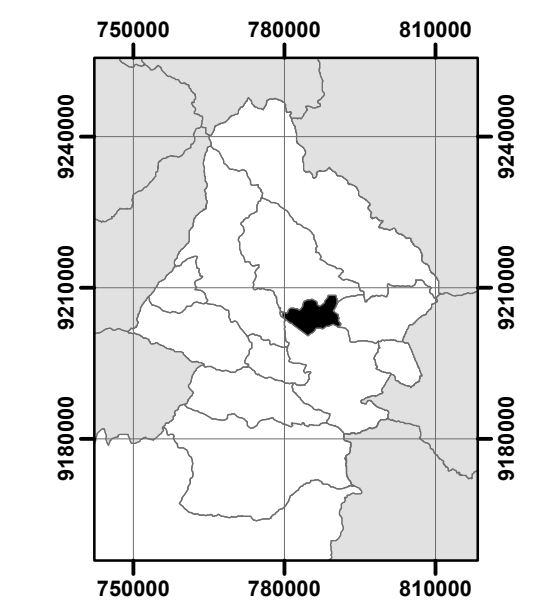


Figura 38: Muestras de ocurrencia de Jarosita en la zona de estudio
Fuente: Elaboración de los investigadores





PLANO PROVINCIAL DE CAJAMARCA
ESC: 1/5 000 000



PLANO DISTRICTAL DE CAJAMARCA
ESC: 1/1 500 000

SIMBOLOGÍA
 muestras

LEYENDA
MINERALES

 ALUNITA	 DIQUITA
 CAOLINITA	 JAROSITA
 CAOSMECTITA	 MONTMORILLONITA



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA DE MINAS					
TESIS:	PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL USANDO IMAGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA - 2017	PLANO:			
PLANO:	PLANO DE CONTRASTACIÓN DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	02			
TESISTA:	BACH. CARRERA LLAXA, DIANA MARISELL BACH. TERRONES MENDOZA, CELENI PERLITA				
ASESOR:	Ing ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE				
DATUM:	WGS 84 - ZONA 17S	ESC:	Indicada	FECHA:	Abril 2018

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN Y CONTRASTACIÓN

6.1 DISCUSIÓN

Una vez analizados y presentados los resultados podemos afirmar que la prospección de zonas de alteración hidrotermal se puede realizar mediante el análisis de las estructuras mineralógicas, que fueron identificadas por medio de imágenes ASTER en el distrito de Llacanora.

Determinando de esta manera la presencia de minerales como Alunita, Jarosita, Caolinita, Caosmectita, Diquita y Montmorillonita que juntamente con el análisis visual realizado por medio de las combinaciones espectrales de sus bandas, se puede atribuir su ocurrencia a la presencia de una alteración propia de un proceso de argilización, según la tabla de composición mineral de Utada (1980).

	1) Greisen	2) Potásica	3) Silicificación	4) Sericitización	5) Argilización	6) Propilitización	7) Cloritización	8) Zeolitización	9) Alunitización	10) Listvenización
Albita		B						B		
Alunita			B		B				A	
Anhidrita		B						C	B	
Apatito		B		B						
Biotita	A	A		B			A			
Calcita						A		C		
Caolin		C	B		A				B	
Carbonatos		C					A	C		A
Clorita		B		B		A	A	B		
Cuarzo	A	A	A	A			A	B	A	A
Epidota		C				A				
Illita				B	A					
Montmor.		C			A					
Ortosa		A						C		
Pirita			C	A		A		C	B	A
Rutilo		C	C	C						
Sericita		B	B	A			A	B		A
Turmalina	B	C	C	C						

NOTA: A=mineral principal, B= mineral accesorio y C= mineral raro

Fuente: Rose y Burt (1979), Utada (1980).

Además en el área de estudio se encontró áreas propensas al emplazamiento de cuerpos con importancia mineralógica, los cuales están ligados a la geología estructural como sucede en Falla Cajamarca que es de tipo regional, la cual se presenta zonas de enriquecimiento mineralógico evidenciado por los cambios texturales producidos en las areniscas de la Formación Carhuaz, formando un sistemas de brechas hidrotermales el cual sigue el alineamiento de la falla, avalando el postulado de Tosdal (2001), el cual indica que los depósitos minerales están espacialmente controlados con estructuras o lineamientos regionales presentes en la zona de estudio, por lo cual podemos evidenciar la existencia de dicho enriquecimiento mineral

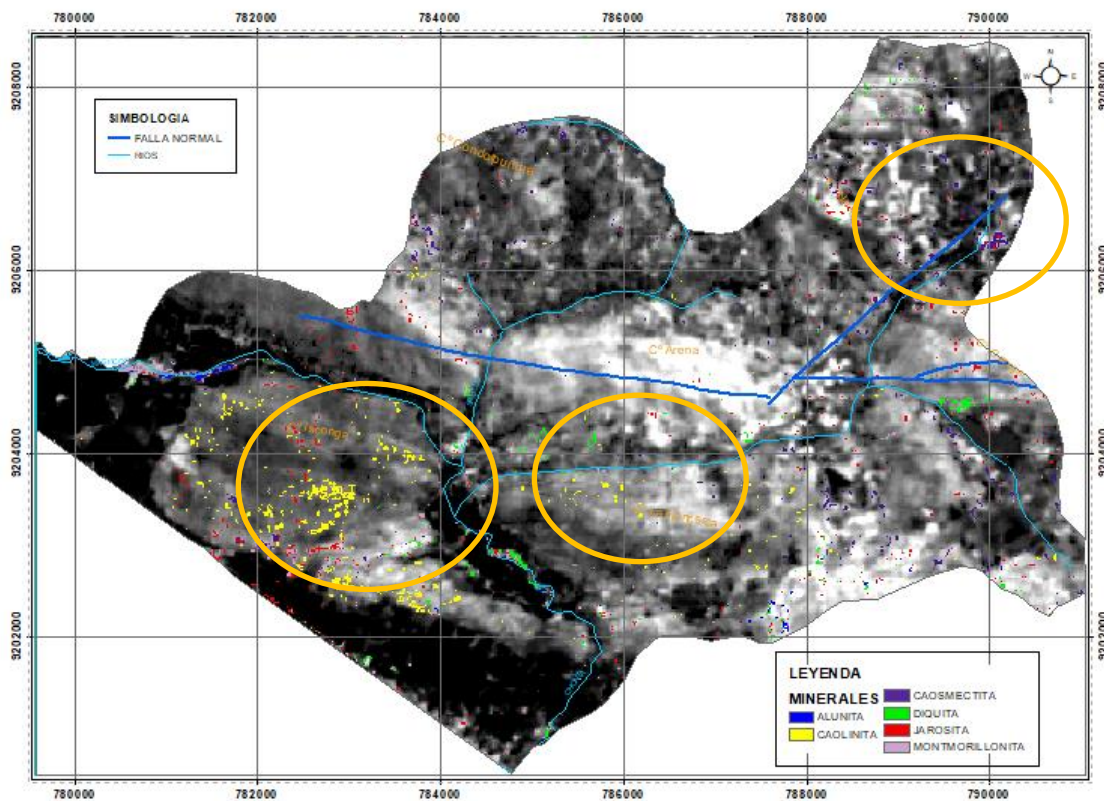
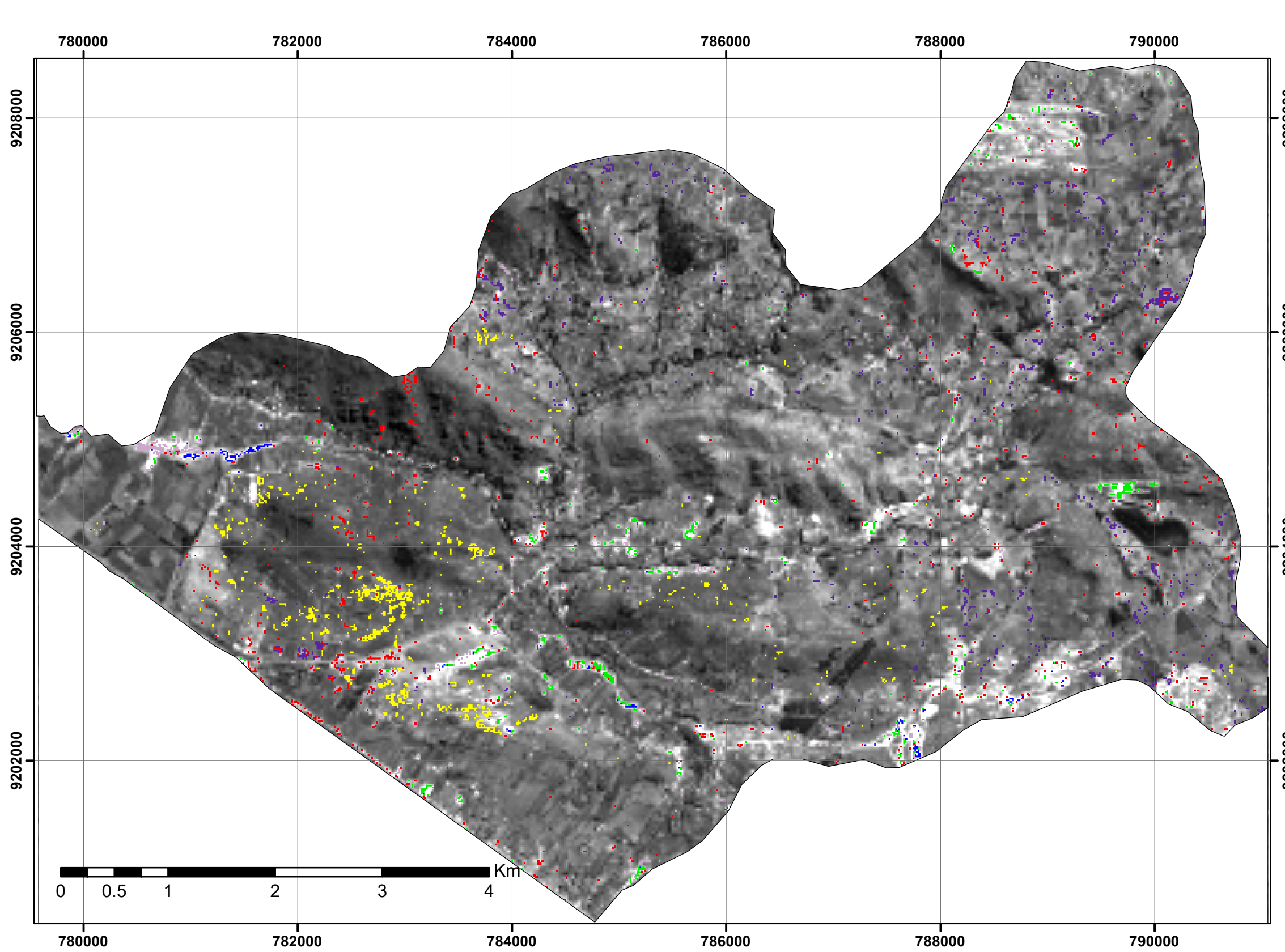


Figura 39: Zonas probables de alteración Hidrotermal

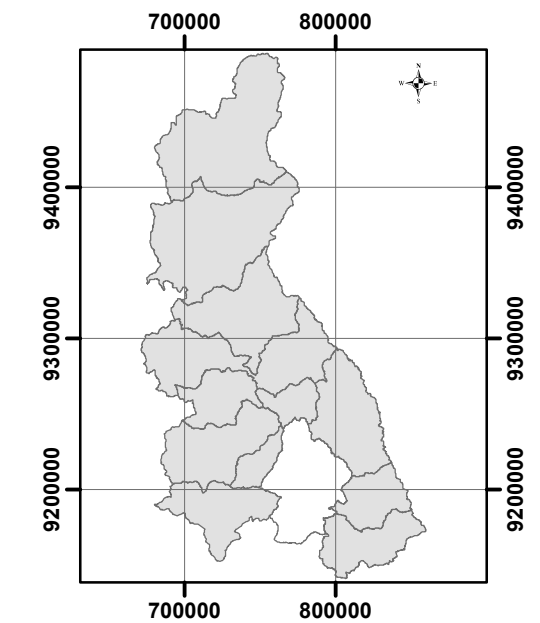
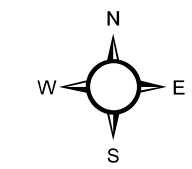
Fuente: Elaboración de los investigadores

6.2 CONTRASTACIÓN

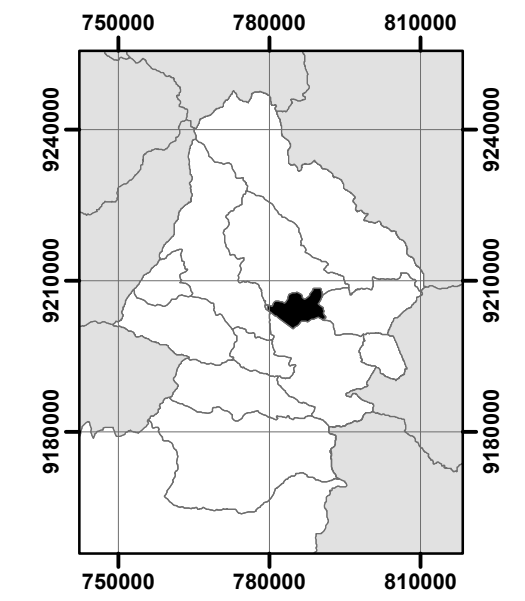
La fiabilidad de la clasificación es contrastada estadísticamente mediante la tesis “ESTIMACIÓN DE RESERVAS PROBABLES DE YACIMIENTOS NO METÁLICOS EN ARCILLAS DEL DISTRITO DE LLACANORA-CAJAMARCA, PERÚ – 2015 de acuerdo a las 10 muestras presentes en dicha tesis, con una veracidad de 98 % de certeza.



ESC: 1/40 000



PLANO PROVINCIAL DE CAJAMARCA
ESC: 1/5 000 000



PLANO DISTRICTAL DE CAJAMARCA
ESC: 1/1 500 000

LEYENDA	
MINERALES	
■ ALUNITA	■ DIQUITA
■ CAOLINITA	■ JAROSITA
■ CAOSMECTITA	■ MONTMORILLONITA



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
INGENIERIA DE MINAS

TESIS:	PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL USANDO IMAGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA - 2017	PLANO:	01		
PLANO:	PLANO DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL				
TESISTA:	BACH. CARRERA LLAXA, DIANA MARISELL BACH. TERRONES MENDOZA, CELENI PERLITA				
ASESOR:	Ing ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE				
DATUM:	WGS 84 - ZONA 17S	ESC:	Indicada	FECHA:	Abril 2018

CONCLUSIONES

- Se prospectó yacimientos metálicos asociados a alteración hidrotermal utilizando nuevas técnicas de prospección tal es el caso del sensoramiento remoto partiendo de características estructurales y mineralógicas., en el distrito de Llacanora.
- Se analizó e interpretó las firmas espectrales y se determinó minerales como: Caolinita, Alunita, Montmorillonita, Diquita, Caosmectita y Jarosita; además se determinó zonas de alteración argílica usando el método de combinación 468.
- se contrastó con estudios estructurales realizados en la zona, partiendo del análisis espectral y visual obtenido, llegando a identificarse zonas estructurales favorables para la mineralización como es la falla Cajamarca, evidencia de ello es la alteración textural de las areniscas de la formación Farrat, así como la presencia de minerales de alteración hidrotermal antes mencionados.

RECOMENDACIONES

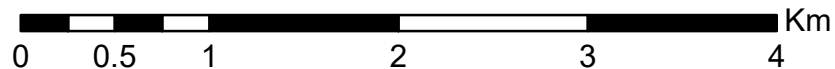
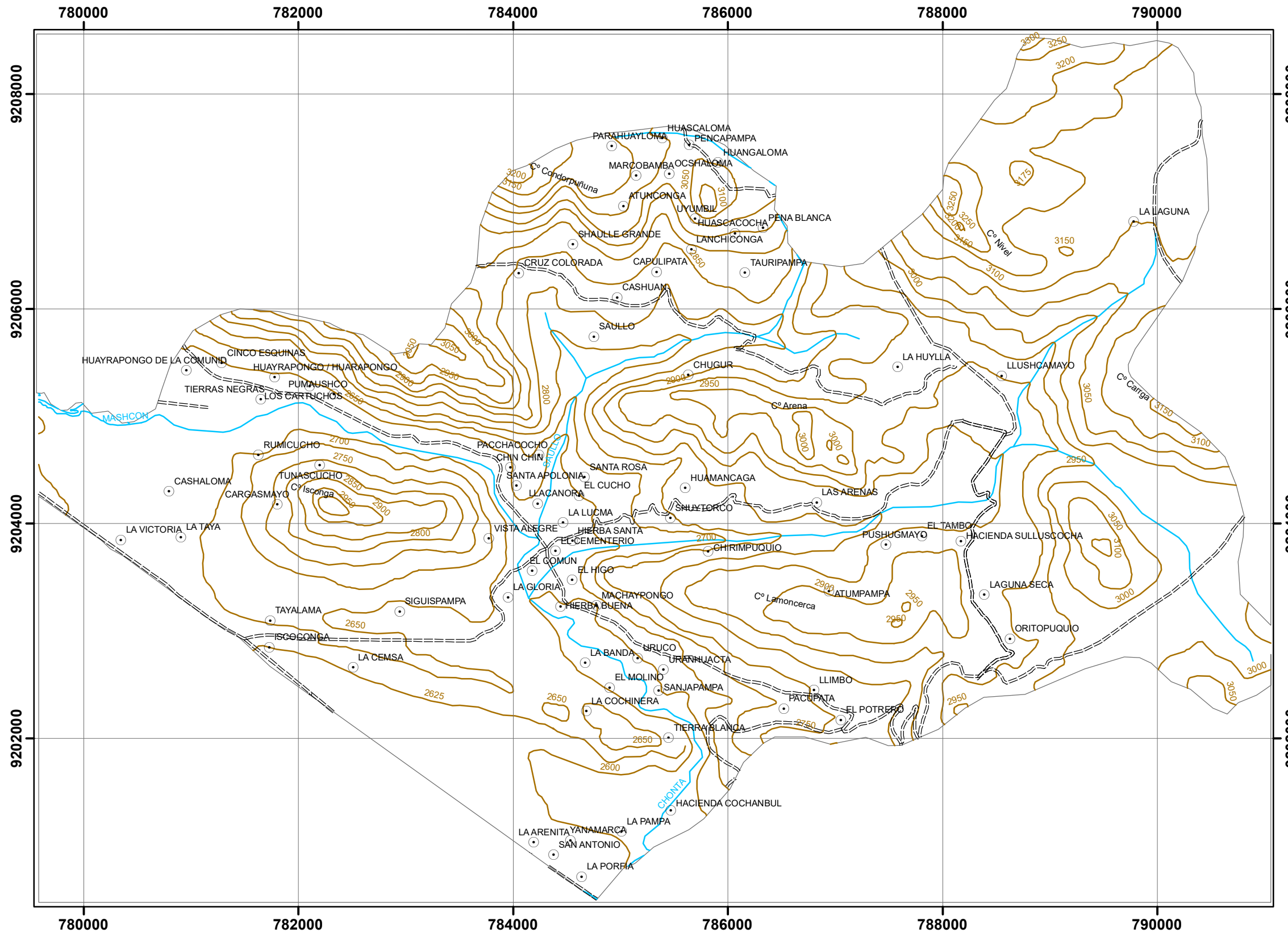
- Para este tipo de estudios se recomienda utilizar las imágenes con barrido en épocas de estiaje y factor climático favorable, donde ofrece menor nubosidad, para evitar pérdida de información espectral.
- Para los estudios posteriores, se recomienda realizar una compensación en campo con uso de un espectrómetro de precisión
- Se recomienda que este tipo de estudios vaya acompañado de estudio Petro mineralógicos, geológicos, estructurales y físicos para obtener un grado de certeza mayor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boletín N°20 (1998) Estudio geológico regional aplicando imágenes satelitales para la evaluación del potencial minero en un área en el norte de la república de Perú.
- Chuvieco E. (1996). Fundamentos De Teledetección Espacial (2da Edición). Madrid: RIALP
- Chuvieco E. (2006). Teledetección Ambiental. Ed. Ariel, Barcelona.
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales CONAE (2014). Misiones Satelitales de Observación de la Tierra Parte I Sensores Pasivos Multiespectrales. Curso: Software de Procesamiento de Imágenes (SoPI).
- Di Tommaso I. & Rubinstein N. (abril, 2005) Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil.
- Goetz, A. H. F.; Rowan, L. C.; Kingston, M. J. (1982). Mineral Identification from Orbit: Initial Results from the Shuttle Multispectral Infrared Radiometer. Science, 218, pp1020-1024.
- Huanacuni D. & Casas J. (2012) Reconocimiento de zonas de alteración hidrotermal en depósitos epitermales con imágenes aster - sur del Perú.
- Hunt, G. R. (1977). "Spectral Signatures of Particulate Minerals in the Visible and Near Infrared", Geophysics, vol. 42, p. 501-513.
- Jogmec, (2006). Presentación Interna Japan Oil, Gas and Metals. National Corporation.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., y Dietz, J. B. (1993), Mapeo experto mineral basado en el sistema norte de Death Valley, California utilizando el espectro visible de imágenes (AVIRIS), y sensores remotos Environ. 44: 309-336.
- Lillesand, T. M.; KIEFER, R. W. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Ed, John Wiley and Sons, Inc.: Toronto.
- Loughlin, W. P. (1991). "Principal component analysis for alteration mapping", Photogramm. Eng. Remote. Sens., vol. 57, p.1163-1169.
- Meinjer A.M.J. (2007). Remote Sensing Applications To Groundwater. Francia: UNESCO

- Pirajno, F (2009). Procesos hidrotérmicos y sistemas minerales. Western Australia. Saltador.
- Planck, Einstein, Bose (1900- 1924). El nacimiento de la estadística cuántica en Tecnología en marcha. 13(2): 127-142. ITCR.
- Rowan, L. C.; Lathram, E. H. (1980). Mineral exploration in remote Sensing in Geology, by Siegal and Gillespie. John Wiley & Son, 702, 553-605.
- Utada, M. (1980): Alteración hidrotermal relacionada a la actividad ígnea en las formaciones del cretácico y neógeno en Japón 8, 67-83.
- Vergara. BL. (2015): Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora. Bachiller en Geología. Cajamarca. Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 101p.

ANEXOS



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

ESC: 1/40 000

SIMBOLOGIA

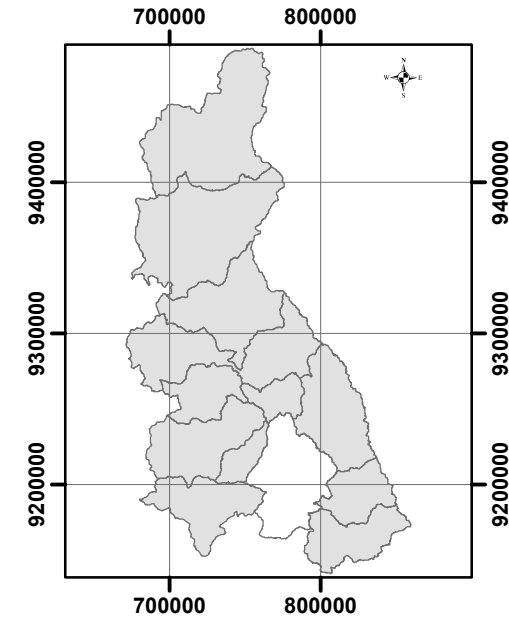
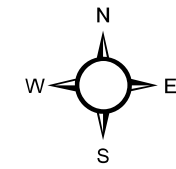
- ==== ACCESOS
- CENTROS POBLADOS
- CURVAS A NIVEL
- RIOS



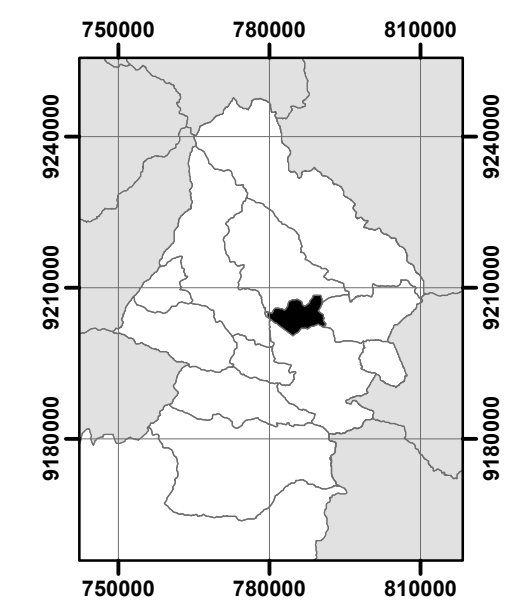
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
 INGENIERIA DE MINAS

TESIS:	PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL USANDO IMAGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA - 2017	PLANO:	
PLANO:	PLANO TOPOGRAFICO		
TESISTA:	BACH. CARRERA LLAXA, DIANA MARISELL BACH. TERRONES MENDOZA, CELENI PERLITA		
ASESOR:	Ing ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE		
DATUM:	WGS 84 - ZONA 17S	ESC:	Indicada
		FECHA:	Abril 2018

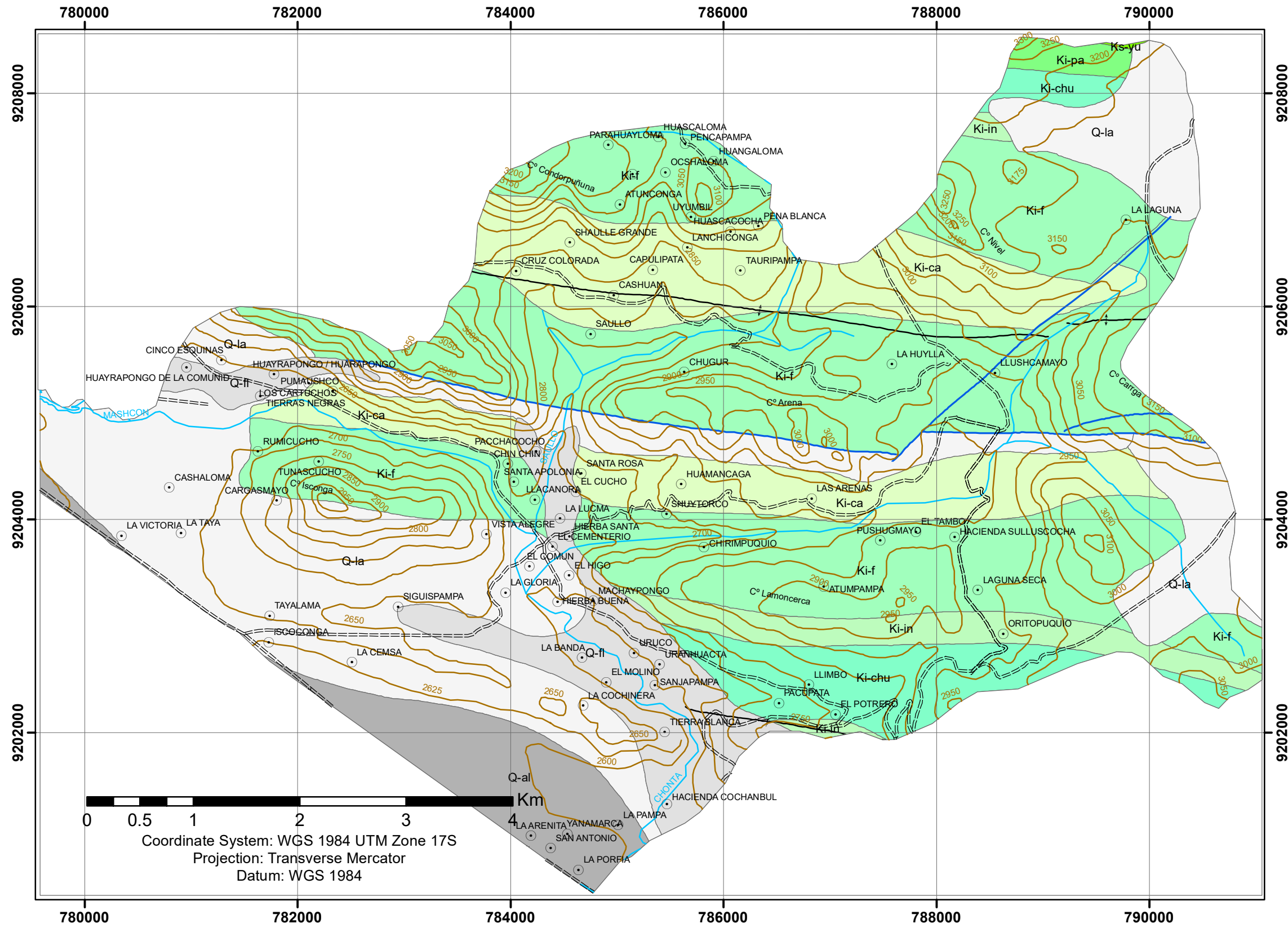
03



PLANO PROVINCIAL DE CAJAMARCA
 ESC: 1/5 000 000



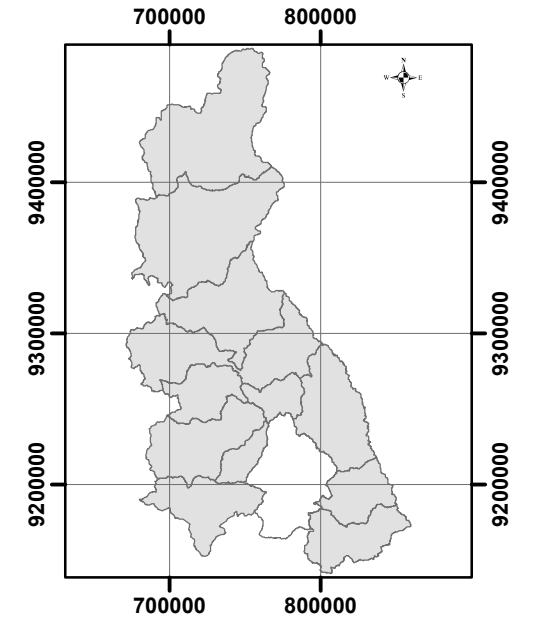
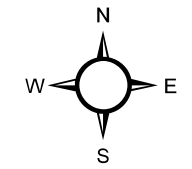
PLANO DISTRITAL DE CAJAMARCA
 ESC: 1/1 500 000



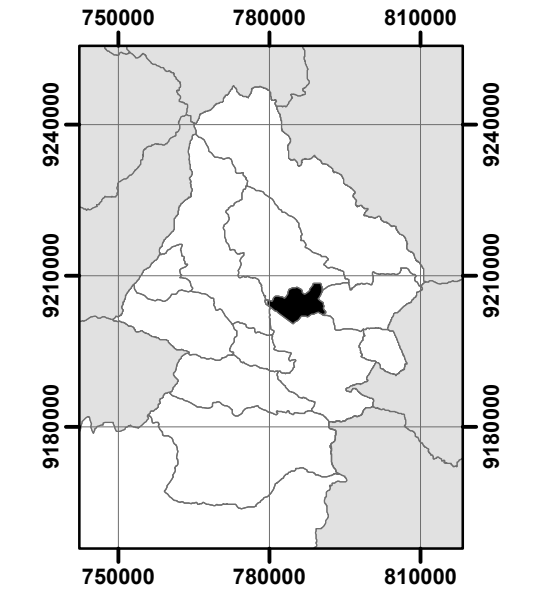
ESC: 1/40 000

0 0.5 1 2 3 4 Km

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984



PLANO PROVINCIAL DE CAJAMARCA
 ESC: 1/5 000 000



PLANO DISTRITAL DE CAJAMARCA
 ESC: 1/1 500 000

LEYENDA	
GEOLOGIA	
	Formación Pariatambo
	Depósitos Lacustres
	Depósitos Fluviales
	Depósitos Aluviales
	Formación Yumagual
	Formación Chulec
	Formación Inca
	Formación Farrat
	Formación Carhuaz

SIMBOLOGIA	
	CENTROS POBLADOS
	ACCESOS
	CURVAS A NIVEL
	FALLA NORMAL
	RIOS
PLIEGUES	
	Anticlinal
	Sinclinal



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA DE MINAS					
TESIS:	PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL USANDO IMAGENES ASTER EN EL DISTRITO DE LLACANORA - 2017	PLANO:			
PLANO:	PLANO GEOLÓGICO	04			
TESISTA:	BACH. CARRERA LLAXA, DIANA MARISELL BACH. TERRONES MENDOZA, CELENI PERLITA				
ASESOR:	Ing ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE				
DATUM:	WGS 84 - ZONA 17S	ESC:	Indicada	FECHA:	Abril 2018