



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DETECCIÓN MEDIANTE SENSORAMIENTO REMOTO DE RECURSOS NO METÁLICOS CALCÁREOS EN EL DISTRITO DE LA ENCAÑADA, CAJAMARCA - 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Guillermo Hernández Zafra  
Greem Sthalyn Martos Chávez

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

*La presente investigación está dedicada con todo amor y cariño.*

*A DIOS por darme la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa. A mis padres, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo, sus oraciones y sus consejos; para hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos, por compartir una infancia feliz, por todos los bellos momentos que hemos pasado juntos, y las experiencias que nunca olvidaré. A mi pareja por sus palabras y su confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente. A mis amigos, compañeros, y todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para el logro de mis objetivos.*

***Guillermo Hernández Zafra.***

*A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis hijos que son mi apoyo constante y motivo de superación, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido culminar esta investigación, A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria*

***Greem Sthalyn Martos Chávez***

### **AGRADECIMIENTO**

*Queremos agradecer primero a Dios por darnos el don de la perseverancia para alcanzar nuestras metas. A la Universidad privada del norte que nos abrió sus puertas para ser mejores personas y buenos profesionales. A los catedráticos que con el pasar de los años se convirtieron en nuestro ejemplo a seguir. A nuestros compañeros y amigos ya que con ellos vivimos los buenos y malos momentos que solo se viven en la Universidad.*

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática .....	11
1.2. Formulación del problema.....	25
1.3. Objetivos.....	25
1.3.1. Objetivo general .....	25
1.3.2. Objetivos específicos.....	25
1.4. Hipótesis .....	25
1.4.1. Hipótesis General .....	25
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
2.1. Tipo de investigación. ....	26
2.2. Población y muestra.....	26
2.2.1. Población .....	26
2.2.2. Muestra .....	26
2.3. Materiales, instrumentos y métodos .....	26
2.3.1. Materiales. ....	26

2.3.2. Instrumentos de recolección y procesamiento de datos.....	27
2.3.3. Métodos .....	27
2.4. Procedimiento.....	28
2.4.1. Descarga de imágenes ASTER.....	28
2.4.2. Corrección de la imagen Aster. ....	31
2.4.3. Enmascaramiento.....	34
2.4.4. Creación de base de datos espectrales. ....	43
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
3.1. Aspectos generales .....	48
3.1.1. Ubicación.....	48
3.1.2. Accesibilidad .....	49
3.1.3. Mapeo geológico satelital.....	50
3.2. Resultados de creación de librería espectral de yacimientos calcáreos.....	63
3.3. Resultados del método MTMF .....	63
3.4. Zonas de interés no metálico calcáreo en el distrito de la encañada. ....	68
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
4.1. Discusión .....	70
4.2. Conclusiones.....	72
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica de la imagen ASTER L1T.....	30
Tabla 2. Accesibilidad .....	49
Tabla 3. Concesiones no metálicas asociadas a calcáreos.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección o sensor remoto.....	20
Figura 2. Espectro electromagnético. ....	22
Figura 3. Firma espectral de diferentes cubiertas terrestres .....	23
Figura 4. Servidor de descarga de Servicio Geológico de Estados Unidos.....	29
Figura 5. Descarga de la imagen ASTER L1T.....	29
Figura 6. Pantalla completa de la imagen ASTER L1T. ....	30
Figura 7. Corrección geométrica. ....	31
Figura 8. Corrección radiométrica.....	32
Figura 9. Corrección atmosférica. ....	33
Figura 10. Nivel digital para resaltar nubes en CP 1 .....	34
Figura 11. Nivel digital para resaltar vegetación en CP 1 .....	35
Figura 12. Nivel digital para resalta agua y zonas urbanas en CP 3. ....	36
Figura 13. Composición RGB 8-3-5, identificación de nubes. ....	37
Figura 14. Componente 3 en falso color, resalte de cursos de agua y zonas urbanas. ....	38
Figura 15. Combinación 321- resalte de vegetación y nubes.....	39
Figura 16. Mascara composite de agua, zonas urbanas, vegetación y nubes .....	40
Figura 17. Imagen color real 231 -imagen corregida. ....	41
Figura 18. Imagen en color real 231 – aplicada la máscara compuesta. ....	42
Figura 19. Firma espectral de calcita.....	44
Figura 20. Firma espectral de cerusita.....	44
Figura 21. Firma espectral de dolomita. ....	45
Figura 22. Firma espectral de estroncianita.....	45
Figura 23. Firma espectral de magnesita .....	46
Figura 24. Firma espectral de rodocrosita. ....	46

Figura 25. Firma espectral de siderita. ....	47
Figura 26. Firma espectral de esmitsonita. ....	47
Figura 27. Ubicación del distrito de la Encañada. ....	48
Figura 28. Accesibilidad al distrito de la Encañada. ....	49
Figura 29. Combinación RGB 11-6-2, resaltar rasgos litológicos. ....	50
Figura 30. Mapeo satelital en RGB 11-6-2.....	51
Figura 31. Composición RGB de ratio 8/5 - 5/4 - 7/8 para delimitación litológica. ....	52
Figura 32. Mapeo satelital en composición RGB de ratio 8/5 - 5/4 - 7/8.....	53
Figura 33. Columna estratigráfica del distrito de la Encañada.....	61
Figura 34. Mapeo geológico satelital del distrito de la Encañada. ....	62
Figura 35. Librería espectral para yacimientos calcáreos.....	63
Figura 36. Clase 01 – comparación con firma espectral de calcita de la USGS .....	64
Figura 37. Clase 10 – comparación con firma espectral de dolomita de la USGS.....	64
Figura 38. Mapeo satelital de Calcita .....	65
Figura 39. Mapeo satelital de dolomita .....	66
Figura 40. Minerales carbonatados de la zona de estudio .....	67
Figura 41. Zonas de probable mineralización calcárea. ....	68
Figura 42. Concesiones mineras calcáreas en la zona .....	69



## RESUMEN

La región Cajamarca tiene en sus rocas y minerales industriales, un significativo valor económico para su desarrollo, sin embargo, el interés por los yacimientos calcáreos ha sido relegado a un segundo plano debido, principalmente, a la producción tradicional de los minerales metálicos tales como el oro, esto condicionó el desarrollo de nuevas técnicas de mapeo. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo principal detectar mediante nuevas técnicas como el sensoramiento remoto, recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La Encañada, teniendo como hipótesis del estudio que el sensoramiento remoto detectará recursos no metálicos calcáreos, asociadas a formaciones calcáreas como Cajamarca y Celendín, la metodología utilizada en la investigación fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y sub tipo tecnológico, con diseño no experimental, transversal y correlacional, obteniéndose como principales resultados que los recursos no metálicos calcáreos, están asociados a minerales como calcita y dolomita en formaciones calcáreas como Cajamarca, Celendín, Quilquiñan mujarrum y Pariatambo; detectándose mediante el uso de sensores remotos , 3 zonas de interés prospectivo en el distrito de La Encañada, estas zonas se analizaron por medio del método MTMF y corresponden a la mayor acumulación de pixeles puros asociados a calcita y dolomita, ubicadas en zonas cercanas a concesiones no metálicas como: Quinuapampa, Quinuamayo, Huamancaga, Sangal y Patarume.

**Palabras clave:** Recursos no metálicos calcáreos, Sensor remoto, Firma espectral

## ABSTRACT

The Cajamarca region has in its rocks and industrial minerals, a significant economic value for its development, however, the interest in calcareous deposits has been relegated to the background, mainly due to the traditional production of metallic minerals such as gold, this conditioned the development of new mapping techniques. That is why the main objective of this research is to detect non-metallic calcareous resources in the district of La Encañada, using new techniques such as remote sensing, with the hypothesis of the study that remote sensing will detect calcareous non-metallic resources, associated with calcareous formations. such as Cajamarca and Celendín, the methodology used in the research was of a quantitative approach, of an applied type and a sub-technological type, with a non-experimental, cross-sectional and correlational design, obtaining as main results that non-metallic calcareous resources are associated with minerals such as calcite and dolomite in calcareous formations such as Cajamarca, Celendín, Quilquiñan mujarrum and Pariatambo; Detecting through the use of remote sensors, 3 areas of prospective interest in the district of La Encañada, these areas were analyzed using the MTMF method and correspond to the highest accumulation of pure pixels associated with calcite and dolomite, located in areas close to concessions non-metallic such as: Quinuapampa, Quinuamayo, Huamancaga, Sangal and Patarume.

**Keywords:** Calcareous non-metallic resources, Remote sensor, Spectral signature

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A nivel mundial las actividades de exploración, explotación y procesamiento minero requieren técnicas novedosas que permitan no solo encontrar nuevos depósitos sino también explotarlos de una manera más eficiente. Estas técnicas deben ser capaces de analizar grandes áreas, grandes volúmenes de material y entregar información en tiempo real (Guatame, 2016).

Esta problemática conlleva a la búsqueda de soluciones tecnológicas como el uso de sensores multiespectrales que va cobrando más y más fuerza en el ámbito minero peruano. Imágenes multi e hiperespectrales son usadas para mapeo geológico minero que asiste labores de prospección. (Pérez, 2019).

La minería no metálica calcárea se caracteriza por la producción de grandes volúmenes de material con un bajo valor unitario. Por este motivo las unidades de producción deben estar emplazadas a poca distancia del mercado y tener buena concentración de mineral calcáreo, esta situación implica normalmente la prospección de yacimientos lo más cerca posible a centros poblados y un buen análisis mineral de concentración en el yacimiento a explotar. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, 2015)

La región Cajamarca tiene en sus rocas y minerales industriales (RMI) un significativo valor económico para su desarrollo, sin embargo, el interés por los yacimientos calcáreos ha sido relegado a un segundo plano debido, principalmente, a la producción tradicional de los minerales metálicos tales como el oro. (INGEMMET, 2015)

Los yacimientos no metálicos calcáreos tienen mucha importancia en el crecimiento económico de un país; actualmente constituyen un verdadero soporte para el

desarrollo, debido a los diversos usos y aplicaciones en diversas industrias. (Gamboa, 2015)

En las últimas décadas el subsector minero de los no metálicos calcáreos mostró una singular importancia en el conjunto del desarrollo de las actividades económicas de la región, especialmente en las, industrias que directa e indirectamente intervienen en el subsector construcción y minería; el mismo que ha mostrado un gran dinamismo en los últimos años que constituye, sin duda, una de las razones que explican la fuerte demanda en la región Cajamarca. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, 2009)

Es por ello que la presente investigación plantea el uso de sensores remotos en la detección de recursos no metálicos calcáreos, la teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la zona de estudio, permitiendo así la prospección de yacimientos no metálicos calcáreos (Instituto Geográfico Nacional, IGN, 2018).

La investigación tendrá como principales antecedentes estudios para la detección de recursos no metálicos; teniendo como principales autores a:

Hosfstra & Rockwell (2008). En su estudio titulado “Identificación de minerales de cuarzo y carbonato en el norte de Nevada utilizando datos de emisividad infrarroja térmica ASTER”, en donde logró identificar secuencias gruesas de dolomita, caliza y mármol, así como pequeños depósitos de travertino de aguas termales; la dolomita exhibió una respuesta de carbonato más fuerte que la calcita, según lo previsto en función de sus características espectrales térmicas.

Esta información será de gran apoyo en la investigación pues se utilizará la misma técnica en la detección de carbonatos.

También se trabajará con un compendio de rocas y minerales que permitirá caracterizar los yacimientos calcáreos que se pretende detectar en la zona; teniendo como antecedente:

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET (2009), es su compendio de rocas y minerales industriales en el Perú, el cual menciona la importancia de los recursos no metálicos, rocas y minerales industriales (RMI), además del valor significativo de estos recursos que aportan a la economía peruana, así mismo hace mención de la notable producción de minerales destinados para la industria de la construcción, considerada industria moderna debido a sus múltiples aplicaciones.

Gamboa (2015). Utilizó técnicas de tratamiento digital de imágenes satelitales como el método de Crosta, la desmezcla lineal del espectro y el mapeo espectral, en su estudio titulado “Caracterización mineralógica de la alteración en las calizas de la microcuenca del río Tres ríos en el distrito de Cajamarca”; logrando zonificar la distribución de las alteraciones, así como determinar que las calizas clásticas de la formación Yumagual y las margas ferruginosas de la Formación Chúlec tienden a formar suelos tipo terrarosa mientras que las calizas no clásticas de las Formaciones Pariatambo y Yumagual tienden a formar calcretas.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET (2015), en su boletín serie B: Geología económica N°33, el cual lleva por título “Estudio Geológico económico de rocas y minerales industriales en la región de Cajamarca”, hace mención de la ubicación, evaluación geológica y económica de las rocas y minerales industriales (RMI) o recursos no metálicos como se conocen tradicionalmente, con la finalidad de

mostrar, en lo posible, la magnitud e incidencia que experimentó el subsector de las RMI en el contexto económico de esta región.

Crisanto (2019). En su estudio “Cálculo de las reservas para determinar una secuencia de extracción óptima en la Cantera Castro I, San Nicolás – Saña”, obtuvo como resultados que la secuencia de extracción de la Cantera Castro I se dio por el método de descubiertas dadas en 4 fases, divididas gracias a la cantidad de reservas halladas, realizadas por 3 procesos, todos estos resultados se presentaron por medio de tablas y figuras enumeradas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis si se realiza un cálculo de reservas entonces se determinará una secuencia de extracción óptima todo este trabajo permitió concluir que; el cálculo de las reservas mediante el método de los perfiles permitió determinar la secuencia de extracción, la cual fue por cubiertas basándose en 3 procesos: desbroce, arranque mecánico y la clasificación.

La investigación tendrá definiciones conceptuales tales como:

Yacimiento mineral, es la parte de la corteza terrestre, en la cual, debido a procesos geológicos, hubo una acumulación de materia prima mineral, la cual por sus características de cantidad, calidad y condiciones de depósito es redituable su explotación (Servicio Geológico Mexicano, SGM, 2017).

Yacimientos por intemperismo o meteorización, es el proceso cuando actúa sobre rocas y estructuras mineralizadas, puede ser por un proceso físico (cambio de temperatura), o por un proceso químico (acción del agua y del oxígeno). Ambos procesos actúan sobre rocas y minerales no metálicos y sobre estructuras mineralizadas (Tumialán, 2003).

Las rocas calcáreas o carbonatadas son compuestos químicos, sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los elementos carbono

(C) y oxígeno (O) en forma del grupo  $\text{CO}_3$ , conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Según la clasificación elaborada por Strunz (2001), los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados, con o sin aniones extraños. Las especies minerales forman dos grupos: en el primero están principalmente la calcita y dolomita, y en el segundo el aragonito (INGEMMET, 2009).

Las rocas calcáreas o carbonatadas tienen origen químico y orgánico. Los carbonatos de origen químico se han formado por precipitación de disoluciones bicarbonatadas o carbonatadas con dióxido de carbono y agua. Los carbonatos de origen orgánico, están formados por caparazones de animales acuáticos (INGEMMET, 2015).

Los carbonatos son los compuestos de carbono y oxígeno que tienen como unidad estructural fundamental el complejo  $\text{CO}_3^{2-}$ . Estos grupos carbonatado planos, son las unidades constructivas básicas de todos los carbonatos minerales y los responsables en gran medida de las propiedades de este grupo (Strunz, 2001).

Existen alrededor de 80 minerales carbonatados, la mayoría raros. Aun así, mientras los nitratos y los boratos son minerales escasos en la naturaleza los carbonatos más simples son bastante abundantes. Forman parte de la composición química de numerosas rocas siendo el componente esencial de calizas, dolomitas y mármoles cristalinos. Además, son menas de numerosos metales. Los minerales más importantes del grupo de los carbonatos son la calcita, el aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ), y la dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) (International Mineralogical Association IMA, 2004).

Los Carbonatos más abundantes son los carbonatos anhidros, que contiene tres grupos isoestructurales (Strunz, 2001):

Grupo de la Calcita: Calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Magnesita ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ), Siderita ( $\text{CO}_3\text{Fe}$ ), Rodocrosita ( $\text{CO}_3\text{Mn}$ ) y Smithsonita ( $\text{CO}_3\text{Zn}$ ).

Grupo del Aragonito: Aragonito ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Witherita ( $\text{CO}_3\text{Ba}$ ), Cerusita ( $\text{CO}_3\text{Pb}$ ) y Estroncianita ( $\text{CO}_3\text{Sr}$ ).

Grupo de la Dolomita: Dolomita -  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ; Ankerita  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$

Además de los minerales de estos tres grupos sólo tienen importancia los carbonatos básicos de cobre: la Azurita y la Malaquita que pertenecen al grupo de los carbonatos monoclinicos con  $(\text{OH})^-$  (Strunz, 2001).

Las principales rocas carbonatadas utilizadas por la industria, son las calizas y dolomías. Las calizas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), y las dolomías son rocas compuestas principalmente por dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ). Otros carbonatos como el aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ), la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), la ankerita ( $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$ ) y la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), son comúnmente asociados con calizas y dolomías, pero generalmente en menor cantidad (INGEMMET, 2015).

Calcita, carbonato cálcico  $\text{CaCO}_3$ , con cristalografía hexagonal, tiene tres hábitos muy variados: el romboédrico, prismático y escalenohédrico. La calcita se presenta también en masas granuladas finas a compacto de aspecto terroso. Brillo vítreo de colores blancos mayormente, pero puede tener diversos tonos (grises, verdosos, rojizos). Es el mineral más abundante de las rocas calcáreas, también es un mineral secundario de las rocas ígneas (INGEMMET, 2015).

Dolomías, carbonato de calcio y magnesio  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ , de cristalografía hexagonal a romboédrica; presenta brillo vítreo con tonalidades rosadas, pudiendo ser incoloro; asimismo, es transparente e incluso puede ser translúcido. Es el mineral que constituye las rocas dolomíticas, también se presenta como un mineral filoniano junto a minerales de plomo, zinc y otros metales (INGEMMET, 2015).

Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), predominando la calcita. La utilización de



las calizas está relacionada principalmente con el contenido de carbonato, especialmente el grado químico (INGEMMET, 2009).

La dolomita es una roca calcárea formada por mineral de dolomía (carbonato de calcio y magnesio). Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía, en donde la fracción carbonato contiene 90% o más del mineral dolomita, lo cual representa un poco más del 50% de la roca. En general las dolomitas presentan mejor uniformidad de granos que las calizas. Esta roca se presenta estrechamente asociada a la caliza, pudiendo estar interestratificada, e incluso puede pasar gradualmente a caliza. La mayor parte de estas rocas son calizas reemplazadas debido a la contaminación de aguas cargadas de sales magnesianas (INGEMMET, 2009).

El principal derivado de la caliza es la cal, que es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura (903°C) de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). Cien kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal. En el mercado se comercializan mayormente 3 tipos de cal (INGEMMET, 2009):

Cal viva, material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada) se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.

Cal apagada, se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a

dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.

Cal hidráulica, cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

Cal hidratada, se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio (INGEMMET, 2009).

Carbonato de calcio, el carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , es muy abundante en la naturaleza.

Aparece en forma de roca caliza, fácilmente erosionable por la acción del viento y la lluvia. El carbonato de calcio puro existe como calcita (trigonal) y aragonito (rómico) que son formas prácticamente puras. Este compuesto tiene numerosas aplicaciones en la industria (INGEMMET, 2009).

Las calizas son las más abundantes entre todos los carbonatos en el Perú y en el mundo. En el país se consumen principalmente en zonas de la costa, que es la más industrializada y donde sus yacimientos son los más accesibles. Sin embargo, los depósitos de calizas de la costa tienen frecuentemente menor potencial y menor calidad que en otras franjas, y su importancia se debe a la falta de mejores yacimientos cercanos. En el norte del Perú, las calizas se encuentran en las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñán, Mujarrum, Cajamarca y Celendín. La formación Cajamarca es la que presenta mayor espesor (600-700 m) y homogeneidad. Son típicas de esta formación las calizas micríticas de color gris oscuro, ricas en fósiles y cuyos estratos van desde 0,5 a 2,0 m (INGEMMET, 2009).

El Sensoramiento remoto o Teledetección es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre mediante sensores instalados en plataformas espaciales, dichas imágenes nos permiten obtener información de la superficie terrestre sin tener contacto directo con ella (in situ), esto se debe a que entre el sensor y la superficie terrestre existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial (Meijerink, 2007).

El Sensoramiento remoto incluye los siguientes elementos (Chuvieco, 1995):

Fuente de energía, que el origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se hable de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por éste (teledetección activa). La fuente de energía más importante, obviamente, es la energía solar.

Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedentes de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.

Sistema sensor, compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo sustenta. Tienen como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

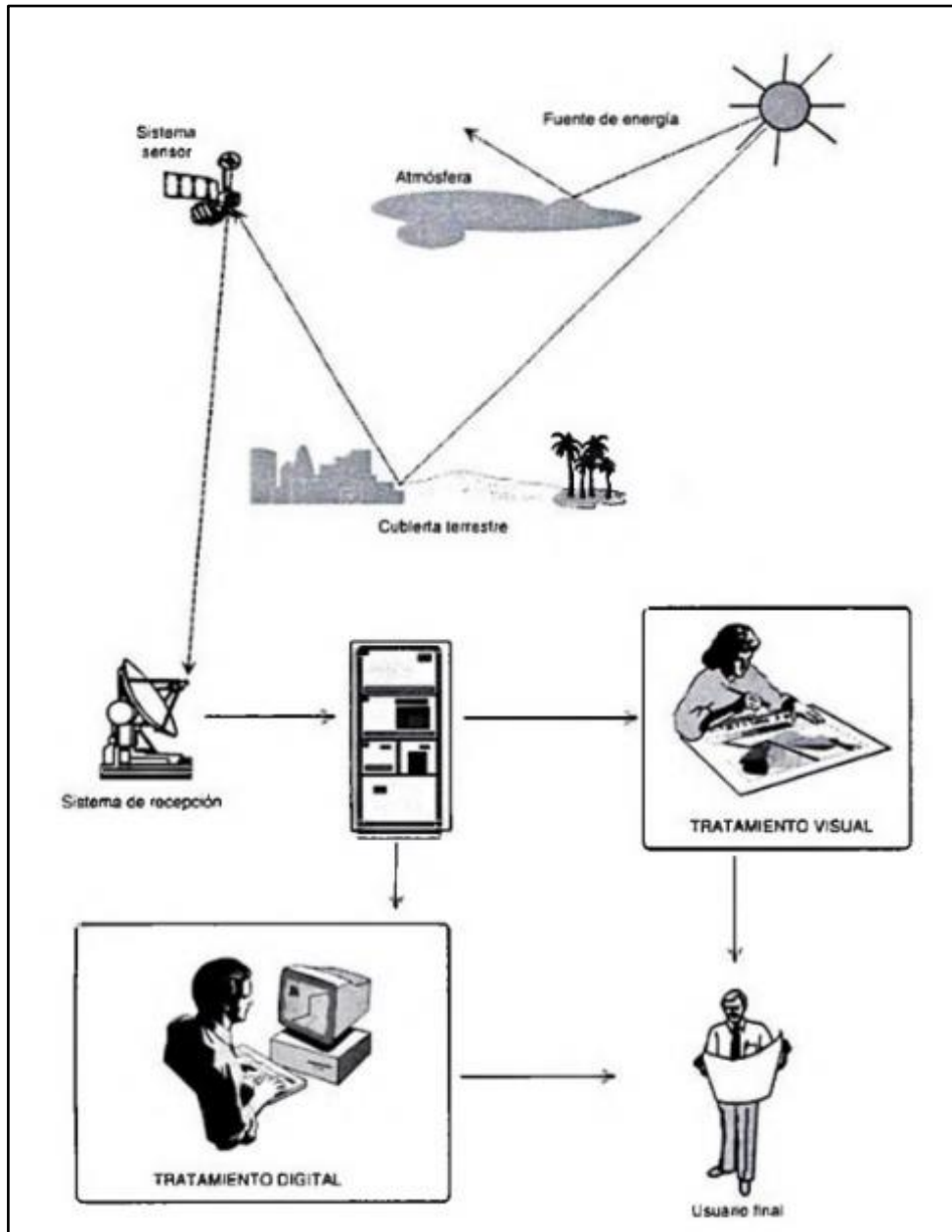
Sistema de recepción-comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los interesados.

Intérprete, que convierte los datos en información temática de interés, ya sea visual o digital, de cara a facilitar la evaluación del problema en estudio.

Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

Figura 1.

*Componentes de un sistema de teledetección o sensor remoto.*



Fuente: Chuvieco, 1995

Cualquier tipo de energía se puede definir mediante sus longitudes de onda o frecuencias. El espectro electromagnético (EEM) viene a ser la sucesión de estas longitudes de onda que están divididas en regiones dentro de las cuales las longitudes de onda son similares. El espectro electromagnético se extiende desde las longitudes de onda muy cortas como los rayos gamma (medido en partes de nanómetros) a las

longitudes de onda largas de la región radioeléctrica (medido en m). El EEM está dividido en regiones basadas en sus longitudes de onda que son (Rodríguez, 2008):

Rayos Gamma (menores a  $0.003 \mu\text{m}$ ): Esta radiación es completamente absorbida por la atmósfera y no es sensible a los sensores remotos.

Rayos X ( $0.03\text{nm}$  a  $30 \text{ nm}$ ): También es absorbida por la atmósfera. No se usa en sensores remotos.

Rayos Ultravioleta ( $0.03$  a  $0.4 \mu\text{m}$ ): Esta radiación es absorbida completamente por el ozono ( $\text{O}_3$ ).

Espectro Visible ( $0.4 \mu\text{m}$  a  $0.7 \mu\text{m}$ ): Denominado así por ser la única radiación electro magnética perceptible por nuestra vista. Dentro de esta se tiene 3 bandas que son: Azul ( $0,4\mu\text{m}-0,5\mu\text{m}$ ), Verde ( $0,5\mu\text{m}-0,6\mu\text{m}$ ) y Rojo ( $0,5\mu\text{m}-0,6\mu\text{m}$ ) que son los colores primarios.

Infrarrojo cercano ( $0,7 \mu\text{m}-1,3 \mu\text{m}$ ): También denominado infrarrojo o fotográfico ya que puede detectarse a partir de filmes dotados de emulsiones especiales. Su importancia radica en que esta discrimina las masas vegetales.

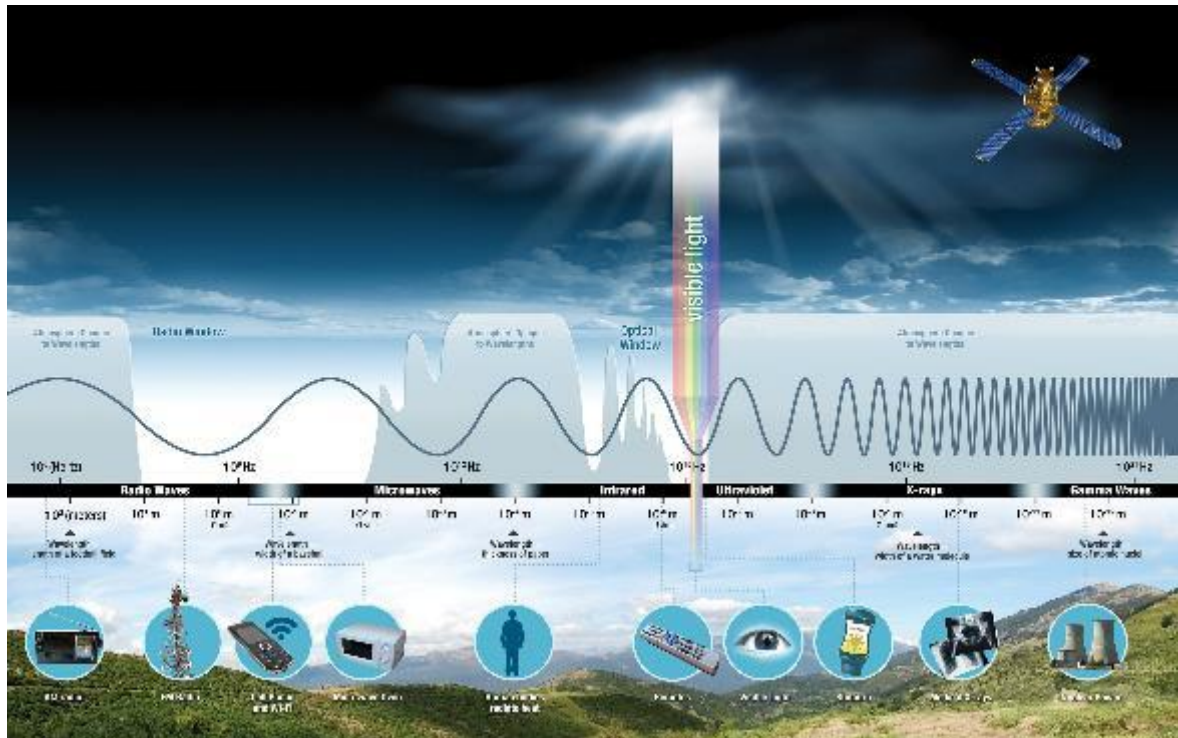
Infrarrojo medio ( $1,3 \mu\text{m}-8 \mu\text{m}$ ): En esta se puede obtener el contenido de humedad en la vegetación y principales focos de alta temperatura.

Infrarrojo lejano o térmico ( $8 \mu\text{m}-14 \mu\text{m}$ ): Comprende la porción emisiva del espectro donde se detecta el calor proveniente de la cubierta terrestre.

Micro ondas: Son aquellas que penetran por nubes, neblina, lluvia, imágenes se obtiene por sistemas de escaneo activos y pasivos.

Figura 2.

*Espectro electromagnético.*

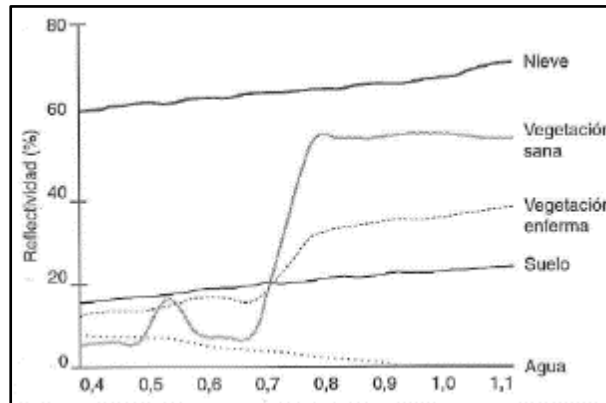


Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio NASA, 2015

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).

Figura 3.

*Firma espectral de diferentes cubiertas terrestres*



Fuente: Chuvieco, 1995

La atmosfera tiene un rol importante en el registro de los datos de sensores y en la interacción con la radiación electromagnética. Contiene muchos gases y partículas diferentes, por lo cual absorbe y transmite muchas longitudes de onda diferentes de radiación electromagnética (Jogmec, 2006).

En longitudes de onda menores  $0,3\mu\text{m}$  (UV) son prácticamente absorbidas. El agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) absorben radiación en determinadas  $\lambda$  las más importantes son  $1,4$ ;  $1,9$ ;  $3,1$ ; y  $6,2\mu\text{m}$  (Jogmec, 2006).

Otros gases como  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_3^+$  también absorben radiación, por esta razón los sensores remotos se limitan a las regiones con alta transmitancia, a esas regiones se les denomina ventanas atmosféricas (Jogmec, 2006).

Estas ventanas existen en la región de las microondas, en algunas bandas de longitud de onda en el infrarrojo, en toda la región visible (VIS) y parte de las regiones del ultravioleta (UV) cercano (Jogmec, 2006).

La plataforma EOS / Terra se lanzó en una órbita casi polar a una altitud de 702 km el 18 de diciembre de 1999. La EOS / Terra es una plataforma espacial avanzada que lleva tres sensores sofisticados que consisten en (i) el Espectrómetro de Imágenes de

Resolución Moderada (MODIS); (ii) el espectroradiómetro de imágenes de triángulos múltiples (MISR); y (iii) el Radiómetro de Emisión y Reflexión Térmica Avanzada en el Espacio (ASTER) (Pieri y Abrams 2004).

El radiómetro avanzado de emisión y reflexión térmica de transmisión espacial (ASTER) es un sensor de detección remota multiespectral de alta resolución espacial, espectral y radiométrica. Fue lanzado en la nave espacial de órbita polar AM-1 (EOS AM-1) del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA en diciembre de 1999. La nave espacial EOS AM-1 opera en una órbita circular casi polar, sincrónica al sol a 705 km de altitud. El ciclo recurrente es de 16 días, con cobertura adicional de repetición de 4 días debido a su capacidad de apuntar fuera del nadir. ASTER es un esfuerzo cooperativo entre el Ministerio de Comercio e Industrias Económicas de Japón (METI) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). Consiste en tres subsistemas de instrumentos separados, que proporcionan observación en tres regiones espectrales diferentes del espectro electromagnético, incluido el infrarrojo visible y cercano (VNIR), 3 y 4) (Abrams et al., 2004; Pour y Hashim 2012a).

El subsistema VNIR tiene tres canales de grabación entre 0,52 y 0,86  $\mu\text{m}$  y una banda adicional hacia atrás para la construcción estéreo de modelos de elevación digital (DEM) con una resolución espacial de hasta 15 m. El subsistema SWIR tiene seis canales de grabación de 1.6 a 2.43  $\mu\text{m}$ , a una resolución espacial de 30 m, mientras que el subsistema TIR tiene cinco canales de grabación, que cubren la región de longitud de onda de 8.125 a 11.65  $\mu\text{m}$  con una resolución espacial de 90 m. El ancho de la franja ASTER es de 60 km (cada escena individual se corta a 60x60 km  $2^{\text{área}}$ ) lo que lo hace útil para el mapeo regional, aunque su capacidad de apuntar fuera del nadir extiende su campo de visión total posible hasta 232 km (Beiranvand Pour & Hashim, 2014).



## **1.2. Formulación del problema**

¿Dónde se ubican mediante el sensoramiento remoto los recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La Encañada, Cajamarca 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Detectar mediante sensoramiento remoto recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La encañada, Cajamarca – 2020.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Realizar el mapeo geológico satelital en el distrito de la encañada.

Crear una librería espectral aplicada a yacimientos no metálicos calcáreos.

Aplicar el método MTMF para el análisis espectral en el distrito de La Encañada.

Determinar espacialmente zonas de interés no metálico calcáreo en el distrito de La Encañada.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis General**

El sensoramiento remoto detectará recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La Encañada, asociadas a formaciones calcáreas como Cajamarca y Celendín.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación.**

El desarrollo de la investigación será de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y sub tipo tecnológico pues tiene como objetivo un desarrollo práctico de recolección de información numérica espectral que permita la detección de recursos no metálicos calcáreos, además generar conocimientos prácticos dirigidos al sector productivo minero; con diseño no experimental ya que no manipulará deliberadamente las variables de estudio; transversal, correlacional pues se tomará la muestra espectral en un punto espacio temporal definido y buscara determinar la relación entre la ocurrencia de minerales y la presencia de yacimientos calcáreos; utilizará un método de descriptivo analítico para la obtención de resultados.(Sampieri, 2014)

### **2.2. Población y muestra.**

#### **2.2.1. Población**

Imágenes satelitales ASTER que abarquen la provincia de Cajamarca.

#### **2.2.2. Muestra**

Imagen satelital ASTER del distrito de La encañada con información espectral en sus tres subsistemas VNIR, SWIR; TIR.

### **2.3. Materiales, instrumentos y métodos**

#### **2.3.1. Materiales.**

Rotuladores

Libreta de apuntes

Imágenes satelitales Áster de la provincia de Cajamarca

Glosario de investigación UPN 2020

Manual de redacción académica UPN 2020

### **2.3.2. Instrumentos de recolección y procesamiento de datos.**

Plataforma satelital USGS

Programas de procesamiento espectral (Envi)

Programa SIG (ArcGIS)

Sistema de información geológica y catastro minero GEOCATMIN

Hojas de cálculo (Excel)

Laptop

Dispositivos de almacenamiento

Calculadora

### **2.3.3. Métodos**

La investigación se realizará teniendo en cuenta, técnicas espectrales mediante el uso de sensores remotos, con la finalidad de identificar y localizar minerales que caracterizan yacimientos no metálicos calcáreos.

Para la utilizar este método de detección es necesario tener en cuenta que la imagen adquirida debe cumplir con

#### **2.3.3.1. Análisis mediante el método de Angulo de Mapeo Espectral (SAM)**

Para la identificación de minerales en la imagen ASTER es necesario que el subsistema VNIR-SWIR se encuentre en valores de reflectancia y el TIR en valores de emisividad.

El método SAM es un método automatizado para la comparación de firmas espectrales de la imagen con librerías espectrales. Los algoritmos de SAM determinan la similitud entre las dos firmas espectrales calculando el ángulo espectral entre ellos, tratándolos como

unidades vectoriales en el espacio espectral con dimensionalidad espectral igual al número de bandas.

La longitud de onda que se trabajará será de 0 a 2.5 micrómetros y emisividad de 0 a 1 de porcentaje de reflectancia.

### **2.3.3.2. Método espectral MTMF**

Posterior a la identificación e interpretación de las firmas espectrales de minerales se procederá a la búsqueda de similares en toda la imagen ASTER para lo cual se aplicará el método Mixture Tuned Matched Filtering O MTMF (Ahmad y Qurat, 2012).

Este método genera imágenes de abundancia donde los valores más altos pertenecen a las mejores parejas con el más alto grado de probabilidad de ocurrencia espacial en coordenadas WGS 84.

## **2.4. Procedimiento.**

### **2.4.1. Descarga de imágenes ASTER.**

Para detectar recursos no metálicos calcáreos mediante sensoramiento remoto, se procede a obtener una imagen que contenga información espectral, en este caso una imagen del tipo ASTER L1T, la cual contiene 14 bandas hiperespectrales con una información en sus tres sistemas tales como SWIR, VNIR Y TIR, existen servidores internacionales que permiten la obtención de este tipo de producto, para dicha descarga se realizara del servidor Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Figura 4.

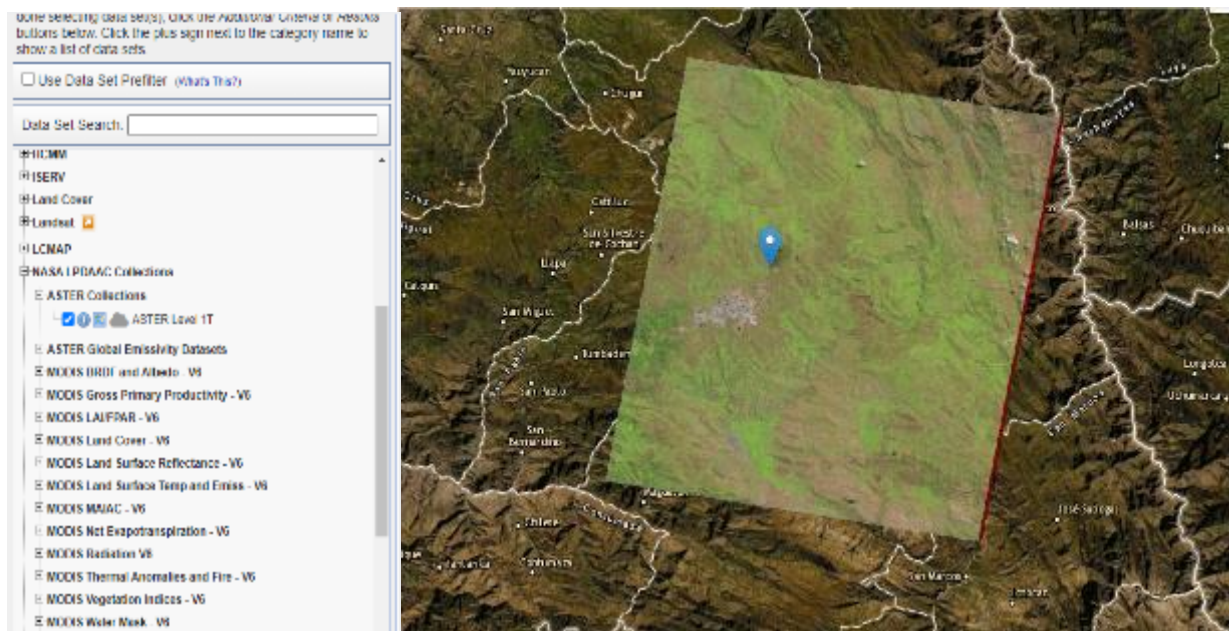
*Servidor de descarga de Servicio Geológico de Estados Unidos.*



Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS, 2020

Figura 5.

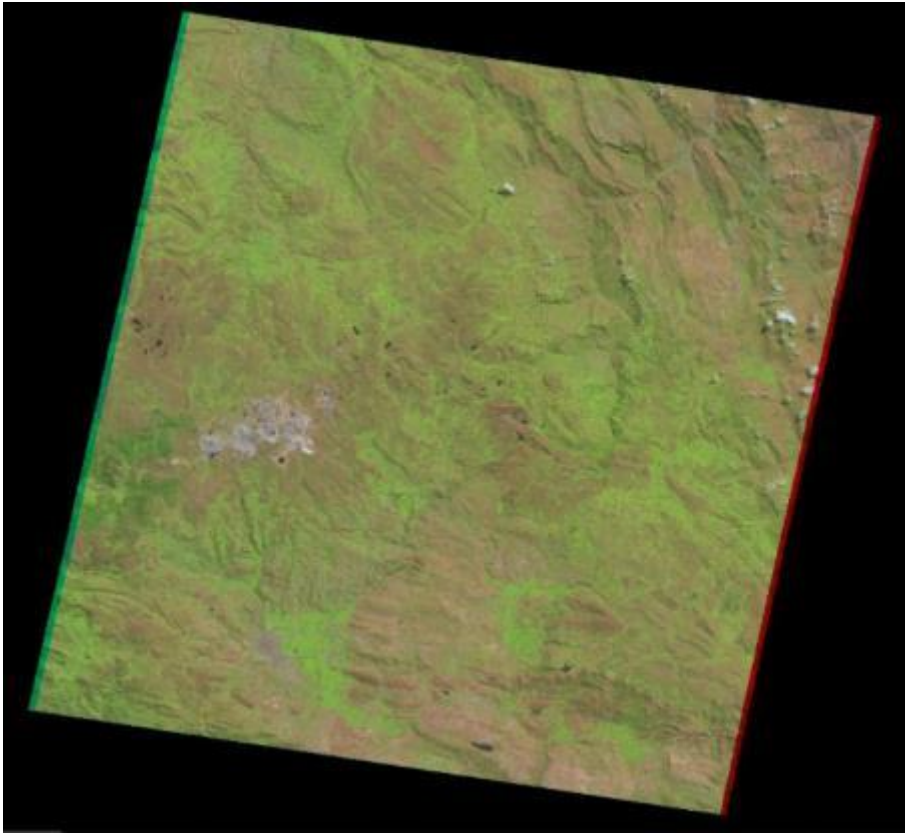
*Descarga de la imagen ASTER LIT.*



Fuente: USGS, 2020

Figura 6.

*Pantalla completa de la imagen ASTER L1T.*



Fuente: USGS, 2020

Tabla 1.

*Ficha técnica de la imagen ASTER L1T.*

<b>Atributo del conjunto de datos</b>	<b>Valor de atributo</b>
ID de gránulo local	AST_L1T_00310082019153925
ID de entidad	AST_L1T_00310082019153925
Ruta WRS	9
Fila WRS	65
Fecha de Adquisición	10/08/2019
Nivel de procesamiento	AST_L1T

Fuente: USGS, 2020

## 2.4.2. Corrección de la imagen Aster.

### 2.4.2.1. Corrección Geométrica

Esta corrección busca remediar cualquier alteración de la posición del píxel en la imagen.

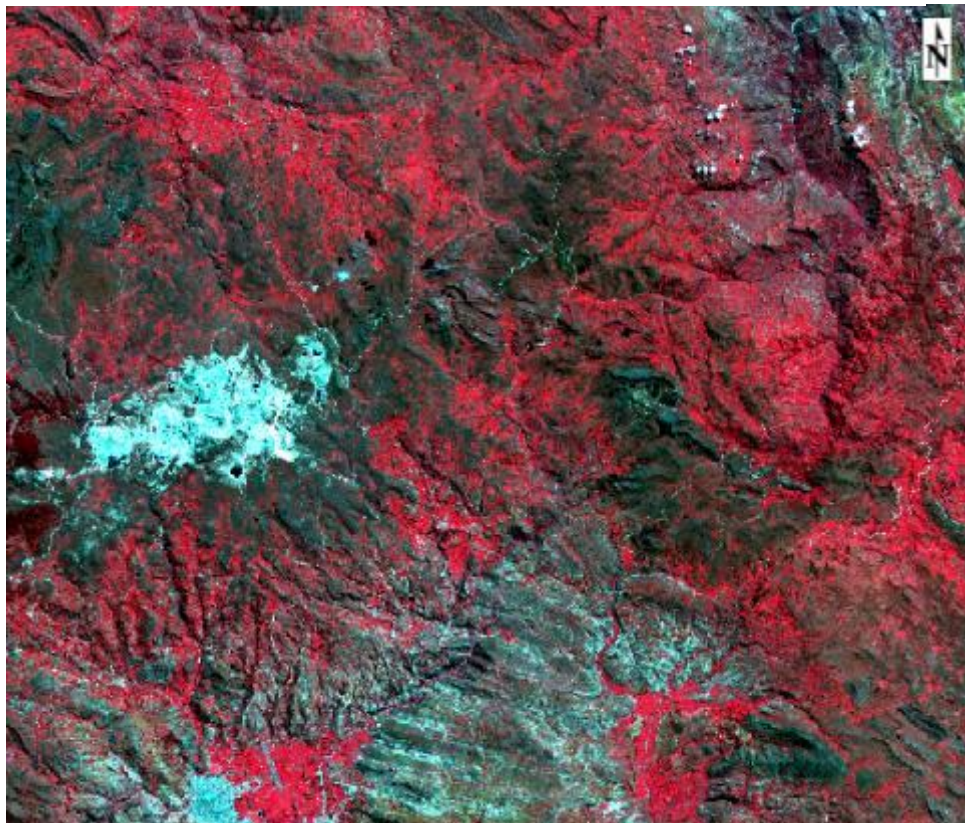
En el cual se busca fallas como:

- ❖ El efecto de rotación de la Tierra
- ❖ La distorsión panorámica
- ❖ El efecto de la curvatura de la tierra

Se utilizó el método no paramétrico en el cual los parámetros de transformación de los diferentes modelos se deducen a partir de puntos de control, es decir, a partir de puntos con coordenadas de la zona de estudio.

Figura 7.

*Corrección geométrica.*



Fuente: Propia.

#### 2.4.2.2. Corrección Radiométrica

A diferencia de la corrección geométrica, en donde todas las fuentes de error suelen ser rectificadas conjuntamente, los procesos de corrección radiométrica tienen que ser específicos para la naturaleza de la distorsión.

Las técnicas más habituales de corrección radiométrica son:

Corrección radiométrica del bandeo, en sensores de barrido producido por desajustes en el calibrado de los detectores.

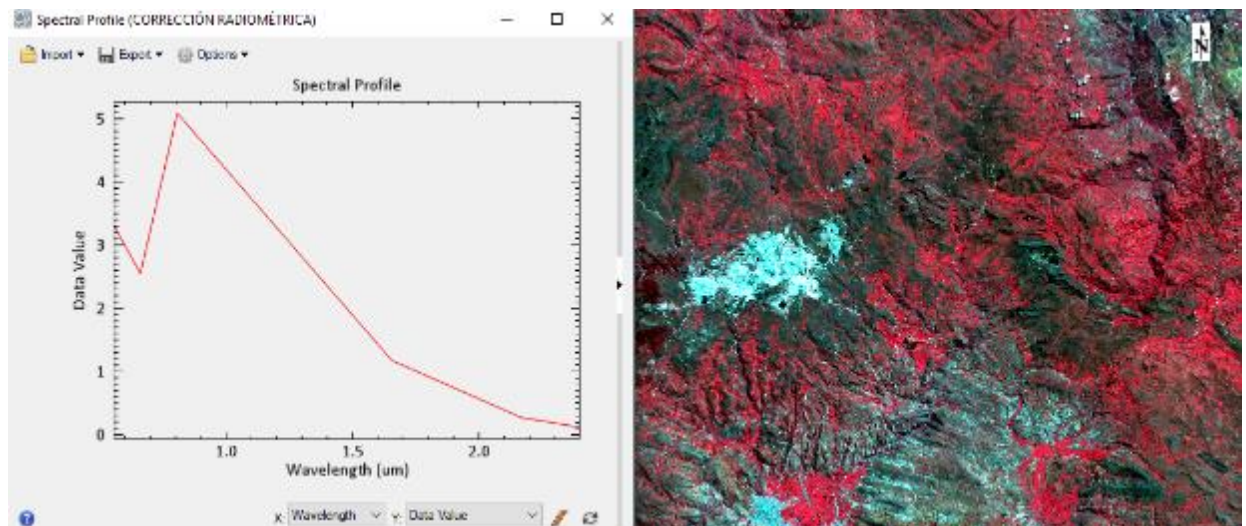
Corrección radiométrica de líneas o píxeles perdidos, producido por fallos del sensor o de transmisión de los datos

Corrección o Normalización radiométrica horaria

Corrección radiométrica del efecto por columnas.

Figura 8.

*Corrección radiométrica.*



Fuente: Propia.

#### 2.4.2.3. Corrección Atmosférica

Se empleó el modelo FLASSH (Fast Line of sight atmospheric analysis of spectral hipercubes), el cual busca transformar valores de radiancia en reflectancia con la finalidad de eliminar la interacción de la radiación solar

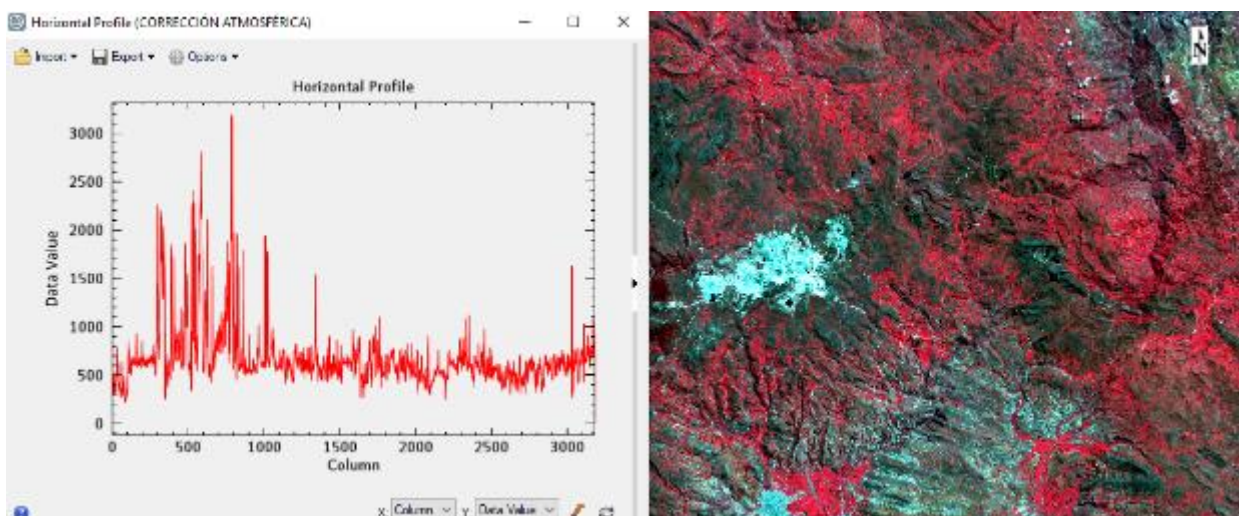


directa y de la radiación reflejada por la superficie con los componentes atmosféricos que interfieren con el proceso de transmisión de información por teledetección originando lo que se denomina "efecto de la atmósfera". Los gases atmosféricos y los aerosoles, así como las nubes, dispersan y absorben la radiación solar y pueden, por tanto, modular la radiación reflejada por el objeto atenuándola, cambiando su distribución espacial e introduciendo en el campo de visión radiación de fondo procedente de la dispersión atmosférica. Como resultado la atmósfera puede afectar a la imagen aparente del objeto (la imagen observada por el sensor) de diferentes modos, dependiendo de varios factores:

- (a) la longitud de onda
- (b) la reflectividad de la superficie y su variabilidad espacial
- (c) las características del sensor
- (d) la aplicación de teledetección

La atmósfera cambia de una fecha a otra y es necesario corregir los valores de las radiancias registrados por el sensor.

Figura 9.  
*Corrección atmosférica.*



Fuente: Propia.

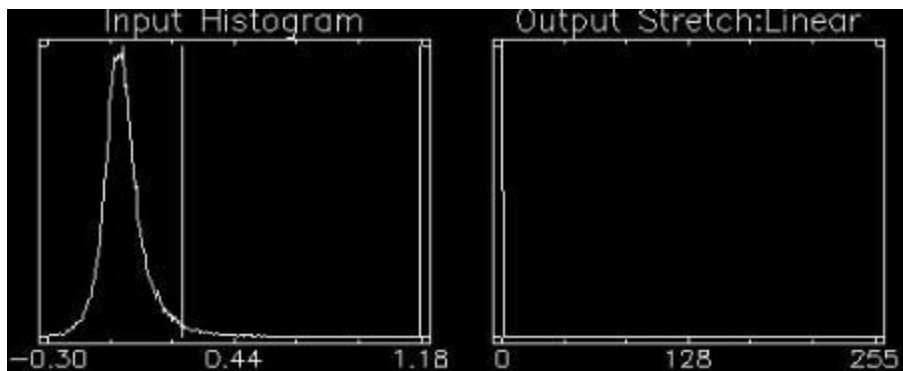
### 2.4.3. Enmascaramiento

#### Mascara de nubes.

Se realizó la combinación RGB 8-3-5 propuesta por Ingemmet (2015), en la cual se resalta las nubes de otros materiales en color blanco brillante, posteriormente se realizó el análisis de componentes principales para determinar el umbral que abarca la presencia de nubes, obteniéndose un umbral de 0.233 a 1.178 en la CP1.

Figura 10.

*Nivel digital para resaltar nubes en CP 1*



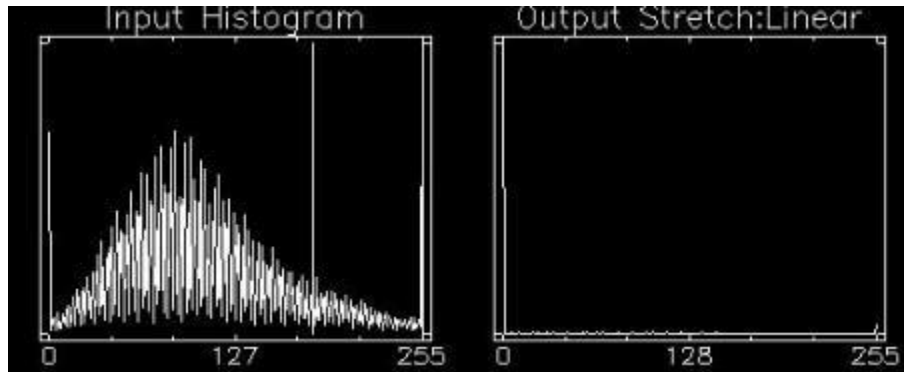
Fuente: Propia.

#### Mascara de vegetación.

Para crear la máscara de vegetación se utilizó la combinación 3-2-1 propuesta por Ingemmet (2015), Se resalta la vegetación en color rojo brillante dependiendo del vigor, posteriormente se realiza el análisis de componentes principales, para lo cual se identificó un umbral de 180 a 255 en la CP1. Generalmente este umbral representa la vegetación densa y/o robusta, sin embargo, dado que cada imagen es diferente.

Figura 11.

*Nivel digital para resaltar vegetación en CP 1*



Fuente: Propia.

### **Mascara de agua**

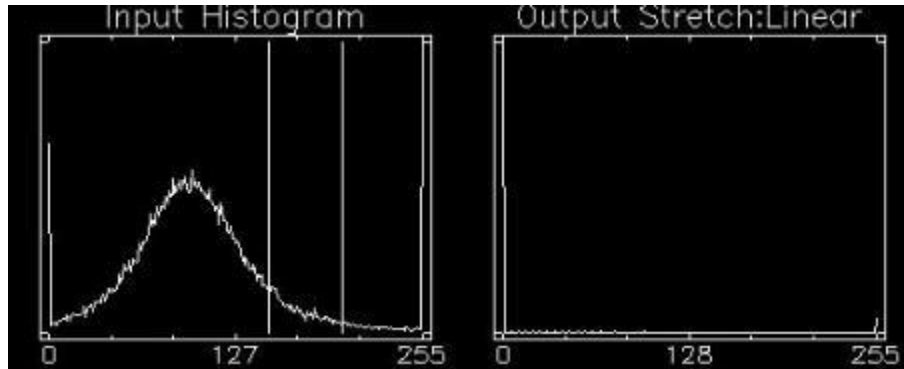
Para la detección de zonas de agua se propuso el uso de la combinación 231 para resaltar agua y zonas urbanas en tonos blancos posteriormente se realizó el análisis de componentes principales verificándose que en los rangos de 150 a 180 se resalta los cursos de agua en la componente principal 3.

### **Mascara de zonas urbanas**

De igual modo para la detección de zonas urbanas se realizó la combinación 231 para resaltar zonas urbanas en tonos blanquecinos, posteriormente se realizó el análisis de componentes principales verificándose que en los rangos de 181 a 200 se resalta las zonas urbanas en la componente principal 3. Filtrándose de este modo un rango de 150 a 200 para enmascarar agua y zonas urbanas en la imagen de trabajo.

Figura 12.

*Nivel digital para resalta agua y zonas urbanas en CP 3.*

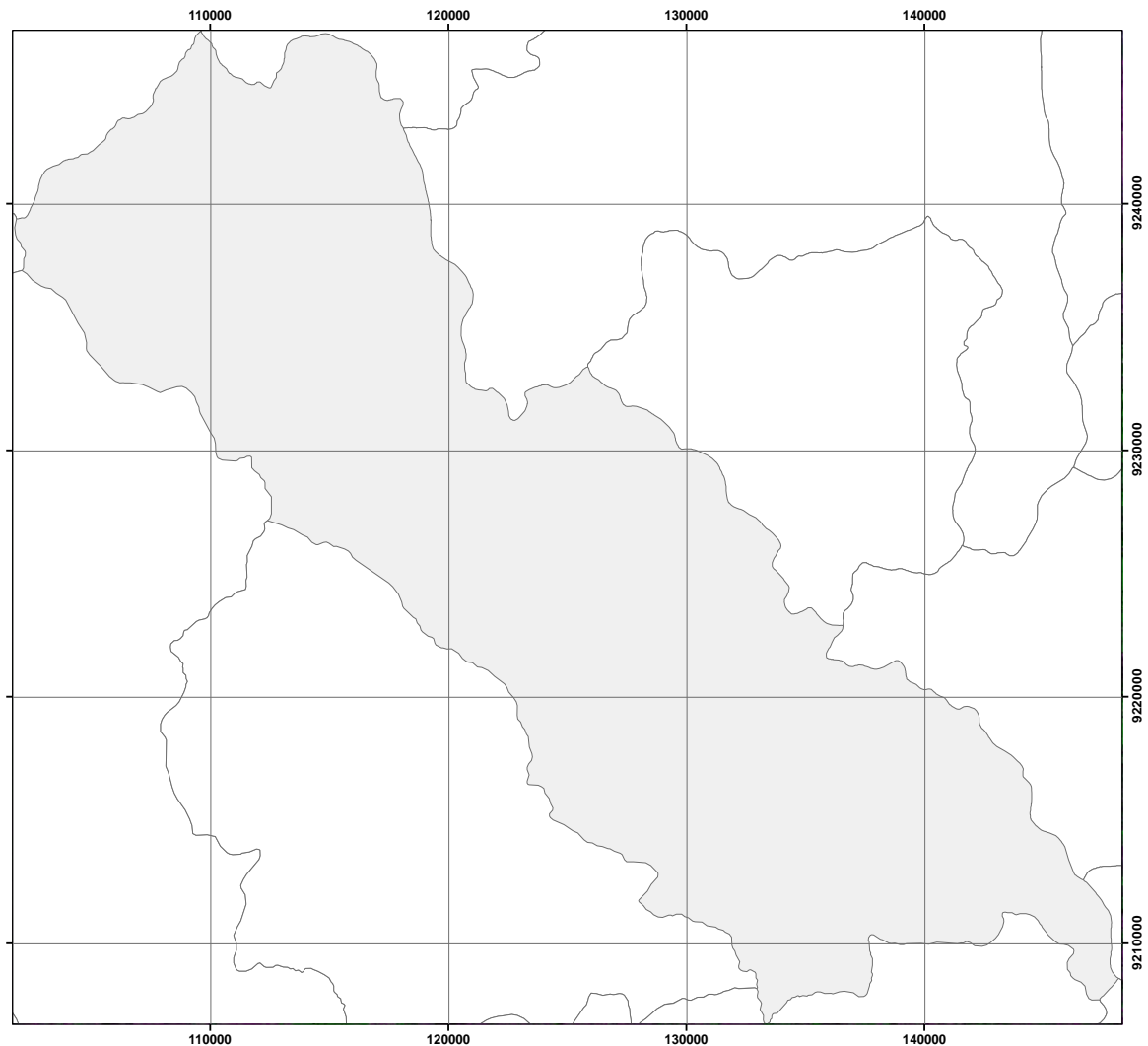


Fuente: Propia.

En la figura 13 se aprecia en color blanco brillante la presencia de nubes, verde la presencia de vegetación y magenta las zonas de rocas y suelos, la cantidad de nubes dependerá de la estación en la cual fue captada la imagen por el sensor, en el presente estudio la imagen de código AST\_L1T\_00310082019153925 con la que se trabajó presento poca nubosidad en la zona centro del distrito de la encañada debido que la imagen se tomó en época de estiaje.

Figura 13.

*Composición RGB 8-3-5, identificación de nubes.*

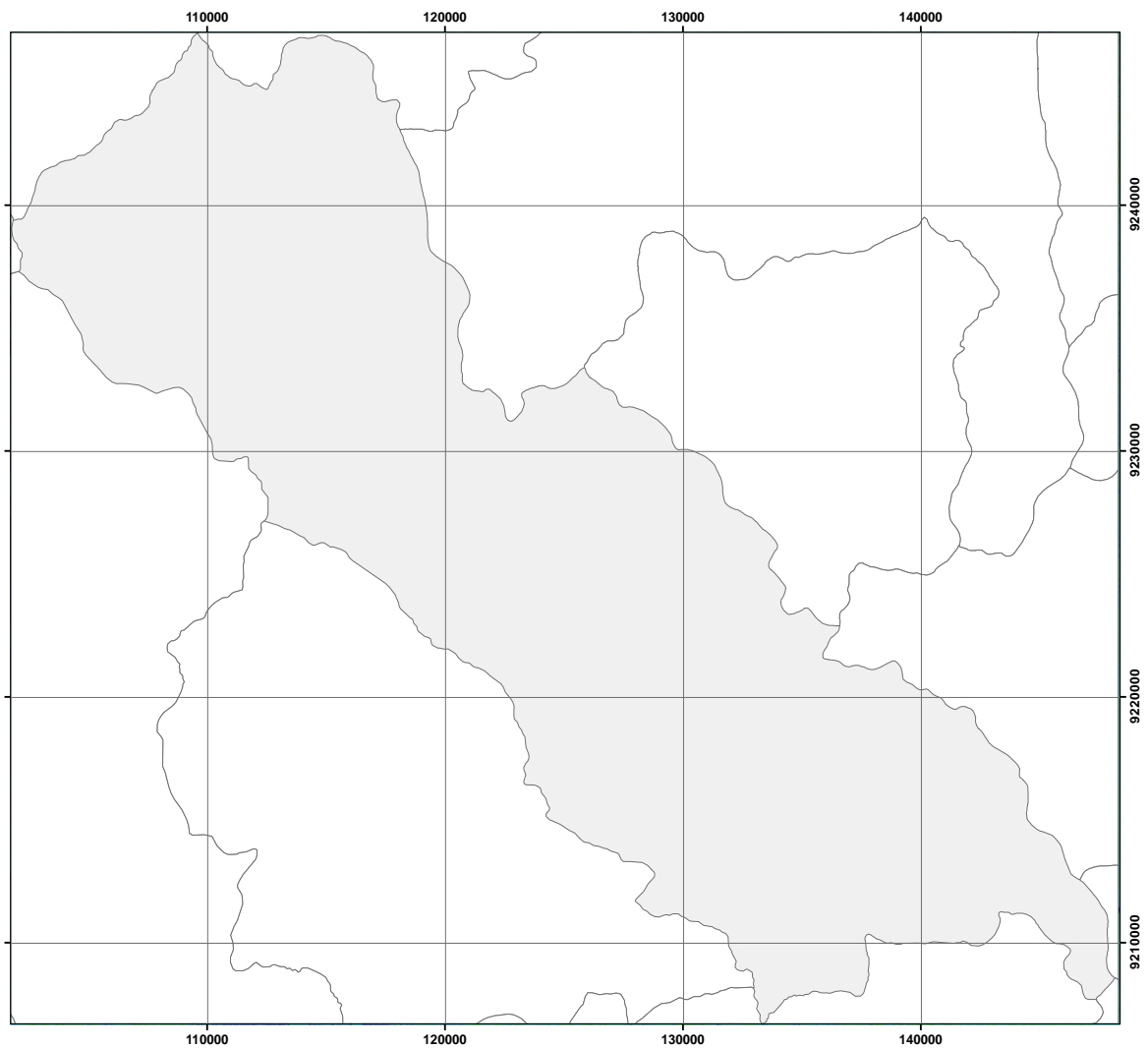


Fuente: Propia

En la figura 14 se aprecia en color azul brillante la presencia de cursos de agua y zonas urbanas, verde la presencia de rocas y cian las zonas con presencia de vegetación, la cantidad de cursos de agua dependerá de la estación en la cual fue captada la imagen por el sensor, en el presente estudio la imagen de código AST\_L1T\_00310082019153925 con la que se trabajó presento poca cantidad de cursos de agua debido que la imagen se tomó en época de estiaje (agosto 2019)

Figura 14.

*Componente 3 en falso color, resalte de cursos de agua y zonas urbanas.*

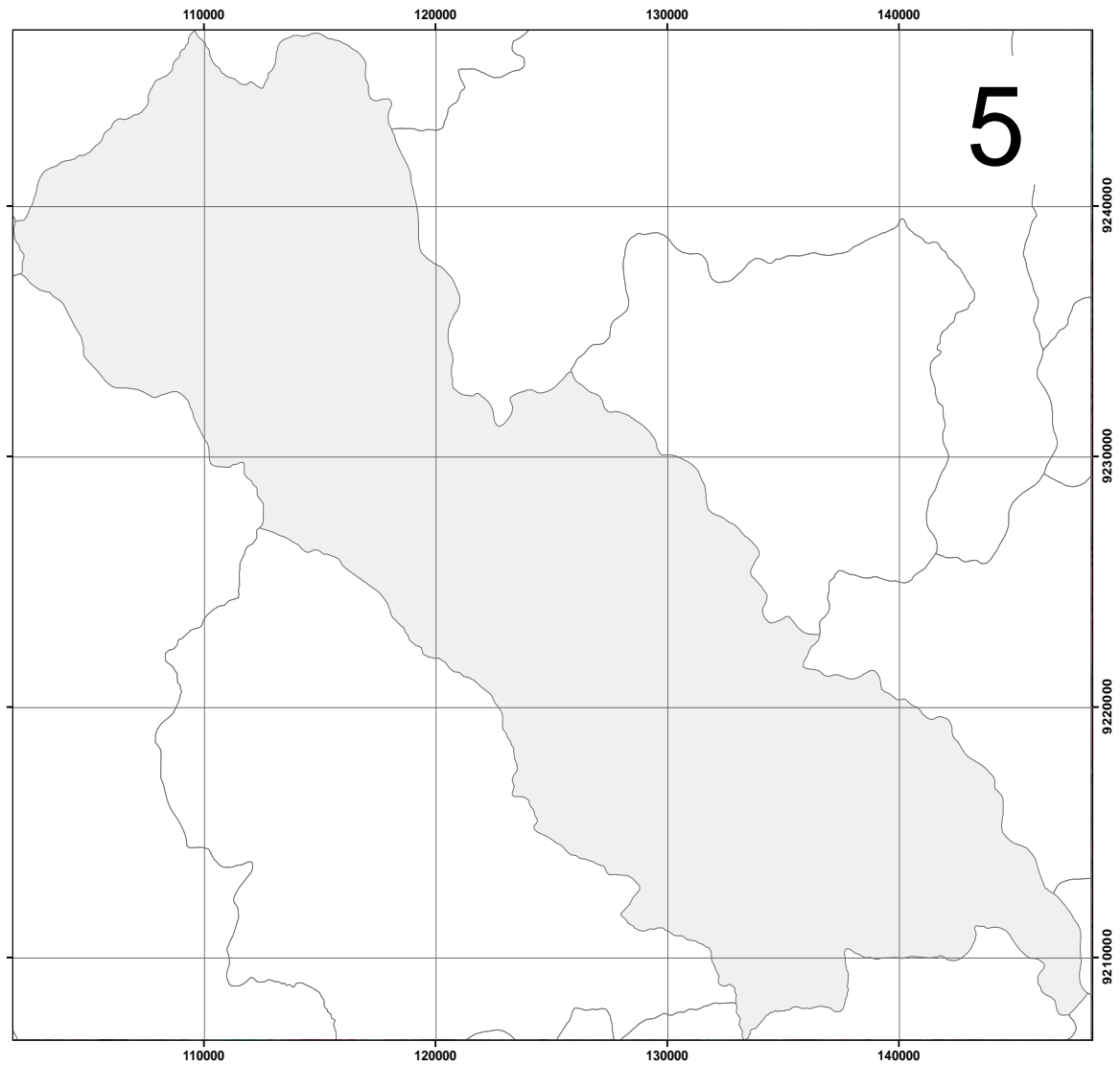


Fuente: Propia.

En la figura 15 se aprecia en color rojo brillante la presencia vegetación y en tonos verdes otros tipos de cubierta, para la discriminación de vegetación se utilizó la combinación 321, filtrándose así toda la información de vegetación que no será útil para este tipo de estudio.

Figura 15.

*Combinación 321- resalte de vegetación y nubes.*

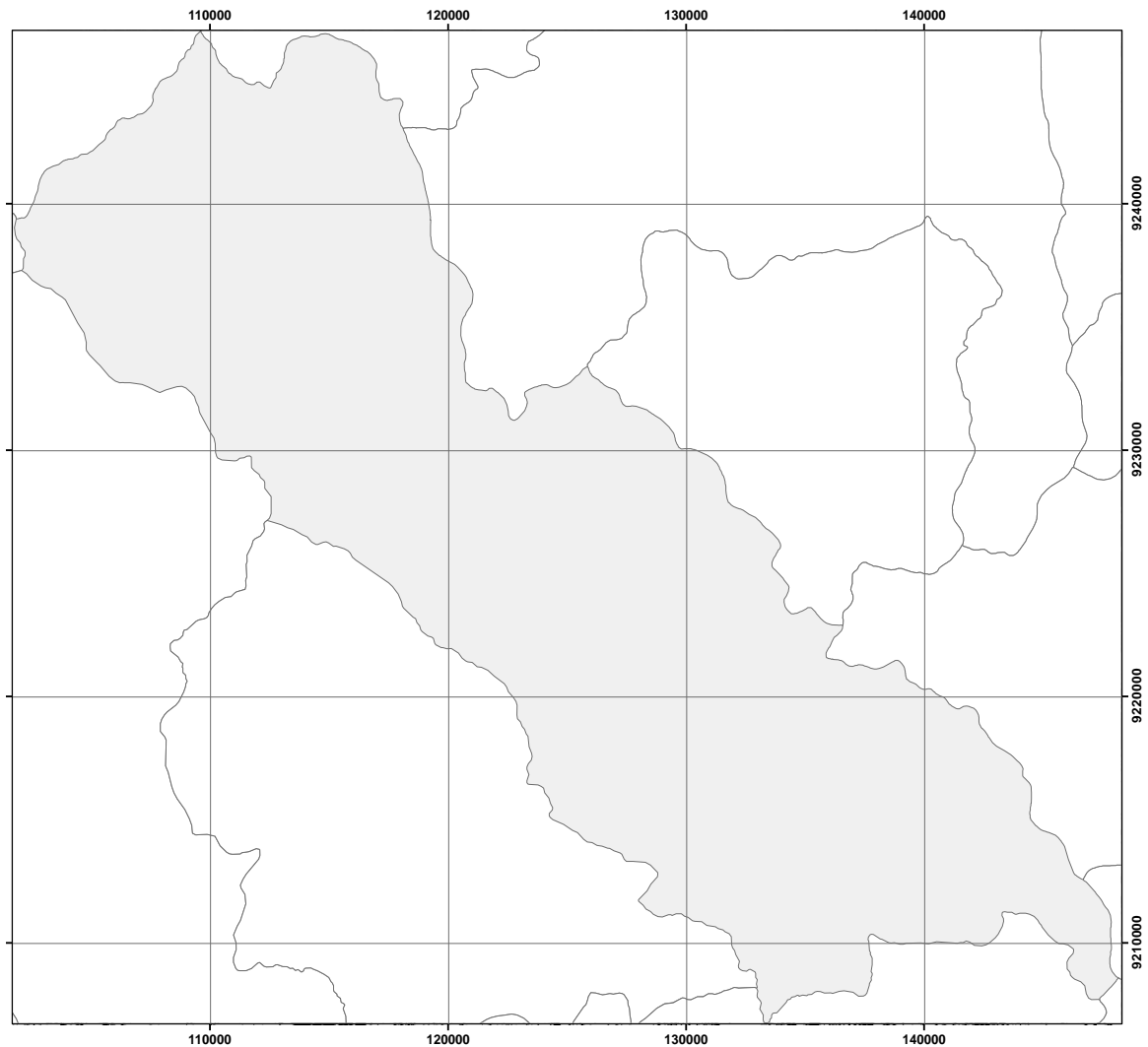


Fuente: Propia.

Posteriormente se compila la información de cada máscara en un solo archivo para ser aplicada en la imagen corregida (ver figura 16), esta información fue filtrada y enmascarada con la finalidad de obtener mayor cantidad de firmas de rocas, suelos y disminuir la cantidad de firmas espectrales de agua, zonas urbanas, nube o vegetación del distrito de la encañada.

Figura 16.

*Mascara composite de agua, zonas urbanas, vegetación y nubes.*



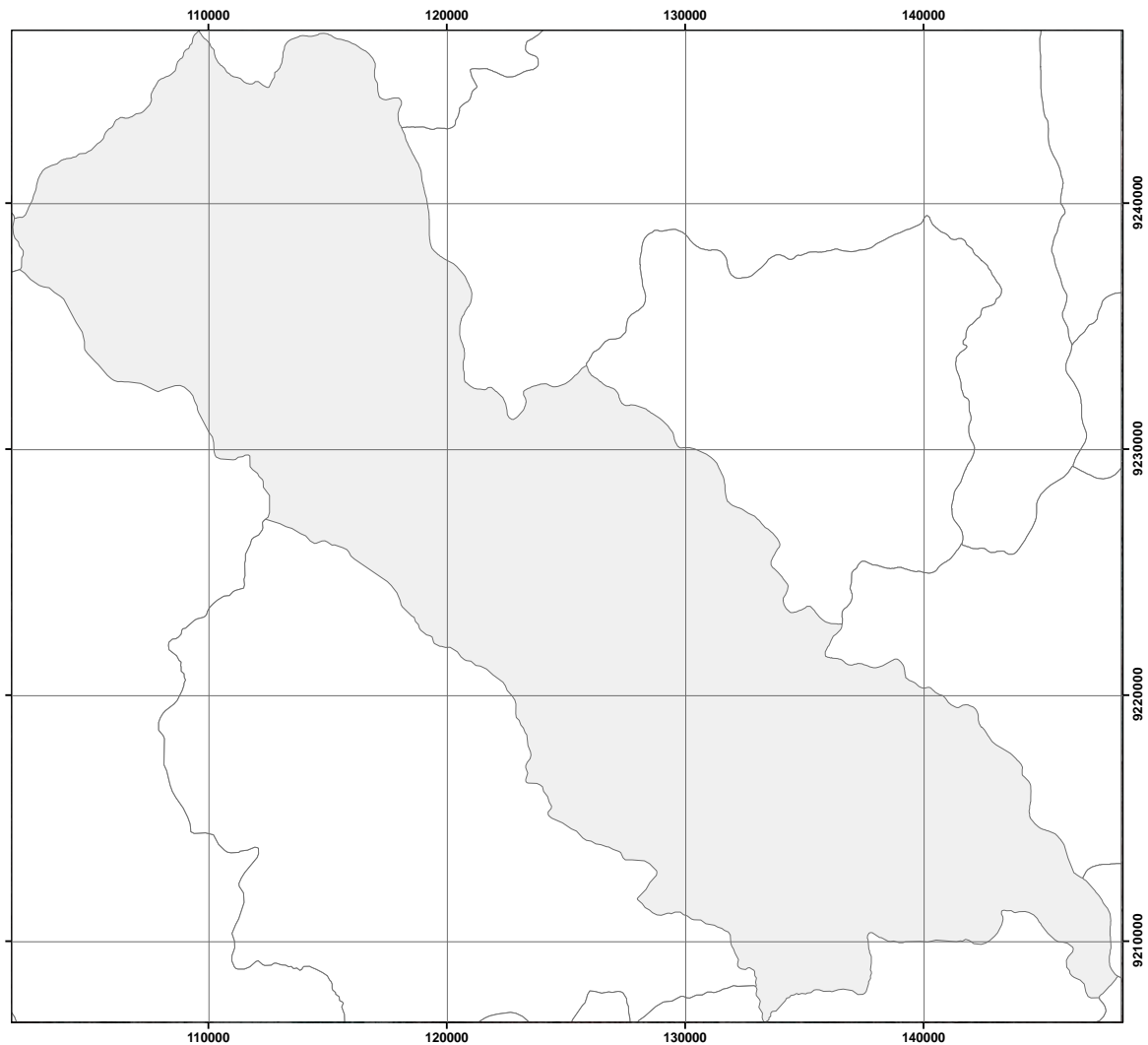
Fuente: Propia.

En la figura 18 se observa en color negro todos los píxeles filtrados que corresponden a agua, zonas urbanas, vegetación y nubes, estos componen la máscara que será aplicada a la imagen corregida.



Figura 17.

*Imagen color real 231 -imagen corregida.*



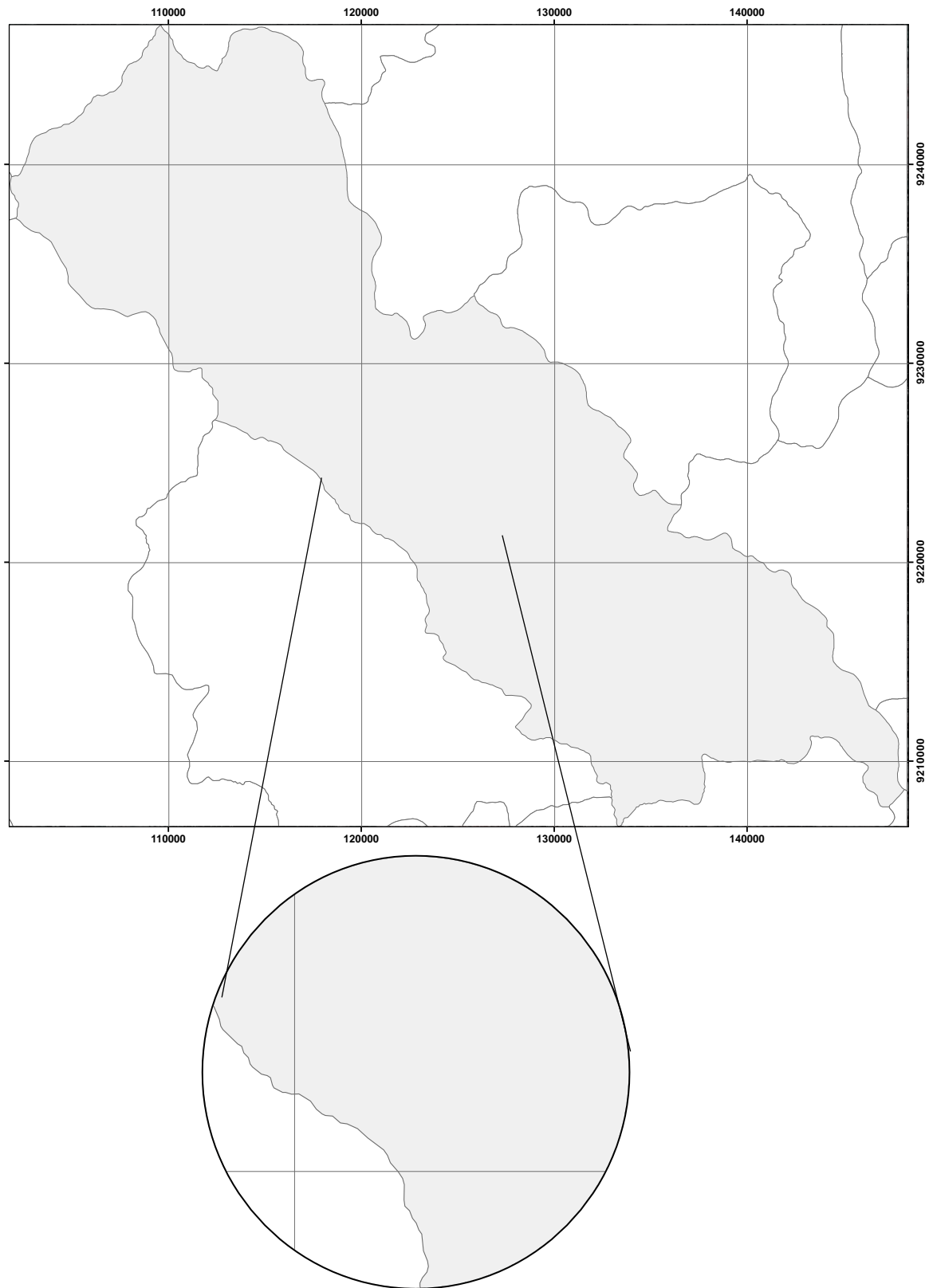
Fuente: Propia.

En la figura 17 se aprecia la imagen en color real y combinación RGB 2-3-1, la cual ya tiene las correcciones geométrica, atmosférica y radiométrica.

También presenta tratamiento digital de remuestreo de pixel para mejorar la resolución espacial de análisis, a esta imagen se le aplicará el enmascaramiento, resultado que se aprecia en la figura 18, observándose en color negro los pixeles filtrados.

Figura 18.

*Imagen en color real 231 – aplicada la máscara compuesta.*



Fuente: Propia.

#### **2.4.4. Creación de base de datos espectrales.**

A partir de la clasificación de los minerales calcáreos según Strunz (2001) es posible recolectar información para realizar la descarga y creación de una base de datos que permita identificar minerales calcáreos en la zona de estudio.

Grupo de la Calcita: Calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Magnesita ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ), Siderita ( $\text{CO}_3\text{Fe}$ ), Rodocrosita ( $\text{CO}_3\text{Mn}$ ) y Smithsonita ( $\text{CO}_3\text{Zn}$ ).

Grupo del Aragonito: Aragonito ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Witherita ( $\text{CO}_3\text{Ba}$ ), Cerusita ( $\text{CO}_3\text{Pb}$ ) y Estroncianita ( $\text{CO}_3\text{Sr}$ ).

Grupo de la Dolomita: Dolomita -  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ; Ankerita  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ .

##### **2.4.4.1. Elaboración de la librería espectral.**

Una vez calibrada, corregida y aplicadas las máscaras, se procede a realizar la detección del mineral calcáreo, para lo cual se generó una base de datos espectrales a partir de la información de la USGS.

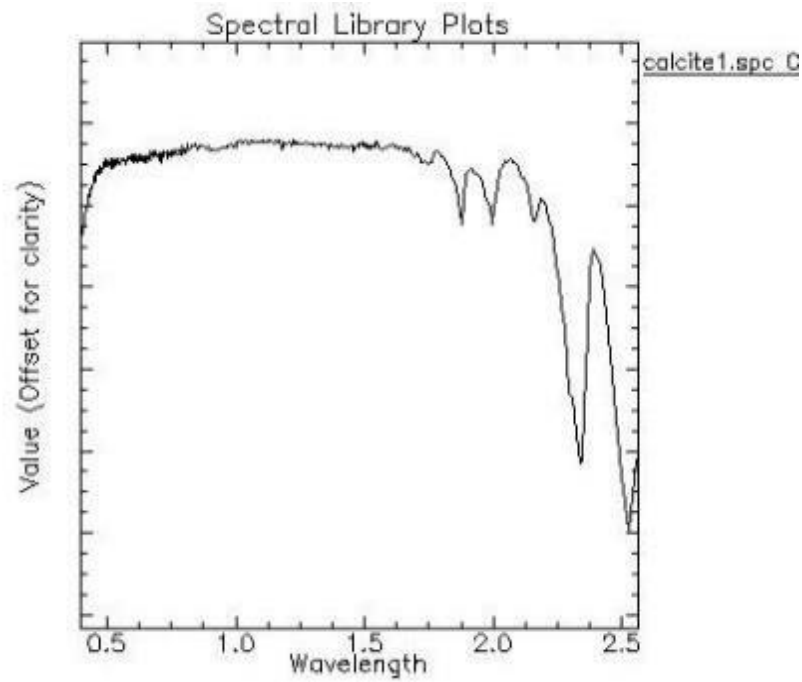
Estas firmas espectrales están expresadas en longitudes de onda de 0 a 2.5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), tomadas por espectrómetros en ambientes controlados, por lo cual su resolución espectral es superior.

Para realizar la comparación con las firmas obtenidas de la imagen Aster, será necesario realizar una implicación de estas firmas, utilizando métodos como la envolvente y el método de proyección de trazo.

Además de software especializado que permita un trabajo minucioso de análisis (Envi 5.3)

Figura 19.

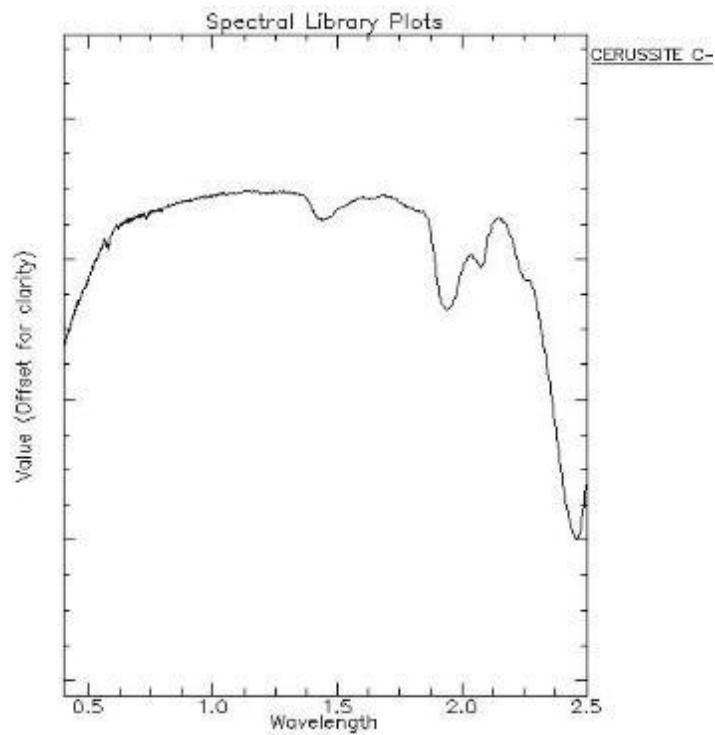
*Firma espectral de calcita.*



Fuente: Propia.

Figura 20.

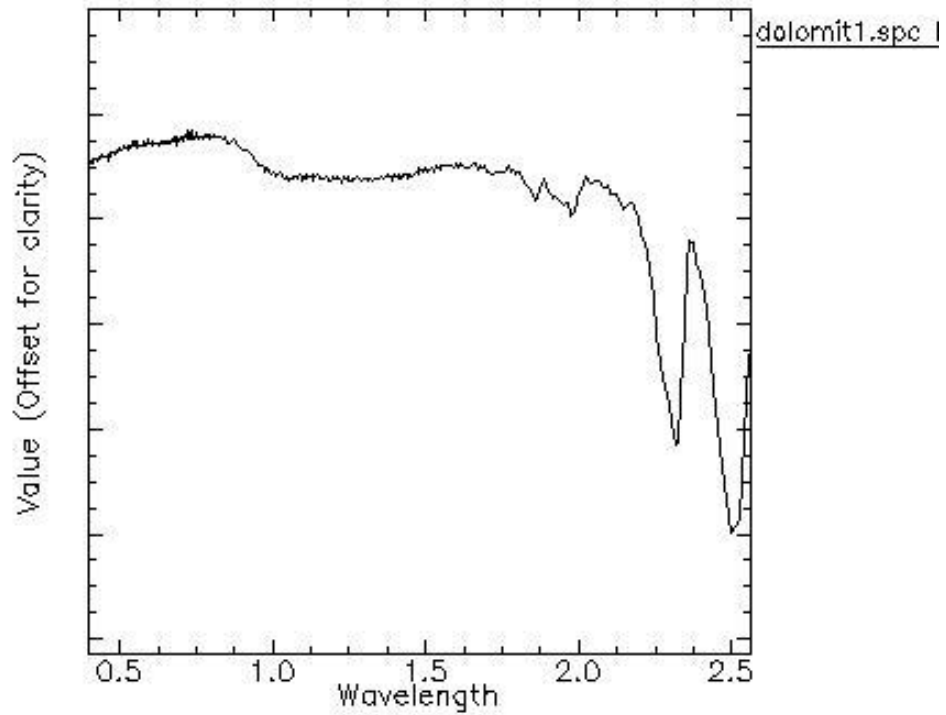
*Firma espectral de cerusita.*



Fuente: Propia.

Figura 21.

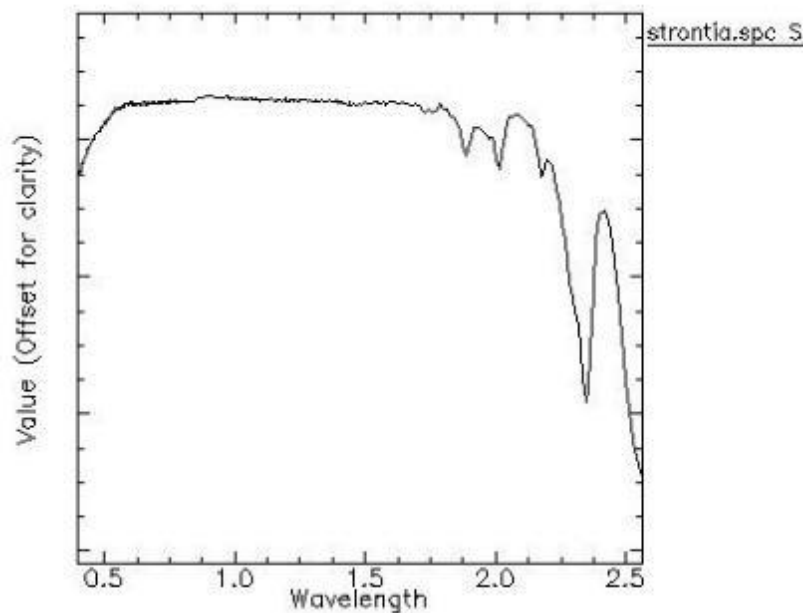
*Firma espectral de dolomita.*



Fuente: Propia.

Figura 22.

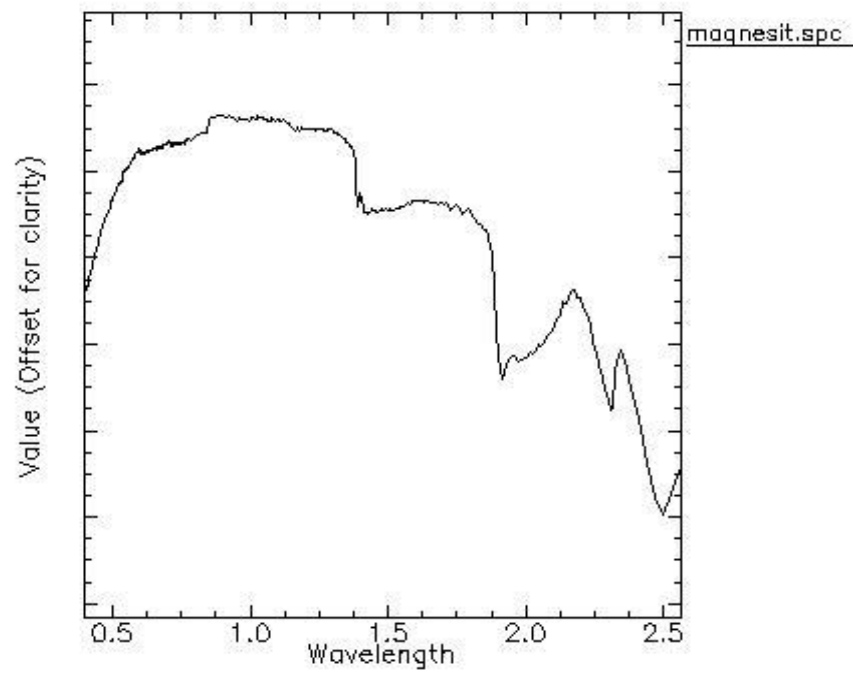
*Firma espectral de estroncianita*



Fuente: Propia.

Figura 23.

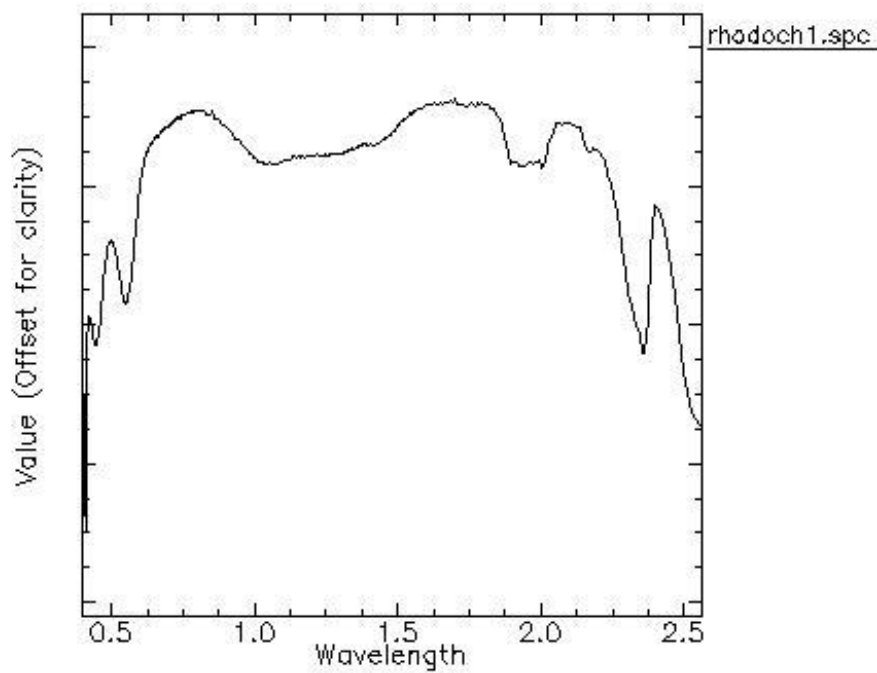
*Firma espectral de magnesita.*



Fuente: Propia.

Figura 24.

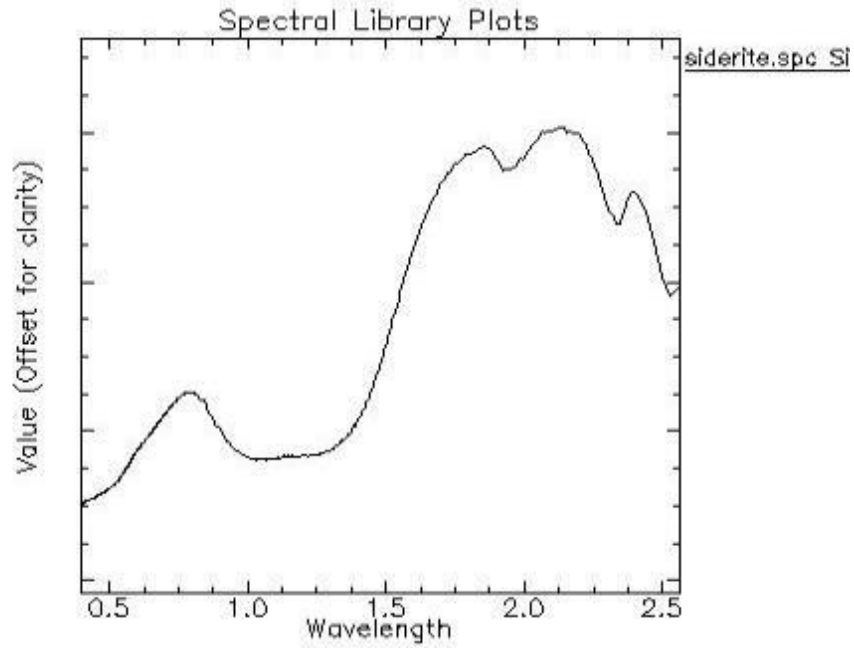
*Firma espectral de rodocrosita.*



Fuente: Propia

Figura 25.

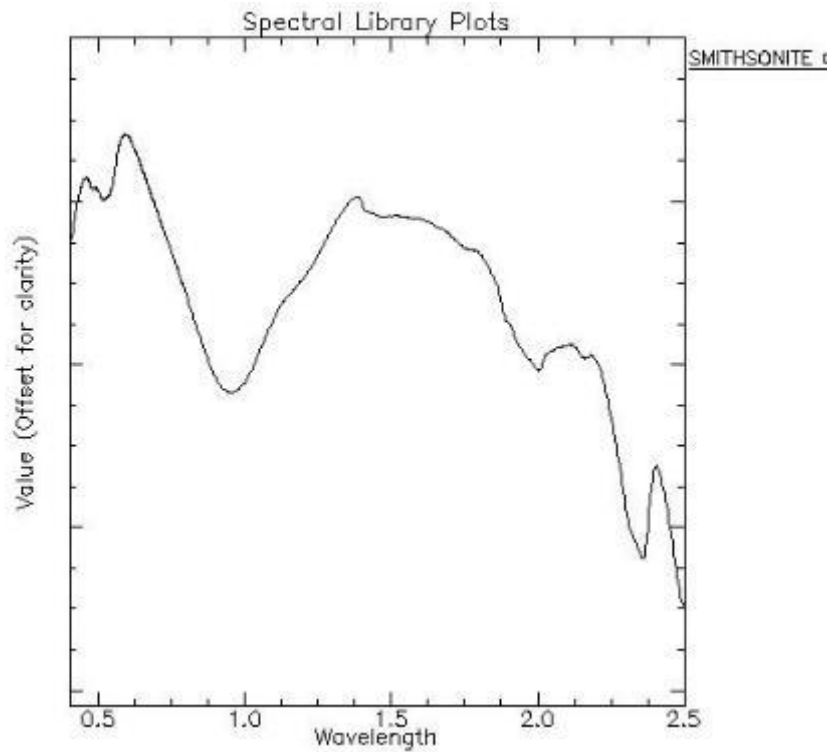
*Firma espectral de siderita.*



Fuente: Propia.

Figura 26.

*Firma espectral de esmitsonita.*



Fuente: Propia.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

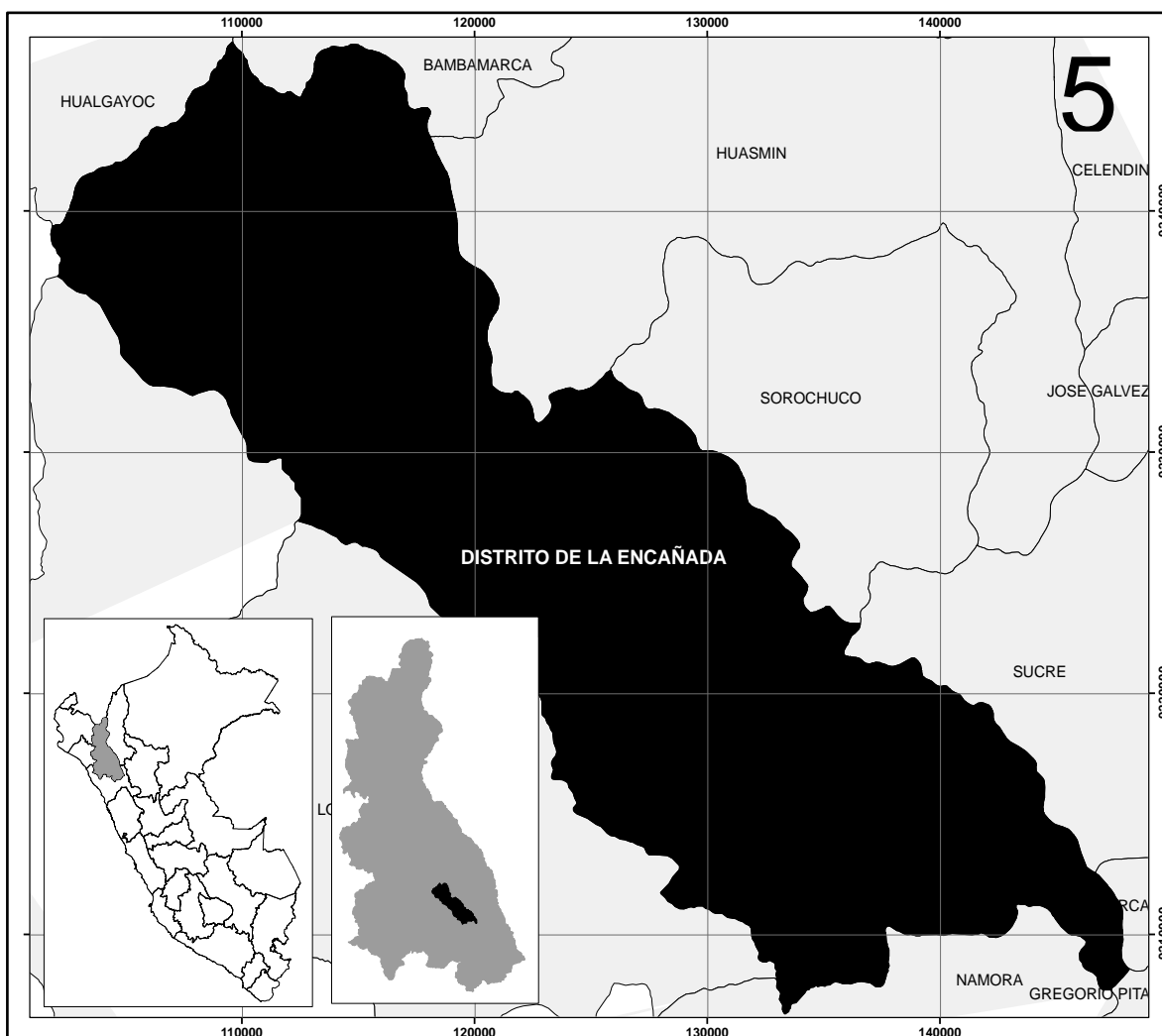
### 3.1. Aspectos generales

#### 3.1.1. Ubicación.

El distrito de La Encañada provincia de departamento de Cajamarca, tiene una extensión 635.06 Km<sup>2</sup>, se encuentra a 3098 msnm. La Encañada limita al norte con los distritos de Hualgayoc y Bambamarca, por el sur con los distritos de Namora y Gregorio Pita, al este con los distritos de Huazmin, Sorochuco y Sucre, al oeste con los distritos de Cajamarca y Baños Del Inca.

Figura 27.

*Ubicación del distrito de la Encañada.*



Fuente: Propia.



### 3.1.2. Accesibilidad

La accesibilidad a las zonas de mineralización calcárea se puede realizar por medio de la carretera Cajamarca – Baños del Inca - La encañada.

Específicamente se toma la siguiente vía:

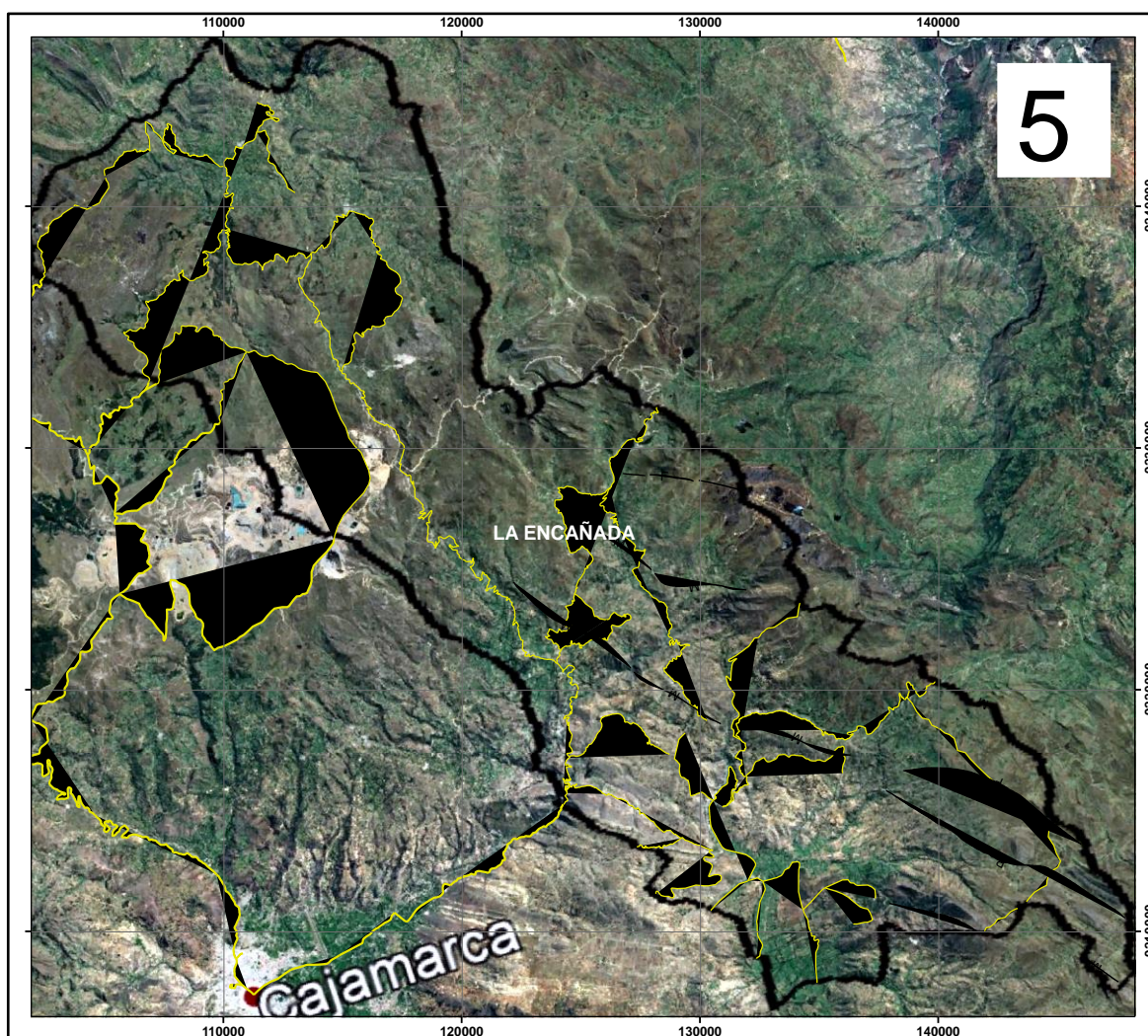
Tabla 2

*Accesibilidad*

Ruta	Tipo de vía	Tiempo / Kilometraje
Cajamarca - La encañada	Carretera asfaltada	1h 33m / 33km

Figura 28.

*Accesibilidad al distrito de la Encañada.*



Fuente: Propia.

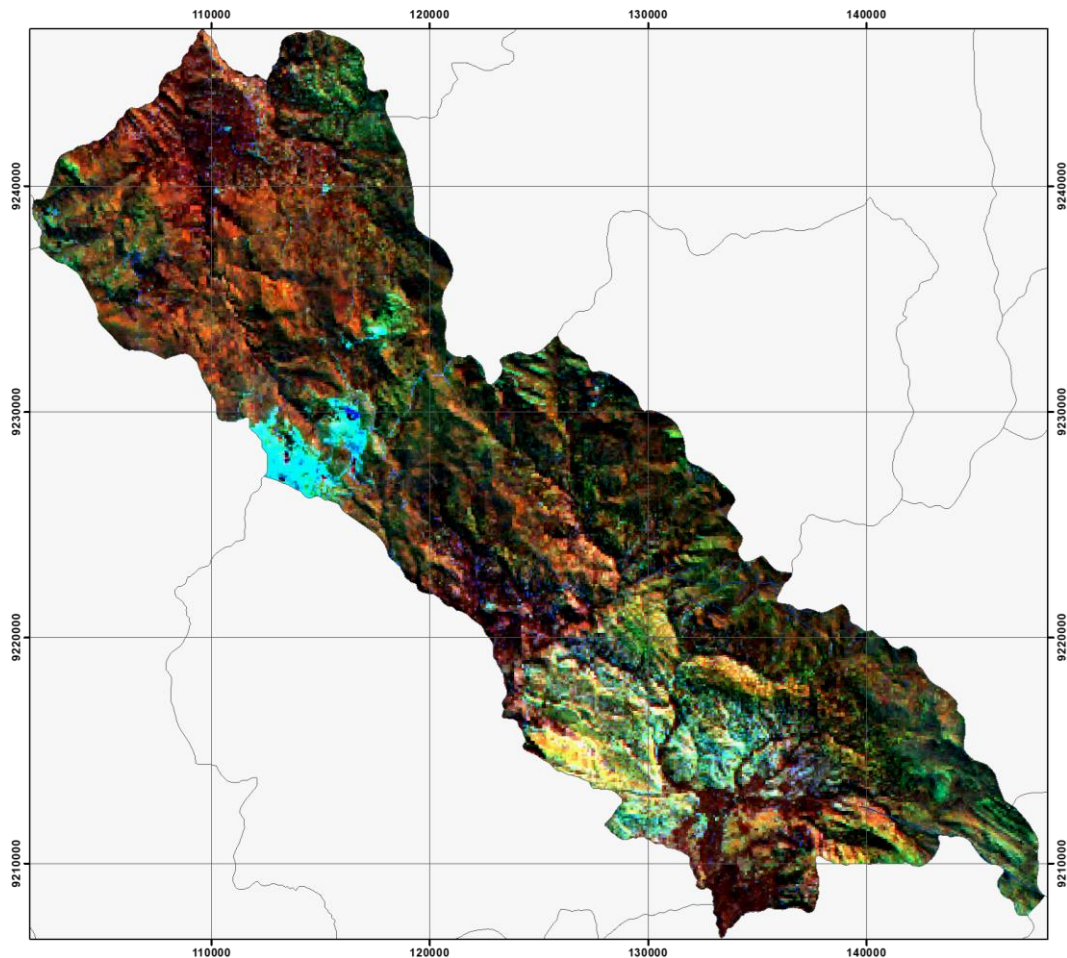
### 3.1.3. Mapeo geológico satelital.

Para realizar el mapeo geológico satelital se utilizó dos tipos de combinaciones, la combinación 11-6-2 y la combinación de ratios en RGB 8/5 - 5/4 - 7/8. propuesta por Cutipa, M; Orozco, Y; Zárata, H; Gonzales, K; Casas, J; y Santos A. (2014).

En la cual se logra discriminar en tonos color marrón rojizo formaciones del terciario como la formación Huambos y Formación San Pablo, en color mostaza se aprecia formaciones del cretácico inferior como el grupo Goyllarisquizga, formación Inca, Chúlec y Pariatambo y en color sepia formaciones del terciario superior como Quilquiñan Mujarrum, Cajamarca y Celendín,

Figura 29.

*Combinación RGB 11-6-2, resaltar rasgos litológicos.*

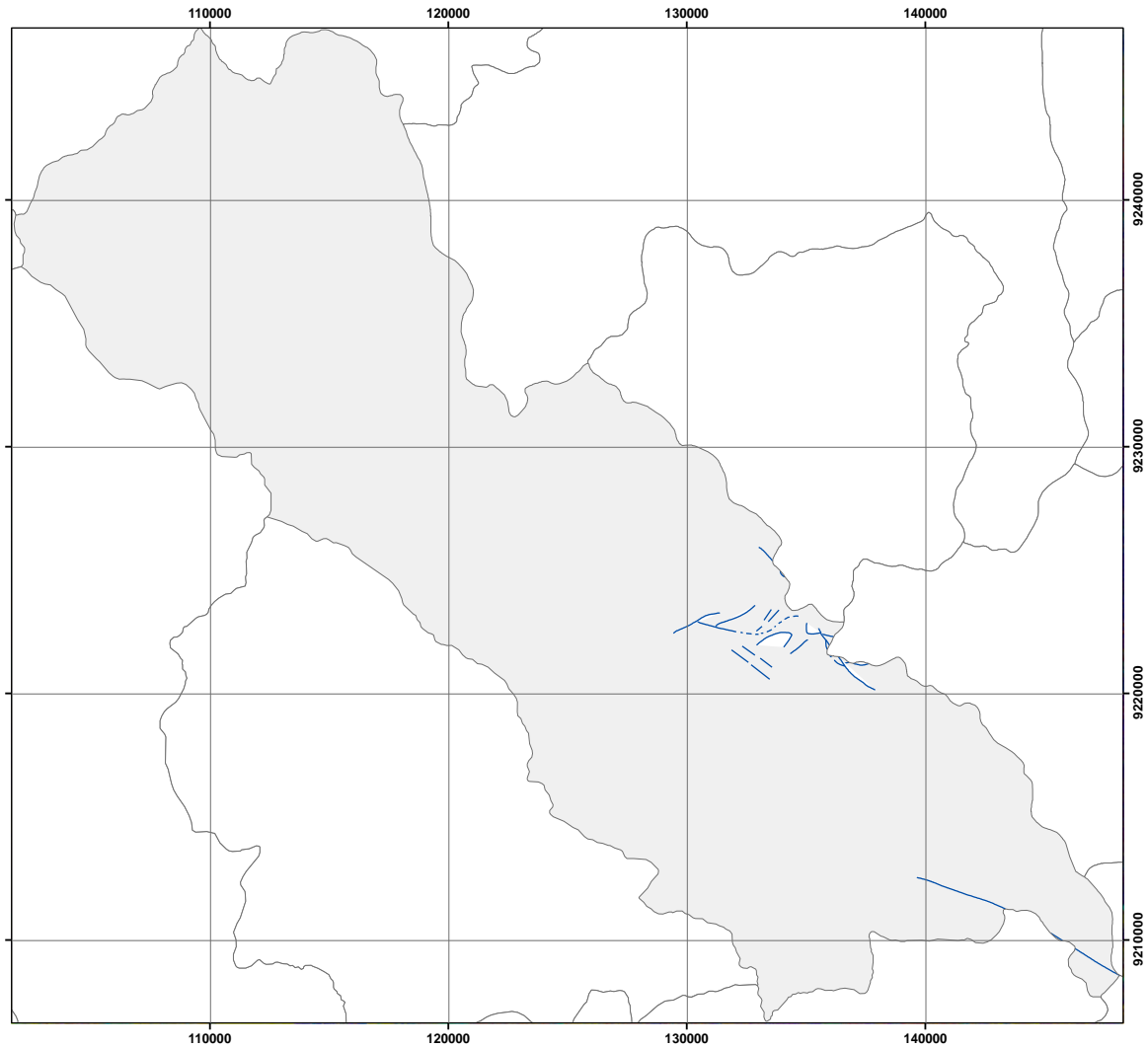


Fuente: Propia.



Figura 31.

*Composición RGB de ratio 8/5 - 5/4 - 7/8 para delimitación litológica.*



Fuente: Propia.

Se aprecia en tonalidades amarillo verdoso y cian la presencia de formaciones del cretácico, en color morado y amarillo intenso formaciones del terciario y en tonalidades azules y lilas la delimitación de material cuaternario, lagunar, fluvial y glaciar.



## **Unidades lito estratigráficas**

### **3.3.1.1. Grupo Goyllarisquizga**

El grupo Goyllarisquizga que se encuentra en el cuadrángulo de Jaén es una secuencia de 650 m. de grosor, constituida por estratos macizos de 20 a 80 cm. De grosor de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerados con guijarros pequeños de cuarzo. Presentan una coloración gris clara a blanca ligeramente amarillenta que por meteorización toman colores amarillentos, rojizos debidos al material ferruginoso que contiene (Cruzado, 2011).

#### **Formación Chimú**

Esta formación aflora al este de Cajamarca, al suroeste de Contumazá, al oeste de San Marcos, en Cajabamba y al oeste de Celendín. La formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600 m (Cruzado, 2011).

#### **Formación Santa**

Consiste en la intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos. El cambio de facies es notable según los lugares, en la zona de Cajamarca solamente hay lutitas y

areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado con la forma de la cuenca (Cruzado, 2011).

### **Formación Carhuaz**

La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la formación Farrat. Tiene un grosor aproximado de 500m. Consiste en la intercalación de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas (Cruzado, 2011).

### **Formación Farrat.**

Esta formación aflora al noreste de San Miguel, al noreste- suroeste de San Pablo, al sur de Hualgayoc, al oeste de Celendín, al norte y al sur de San Marcos, al este y oeste de Cajabamba, en Cajamarca en casi toda la provincia, al norte y al sur de Contumazá. Esta formación consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.2. Formación Inca.**

Su localidad típica al este de los Baños del Inca en Cajamarca. En Cutervo se localiza al noroeste- sureste, en Chota al este y al oeste, en Hualgayoc al noreste, en Celendín al este y oeste, en San Pablo al sureste, en Cajamarca aflora a lo largo de casi toda la provincia, en Contumazá aflora al noreste, en San Marcos aflora al este y oeste, en Cajabamba al

este y oeste. Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza. Su grosor aproximado es de 100 m. Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat (Cruzado, 2011).

### **3.3.1.3. Grupo Crisnejas.**

#### **Formación Chúlec**

Se localiza al suroeste de San Ignacio, al noroeste de Jaén, al noroeste y sureste de Cutervo, en chota al noreste- suroeste, en Santa Cruz al noreste y sureste, en Hualgayoc al noroeste y sureste, en Celendín al noroeste- sureste, en San Marcos al noroeste- sureste, en Cajabamba al noreste y suroeste, en Cajamarca en casi toda la provincia, en Contumazá al noroeste- sureste, en San Pablo al sur y al noreste, en San Miguel al norte. Esta formación consiste en una secuencia 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. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos algo azulados. Su grosor varía de 200 a 250 m (Cruzado, 2011).

#### **Formación Pariatambo.**

Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Su espesor



varía entre 150 a 200 m. Esta formación 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 (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.4. Grupo Pulluicana.**

La litología predominante es una caliza arcillosa, grisácea, que intemperiza a crema o marrón claro y que se presenta incapaz medianas, nodulares e irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas, hay capaz de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosos, así como algunas capas de limonitas y areniscas. En el cuadrángulo de Cutervo el grupo Pulluicana alcanza un promedio de 600 m de grosor (Cruzado, 2011).

#### **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 debido a su dureza uniforme. En algunos horizontes se observan nodulaciones calcáreas. Tiene un grosor aproximado de 700 m (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.5. Grupo Quilquiñan, Mujarrum.**

La parte inferior de la secuencia (Fm. Mujarrum) descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que la parte superior (Fm. Quilquiñan), infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. La base consiste en una secuencia de calizas

nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género *Exogyra*. Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas de color pardo amarillento, también fosilíferas. Finalmente se encuentran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles. Alcanza un espesor aproximado de 500 m (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.6. Formación Cajamarca**

Los afloramientos de la formación Cajamarca se ubican en el sector de la Pampa de la Culebra y hacienda Sangal. Esta formación consiste de calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos con escasos fósiles. Esta formación yace concordantemente sobre la formación Quilquiñan y con la misma relación infrayace a la formación Celendín. Su grosor varía entre los 600 y 700 m (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.7. Formación Celendín**

Esta formación está constituida por margas y lutitas de color gris azulado y amarillo rojizo, abigarradas hacia el tope, en capas cuyo grosor en la base varía entre 2 y 6 m, alcanzando hasta 8 m, en la parte superior. La formación Celendín presenta intercalaciones de calizas margosas algo nodulosas en capas delgadas, algunas son lumaquélicas, asimismo calizas areniscosas color gris amarillento, sobre todo en la parte superior. Se observa abundantes láminas de yeso secundario distribuido en el material

arcilloso, formando costras en los estratos calcáreos o también rellenando cavidades. Su grosor aproximado es de 300 m (Cruzado, 2011).

El contacto de la formación Celendín con la formación Cajamarca que infrayace es concordante, en cambio el contacto suprayacente con la formación Chota no es claro debido a la cobertura del material reciente. Esta formación representa el final de la sedimentación marina del cretáceo iniciándose la sedimentación continental de las capas rojas (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.8. Formación San Pablo.**

Esta unidad consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un espesor de 900 m. La formación san pablo yace con suave discordancia erosional al volcánico Chilete e infrayace al volcánico Huambos en igual relación. (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.9. Formación Huambos.**

En casi todo el sector andino del departamento y en ambos lados de la divisoria continental se encuentra aflorando una unidad de tobas ácidas, en los alrededores del pueblo del mismo nombre. La topografía de la formación Huambos es bastante característica, generalmente forma llanuras delimitadas por farallones o escarpas donde se aprecia la estratificación, sobre estas superficies se ha desarrollado un sistema dendrítico de drenaje (Cruzado, 2011).

La formación Huambos está compuesto por tobas y brechas de composición ácida. La litología común muestra fragmentos de cuarzo hasta de 3 mm. De diámetro y cristales de biotita en una matriz feldespática que probablemente corresponde a una toba dacítica. Se encuentran brechas dacíticas compuestas por bloques grandes de toba envueltos por una matriz tobácea, esta litología se observa en el cuadrángulo de Chota (Cruzado, 2011).

#### **3.3.1.10. Cuaternarios depósitos-clásticos**

En discordancia angular sobre todas las unidades descritas anteriormente se tiene una variedad de depósitos cuaternarios, localizándose los morrénicos y fluvioglaciares 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).

#### **3.3.1.11. Dacita.**

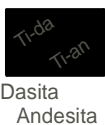
Se presenta en una serie de stocks alineados, dando la forma de una franja, están asociados con la mayor parte de la mineralización polimetálica. Los principales cuerpos de dacitas están representados por las intrusiones del cerro Algamarca (minas Algamarca), Hualgayoc y La Granja, ambos muestran las mismas características generales, así como la asociación con la mineralización especialmente de cobre. (Cruzado, 2011).

### 3.3.1.12. Andesita.

Las andesitas tienen un color claro, presentan como minerales esenciales plagioclasa y hornblenda. Entre los minerales secundarios se presentan: biotita, cuarzo, apatito, magnetita y piritita. Como minerales de alteración se tiene: sericita, clorita, epidota y limonita (Cruzado, 2011).

Figura 33.

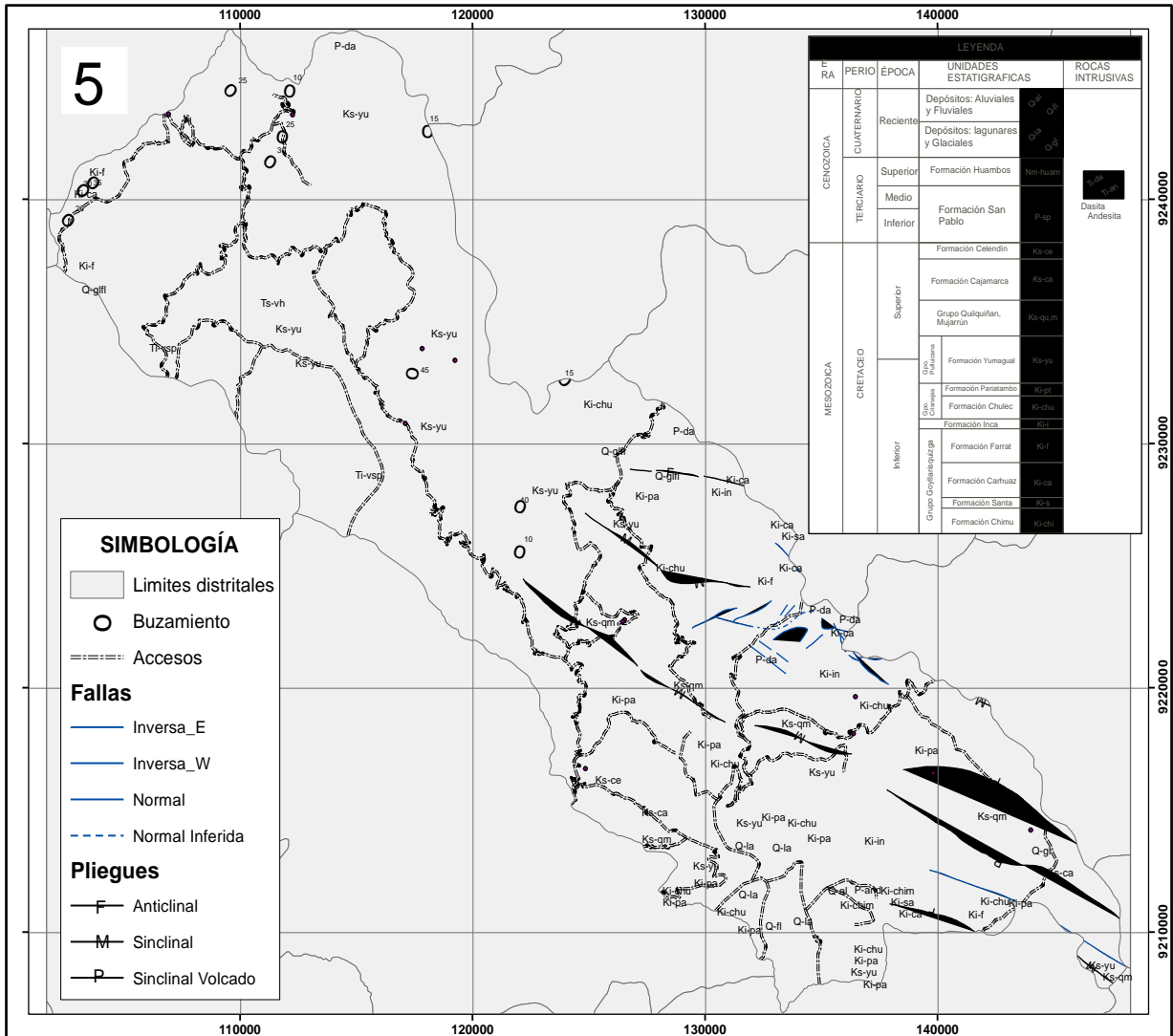
*Columna estratigráfica del distrito de la Encañada.*

LEYENDA					
ERA	PERIO	ÉPOCA	UNIDADES ESTADIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos: Aluviales y Fluviales	Q-al Q-fl	 Dasita Andesita
			Depósitos: lagunares y Glaciales	Q-la Q-gl	
	TERCIARIO	Superior	Formación Huambos	Nm-huam	
		Medio	Formación San Pablo	P-sp	
		Inferior			
	MESOZOICA	CRETACEO	Superior	Formación Celendín	
Formación Cajamarca				Ks-ca	
Grupo Quilquiñan, Mujarrún				Ks-qu,m	
Inferior			Gpo. Pullucana	Formación Yumagual	Ks-yu
			Gpo. Crisnejas	Formación Pariatambo	Ki-pt
				Formación Chulec	Ki-chu
			Formación Inca	Ki-i	
			Grupo Goyllarisquizga	Formación Farrat	Ki-f
				Formación Carhuaz	Ki-ca
				Formación Santa	Ki-s
Formación Chimú	Ki-chi				

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, 2020.

Figura 34.

Mapeo geológico satelital del distrito de la Encañada.



Fuente: INGEMMET, 2020.

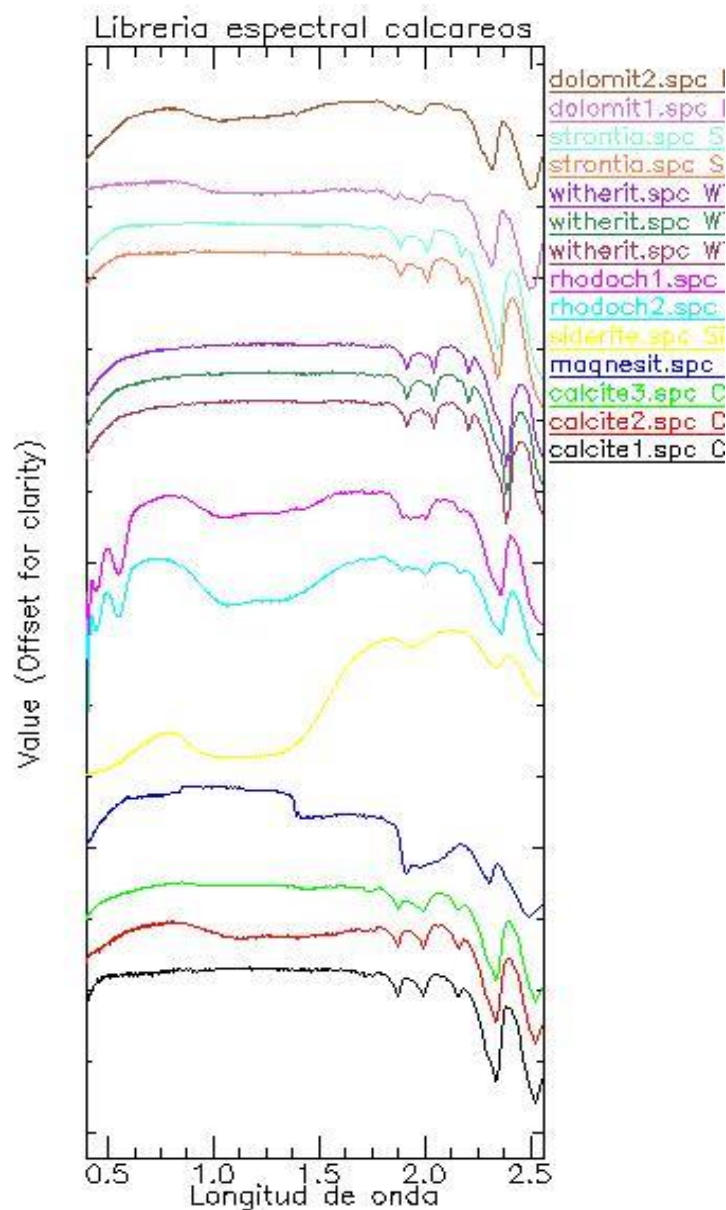
La figura 34 se obtuvo a partir del mapeo geológico satelital, mediante la combinación de bandas aster y la elaboración de ratios en Envi 5.3, estos resultados plasmados en planos contienen información extra de accesos, ejes, fallamientos, información extraída de Ingemmet 2019 servidor web <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

### 3.2. Resultados de creación de librería espectral de yacimientos calcáreos.

Las firmas espectrales plasmadas en la presente librería espectral fueron compiladas de información espectral proveniente del laboratorio de propulsión a chorro <https://www.jpl.nasa.gov/> y la USGS esta información esta compilada en rangos espectrales de 0 a 2.5 micrómetros y de 0 a 100 de reflectancia en su eje vertical.

Figura 35.

*Librería espectral para yacimientos calcáreos.*



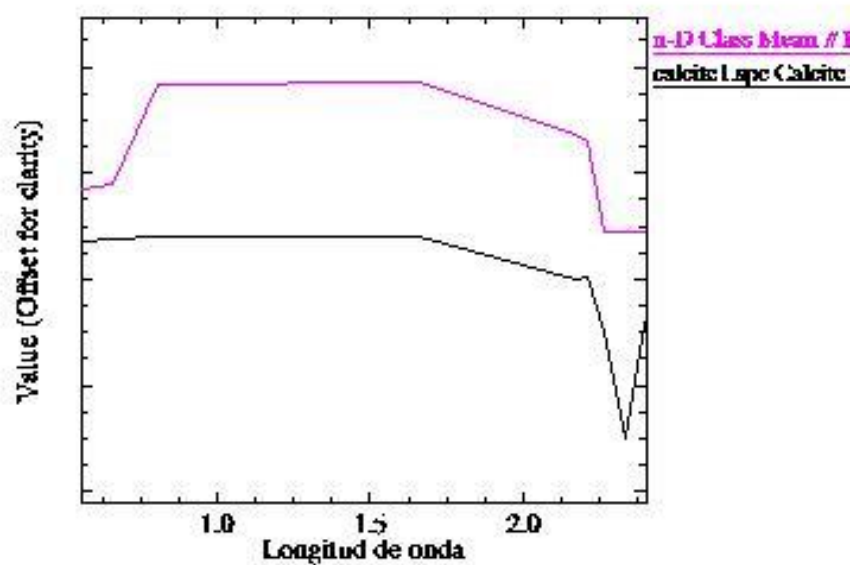
Fuente: USGS, 2020

### 3.3. Resultados del método MTMF

Los resultados MTMF que se presentan a continuación muestran el análisis espectral de firmas, verificándose de 10 clases la coincidencia con firmas de no metálicos de dos, obteniéndose en los resultados la presencia de calcita y dolomita.

Figura 36.

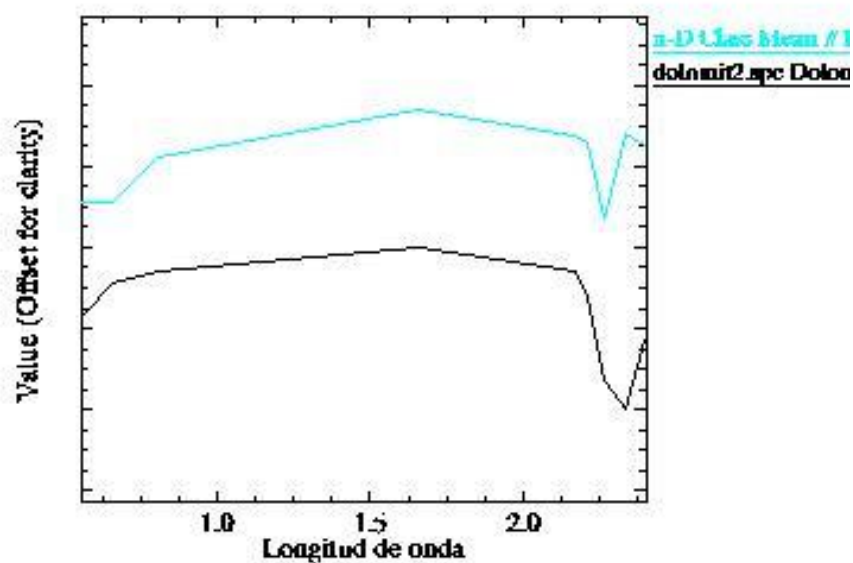
*Clase 01 – comparación con firma espectral de calcita de la USGS*



Fuente: Propia.

Figura 37.

*Clase 10 – comparación con firma espectral de dolomita de la USGS*



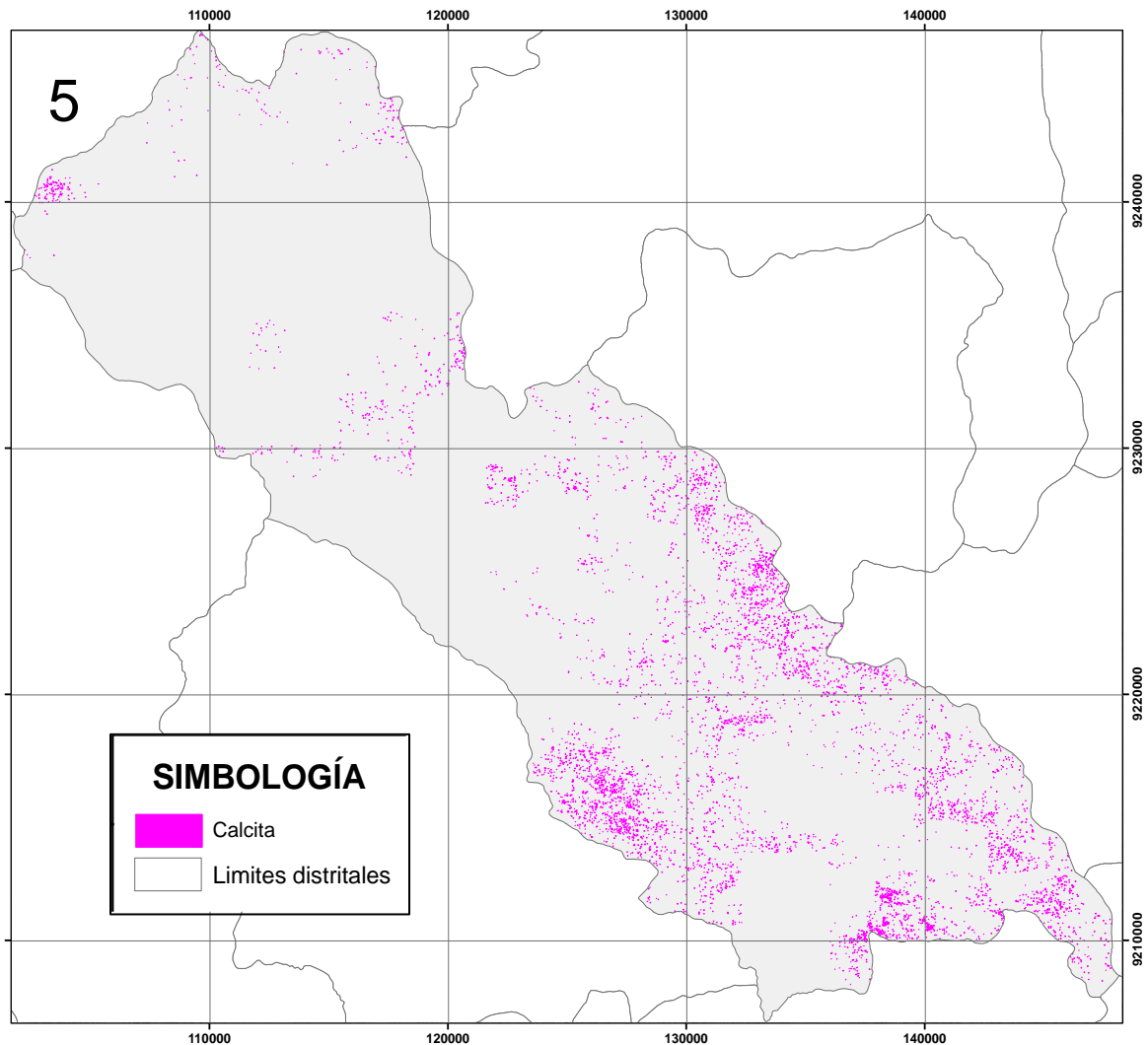
Fuente: Propia.



Se presenta el resultado obtenido de la probabilidad de ocurrencia de calcita en la zona de estudio, verificándose que la mayor acumulación de este mineral carbonatado esta precedido por una mayor acumulación de puntos de color magenta verificándose así la presencia de calcita en mayor proporción en la zona sur del distrito de la encañada, la mayor presencia de calcita se relaciona a la ocurrencia de la formación Cajamarca, Celendín, Quilquiñan mujarrum y Pariatambo.

Figura 38.

*Mapeo satelital de Calcita*

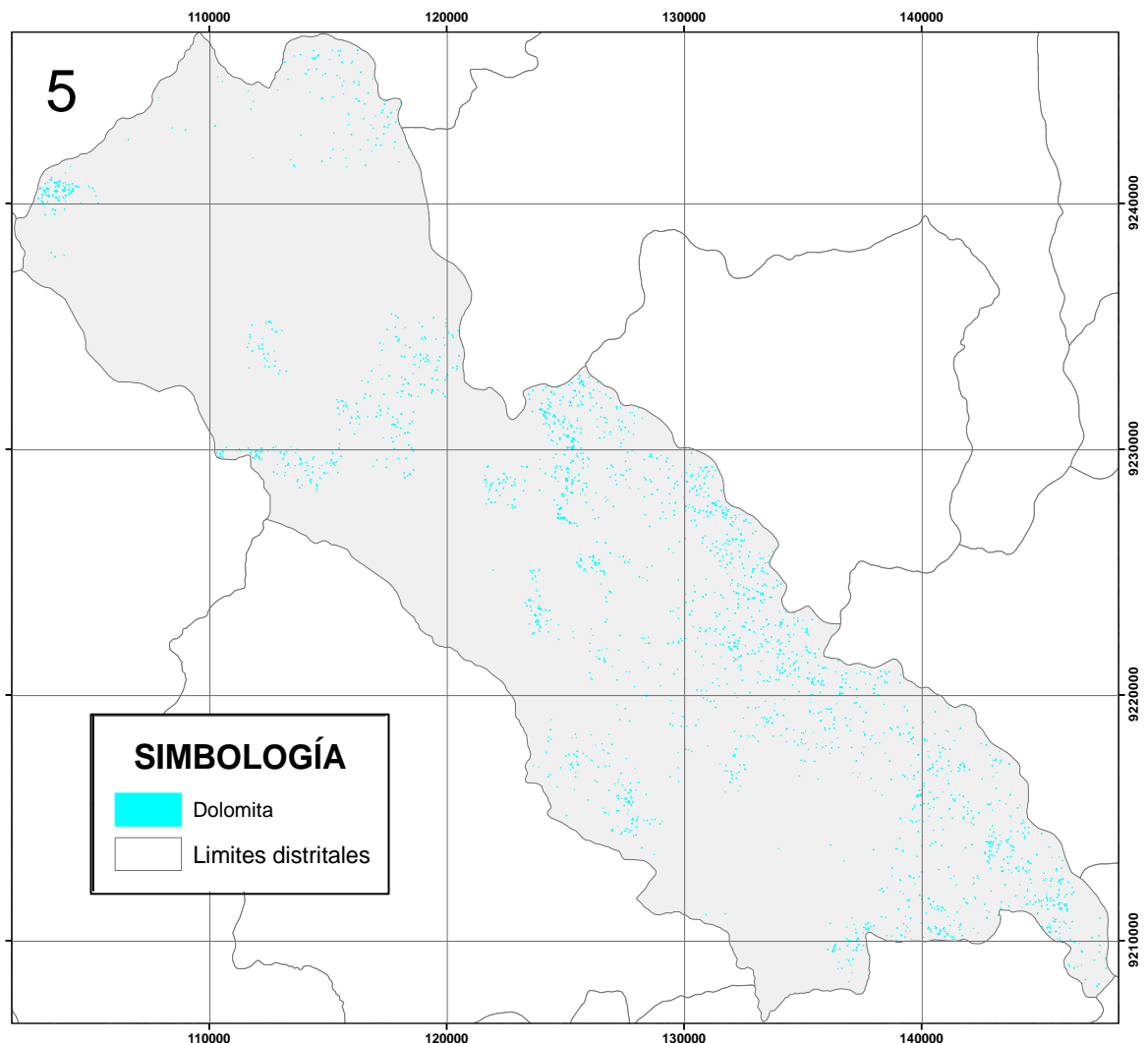


Fuente: Propia.

Se presenta el resultado obtenido de la probabilidad de ocurrencia de dolomita en la zona de estudio, verificándose que la mayor acumulación de este mineral carbonatado esta precedido por una mayor acumulación de puntos de color cian, verificándose así la presencia de dolomita en mayor proporción en la franja este del distrito de la encañada, la mayor presencia de dolomita. Este mineral se encuentra en menor proporción, pero es importante su detección por la cantidad carbonatos que posee.

Figura 39.

*Mapeo satelital de dolomita*

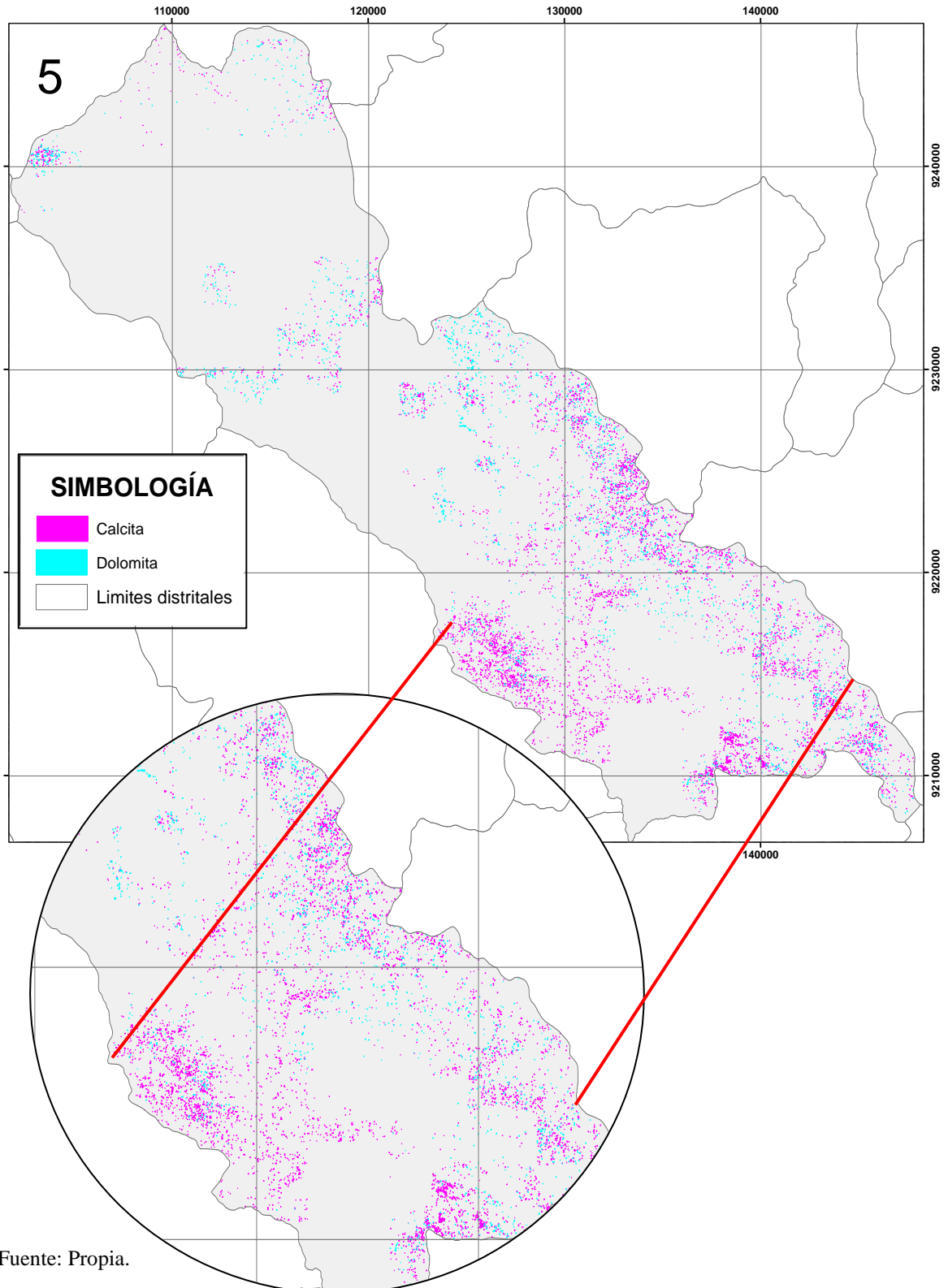


Fuente: Propia.

En la figura 40 se aprecia la disposición espacial de los minerales calcáreos en el distrito de la encañada, observándose la mayor acumulación en la zona sur.

Figura 40.

*Minerales carbonatados de la zona de estudio*



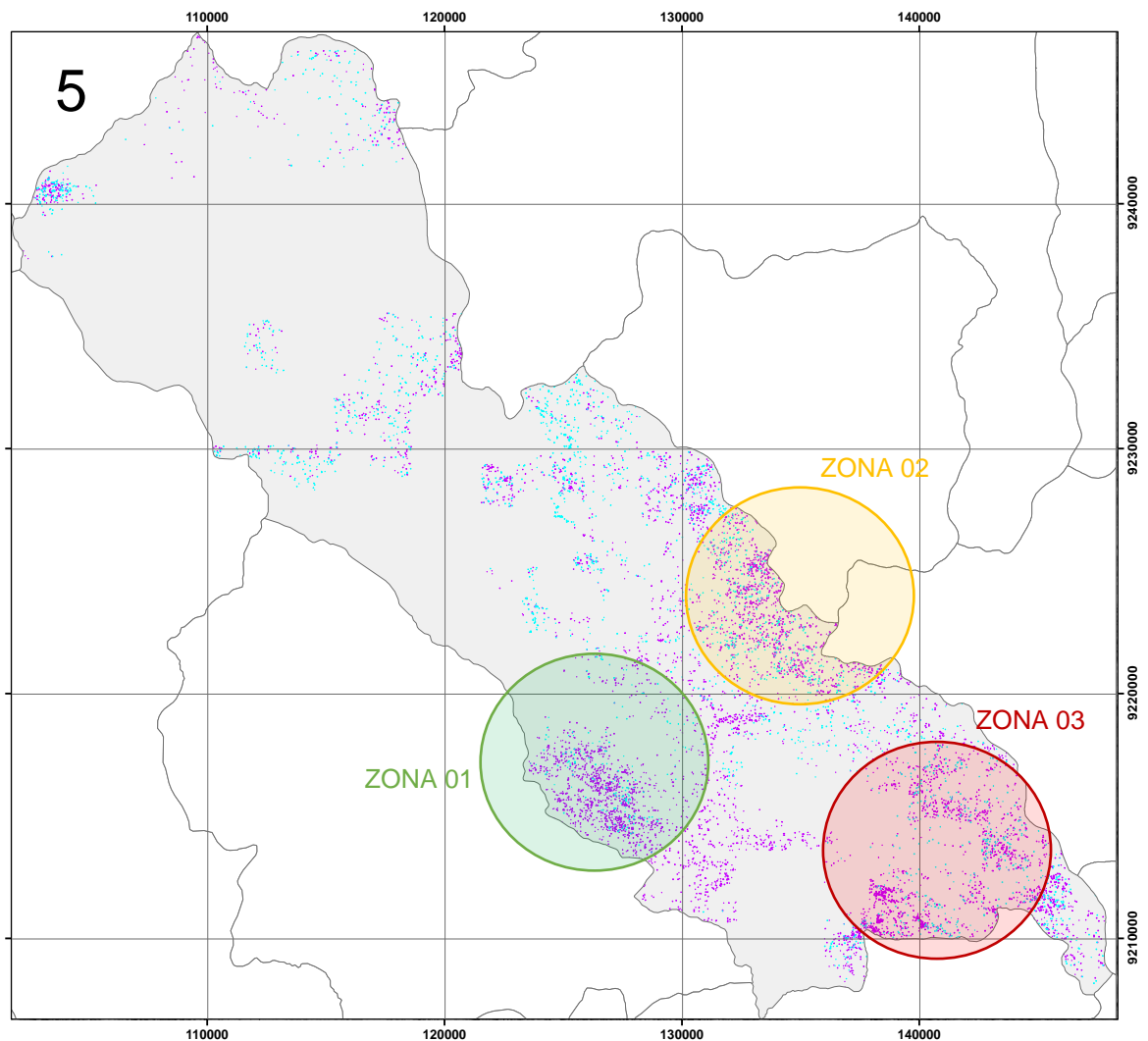
Fuente: Propia.

### 3.4. Zonas de interés no metálico calcáreo en el distrito de la encañada.

A partir de los resultados minerales se determinó 3 zonas de interés prospectivo en campo, ubicados al sur del distrito de la encañada, en las cuales se detectó la mayor acumulación de calcita y dolomita. Específicamente estas zonas se encuentran en los centros poblados de Sangal, el Punrre, la Paccha, Vizcachas y Corralpampa

Figura 41.

*Zonas de probable mineralización calcárea.*

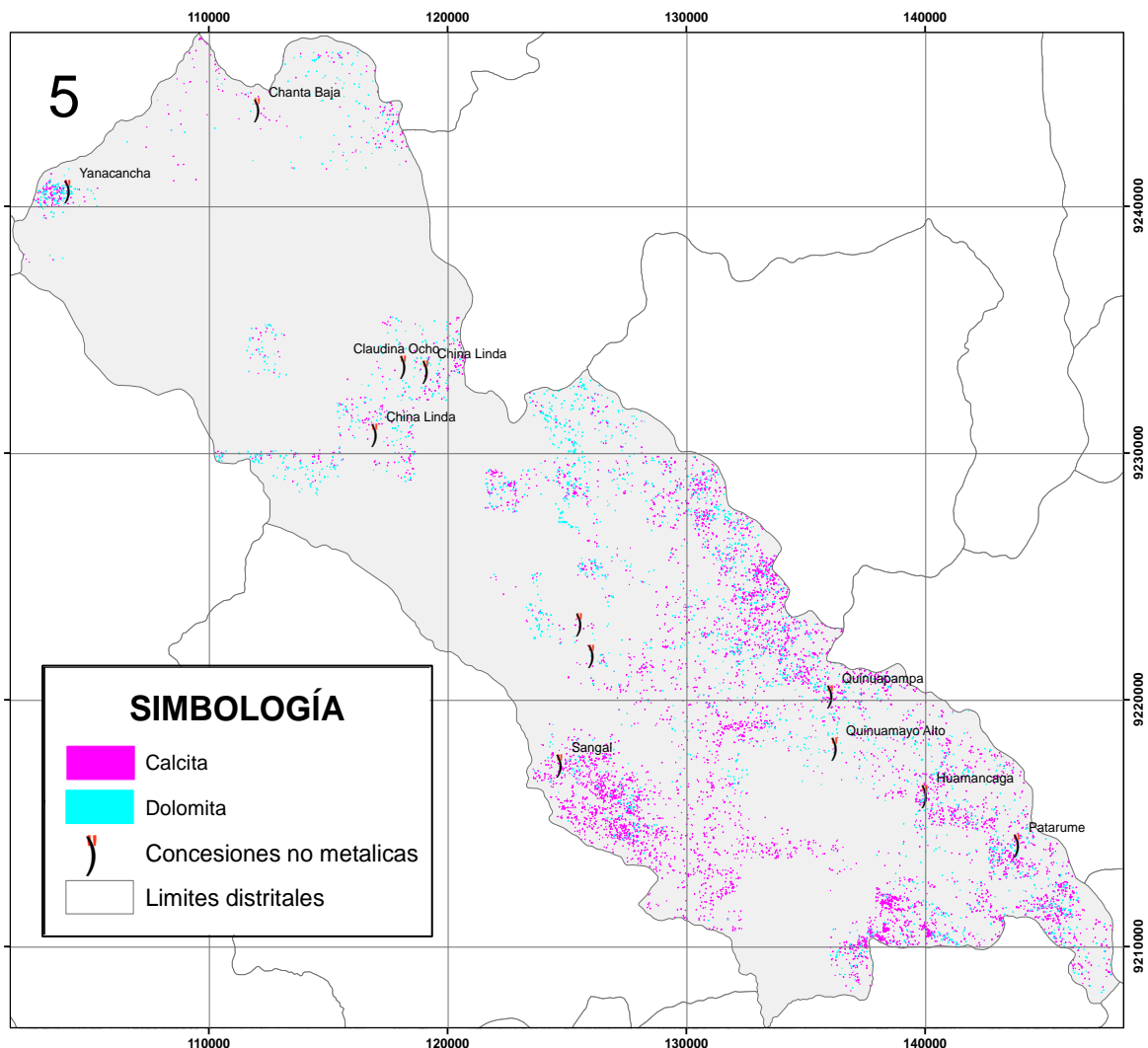


Fuente: Propia.

Estas zonas mineralizadas fueron contrastadas con la presencia de concesiones no metálicas calcáreas en el distrito de la encañada, verificándose que, de 13 concesiones, las 13 coinciden con las zonas mineralizadas detectadas, además las concesiones Quinuapampa, Quinuamayo, Huamancaga, Sangal y Patarume se encuentran en las zonas de mayores concentraciones y corresponden a concesiones de extracción de caliza con mayor producción de carbonatos a nivel distrital.

Figura 42.

*Concesiones mineras calcáreas en la zona*



Fuente: Propia.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

A partir de los resultados presentados se puede verificar que el sensoramiento remoto detectó recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La Encañada, estos recursos tuvieron mayor acumulación en formaciones calcáreas como: Cajamarca, Celendín, Quilquiñan mujarrum y Pariatambo concordando con Guatame (2016) pues las técnicas satelitales usando sensores remotos, son capaces de analizar grandes áreas, grandes volúmenes de material y entregar información en tiempo real.

También usando estas técnicas satelitales fue posible un mapeo geológico del distrito de La Encañada, concordando con Cutipa et al. (2014). quien mediante las técnicas de combinación de bandas 11-6-2 y la combinación RGB de ratios  $8/5 - 5/4 - 7/8$  pudo discriminar formaciones geológicas a nivel regional, estas técnicas permitieron en la investigación discriminar formaciones sedimentarias del cretácico y volcánicas del terciario, además de depósitos cuaternarios asociados a eventos fluviales, glaciares y lagunares, Esta técnica visual de análisis brinda un gran apoyo al mapeo geológico, permitiendo un análisis regional previo a las salidas proyectadas en todo estudio.

La librería espectral creada para la presente investigación fue generada a partir de información de espectrómetros proveniente de agencias internacionales como JLP y la USGS, de las cuales se colectó información de minerales carbonatados como: Calcita, cerusita, dolomita, estroncianita, magnesita, rodocrosita, siderita y esmitsonita.

La aplicación del método MTMF para el análisis espectral en el distrito de la encañada, permitió discriminar calcita y dolomita, concordando con Hofstra & Rockwell (2008) en su estudio titulado “Identificación de minerales de cuarzo y carbonato en el norte de Nevada utilizando datos de emisividad infrarroja térmica ASTER”, en donde logró identificar también secuencias de dolomita y caliza a partir de técnicas espectrales de

sensoramiento remoto. Para la zona de investigación la mayor acumulación de estos minerales se ubicó en la zona sur del distrito de la encañada, hecho verificando con la presencia de mayor acumulación de puntos con firma espectrales correspondientes a calcita y dolomita. concordando con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, (2015) pues la región Cajamarca tiene en sus rocas y minerales industriales (RMI) un significativo valor económico para su desarrollo, sin embargo, el interés por los yacimientos calcáreos ha sido relegado a un segundo plano debido, principalmente, a la producción tradicional de los minerales metálicos tales como el oro. Se detectaron en total 3 zonas de interés en el distrito de la encañada, verificándose que estas zonas se encuentran en los centros poblados de Sangal, el Punrre, la Paccha, Vizcachas y Corralpampa.

También se verifica que a partir la contrastación de los resultados de 13 concesiones mapeadas por INGEMMET (2019), las 13 coinciden con las zonas mineralizadas detectadas por medio de sensores remotos.

En la investigación se tuvo como principales limitantes la búsqueda de una imagen satelital apropiada para el estudio, pues las técnicas satelitales para no metálicos involucran el uso de imágenes con el rango espectral completo. Hecho que fue manejado solicitando a la USGS una información completa en formato ASTER L1T.

Otra limitante en la investigación es la poca información sobre técnicas de sensoramiento no metálico. Hecho compensado con estudio de INGEMMET, USGS y JLP.

Se recomienda para futuros trabajos en sensoramiento remoto, el uso de imágenes con la menor cantidad de vegetación posible que garantice la mayor cantidad de firmas espectrales de material rocoso.

## 4.2. Conclusiones

Se detectaron mediante sensoramiento remoto recursos no metálicos calcáreos en el distrito de La Encañada, asociados a minerales como calcita y dolomita en formaciones calcáreas como Cajamarca, Celendín, Quilquiñan mujarrum y Pariatambo.

Se realizó el mapeo geológico satelital en el distrito de la encañada, verificándose mediante el uso de técnicas de combinación 11-6-2 y combinación RGB de ratios  $8/5 - 5/4 - 7/8$ , la presencia de formaciones geológicas del cretácico y terciario, además de formaciones cuaternarias, que fueron delimitadas a partir de sus diferencia visuales y texturales.

La librería espectral creada para yacimientos no metálicos calcáreos fue compilada de información de la USGS y JLP, teniendo como principales minerales la calcita, cerusita, dolomita, estroncianita, magnesita, rodocrosita, siderita y esmitsonita.

El resultado de la aplicación del método MTMF para el análisis espectral en el distrito de la encañada, arrojó coincidencia en las firmas espectrales de Calcita y Dolomita evidenciándose la presencia de estos minerales en los centros poblados de Sangal, el Punrre, la Paccha, Vizcachas y Corralpampa.

Se determinaron 3 zonas de interés prospectivo en el distrito de la encañada, estas zonas corresponden a la mayor acumulación de nube de puntos de la ubicación espacial de firmas espectrales de Calcita y Dolomita, estas zonas corresponden a zonas cercanas a concesiones no metálicas como: Quinuapampa, Quinuamayo, Huamancaga, Sangal y Patarume.



## REFERENCIAS

- Abrams, M., Hook, S., & Ramachandran B. (2004). *ASTER User Handbook, Version 2. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.*
- Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio NASA. (2015). *Fundamentos de la teledetección.*
- Beiranvand Pour, A., & Hashim, M. (2014). ASTER, ALI and Hyperion sensors data for lithological mapping and ore minerals exploration. *SpringerPlus*, 3, 130.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial.* España: Ariel.
- Crisanto, M. (2019). *Cálculo de las reservas para determinar una secuencia de extracción óptima en la Cantera Castro I, San Nicolás – Saña* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Chiclayo, Perú.
- Cruzado, G. (2011). *Estudio de Geología.* Cajamarca, Perú.
- Cutipa, M; Orozco, Y; Zárate, H; Gonzales, K; Casas, J; y Santos A. (2014). INGEMMET. *Discriminación litológica utilizando imágenes ASTER y espectroscopia térmica en el área de Chaparra, departamento de Arequipa. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 109, p.150.-153.
- Hosfstra & Rockwell (2008). Identificación de minerales de cuarzo y carbonato en el norte de Nevada utilizando datos de emisividad infrarroja térmica ASTER: implicaciones para el mapeo geológico y las investigaciones de recursos minerales en áreas bien estudiadas y fronterizas. *Geosphere*, 4 (1), 218–246. Recuperado de: <https://doi.org/10.1130/GES00126.1>.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET. (2009). *Compendio de rocas y minerales industriales en el Perú.* Boletín N°19 serie B Geología económica.

JOGMEC, (2006). *Presentación Interna Japan Oil, Gas and Metals*. National Corporation.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET. (2015). *Estudio geológico económico de rocas y minerales industriales en la región de Cajamarca*. Boletín serie B: Geología económica N°33.

International Mineralogical Association IMA. (2004). *Mineralogía*.

Meijerink, A. (2007). *Sensoramiento remoto aplicado en aguas subterráneas*. Francia: UNESCO.

Pérez, F. (2019). *Estimación de reservas por el método de los perfiles para determinar la vida útil del Punto Uno de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Chiclayo, Perú.

Pieri, D., & Abrams, M (2004). ASTER watches the world's volcanoes: a new paradigm for volcanological observations from orbit. *J Volcanol Geotherm Res*, 135, 13-28.

Pour, B., & Hashim, M. (2012a) The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore Geol Rev*, 44, 1-9.

Reyes, L. (1980). Boletín N°31 Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba hojas (15-f, 15-g, 16g).

Rodriguez, F. (2008). *Determinación de zonas de alteración hidrotermal mediante imágenes Aster, Oeste de Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco. Cusco, Perú.

Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Yacimientos minerales*.

Strunz, H. (2001). *Strunz mineralogical tables*. Schweizerbart Sche Vlgsh

Tumialán De la Cruz, P. (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú*. Boletín 10.

Serie B: Geología económica.

## ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 3

Concesiones no metálicas asociadas a calcáreos

Número	Nombre	Este	Norte	Departamento	Provincia	Distrito	Código RMI	Sustancia	Tipo depósito
1	Quinuamayo Alto	799330	9218520	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2831	Caliza	Ocurrencia
2	Sangal	787787	9217237	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	4737	Caliza	Cantera
3	China Linda	780234	9231450	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2881	Caliza	Cantera
4	Claudina Ocho	780995	9234500	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2889	Caliza	Cantera
5	Nule	789550	9223300	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	1826	Azufre	Ocurrencia
6	Yanacancha	770215	9244227	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2990	Caliza	Ocurrencia
7	China Linda	782400	9234000	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	1909	Caliza	Cantera
8	Nule	789479	9223222	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	1825	Azufre	Ocurrencia
9	Patarume	806896	9214475	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	5038	Caliza	Ocurrencia
10	Chanta Baja	775550	9244131	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2989	Caliza	Ocurrencia
11	Huamancaga	802739	9216857	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2828	Caliza	Ocurrencia
12	Quinuapampa	799434	9220024	Cajamarca	Cajamarca	Encañada	2834	Manganeso	Cantera

Fuente: INGEMMET (2020)