

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“TELEDETECCIÓN DE ÁREAS CONTAMINADAS
POR SULFUROS DE ORIGEN MINERO EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO TINGO – CAJAMARCA
2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental



Autores:

María René Celis Hernández

Marleny Chugnas Cueva

Asesor:

M. Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a mis maestros, compañeros de aula de la UPN a mi asesora de tesis la M. Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta, también a mi colega y compañera de tesis Marleny Chugnas Cueva, ya que relacionando ideas y compartiendo conocimientos hemos logrado formarnos profesionalmente y sé que no es lo suficientemente para conformarnos, día a día nos debemos de escalar más, también dedico a mi hijo LÍAM Yenco Alvites Celis, por darme fuerzas y valor para seguir muchos pasos de superación.

María René Celis Hernández

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, Julio Chugnas Carrasco y Juana Cueva Calua, por su apoyo incondicional y paciencia, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros y anhelos se los debo a ustedes.

A toda mi familia que es lo mas lindo y valioso que dio me dio

Marleny Chugnas Cueva

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme lograr mis objetivos y por tener vivos a mis padres al Sr. Celis Chingay, Absalón y a la Sra. Hernández Hernández, María Esperanza, ya que ellos también me brindaron su apoyo parcial económico y moral.

María René Celis Hernández

Agradecer a Dios por ser mi guía, por iluminar mi camino hacia el triunfo, así mismo a la Universidad Privada del Norte que con su gran y prestigiosa plana docente me brindó el mejor conocimiento para el desarrollo en el ámbito profesional y social
Agradecer a mi asesor M. Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta, por su comprensión, tiempo, apoyo, y por sus sugerencias para así llevar acabo el desarrollo de la tesis y poder lograr nuestra meta

Agradecer a todos los docentes que, con ejemplos, con buenos consejos y su gran labor nos inculcaron valores y grandes conocimientos y así fuimos formándonos profesional mente.

Marleny Chugnas Cueva

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| TABLA DE CONTENIDOS | 4 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| RESUMEN | 10 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1. Realidad problemática | 11 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 27 |
| 1.3. Objetivos | 27 |
| 1.2.1. Objetivo general | 27 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 27 |
| 1.4. Hipótesis | 27 |
| 1.3.1. Hipótesis general | 27 |
| 1.3.2. Hipótesis específicas | 27 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 29 |
| 2.1. Tipo de investigación | 29 |
| 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) | 29 |
| 2.2.1. Población | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2. Muestra----- | 29 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos----- | 29 |
| 2.3.1. Técnicas----- | 29 |
| 2.3.2. Instrumentos----- | 32 |
| 2.4. Procedimiento ----- | 32 |
| 2.4.1. Etapa de pre procesamiento----- | 32 |
| 2.4.2. Etapa de procesamiento----- | 39 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS----- | 73 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES----- | 86 |
| 4.1 Discusión----- | 86 |
| 4.2 Conclusiones----- | 89 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- | 90 |
| ANEXOS ----- | 94 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Características de imágenes ASTER..... | 23 |
| Tabla 2: Minerales y otros compuestos sólidos en los desechos mineros..... | 25 |
| Tabla 3: Coordenadas de referencia UTM. | 32 |
| Tabla 4: Ficha técnica de la imagen Aster L1T..... | 40 |
| Tabla 5: Coeficiente de conversión datos ASTER..... | 42 |
| Tabla 6: Irradiancia exoatmosférica para cada banda del sensor ASTER..... | 44 |
| Tabla 7: Combinación de bandas para discriminar materiales | 46 |
| Tabla 8: Minerales de sulfuro que componen desechos mineros | 50 |
| Tabla 9: Código RGB por color | 58 |
| Tabla 10: Comparación espectral nD01 – Esfalerita..... | 61 |
| Tabla 11: Comparación espectral nD02 – Molibdenita..... | 62 |
| Tabla 12: Comparación espectral nD03 – Bornita | 63 |
| Tabla 13: Comparación espectral nD05 – Esfalerita..... | 64 |
| Tabla 15: Comparación espectral nD07 – Pirita..... | 65 |
| Tabla 16: Comparación espectral nD09 – Cinabrio | 66 |
| Tabla 17. Comparación espectral nD010 – Pirita..... | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema de una onda electromagnética (Chuvienco, 2008). | 17 |
| Figura 2. Espectro electromagnético | 19 |
| Figura 3. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Tingo. | 33 |
| Figura 4. Demarcación hidrográfica de la cuenca del río Tingo. | 35 |
| Figura 5. Hidrología de la microcuenca del río Tingo. | 38 |
| Figura 6. Servidor de la USGS. | 39 |
| Figura 7. Conversión de ND a Radiancia espectral ASTER L1T. | 43 |
| Figura 8. Radiancia a Reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA) ASTER L1T..... | 45 |
| Figura 9. Combinación 835, discriminación de nubes y sombras | 47 |
| Figura 10. Combinación 231. Discriminación de zonas urbanas y agua superficial..... | 48 |
| Figura 11. Combinación 321, discriminación de vegetación. | 48 |
| Figura 12. Creación de máscara compuesta | 49 |
| Figura 13. Aplicación de máscara en imagen en falso color 321. | 49 |
| Figura 14. Firma espectral de Pirita..... | 52 |
| Figura 15. Firma espectral de Marcasita | 53 |
| Figura 16. Firma espectral de Pirrotita | 53 |
| Figura 17. Firma espectral de Calcopirita | 54 |
| Figura 18. Firma espectral de Bornita | 54 |
| Figura 19. Firma espectral de Esfalerita..... | 55 |
| Figura 20. Firma espectral de Galena..... | 55 |
| Figura 21. Firma espectral de Molybdenita..... | 56 |
| Figura 22. Firma espectral de Thenardita..... | 56 |
| Figura 23. Firma espectral de Cinabrio | 57 |
| Figura 24. Firma espectral de Cobaltita..... | 57 |

| | |
|---|----|
| Figura 25. Firma espectral de Rejalgar..... | 58 |
| Figura 26. Firmas espectrales de la zona de estudio..... | 60 |
| Figura 27. Comparación del nD01 con firma espectral de esfalerita | 61 |
| Figura 28. Comparación del nD02 con firma espectral de molibdenita..... | 62 |
| Figura 29. Comparación del nD03 con firma espectral de bornita..... | 63 |
| Figura 30. Comparación del nD05 con firma espectral de esfalerita | 64 |
| Figura 31. Comparación del nD07 con firma espectral de pirita..... | 65 |
| Figura 32. Comparación del nD09 con firma espectral de cinnabar | 66 |
| Figura 33. Comparación del nD10 con firma espectral de pirita..... | 67 |
| Figura 34. Probabilidad de ocurrencia de Esfalerita 1..... | 68 |
| Figura 35. Probabilidad de ocurrencia de Molibdenita | 69 |
| Figura 36. Probabilidad de ocurrencia de Bornita..... | 69 |
| Figura 37. Probabilidad de ocurrencia de Esfalerita 2..... | 70 |
| Figura 38. Probabilidad de ocurrencia de pirita 1 | 70 |
| Figura 39. Probabilidad de ocurrencia de Cinabrio..... | 71 |
| Figura 40. Probabilidad de ocurrencia de Pirita 2 | 71 |
| Figura 41. Librería N°1 para análisis espectral de la zona de estudio..... | 73 |
| Figura 42. Librería N°2 para análisis espectral de la zona de estudio..... | 74 |
| Figura 43. Localización espacial de Esfalerita 1 en la cuenca del río Tingo. | 75 |
| Figura 44. Localización espacial de Esfalerita 2 en la cuenca del río Tingo | 76 |
| Figura 45.. Localización espacial de Molibdenita en la cuenca del río Tingo | 77 |
| Figura 46. Localización espacial de Bornita en la cuenca del río Tingo..... | 78 |
| Figura 47. Localización espacial de Pirita 1 en la cuenca del río Tingo | 79 |
| Figura 48.. Localización espacial de Pirita 2 en la cuenca del río Tingo | 80 |
| Figura 49. Localización espacial de Cinabrio en la cuenca del río Tingo..... | 81 |

| | |
|--|----|
| Figura 50. Localización espacial de minerales de sulfuro..... | 82 |
| Figura 51. Residuos mineros y labores mineras en la cuenca del río Tingo | 83 |
| Figura 52. Residuos y labores mineras y su influencia en la contaminación por sulfuros.. | 84 |
| Figura 53. Vista 2 con zoom de los Residuos y labores mineras | 85 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “teledetección de áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca 2020”, está enfocada al ámbito ambiental de contaminación a partir de minerales de sulfuro; justificada en la necesidad de generar técnicas limpias para el monitoreo de contaminación minera, con el objetivo general de ubicar mediante la teledetección áreas contaminadas por sulfuros; basada en fundamentos de teledetección y métodos espectrales para su localización, la investigación usó un método de enfoque cuantitativo, aplicado tecnológica de diseño no experimental; con método descriptivo El procedimiento de la investigación se puede resumir en: descarga, corrección, enmascaramiento, análisis SAM y análisis MTMF, procedimiento que permitió localizar sulfuros producto de labores mineras aledañas y los residuos mineros que estas generan, por tal motivo los sulfuros identificados se encuentran sobrepuestas a muchos de estos puntos y sus alrededores, concluyéndose así que la teledetección permitió ubicar áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca mediante el uso de firmas espectrales provenientes de las librerías base del Instituto Geológico de los Estados Unidos y el Laboratorio de Propulsión a Chorro, identificándose sulfuros como Pirita, Esfalerita, Cinabrio, Molibdenita y Bornita.

Palabras clave: Teledetección, sulfuros, análisis espectral, áreas contaminadas

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial la explotación de los recursos minerales ha sido una de las actividades más importantes para el desarrollo de la humanidad. Desde tiempos prehistóricos hasta la actualidad, la explotación y el uso de rocas y minerales han jugado siempre un papel muy importante en el desarrollo tecnológico, industrial e incluso ha estado vinculado al poder económico y social a nivel mundial.

Si bien en cierto la explotación de recursos minerales metálicos tiene un rol importante en el desarrollo económico, cuando existe mal manejo minero, este trae consigo una serie de problemas ambientales como son el drenaje ácido y altas concentraciones de metales pesados en el agua proveniente del drenaje de yacimientos mineros. Esta última es una de las amenazas más importantes para la calidad del ambiente y de la salud humana (Gómez, Valenzuela, Meza, Villanueva, Ramírez, Almendariz y Pérez. 2011).

El abandono de las minas, sin adoptar ningún tipo de medidas de recuperación ambiental, ha originado numerosos focos de contaminación que afectan a ríos y suelos del entorno (Salomons, 1995)

En el Perú aún se presentan zonas mineras que evidencian un cierre de minas deteriorado o simplemente que no se realizó, producto de trabajos mineros, y en lo general por trabajos de minería informal; dejando en superficie minerales sulfurosos, los cuales son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna y la vegetación, generalmente proceden de labores mineras inactivas y activas, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina (Díaz y Castrejón, 2018).

Por lo anterior, se hace necesaria la implementación de una técnica de teledetección en la microcuenca del río Tingo, pues es una zona con presencia de residuos mineros, que a lo largo del tiempo se ha vuelto un foco de contaminación importante para el distrito de Hualgayoc.

El método de teledetección consiste en un método que puede obtener observación de áreas extensas, permitiendo así realizar seguimientos periódicos y efectivos de sulfuros provenientes de procesos de extracción minera a suelos y fuentes hídricas superficiales. Esta técnica se caracteriza por su eficiencia, reducción de costos y tiempo, frente a otras técnicas de mapeo en campo. (Chuvieco, 2008).

Brindando así un control, monitoreo a gran escala y mejor comprensión de impactos ambientales generados por la contaminación en zonas mineras (Díaz y Castrejón, 2018).

La investigación tendrá como principales antecedentes, estudios en los cuales se utilizó técnicas espectrales para la identificación de minerales, enfatizando el tema de la contaminación desde el punto de vista mineral, para lo cual se trabajó con:

Ospina (2019). En su estudio sobre teledetección de zonas contaminadas, el cual examinó la factibilidad de utilizar esta herramienta mediante las imágenes satelitales Landsat 8 para el monitoreo de vertimientos de minería. Para ello se estimaron las concentraciones de tres metales pesados, cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb), en cuerpos de agua del Bajo Cauca, utilizando dos metodologías de teledetección, cuyos resultados se compararon con mediciones realizadas en el sitio por la autoridad ambiental Corantioquia para analizar su validez. Los resultados indican que, aunque es necesario hacer más mediciones para ajustar los parámetros de los algoritmos

empleados a las condiciones locales, estos métodos podrían ofrecer información adicional para el monitoreo de los recursos hídricos en Colombia.

De igual modo se trabajó con Guevara (2015). En su estudio realizado acerca de contaminación por sulfuros que lleva como nombre Generación de acidez por la presencia de sulfuros en el futuro tajo del proyecto minero “El Galeno”, cuyo objetivo general fue determinar la capacidad de generar drenaje ácido en el futuro tajo del proyecto minero “El Galeno”, con muestras de diferentes zonas, las cuales fueron almacenadas en 30 barriles, según su litología, mineralogía y alteración, obteniendo a si 15 litros de cada muestra, llegando a determinar que el mayor potencial de acidez son las muestras constituidas por areniscas y filicas, así como también aquellas que contienen sulfuros mixtos. Esta investigación servirá para definir de manera clara los minerales que generan contaminación.

Se tendrá también como referencia a Ramírez y Villena (2017). En su estudio titulado “teledetección de pasivos ambientales de origen químico utilizando imágenes satelitales Landsat 8 en la provincia de Hualgayoc-2017”, cuyo objetivo principal fue utilizar técnicas de teledetección como herramienta previa a la identificación de Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) a través de análisis de firmas espectrales en minerales. Empleo un diseño del tipo no experimental – transversal - correlacional/causal, usando un método descriptivo analítico. El cual identificó minerales representativos de pasivos ambientales de origen químico como: Galena 27.6%, Pirita 26.03%, Covelina 21.6%, Pirita asociada a Limonita 13.41% y Calcopirita 11.36%, así como también los principales metales asociados a los minerales como: Hierro 39.44%, Cobre 32.96% y Plomo 27.60%, esta información

por su forma de identificar los minerales como fuentes generadoras de contaminación será de gran importancia en el desarrollo de la investigación.

Díaz y Castrejón (2018). En su investigación titulada “Teledetección de minerales generadores de acidez y metales pesados, usando imágenes satelitales áster en el distrito de Bambamarca, Cajamarca - 2018”, tuvo como objetivo principal detectar la ubicación de minerales generadores de acidez y metales pesados mediante el análisis multispectral de imágenes satelitales lo cual permitió conocer la ubicación de los principales focos de contaminación del ambiente y zonas afectadas por la contaminación de minerales generadores de acidez y metales pesados. En su estudio utilizó un diseño de investigación del tipo no experimental – transversal - causal, y un método descriptivo analítico. Llegando a obtener resultados que verifican un mayor aporte de acidez en minerales como: Pirita, Calcopirita y Esfalerita, ya que son minerales más inestables, y en minerales como Ferrihidrita y thenardita, un mayor aporte de metales pesados en condiciones de acidez.

En la investigación también se tuvo como antecedente a Chávez (2018), con su estudio titulado “Evaluación geoquímica e identificación de drenaje ácido de roca de los desmontes, mineral y pared de tajo de la UEA - Cerro de pasco Compañía Volcán”; Estudio en el cual se verifica mediante pruebas NAG, que sulfuros expuestos a meteorización son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, es por ello los niveles de contaminación en los desmontes depositados en los botaderos Hanancocha, Miraflores y Rumiallana, y mineral de baja ley depositado en los stock piles, que existen como

parte de la mina Cerro de Pasco de Volcan, Estos resultados fueron corroborados mediante métodos estáticos (primera etapa para la caracterización geoquímica) y métodos cinéticos observándose en los stock piles de sulfuros (Pampa Seca zona sulfuros, Stock Pile Excélsior, Stock Piles 2, 2A, 7, 7B, 14), generación de acidez y lixiviación de metales pesados en muchas muestras producto de la exposición de sulfuros.

La investigación estará basada en principios y leyes tales como:

La teledetección se podría definir como la recolección de información sobre la superficie terrestre o la atmósfera a partir de la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por estas. La teledetección ha experimentado en gran desarrollo en los últimos años, y tiene en la actualidad una gran cantidad de aplicaciones (Gutierrez, 1993).

La teledetección explota el hecho de que todos los materiales reflejan, absorben y emiten energía electromagnética, con longitudes de ondas específicas, en patrones distintivos relacionados con su composición molecular (Manolakis and Shaw, 2002).

La teledetección es una técnica aeroespacial que utiliza la energía electromagnética para la captación de datos de la superficie terrestre y atmósfera circundante, mediante ISPRS que es medida o adquisición de información de ciertas propiedades de un objeto o fenómeno, según un sistema de registro que no está en contacto físico con el objeto o fenómeno estudiado (González et al.,2013).

Un sistema de teledetección incluye los siguientes componentes (Chuvienco, 2008):

Fuente de energía. Es el origen del flujo energético detectado por el sensor. La energía solar es la fuente más importante.

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

Sensor remoto o sistema sensor. Es el conjunto formado por el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

Sistema de recepción. En donde se recoge la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los intérpretes.

Intérprete. Es el que analiza la información, a través de un tratamiento visual o digital, convirtiéndola en un resultado temático o cuantitativo, orientado a facilitar la evaluación del problema en estudio.

Usuario final. Es el que recibe el documento luego de ser interpretado. - Fuente o fuentes de la radiación electromagnética.

Uno de los tipos más importantes de interacción entre las partículas fundamentales que componen la materia, es la llamada interacción electromagnética. La misma está relacionada con una propiedad característica de cada partícula que se denomina carga eléctrica (Ormeño, 2006).

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío (Aguilera y Herrera, 2007).

Dos características de la radiación electromagnética importantes para la teledetección son longitud de onda y frecuencia (Aguilera y Herrera, 2007):

La longitud de onda es el tamaño de un ciclo de la onda. Puede ser medido como la distancia entre dos crestas de la onda. La longitud de onda se denota usualmente por la letra griega Lambda (λ), se mide en metros (m) o factores de este como nanómetros ($\text{nm}=1 \times 10^{-9}\text{m}$), micrómetros ($\text{mm}=1 \times 10^{-6}\text{m}$) o centímetros ($\text{cm}=1 \times 10^{-2}\text{m}$).

La frecuencia se refiere al número de ciclos de una onda que pasan por un determinado punto por unidad de tiempo, se expresa generalmente en Hertz (Hz) que equivale a un ciclo por segundo.

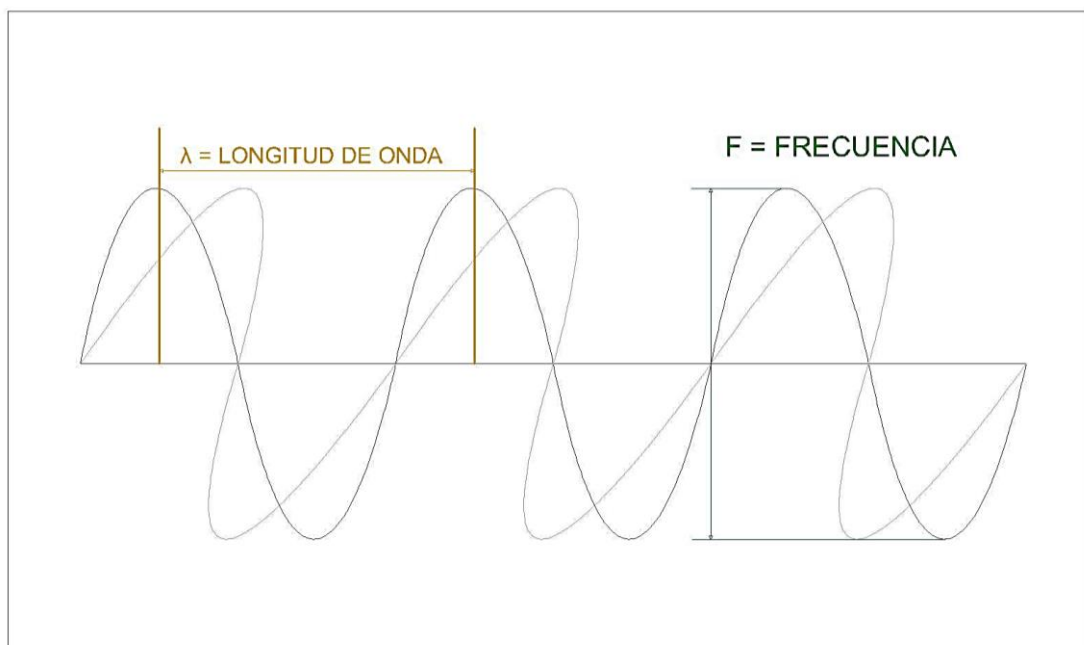


Figura 1. Esquema de una onda electromagnética (Chuvieco, 2008).

El espectro electromagnético es el sistema que clasifica, según las longitudes de onda, toda la energía (desde onda corta cósmica hasta onda larga de radio) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio NASA, 2013).

Desde el punto de vista de la teledetección, conviene destacar una serie de bandas espectrales. Su denominación y amplitud varían según distintos autores, teniendo a continuación la terminología más común (Chuvieco, 2008):

Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). se denomina a si por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0,4 a 0,5 μm); verde (0,5 a 0,6 μm), y rojo (0,6 a 0,7), en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda (Chuvieco, 2008).

Infrarrojo próximo (0,7 a 1,3 μm). Denominada también infrarrojo reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse a partir de films dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas de vegetales y concentraciones de humedad. (Chuvieco, 2008).

Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm), en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre (Chuvieco, 2008).

Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm), que incluyen la porción emisiva del espectro terrestre (Chuvieco, 2008).

Métodos pasivos. Están basados en la detección de las características radiactivas o reflectantes del sistema observado. La fuente energética es el sol o la tierra y la misión del sensor es únicamente la de captar la señal que le llega. Existen dos tipos de sensores de estas características: electro-ópticos y de microondas (López y Caselles, 1991).

Métodos activos. En este caso, el sensor tiene una doble función: por un lado, actúa activamente produciendo una señal de características conocidas que será recogida después de interactuar con el sistema observado. La información se obtiene de la comparación entre la señal emitida y la reflejada. El más conocido es el radar,

radiómetro activo de microondas que barre entre 0.1 y 100 cm (López y Caselles, 1991).

Las técnicas de teledetección, según el origen de la señal utilizada, se pueden agrupar en dos categorías (López y Caselles, 1991).

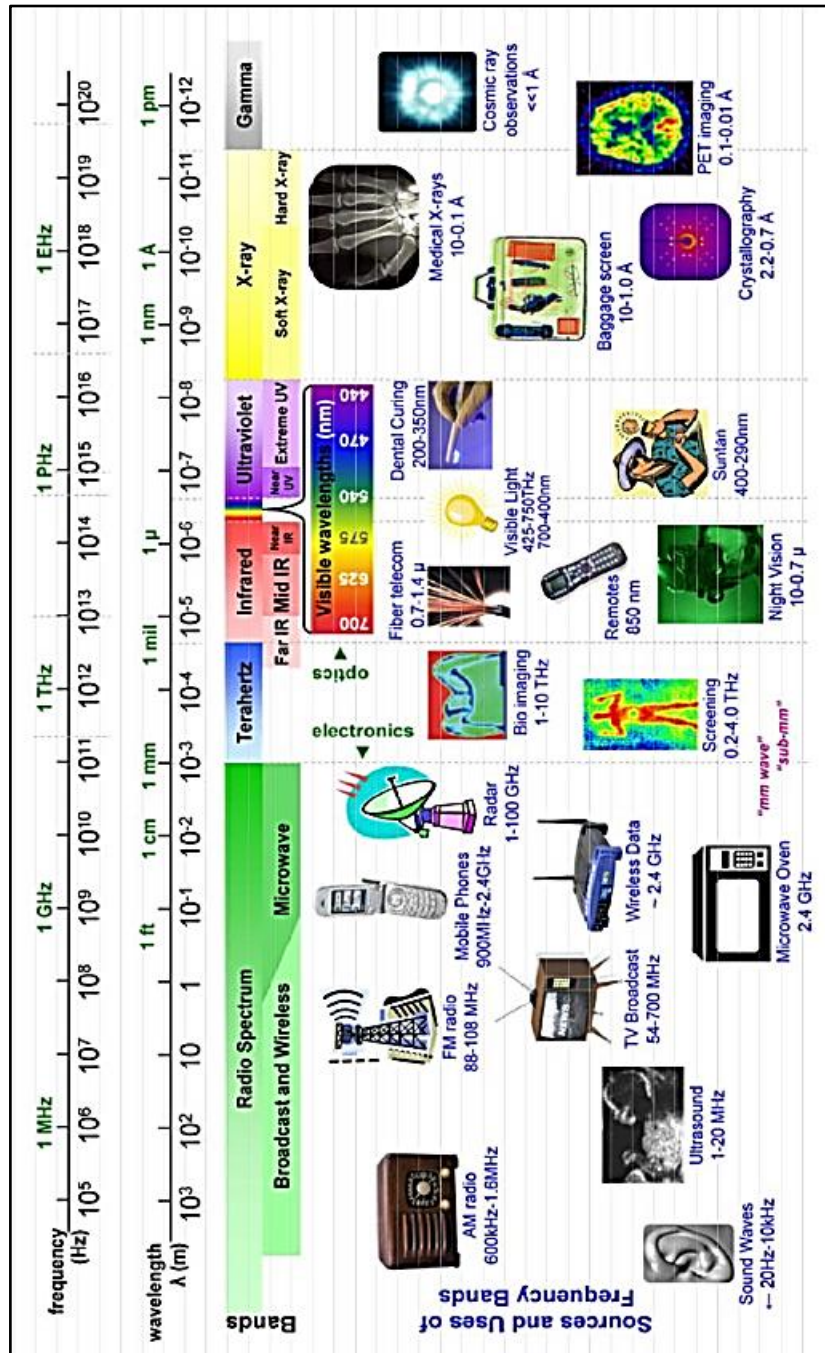


Figura 2. Espectro electromagnético: fuentes y usos de las bandas de frecuencias (González et al., 2013).

Para que la teledetección pueda llevarse a cabo, es necesario contar con instrumentos capaces de registrar la radiación procedente de la tierra (sensores) y de transformarla en una señal susceptible de ser manejada de forma análoga (productos fotográficos) o de forma digital (cintas magnéticas compatibles con ordenador, CCTs, CD Rom, etc.) (Meijering, 2007).

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, y transformarlas en variables eléctricas, es decir son dispositivos capaces de detectar radiancia de todo objeto de la superficie terrestre que emane energía, para luego transformar en valores numéricos capaces de formar una imagen digital en un formato ráster (Rejas, 2014).

Las características espaciales del sensor hacen referencia a la porción de la superficie terrestre de la cual obtiene información y se determinan por magnitudes tales como (López y Caselles, 1991):

Campo de visión instantánea (IFOV), que depende de la apertura del dispositivo óptico del sensor y determina las dimensiones máximas de la superficie terrestre que puede observarse en cada instante desde el sensor. Se expresa en radianes, aunque se suele usar la longitud que sobre la superficie terrestre corresponde a ese ángulo, lo que coincide con las menciones de píxel (López y Caselles, 1991).

Campo total de observación. Se define para los sensores de barrido y depende del ángulo de oscilación o de rotación de espejo y de la duración de la pasada. En función de la altitud del satélite, se obtiene la longitud de la línea de barrido, que se expresa en m o km (López y Caselles, 1991).

Píxel (contracción del término anglosajón picture element): Determina el tamaño de la muestra. La señal de salida del detector sufre un muestreo a una frecuencia que

depende del sistema de adquisición de los datos, esto es, de la velocidad de barrido (López y Caselles, 1991).

TERRA (EOS AM-1) es un satélite multinacional de la NASA de investigación científica por satélite. Funciona en una órbita polar alrededor de la Tierra sincronizada con el Sol. Esto significa que recorre una trayectoria que pasa por ambos polos caracterizada por aparecer cada día sobre un punto dado del ecuador siempre a la misma hora local (Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, 2016).

El nombre de Terra viene del latín y significa tierra. El satélite fue lanzado desde Vandenberg Air Force Base el 18 de diciembre de 1999, a bordo de un vehículo Atlas IAS y comenzó a recoger datos el 24 de febrero de 2000 (USGS, 2016).

Terra lleva una carga útil de cinco sensores remotos destinados a supervisar el estado de la Tierra del medio ambiente y los cambios climáticos (USGS, 2016):

ASTER (espacial avanzado de emisiones térmicas y reflexión Radiométrica)

CERES (nubes y la Tierra, energía radiante del sistema)

MISR (multiángulo de imágenes espectroradiométricas.)

MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)

MOPITT (mediciones de la contaminación en la tropósfera)

Las imágenes satelitales ASTER, son captadas por la plataforma TERRA de la NASA, puesto en órbita en diciembre de 1999 por el gobierno de Estados Unidos y de Japón, que son los responsables del diseño, calibración y validación de los instrumentos. 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 (ABRAMS y HOOK, 1999). ASTER también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos (USGS, 2016).

Entre los requerimientos de los investigadores que desarrollaron el sensor ASTER, con el fin de obtener datos geológicos detallados para estudiar fenómenos que pudieran producir un impacto a nivel global, fueron colocar detectores en rangos espectrales bien seleccionados, para así favorecer la detección de las características espectrales de los principales de grupos de minerales de alteración, tales como: Alunita, Albita, Clorita – Epidota, Caolinita – Esmectita, Illita, Hematita, Pirofilita, Pirita, Ferroso, Ferrico, Cuarzo, Carbonato (USGS, 2016).

Los sulfuros son minerales poco frecuentes en la corteza terrestre. Sin embargo, en ciertas situaciones geológicas la abundancia de estos minerales aumenta, llegando a convertirse en mayoritarios. También son importantes minerales accesorios en los yacimientos. El elevado contenido de los sulfuros en Au, Ag, Fe, Cu, Zn y Pb ó la obtención de ácido sulfúrico han provocado su explotación y aprovechamiento por parte del hombre a lo largo de la historia (Olías et al., 2010).

Tabla 1.

Características de imágenes ASTER.

| Región espectral (subsistemas) | Banda | Ancho de banda (μm) | Longitud de onda efectiva | Resolución espacial (m) | Resolución radiométrica (bits) |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| NVIR | 1 | 0.52 – 0.60 | 0.556000 | | |
| | 2 | 0.63 – 0.69 | 0.661000 | 15 | 8 |
| | 3 | 0.76 – 0.86 | 0.807000 | | |
| | 4 | 1.60 – 1.70 | 1.656000 | | |
| | 5 | 2.145 – 2.185 | 2.167000 | | |
| SWIR | 6 | 2.185 – 2.225 | 2.209000 | 30 | 8 |
| | 7 | 2.235 – 2.285 | 2.262000 | | |
| | 8 | 2.295 – 2.365 | 2.336000 | | |
| | 9 | 2.360 – 2.430 | 2.400000 | | |
| | 10 | 8.125 – 8.475 | (8.279) | | |
| TIR | 11 | 8.475 – 8.825 | (8.635) | 90 | 12 |
| | 12 | 8.925 – 9.275 | (9.074) | | |
| | 13 | 10.25 – 10.95 | (10.659) | | |
| | 14 | 10.95 – 11.65 | (11.267) | | |

Fuente: USGS, 2016

Los sulfuros, entre los cuales el mineral más abundante la pirita, son estables y muy insolubles en condiciones reductoras. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera y en presencia de agua se produce su oxidación (Nordstrom y Alpers, 1999). La pirita (FeS_2) es el sulfuro más común en la naturaleza, encontrándose en formaciones hidrotermales, rocas ígneas y depósitos sedimentarios. Sin embargo, junto con la pirita también se suelen encontrar otros sulfuros metálicos como la marcasita (FeS_2) pirrotina ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$), calcopirita (CuFeS_2), arsenopirita (FeAsS), galena (PbS), esfalerita (ZnS), covellina (CuS), etc (Olías et al., 2010).

Los minerales y otros compuestos sólidos en los desechos mineros se dividen en cuatro grupos: (1) minerales de sulfuros primarios, (2) minerales primarios no sulfurados, (3) compuestos producidos por procesamiento de minerales y (4) minerales secundarios formados por la meteorización (Heather, 2011).

Los minerales productores de aguas ácidas están prácticamente omnipresentes en muchos otros yacimientos muy diversos, tanto por su contenido mineral como por su génesis. En gran parte de la minería de sulfuros complejos, en los que la asociación BPG (blenda-pirita-galena) es la más frecuente, los yacimientos tienen extensión más generalizada. Igualmente, en minas abandonadas y en yacimientos en exploración, donde el importante movimiento de rocas supone un gran desarrollo de huecos mineros y de pilas, con lo que se dan condiciones favorables para la afectación a las aguas subterráneas y las superficiales (Sociedad Geológica del Perú, 2001).

Tabla 2.

Minerales y otros compuestos sólidos en los desechos mineros.

| Mineral | Minerales ISIRIS | Fórmula |
|----------------|-------------------------|---|
| Sulfuros | | |
| Pirita | Pyrite | FeS ₂ |
| Marcasita | Marcasite | FeS ₂ |
| Pirrotita | Pyrrhotite | Fe _(1-x) S |
| Calcopirita | Chalcopyrite | CuFeS ₂ |
| Bornita | Bornite | Cu ₅ FeS ₄ |
| Esfalerita | Sphalerite | (Zn,Fe)S |
| Pentlandita | Pentlandite | (Fe,Ni) ₉ S ₈ |
| Enargita | Enargite | Cu ₃ AsS ₄ |
| Galena | Galena | PbS |
| Molibdenita | Molybdenite | MoS ₂ |
| Thenardita | Thenardite | Na ₂ SO ₄ |
| Tetrahedrita | Tetrahedrite | (Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ |
| Cinabrio | Cinnabar | HgS |
| Cobaltita | Cobaltite | CoAsS |
| Antimonita | Stibnite | Sb ₂ S ₃ |
| Rejalgar | Realgar | AsS |
| Oropimente | Orpiment | As ₂ S ₃ |

| Mineral | Mineral Isis | Fórmula |
|---------------------------|----------------|---|
| Oxihidróxidos de hierro | | |
| Goethita | Goethite | α -FeO(OH) |
| Lepidocrocita | Lepidocrocite | γ -FeO(OH) |
| ferrihidrita | Ferrihydrite | Fe(OH) ₃ |
| Oxihidróxidos de aluminio | | |
| gibbsita | Gibbsite | Al(OH) ₃ |
| boehmita | Böhmite | AlO(OH) |
| Oxihidróxidos de sulfato | | |
| Gypsum | Gypsum | CaSO ₄ ·2H ₂ O |
| Jarosite | Jarosite | (K,Na,H ₃ O)Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| schwertmannita | Schwertmannite | Fe ₁₆ O ₁₆ (SO ₄) ₂ ·nH ₂ O |
| Melanterita | Melanterite | FeSO ₄ ·7H ₂ O |
| Copiapita | Copiapite | Fe ^{II} Fe ^{III} ₄ (SO ₄) ₆ (OH) ₂ ·20H ₂ O |
| Oxihidróxidos de sulfato | | |
| Epsomita | Epsomite | MgSO ₄ ·7H ₂ O |
| Anglesita | Anglesite | PbSO ₄ |

Fuente: Heather E. (2011)

1.2. Planteamiento del problema

¿Cuáles son las áreas identificadas mediante la teledetección contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca 2020?

1.3. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Identificar áreas contaminadas por sulfuros de origen minero utilizando sistemas de teledetección en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca.

1.2.2. Objetivos específicos

Crear una librería espectral de sulfuros a partir de las firmas espectrales de la USGS.

Medir la absorción y reflectancia mediante el método SAM para determinar sulfuros en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca.

Determinar las áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca.

1.4. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La teledetección permitirá determinar áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca mediante el uso de firmas espectrales y su dispersión.

1.3.2. Hipótesis específicas

La librería espectral de sulfuros se generará a partir de los datos espectrométricos de la USGS que servirá para compararlo con firmas espectrales de campo.

El método SAM se utilizará mediante una combinación lineal de firmas asociadas a componentes espectralmente puros que permitan determinar sulfuros.

Las áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca están ubicadas en zonas aledañas de centros mineros sin actividad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación será de enfoque cuantitativo, de carácter aplicada tecnológica pues tiene como objetivo aplicar una propuesta práctica de tecnología limpia para solucionar problemas específicos de contaminación por sulfuros, con la finalidad de generar conocimientos dirigidos al sector ambiental; su diseño será no experimental pues que no manipulará deliberadamente las variables de estudio como son la contaminación de sulfuros y el uso de la teledetección; transversal, causal pues se tomará la muestra en un punto espacio temporal definido y buscará determinar la causa y consecuencia de las áreas afectadas por sulfuros de origen minero; utilizará un método descriptivo analítico (Sampieri, 2014).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población de estudio corresponde a un área de 777.2 km² que corresponde a la provincia de Hualgayoc.

2.2.2. Muestra

La muestra corresponde a un área de 15x15 m correspondiente a la unidad mínima de resolución del pixel.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas

La investigación se realizará mediante el uso de la teledetección con la finalidad de determinar áreas contaminadas por sulfuros en la cuenca del río Tingo – Cajamarca, la investigación pretende identificar estos sulfuros y sus áreas de impacto a partir de firmas espectrales que caracterizan a cada mineral, para lo

cual se tendrá en cuantos métodos específicos de procesamiento que se desarrollan a continuación:

Técnica para el análisis de Componentes Principales (PCA)

El objetivo del Análisis de Componentes Principales (PCA.) es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto (más pequeño) sin perder una parte significativa de la información original. Para el usuario final de los productos de la Teledetección, el objetivo del PCA es construir una o varias imágenes que incrementen su capacidad de diferenciar distintas coberturas. Es por ello que al realizar una composición color resulta interesante usar una combinación de tres componentes en lugar de las bandas espectrales. El PCA puede aplicarse como realce previo a la interpretación visual o como procesamiento anterior a la clasificación. En general, esta técnica incrementa la eficiencia computacional de la clasificación porque reduce la dimensionalidad de los datos (INGEMMET, 2020).

Transformación MNF

Determina la dimensionalidad de la imagen, segrega el ruido de los datos y reduce los requerimientos de hardware inherentes al proceso. Asimismo, determina la coherencia espacial en las eigenimages (imágenes propias) y define el cut-off entre la "señal" y "ruido", permitiendo realizar análisis específicos y precisos (INGEMMET, 2020).

Técnica para la clasificación SAM (Spectral Angle Mapper)

Este algoritmo, mide la similitud entre un espectro desconocido t , con uno referencial r , en n -dimensiones. Estos espectros son tratados como vectores en n -espacios y el ángulo que forman se denomina "ángulo espectral". Este valor en radianes es asignado al píxel correspondiente en la imagen resultante SAM, es

una clasificación supervisada en la que cada color de la imagen representa un tipo de material seleccionado (INGEMMET, 2020).

Técnica de desmezcla Lineal del Espectro (Linear Spectral Unmixing)

Los píxeles de una imagen, representan áreas de uno a varios metros cuadrados. Estos píxeles, generalmente están compuestos de ensambles de materiales; los píxeles puros son muy raros (Boardman). El espectro mixto recibido por la mayoría de los sensores es una combinación lineal de los espectros "puros" o "extremos", y sus pesos en la combinación lineal dependen de la fracción de área que ocupan. Los píxeles mixtos, pueden analizarse usando un modelo matemático donde el espectro observado es el resultado de la suma de los productos entre el espectro puro del material "extremo" por el porcentaje de abundancia correspondiente. El resultado de este proceso, es una serie de imágenes en tono de grises, uno por cada material seleccionado y una imagen que representa el error medio cuadrático, denominada imagen RMS. Los valores extremos y la pureza del material están en función directa con la luminosidad y las tonalidades de grises a blanco. Es decir, a mayor luminosidad y blancura corresponde un material más puro (INGEMMET, 2020).

Técnicas de afinamiento de Filtración Emparejada (Mixture Tuned Matched Filtering = MTMF)

Es un filtro que permite discriminar con mayor eficacia los valores "extremos", reduciendo el número de "positivos falsos" que a veces se calculan al usar la filtración emparejada (INGEMMET, 2020).

2.3.2. Instrumentos

Laptop

Dispositivos de almacenamiento

Plataformas satelitales ASTER

Programas de procesamiento espectral (Geoimagen)

Programa SIG (ArcGIS)

Hojas de cálculo (Excel)

2.4. Procedimiento

2.4.1. Etapa de pre procesamiento

En esta etapa se recolecto información que corresponde a la ubicación y delimitación de la zona de estudio e hidrografía.

2.4.4.1. Ubicación geográfica.

La microcuenca del río Tingo tiene un área de 39.66 km², se ubica en la costa norte del territorio peruano, principalmente en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, correspondiente a la zona 17 S con Datum WGS 84, comprendida entre las siguientes coordenadas de referencia:

Tabla 3
Coordenadas de referencia UTM.

| Vértices | Latitud | Longitud |
|----------|---------|----------|
| 1 | 9257150 | 755400 |
| 2 | 9250200 | 755400 |
| 3 | 9257150 | 766500 |
| 4 | 9250200 | 766500 |

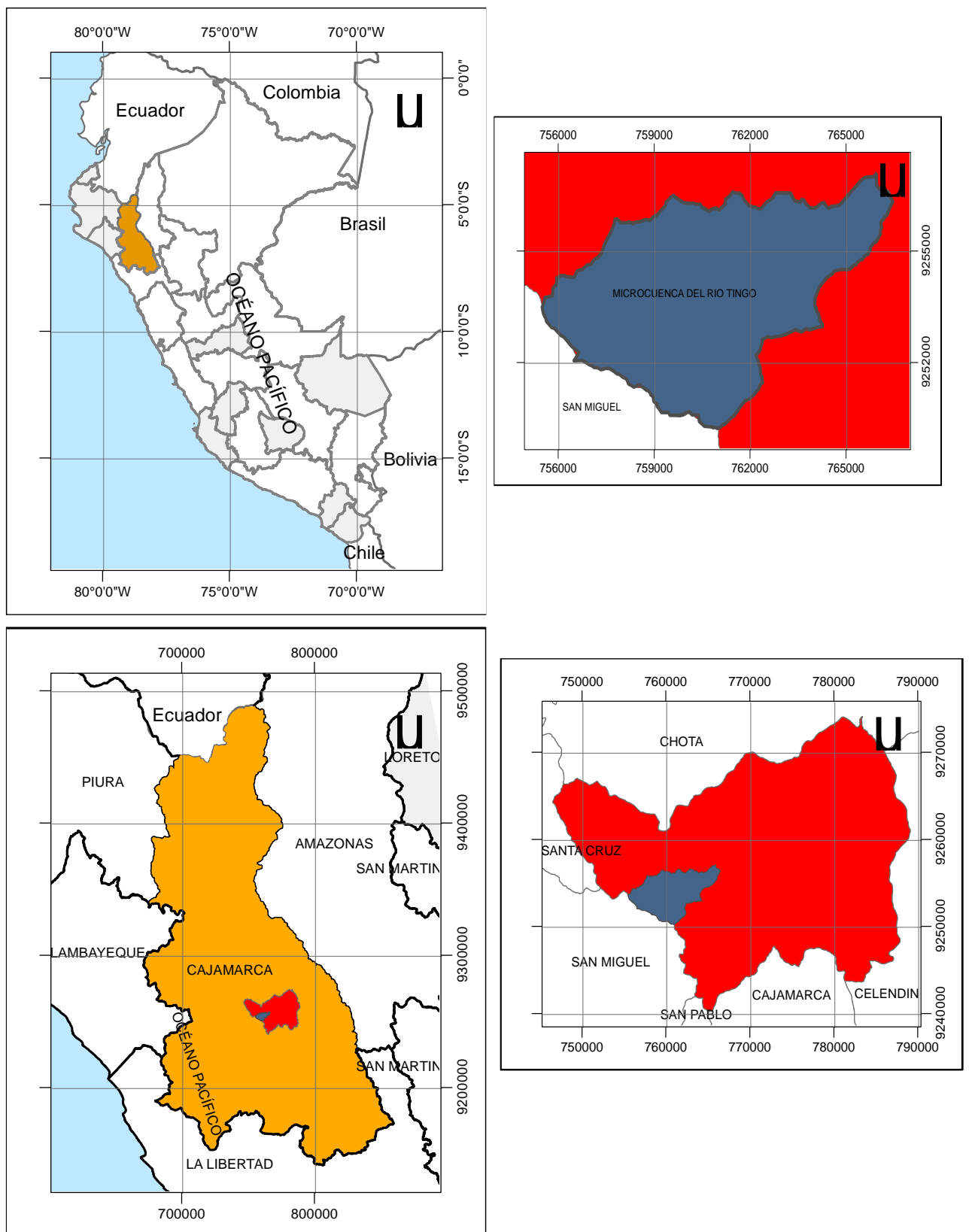


Figura 3. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Tingo.

2.4.4.2. Demarcación Hidrográfica.

La cuenca del río Tingo pertenece a la Vertiente del Pacífico y la vertiente del Atlántico, limita con las cuencas:

Por el Norte: Cuenca del río Chamaya.

Por el Este: Cuenca del río Llaucano.

Por el Sur: Cuenca del río Jequetepeque.

Por el Oeste: Cuenca del río Chancay.

Vertiente del Pacífico.

Cuenca del río Chancay. Con una superficie de 5309 km², comprende parte de las provincias de Chota y Santa Cruz. Tiene su origen en un grupo de lagunas entre las que destaca la laguna Mishacocha y el cerro Coymolache. La descarga media anual del río llega a los 27,9 m³/s, habiendo máximas y mínimas promedio de 30, 3 y 12,3 m³/s, respectivamente. Los meses de estiaje van entre junio y noviembre, mientras que entre diciembre y mayo ocurren las mayores descargas (70% del total anual) (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, 2011).

La cuenca media del río Jequetepeque. Con un área total de 4205,30 km². Está distribuida entre las provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel. Los ríos que dan origen al Jequetepeque son El Pallac, con una cuenca de 250 km²; San Miguel o Puclush, con una cuenca de 1065 km²; y Magdalena, con 1 500 km². La descarga promedio anual del río Jequetepeque en la estación de Yonán, en el periodo comprendido entre 1975 y 1999, fue de 26,181 m³/s (INGEMMET, 2011).



Figura 4. Demarcación hidrográfica de la cuenca del río Tingo.

Vertiente del Atlántico.

La cuenca del río Llaucano, se encuentra al norte de Cajamarca y forma el valle de Bambamarca, constituyendo parte de las provincias de Cajamarca, Hualgayoc, Chota y Cutervo. Los principales centros poblados ubicados dentro de la cuenca son: Hualgayoc, Bambamarca, Cutervo, Sócota, Conchán, Anguía y Tacabamba. Nace en las lagunas Munyu y Picota con el nombre de quebrada Pachachaca Chico, posteriormente, adopta los nombres de Pachachaca y El Tambillo, conociéndosele como Llaucano a partir de su confluencia con el río Chonta hasta su desembocadura en el río Marañón. El río Llaucano discurre de sur a noreste desde los 4000 msnm en sus nacientes hasta los 595 msnm en su desembocadura en el Marañón, con un caudal medio de 47,39 m³/s. Su cuenca es 2823 km² y la longitud de su cauce principal es 90 km. Los afluentes principales, por la margen derecha, son los ríos Pomagón y Chontas y, por la margen izquierda, los ríos Hualgayoc, Maygasbamba y Cutervo. Esta cuenca está ligada directamente al Proyecto Tinajones, ya que el mismo prevé la implementación del túnel Llaucano, para derivar las aguas al río Chotano, y estas a su vez, al río Chancay- Lambayeque mediante el túnel trasandino Chotano (INGEMMET, 2011).

La cuenca del río Chamaya, donde sobresale la localidad de Pucará, Pomahuaca, Chota y otras, toma el nombre de río Chamaya desde el punto de confluencia del río Huancabamba con el río Chotano, el cual desemboca en el río Marañón en la cuenca del Atlántico. El río Huancabamba nace en la laguna del Shimbe en el distrito del Carmen con

una elevación de 3500 msnm. Tiene un área de drenaje total de 8 129,5 km² hasta su desembocadura en el río Marañón, abarcando parte de los distritos de El Carmen, Huancabamba, Sondor, Sondorillo, Huarmaca, en la provincia de Huancabamba.

La cuenca del río Chotano, con una superficie de 1694 km², se extiende entre los 2300 msnm (Chota) y 950 msnm en su confluencia con el río Huancabamba; sus afluentes más importantes son los ríos Chongoyape, Calupán, Paltic y Sauces. El río Chamaya discurre de oeste a este y luego con dirección noreste, con un caudal promedio de 50,59 m³/s. Entre sus afluentes importantes se tienen los ríos Callayne, Santa Cruz, Coco, Anta, Buto, Barbasco y Chontali- Huayllabamba (INGEMMET, 2011).

2.4.4.3. Hidrología.

El río Tingo nace sobre una altitud de 3 900 m al juntarse las aguas de las faldas de los Cerros de Tantahuatay y de algunas pequeñas lagunas estacionales. Se orienta de Oeste a Este y drena un área de 9 km² hasta su confluencia con la quebrada Las Águilas. En este tramo inicial el río Tingo es denominado quebrada del Puente de La Hierba. De la margen izquierda de su cuenca, recibe como afluentes varias quebradas pequeñas como La Laguna Sola, Hueco Grande y quebrada Palo Fierro. De su margen derecha recibe aporte de las quebradas pequeñas que discurren desde la sucesión de cerros denominados Peñas de las Águilas y Las Gordas (Fotografía 3.45) (Sociedad Minera La Cima S.A., 2005).

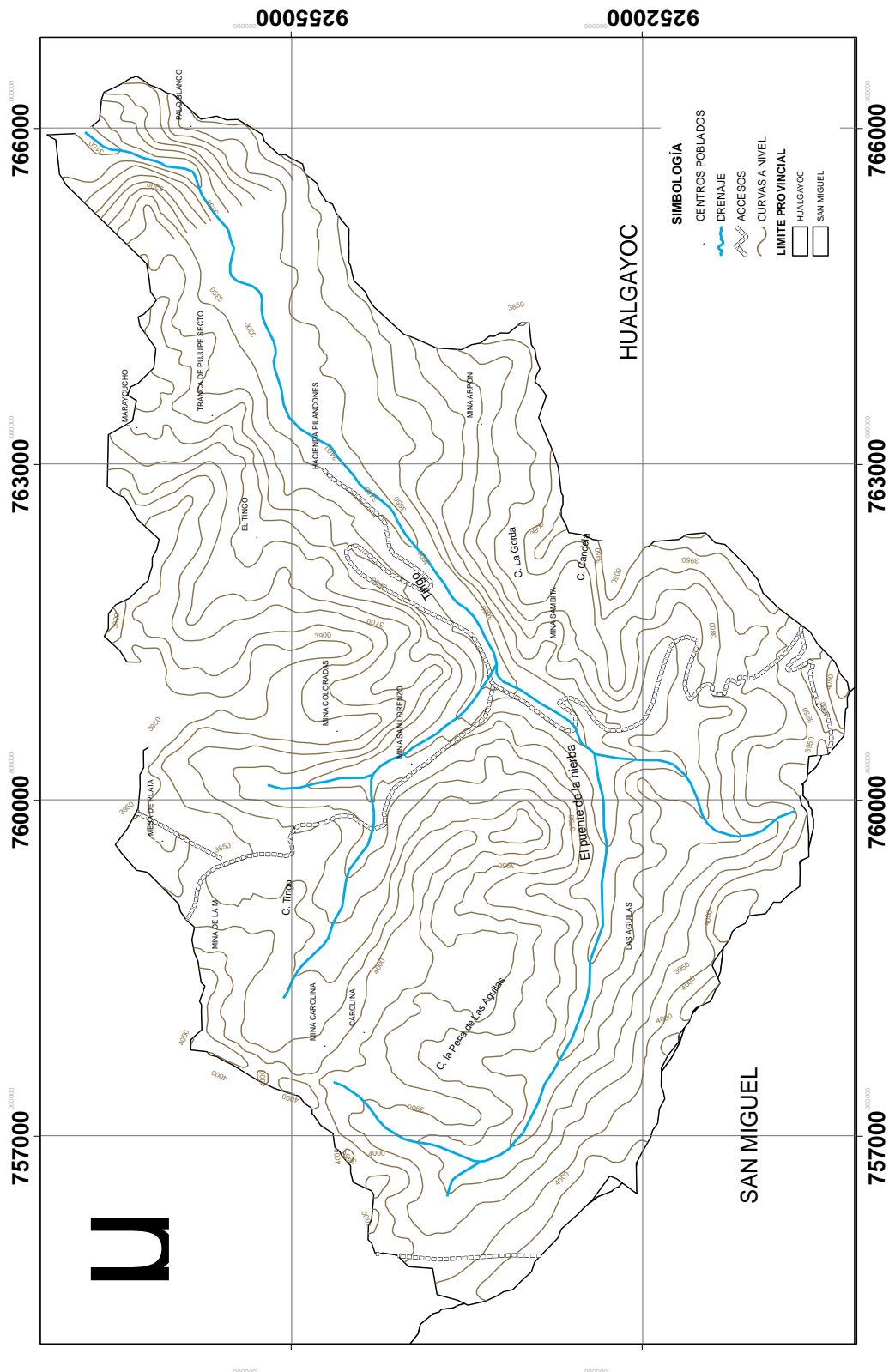


Figura 5. Hidrología de la microcuenca del río Tingo.

2.4.2. Etapa de procesamiento

2.4.2.1. Descarga de imágenes satelitales.

Para adquirir una escena de imagen satelital Aster L1T, se debe ir a la página web: <https://earthexplorer.usgs.gov/> USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) está disponible a través de la aplicación de descarga masiva. También puede descargar muchos productos de datos, incluyendo Level-1,2,3, imágenes en color natural, imágenes térmicas y muchos más, según el sensor.

Después de ingresar al servidor se procede con los siguientes pasos:

En la pestaña criterios de búsqueda, hacer zoom en la zona de estudio, luego clic en usar mapa, finalmente rango de fecha.

En la pestaña conjunto de datos se debe seleccionar el tipo de imagen, en nuestro caso será Aster L1T.

En la pestaña criterios adicionales debemos tener en cuenta algunas condiciones como: nivel de procesamiento disponible, cubierta de nubes e indicador día o noche.

Una vez ubicada la imagen correcta para nuestro estudio se procede a la descarga.

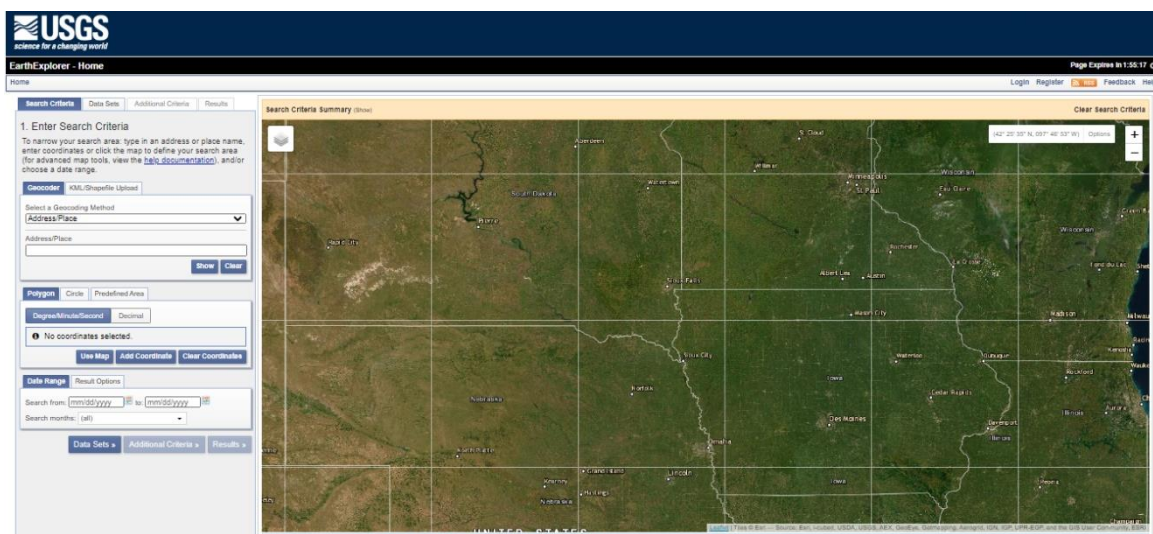
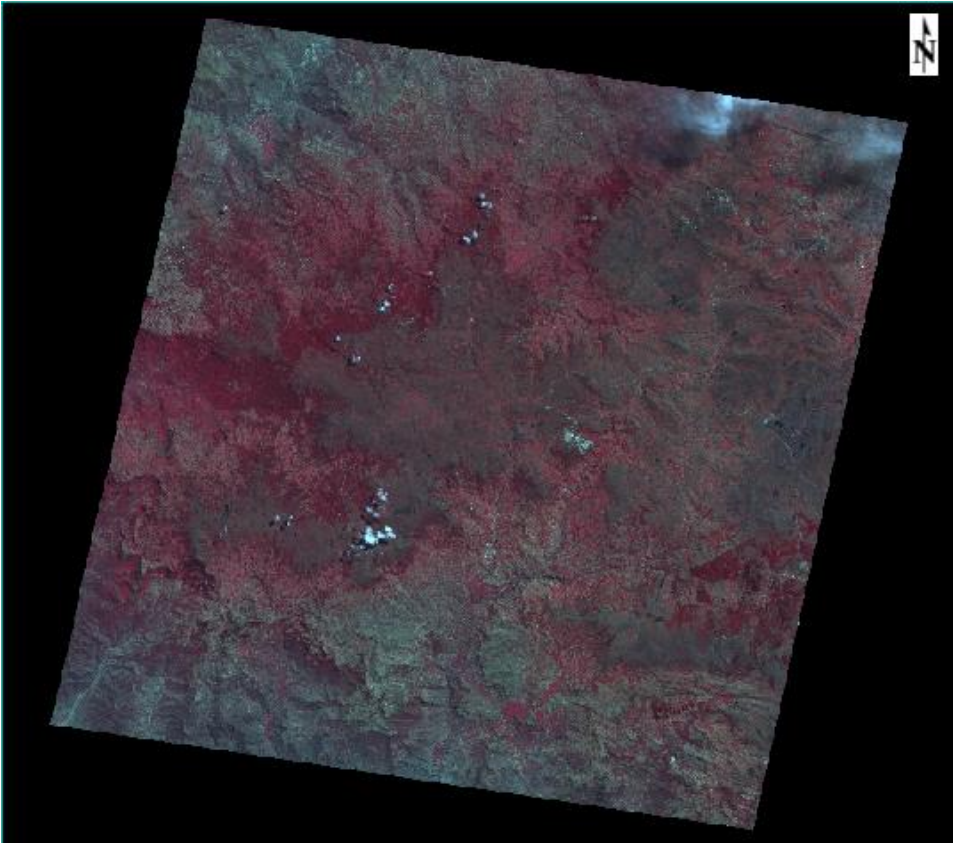


Figura 6. Servidor de la USGS.

Tabla 4.

Ficha técnica de la imagen Aster L1T.

| IMAGEN ASTER L1T | | CARACTERISTICAS DE LA IMAGEN ASTER L1B | | |
|---|---------------|--|-------------------------------------|----------------------------|
|  | | Sensor | Aster | |
| | | ID | AST_L1T_00308242019154649.hdf | |
| | | Fecha | 24/08/2019 | |
| | | Datum | D_WGS_1984 | |
| | | Proyección | UTM_Zona_17S | |
| | | Bandas | Ancho de banda (μm) | Resolución espacial (m) |
| | | 1 | 0.52 – 0.60 | 15 |
| | | 2 | 0.63 – 0.69 | |
| | | 3 | 0.76 – 0.86 | |
| | | 4 | 1.60 – 1.70 | |
| | | 5 | 2.145 – 2.185 | |
| | | 6 | 2.185 – 2.225 | 30 |
| | | 7 | 2.235 – 2.285 | |
| | | 8 | 2.295 – 2.365 | |
| 9 | 2.360 – 2.430 | | | |
| 10 | 8.125 – 8.475 | | | |
| 11 | 8.475 – 8.825 | 90 | | |
| 12 | 8.925 – 9.275 | | | |
| 13 | 10.25 – 10.95 | | | |
| 14 | 10.95 – 11.65 | | | |

2.4.2.2. Conversión de ND a Radiancia espectral ASTER L1T

Los valores digitales de ocho bits de cada banda fueron transformados en valores de radiancia en la atmósfera superior. Este procedimiento, que evita pérdida de información, puede ser realizado utilizando la siguiente ecuación según Abrams y Kook, 1999:

$$L\lambda = (ND - 1) * UCC$$

Donde:

$L\lambda$ = Radiancia de la banda

UCC = Coeficiente de transformación (Unidad de conversión del factor).

ND = Reflectancia expresada como un valor digital de ocho bits.

La radiación solar reflejada que detecta el sensor debe necesariamente atravesar la atmósfera, que está constituida por gases y polvo. Estos elementos producen un debilitamiento y distorsión de la respuesta debido a la absorción selectiva de algunas longitudes de onda en particular con respecto a otras, que llegan con mínimas perturbaciones hasta el sensor. Estos fenómenos pueden suprimirse aplicando una corrección atmosférica (Bravo, 2017).

Tabla 5.

Coefficiente de conversión datos ASTER.

| Banda | Coefficiente de conversión-UCC | W/(m ² *sr*μm) |
|-------|-----------------------------------|---------------------------|
| ASTER | | |
| B1 | 0.676 | Ganancia alta |
| B2 | 0.708 | Ganancia alta |
| B3 | 0.862 | Ganancia normal |
| B4 | 0.2174 | Ganancia normal |
| B5 | 0.0696 | Ganancia normal |
| B6 | 0.0625 | Ganancia normal |
| B7 | 0.0597 | Ganancia normal |
| B8 | 0.0417 | Ganancia normal |
| B9 | 0.0318 | Ganancia normal |
| B10 | 0.006822 | Ganancia normal |
| B11 | 0.00678 | Ganancia normal |
| B12 | 0.00659 | Ganancia normal |
| B13 | 0.005693 | Ganancia normal |
| B14 | 0.005225 | Ganancia normal |

Fuente: Abrams y Kook, 1999.

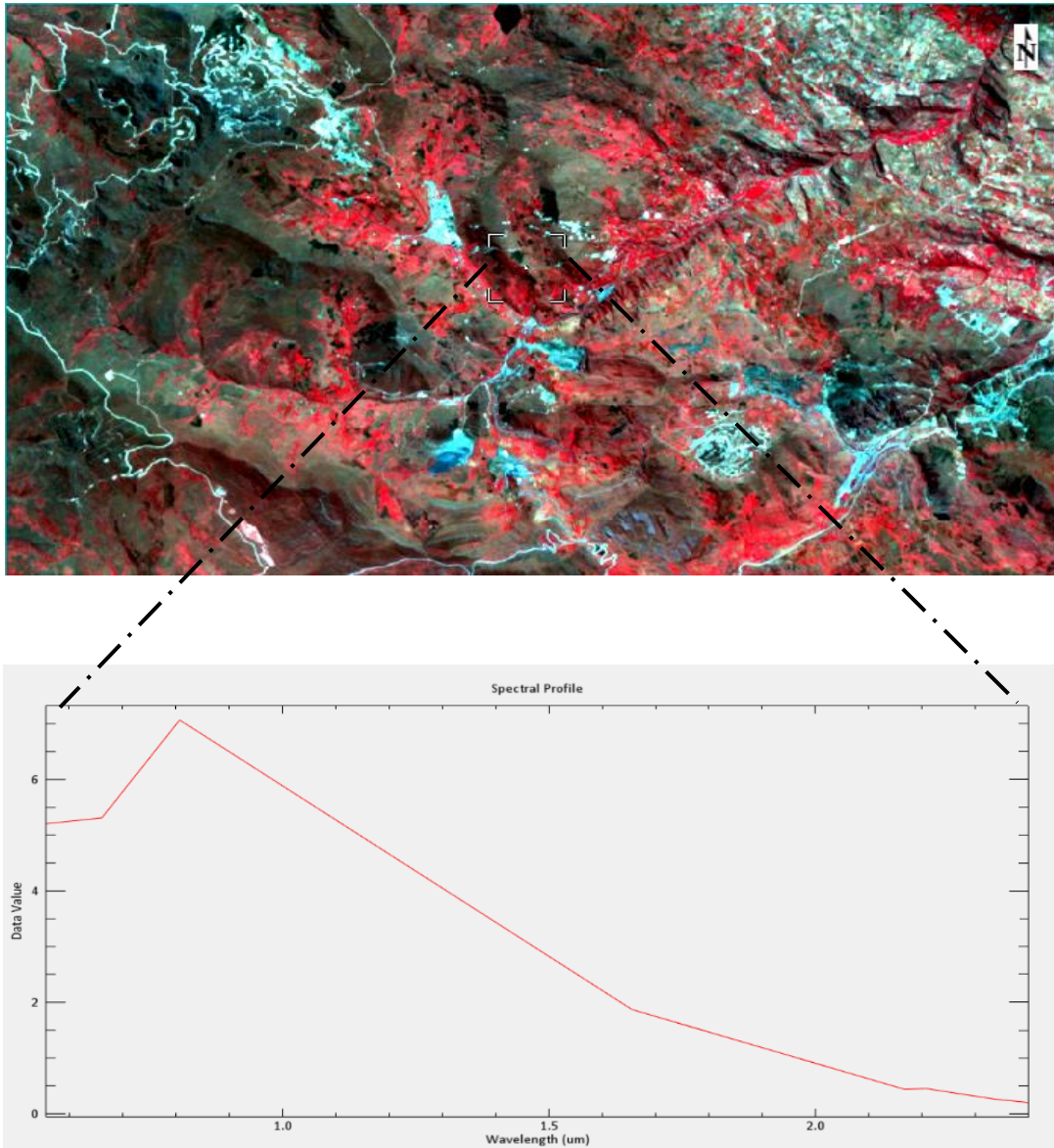


Figura 7. Conversión de ND a Radiancia espectral ASTER L1T.

2.4.2.3. Radiancia a Reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA) .

Se calcula usando la ecuación de Landsat estándar de (Bravo, 2017):

$$P\lambda = \frac{\pi * L\lambda * d^2}{ESUN * SEN(\theta)}$$

Donde:

$P\lambda$: Reflectancia en el techo de la atmosfera del sensor

$L\lambda$: Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).

d: Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en Unidades Astronómicas (Calculado según una fórmula en función del día juliano).

ESUN: Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.

θ : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN_ELEVATION).

Determinando el valor Valores de irradiancia Media Sola exo-atmosférica ESUN ((W / (m² * μ m)).

Los valores de ESUN [W / (m² * μ m)] para el sensor ASTER se muestran en la siguiente tabla (Smith, 2004). Valores de ESUN para bandas ASTER.

Tabla 6.

Irradiancia exoatmosférica para cada banda del sensor ASTER.

| Banda | ASTER |
|-------|-------|
| B1 | 1848 |
| B2 | 1549 |
| B3 | 1114 |
| B4 | 225.4 |
| B5 | 86.63 |
| B6 | 81.85 |
| B7 | 74.85 |
| B8 | 66.49 |
| B9 | 59.85 |

Fuente: Smith, 2004.

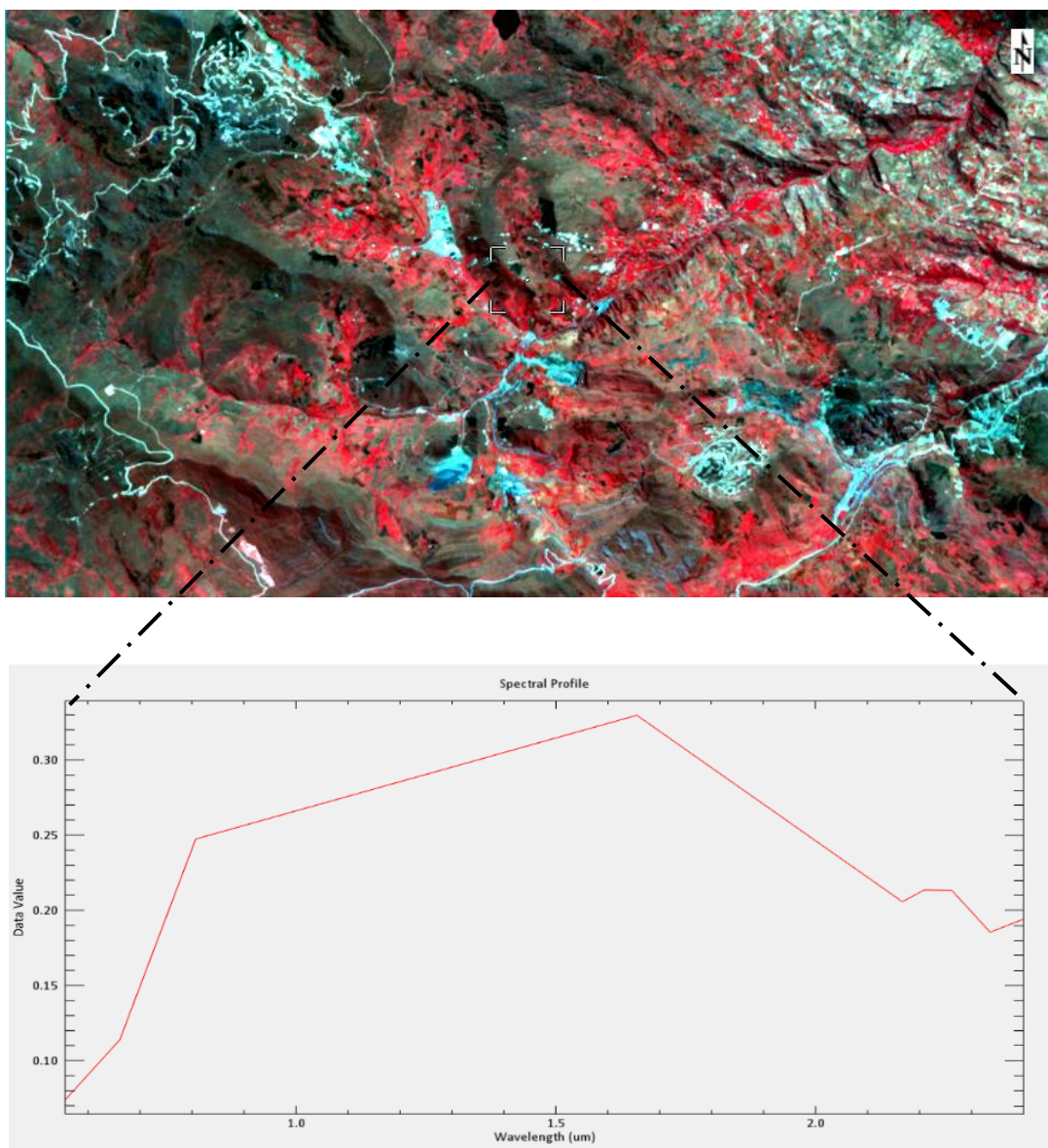


Figura 8. Radiancia a Reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA) ASTER L1T.

2.4.2.4. Enmascaramiento

El enmascaramiento es un paso fundamental dentro de la teledetección de uso de sensores activos; pues permite filtrar información innecesaria o poco relevante para el estudio.

En la investigación se filtró vegetación, sombras, agua superficial, nubes y zonas urbanas con la finalidad de no obtener firmas espectrales de estas cubiertas al momento de realizar el análisis espectral por el método SAM.

Para realizar el enmascaramiento se realizó una serie de combinaciones entre las bandas que componen la imagen Aster para resaltar información que se desea filtrar.

Tabla 7

Combinación de bandas para discriminar materiales

| Combinación de bandas | Tipo de material | Color |
|-----------------------|------------------|---------|
| 231 | Zonas Urbanas | Magenta |
| 835 | Sombras | Blanco |
| 835 | Nubes | Blanco |
| 321 | Vegetación | Rojo |
| 231 | Agua superficial | Lila |

Fuente: (USGS, 2016)

Una vez identificados los materiales se procede a realizar el filtrado utilizando el análisis de componentes principales (CP) en la banda 1 y 3 con rango espectrales de 0 a 150, que permitió filtrar toda la información en ND.

En la figura 9 se aplicó la combinación de falso color 835, en color blanco solido se verifica la presencia de nubes al norte de la microcuenca del río Tingo y de manera más dispersa en tonos rosa blanquecino la presencia de sombras al este y sur de la microcuenca del río Tingo.

En la figura 10 se aplicó la combinación 231, se aprecia en tonos magenta la presencia de infraestructura correspondiente a las mineras Sambita, Colorada y

San Lorenzo al centro y norte de la microcuenca del río Tingo y en tonalidades lilas la presencia de cuerpos de agua superficial e infraestructura vial.

En la figura 11 se aplicó la combinación 321, se aprecia en color rojo brillante la distribución de la vegetación en toda la cuenca del río Tingo, vegetación que compone la vegetación vigorosa y poco vigorosa en conjunto

En la figura 11 se aprecia la creación de la máscara compuesta en la cual se observa en tonos grises toda la información que será suprimida de la imagen con la finalidad de no obtener información de estas zonas, la máscara se aplicará en la imagen en falso color, el umbral total de información presenta un valor de 0 a 255 de los cuales se eliminará toda la información contenida entre el rango de 0 a 150.



Figura 9. Combinación 835, discriminación de nubes y sombras

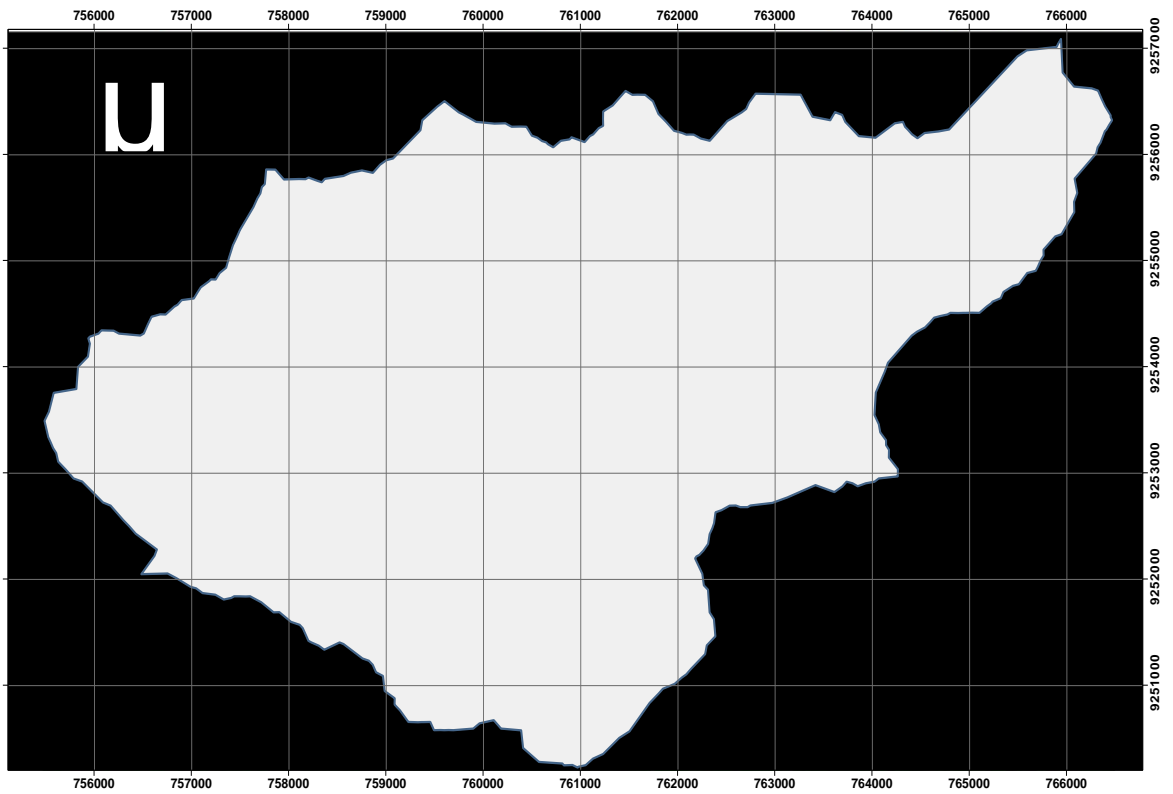


Figura 10. Combinación 231. Discriminación de zonas urbanas y agua superficial

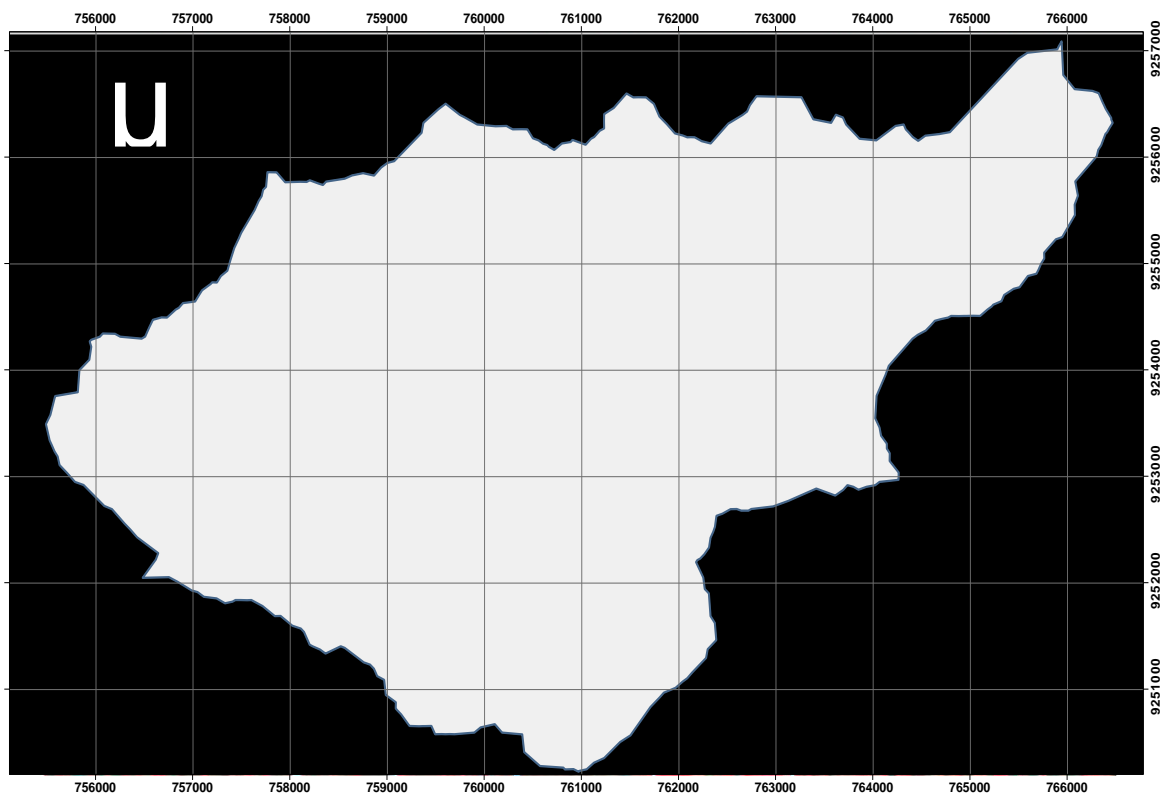


Figura 11. Combinación 321, discriminación de vegetación.

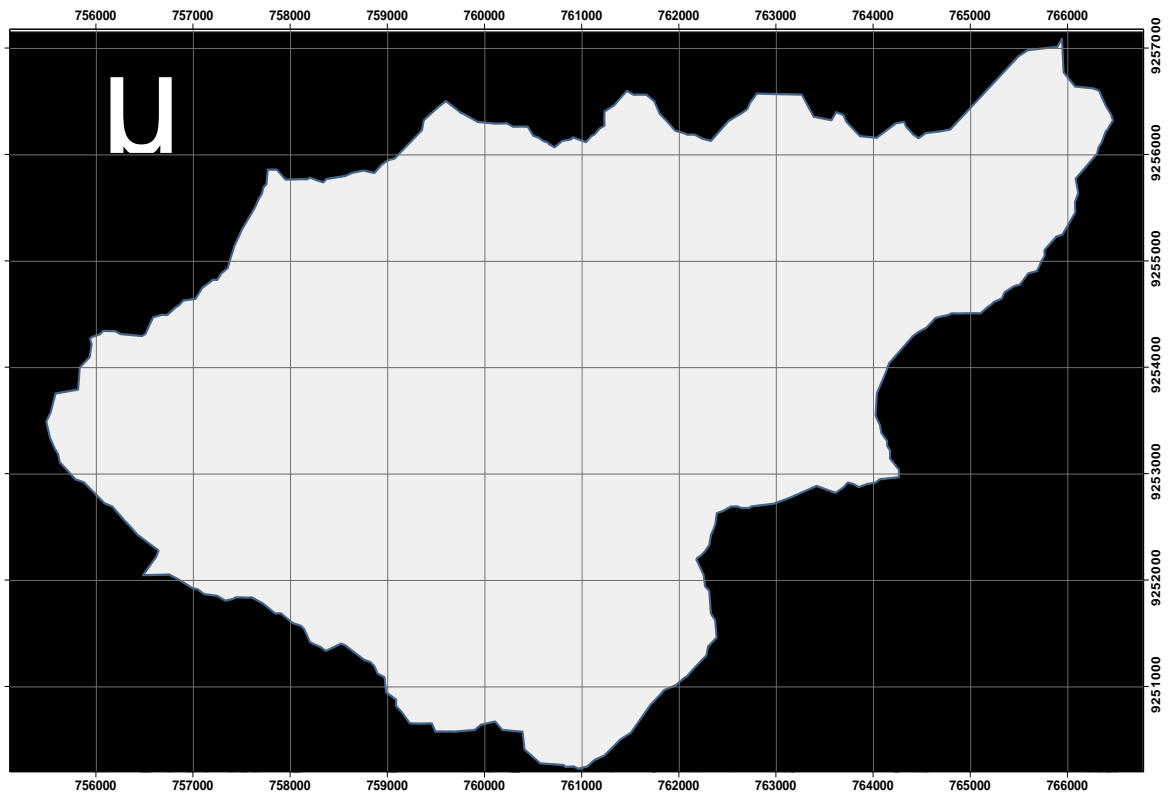


Figura 12. Creación de máscara compuesta

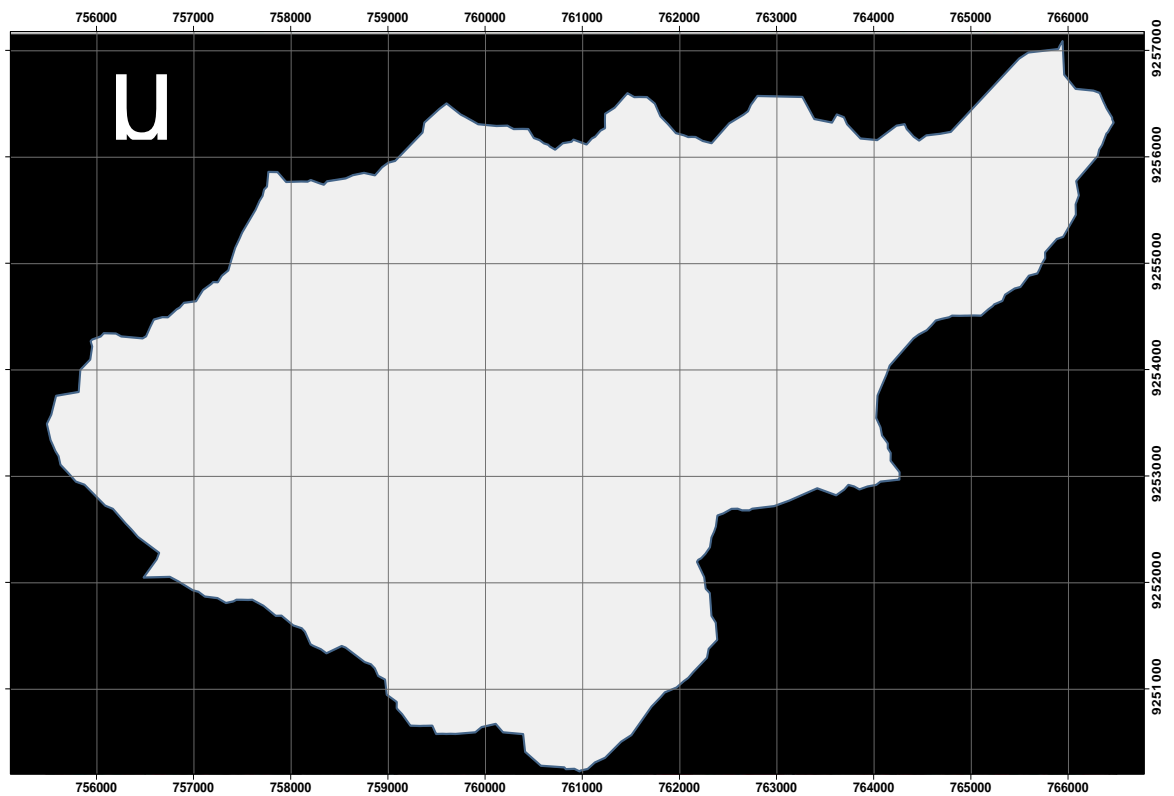


Figura 13. Aplicación de máscara en imagen en falso color 321.

En la imagen 13 se muestra el resultado final del enmascaramiento, esta imagen representa la imagen corregida y enmascarada lista para el análisis espectral de minerales de sulfuro

2.4.2.5. Creación de librerías espectrales

Para realizar el análisis espectral mediante el método SAM es necesario el uso de una librería espectral base que sirve para comparar las firmas espectrales identificadas en la imagen; determinándose así, la similitud entre las dos firmas espectrales mediante el calculando del ángulo espectral entre ellos, tratándolos como unidades vectoriales en el espacio espectral con dimensionalidad espectral igual al número de bandas.

Para la creación de las librerías espectrales fue necesario determinar que minerales de sulfuro pueden generar contaminación, es por ello que se analizó información de autores que estudiaron el comportamiento en campo y laboratorio de estos minerales.

Identificándose que los sulfuros de la tabla 8, componen desechos mineros. De los sulfuros que componen los desechos mineros fue necesaria la búsqueda de la firma espectral correspondiente, para lo cual se utilizó la base de firmas del Instituto Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la base de firmas del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL).

Tabla 8

Minerales de sulfuro que componen desechos mineros

| Mineral | Minerales ISIRIS | Fórmula |
|--------------|------------------|---|
| Pirita | Pyrite | FeS ₂ |
| Marcasita | Marcasite | FeS ₂ |
| Pirrotita | Pyrrhotite | Fe _(1-x) S |
| Calcopirita | Chalcopyrite | CuFeS ₂ |
| Bornita | Bornite | Cu ₅ FeS ₄ |
| Esfalerita | Sphalerite | (Zn,Fe)S |
| Pentlandita | Pentlandite | (Fe,Ni) ₉ S ₈ |
| Enargita | Enargite | Cu ₃ AsS ₄ |
| Galena | Galena | PbS |
| Molibdenita | Molybdenite | MoS ₂ |
| Thenardita | Thenardite | Na ₂ SO ₄ |
| Tetrahedrita | Tetrahedrite | (Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ |
| Cinabrio | Cinnabar | HgS |
| Cobaltita | Cobaltite | CoAsS |
| Antimonita | Stibnite | Sb ₂ S ₃ |
| Rejalgar | Realgar | AsS |
| Oropimente | Orpiment | As ₂ S ₃ |

Una vez se logró encontrar las firmas espectrales de minerales como:

Pirita, Pirrotita, Thenardita, Galena, Calcopirita, Esfalerita, Cobaltita y Cinabrio
en la base espectral de la USGS; Rejalgar, Molibdenita, Marcasita, Bornita, en la
base espectral del JPL

A continuación, se detalla cada una de las firmas espectrales por mineral:

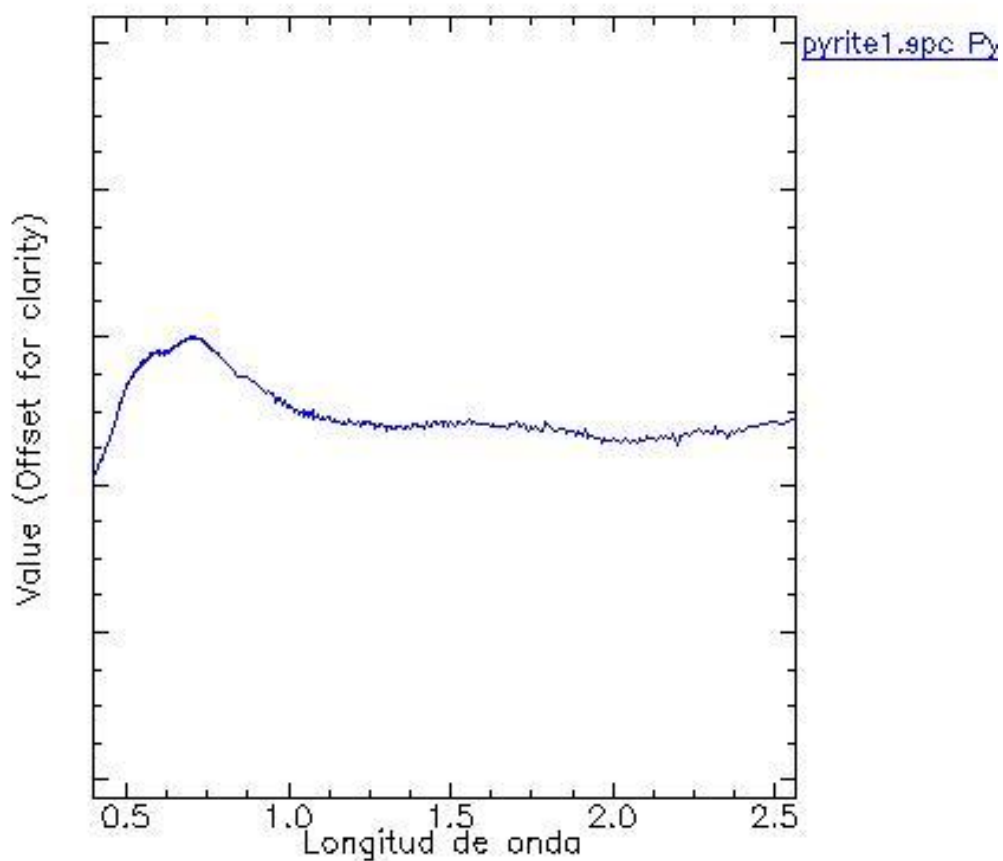


Figura 14. Firma espectral de Pirita

Fuente: USGS (2015)

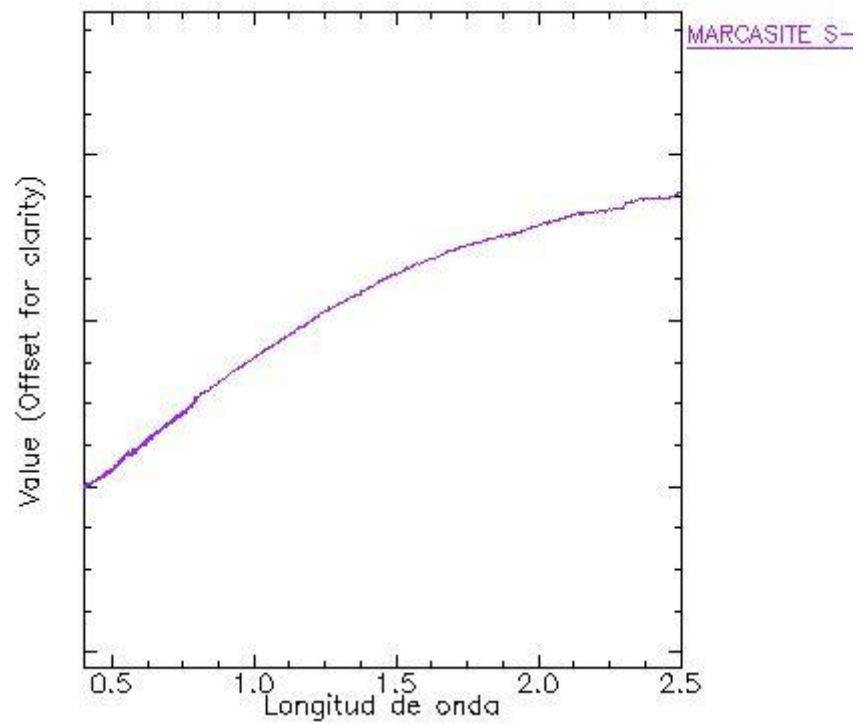


Figura 15. Firma espectral de Marcasita

Fuente: JPL (2016)

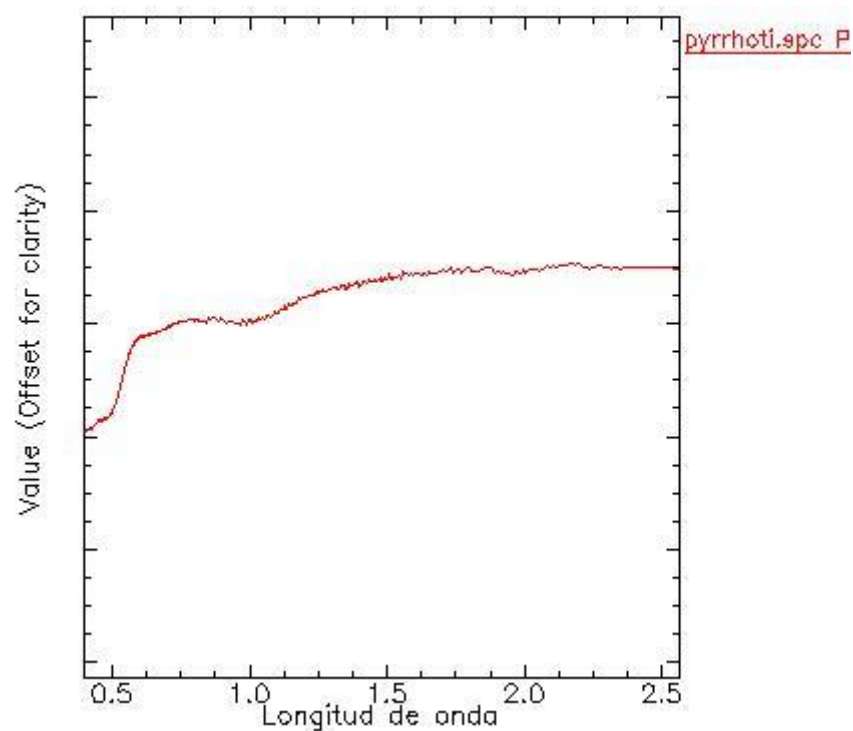


Figura 16. Firma espectral de Pirrotita

Fuente: USGS (2015)

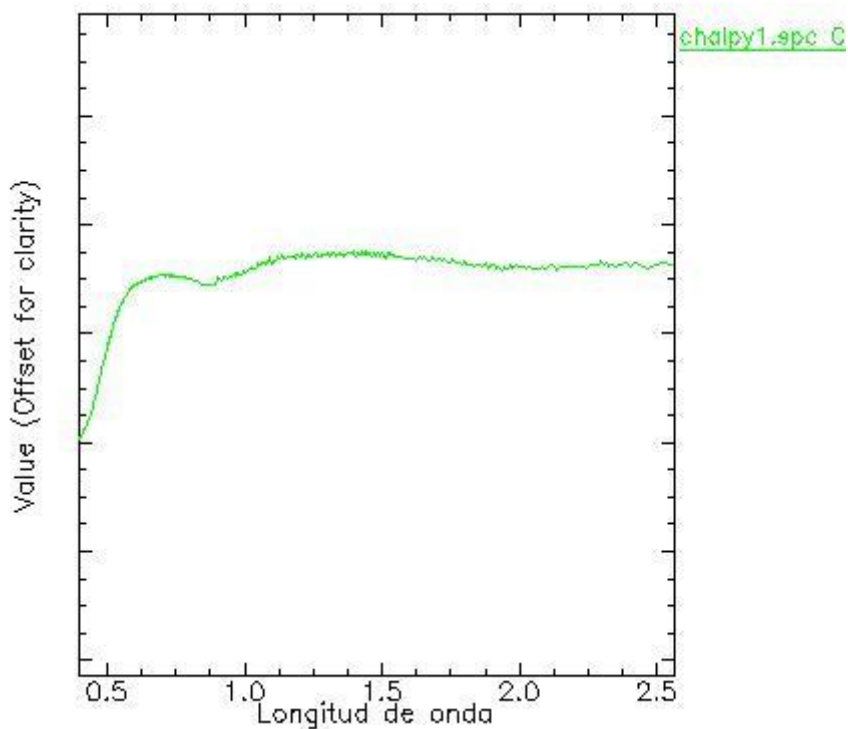


Figura 17. Firma espectral de Calcopirita

Fuente: USGS (2015)

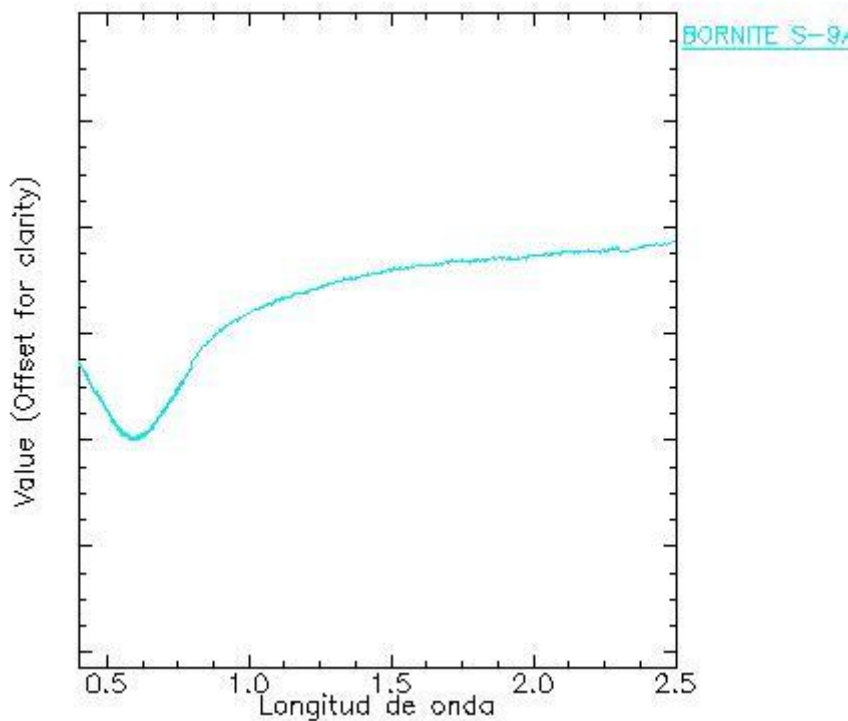


Figura 18. Firma espectral de Bornita

Fuente: JPL (2016)

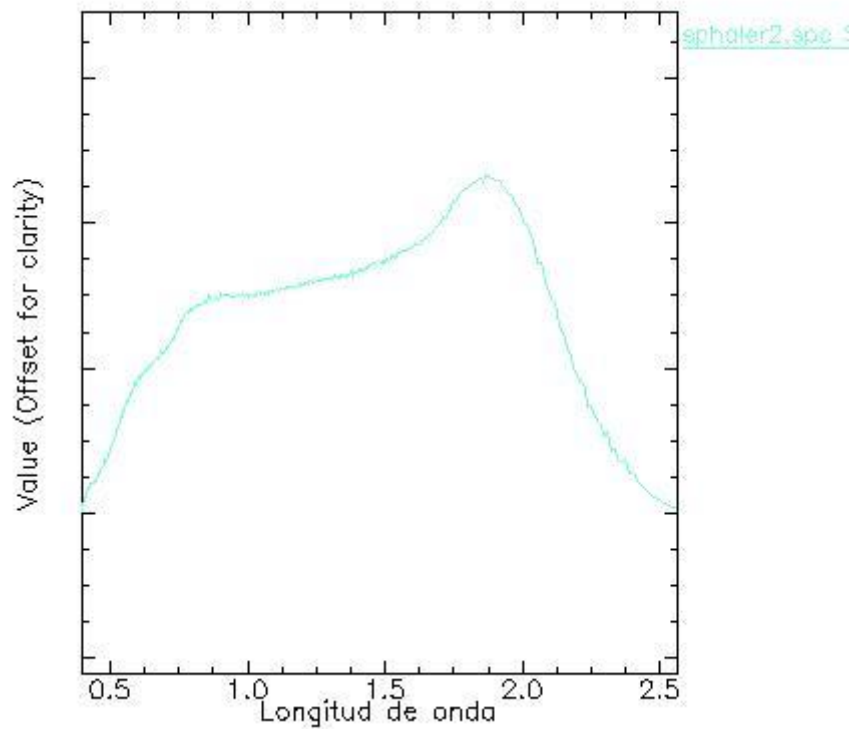


Figura 19. Firma espectral de Esfalerita

Fuente: USGS (2015)

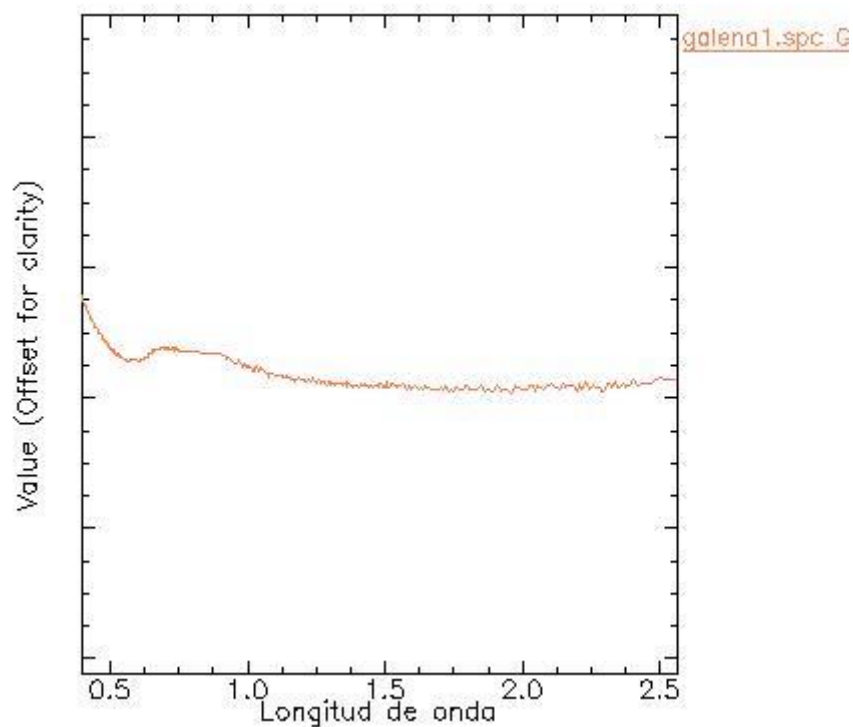


Figura 20. Firma espectral de Galena

Fuente: USGS (2015)

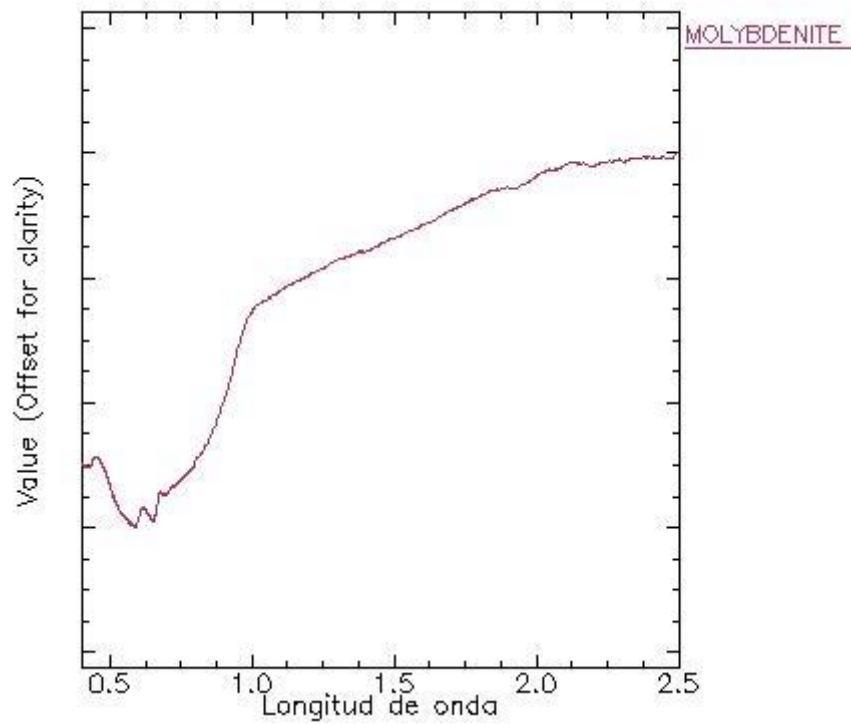


Figura 21. Firma espectral de Molibdenita

Fuente: JPL (2016)

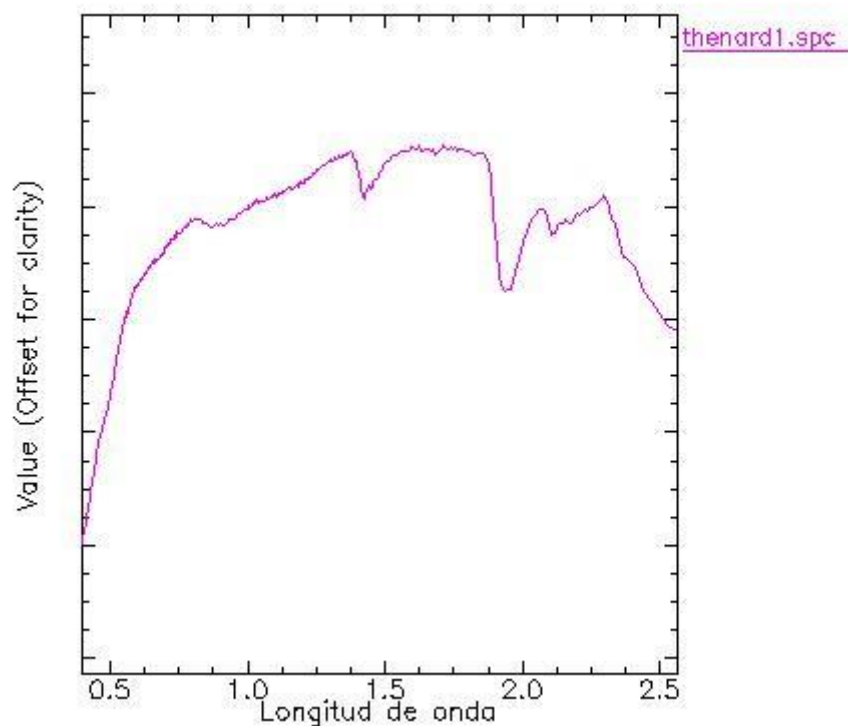


Figura 22. Firma espectral de Thenardita

Fuente: USGS (2015)

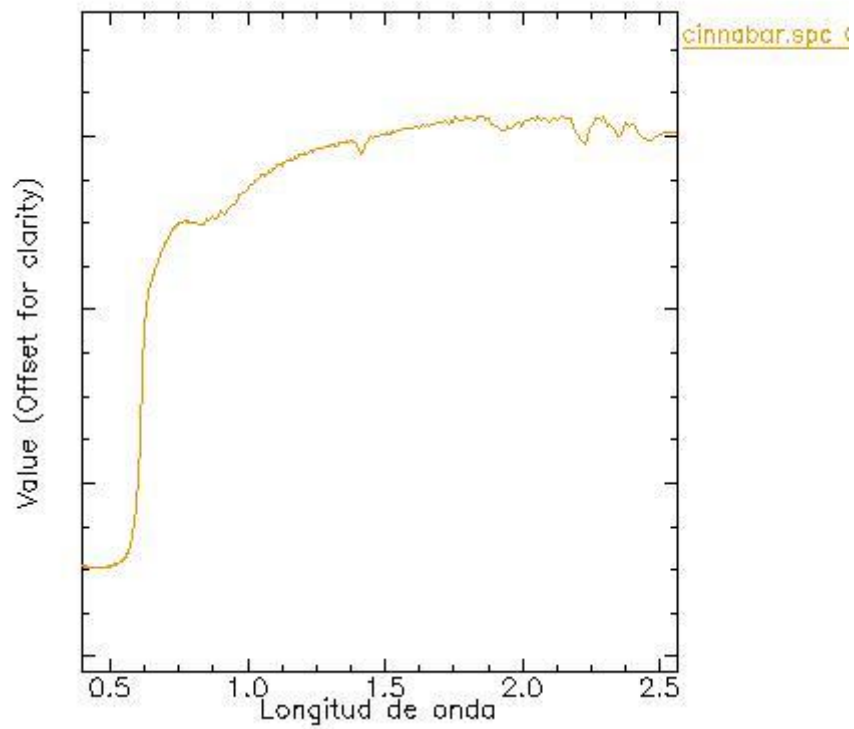


Figura 23. Firma espectral de Cinabrio

Fuente: USGS (2015)

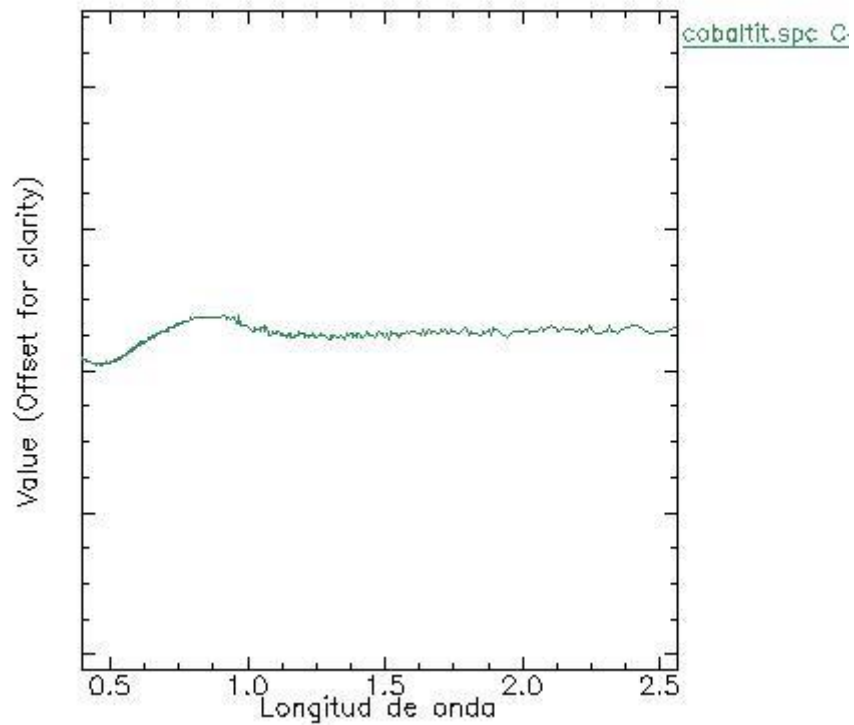


Figura 24. Firma espectral de Cobaltita

Fuente: USGS (2015)

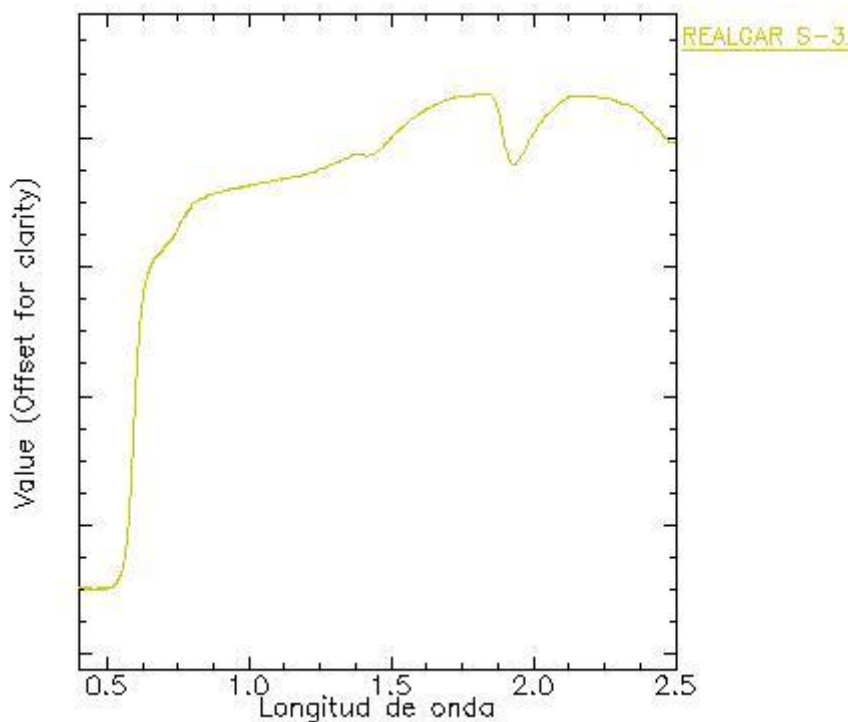


Figura 25. Firma espectral de Rejalgar

Fuente: JPL (2016)

Las firmas espectrales fueron colectadas en dos librerías espectrales (Librería N°1 y librería N°2), con longitud de onda de 0 a 2.5 μm . con códigos de color que se utilizará como identificador en la presentación.

Tabla 9

Código RGB por color

| Mineral | Color | Código RGB | Mineral | Color | Código RGB |
|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Cobaltita | Verde 3 | 0-255-205 | Pirita | Azul | 0-0-255 |
| Cinabrio | Naranja | 255-128-0 | Rejalgar | Amarillo 2 | 255-255-0 |
| Galena | Coral | 179-40-33 | Molibdenita | Maroom | 128-0-0 |
| Esfalerita | Aguamarina | 127-255-212 | Bornita | Cian | 0-255-255 |
| Calcopirita | Verde | 57-255-20 | Marcasita | Purpura | 74-7-100 |
| Pirrotita | Rojo | 255-0-0 | | | |

Fuente: JPL (2016)

2.4.2.6. Aplicación del método SAM

Este algoritmo, mide la similitud entre un espectro desconocido t , con uno referencial r , en n -dimensiones. Estos espectros son tratados como vectores en n -espacios y el ángulo que forman se denomina "ángulo espectral". Este valor en radianes es asignado al píxel correspondiente en la imagen resultante SAM, la cual posteriormente será analizada para identificar la mayor probabilidad de ocurrencia mediante el método MTMF.

En la zona de estudio se obtienen 10 firmas representativas denominadas nD Clases, las cuales serán comparadas espectrales en cada una de sus longitudes de onda y porcentaje de reflectancia.

Para comparar una firma proveniente de una imagen aster con una proveniente de una librería espectral es necesario realizar una simplificación denominada envolvente para resaltar picos de absorción y reflectancia en cada firma.

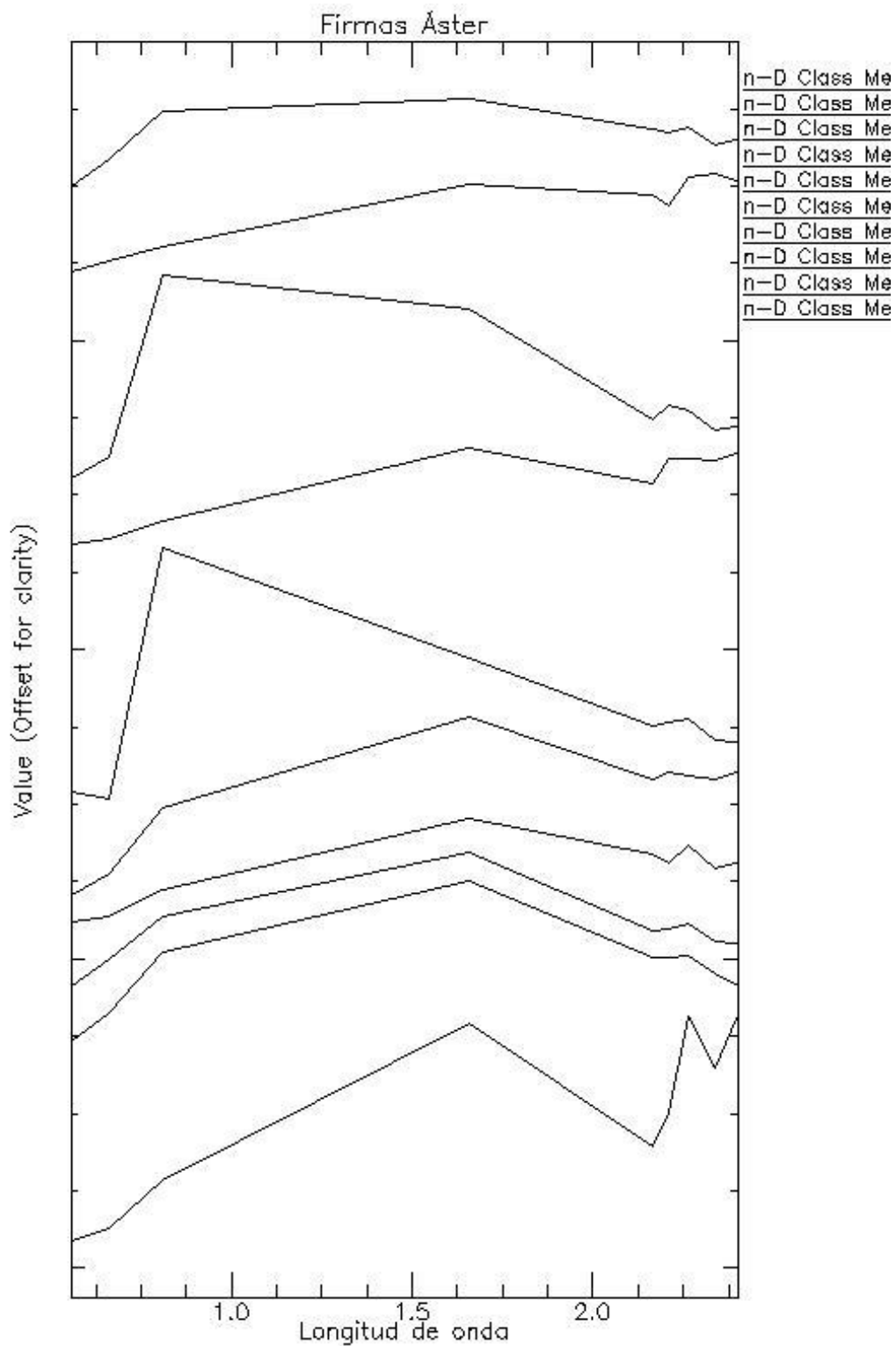


Figura 26. Firmas espectrales de la zona de estudio

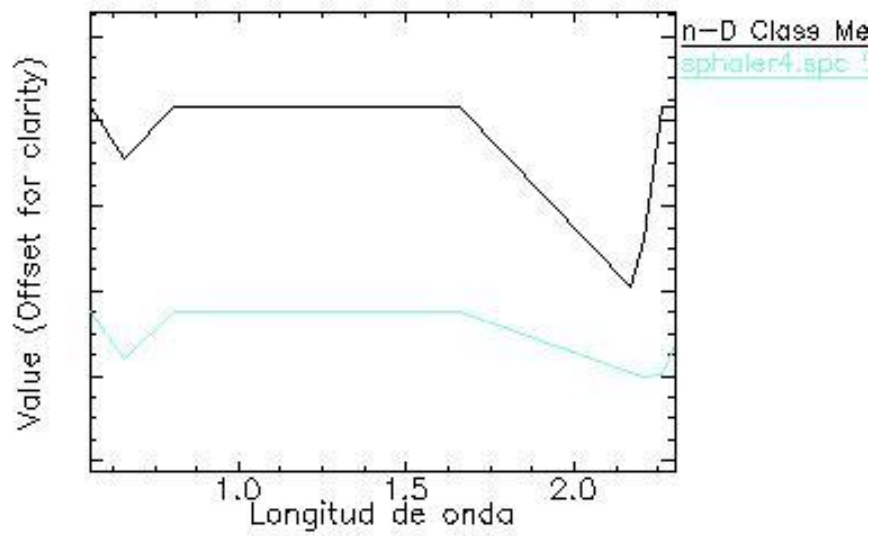


Figura 27. Comparación del nD01 con firma espectral de Esfalerita

Tabla 10

Comparación espectral nD01 – Esfalerita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| nD 01 | 0.66 | |
| | | 0.81 |
| | | 1.66 |
| Sphaler4 | 2.16 | |
| | 0.65 | |
| | | 0.81 |
| | | 1.63 |
| | 2.17 | |

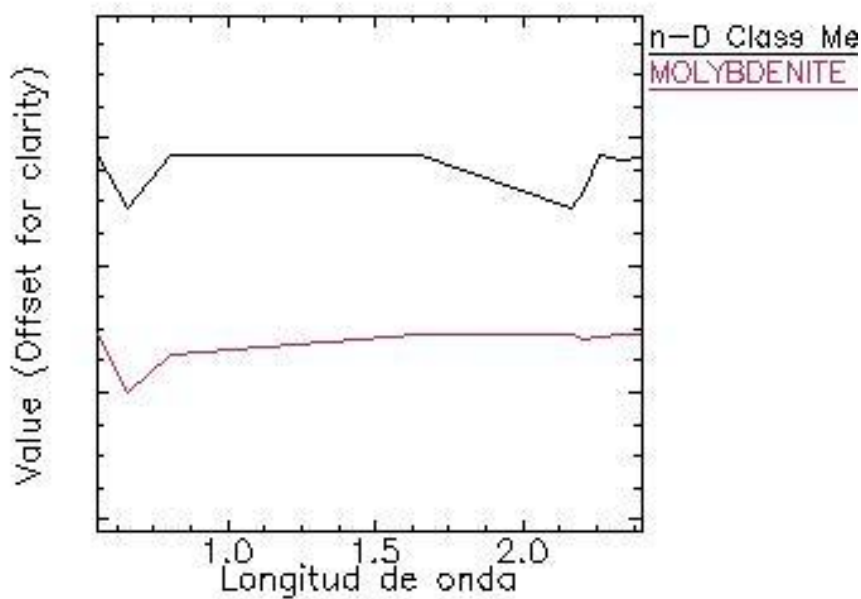


Figura 28. Comparación del nD02 con firma espectral de Molibdenita

Tabla 11

Comparación espectral nD02 – Molibdenita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|-------------|-----------|--------------|
| nD 02 | 0.63 | |
| | | 0.79 |
| | | 1.69 |
| | 2.19 | |
| Molybdenite | | 2.25 |
| | 0.64 | |
| | | 0.78 |
| | | 1.69 |
| | 2.20 | |
| | | 2.3 |

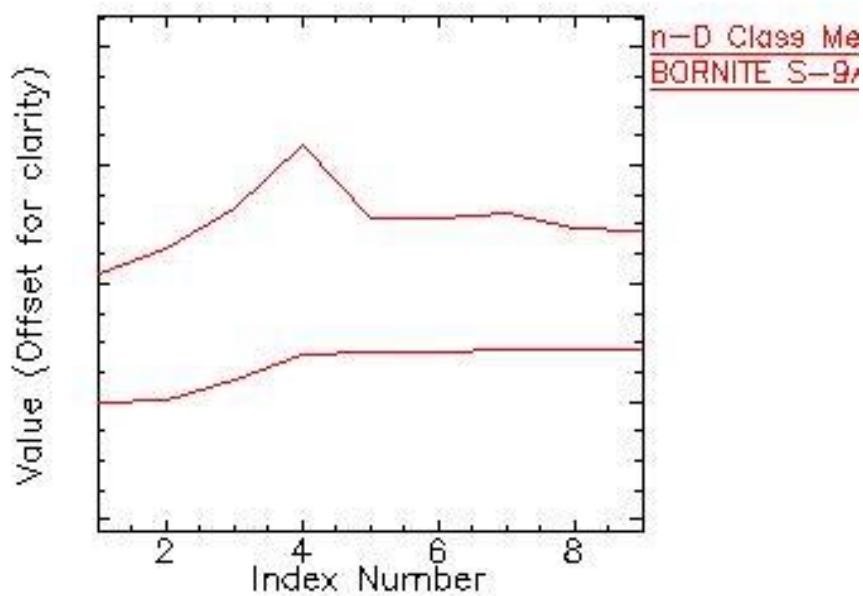


Figura 29. Comparación del nD03 con firma espectral de Bornita

Tabla 12

Comparación espectral nD03 – Bornita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| nD 03 | 2.02 | |
| | | 4.05 |
| | 5.05 | 7.1 |
| Bornite | 2.0 | |
| | | 4.1 |
| | 5.05 | 7.1 |

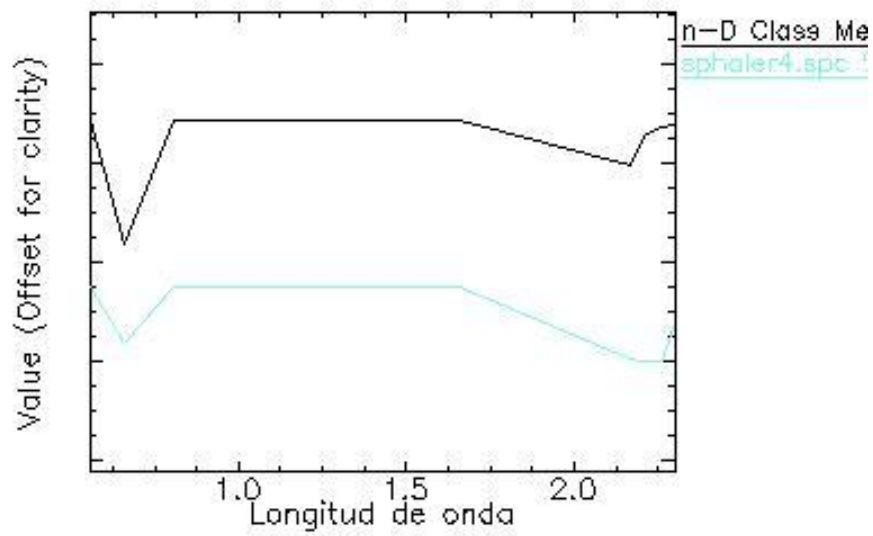


Figura 30. Comparación del nD05 con firma espectral de Esfalerita

Tabla 13

Comparación espectral nD05 – Esfalerita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| nD 05 | 0.65 | |
| | | 0.85 |
| | | 1.64 |
| | 2.16 | |
| Sphaler4 | 0.65 | |
| | | 0.84 |
| | | 1.64 |
| | 2.15 | |

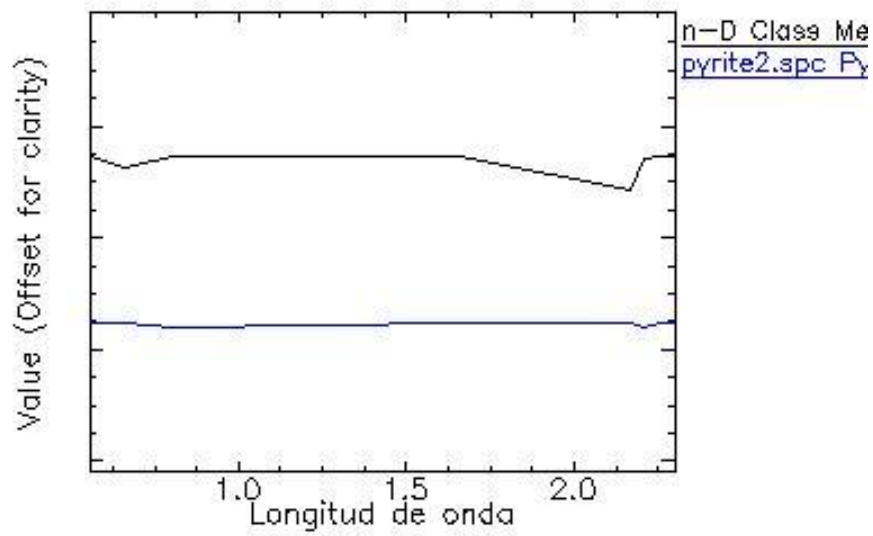


Figura 31. Comparación del nD07 con firma espectral de Pirita

Tabla 14

Comparación espectral nD07 – Pirita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| nD 07 | 0.19 | |
| | | 1.67 |
| | 2.15 | 2.20 |
| Pyrite | 0.17 | |
| | | 1.66 |
| | 2.15 | 2.25 |

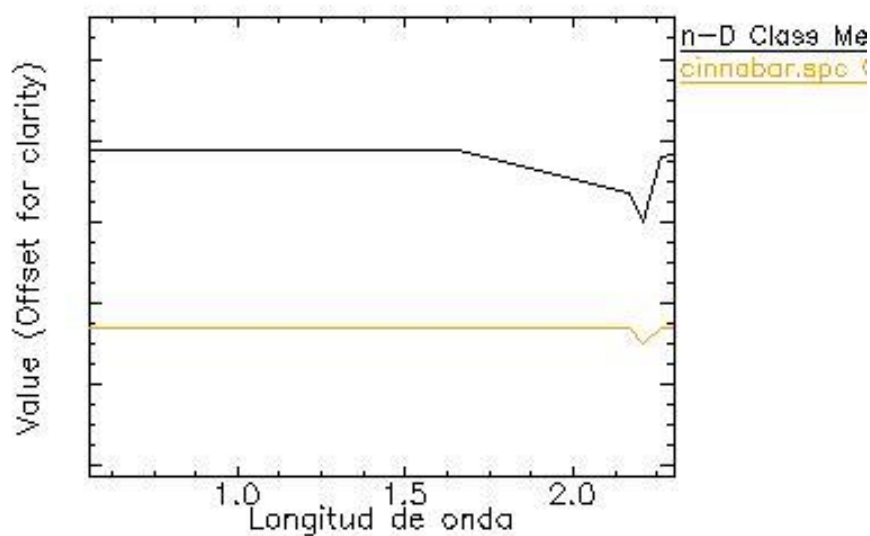


Figura 32. Comparación del nD09 con firma espectral de Cinabrio.

Tabla 15

Comparación espectral nD09 – Cinabrio

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| nD 09 | | 1.65 |
| | 2.13 | |
| | 2.19 | 2.26 |
| Cinnabar | | 1.67 |
| | 2.13 | |
| | 2.18 | 2.27 |

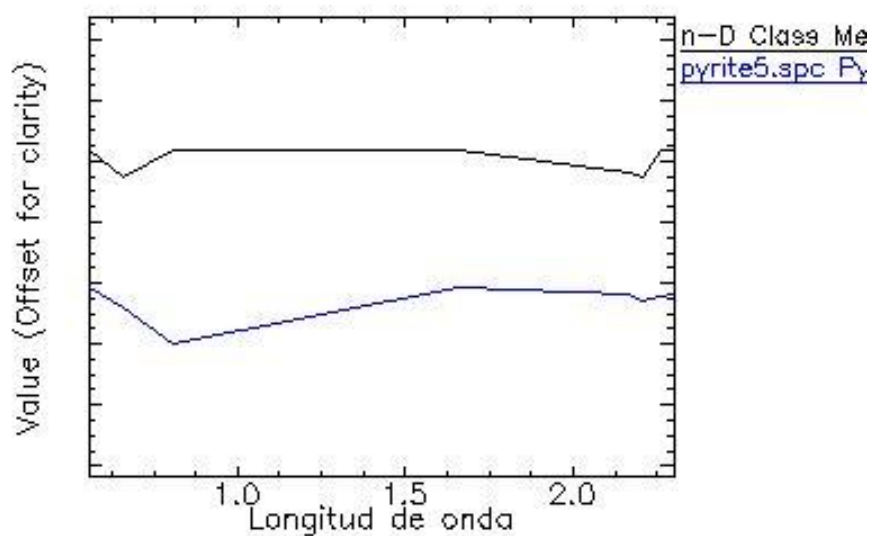


Figura 33. Comparación del nD10 con firma espectral de Pirita.

Tabla 16

Comparación espectral nD010 – Pirita

| nD / Firma | Absorción | Reflectancia |
|------------|-----------|--------------|
| | 0.69 | |
| | | 0.8 |
| nD 010 | | 1.69 |
| | 2.19 | |
| | 2.25 | |
| | 0.71 | |
| | | 0.81 |
| Pyrite | | 1.7 |
| | 2.19 | |
| | 2.25 | |

2.4.2.7. Aplicación método MTMF

La aplicación del método MTMF se realizó para definir de forma más precisa la ubicación especial de los minerales detectados, por ser un filtro que permite discriminar con mayor eficacia los valores extremos, reduciendo el número de positivos falsos que a veces se calculan al usar la filtración emparejada.

El método consistió en ingresar todos los píxeles que caracterizan un mineral identificado, en un histograma que permita la visualización completa por píxel, en el eje vertical la improbabilidad de ocurrencia y en el eje horizontal la probabilidad de ocurrencia, para lo cual se debe seleccionar solo los píxeles que se encuentren con menor improbabilidad y mayor probabilidad de ocurrencia; es decir solo los píxeles ubicados en la parte inferior derecha de cada uno de los histogramas por mineral histograma.

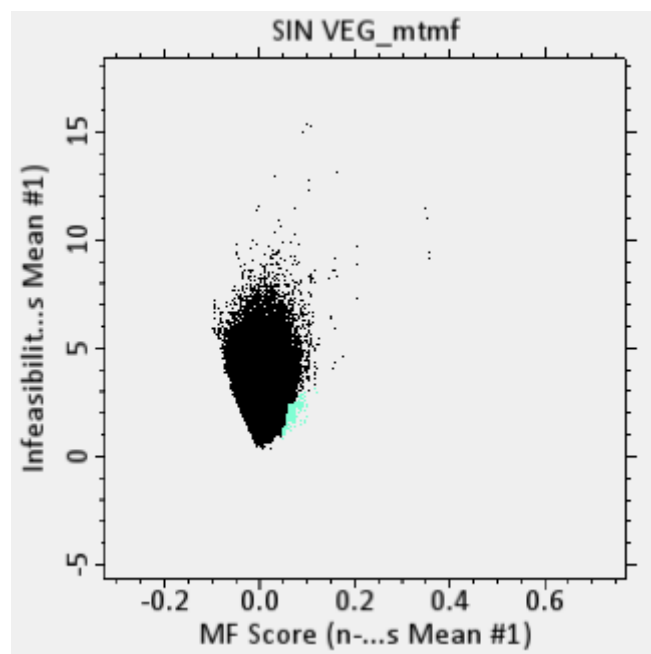


Figura 34. Probabilidad de ocurrencia de Esfalerita 1.

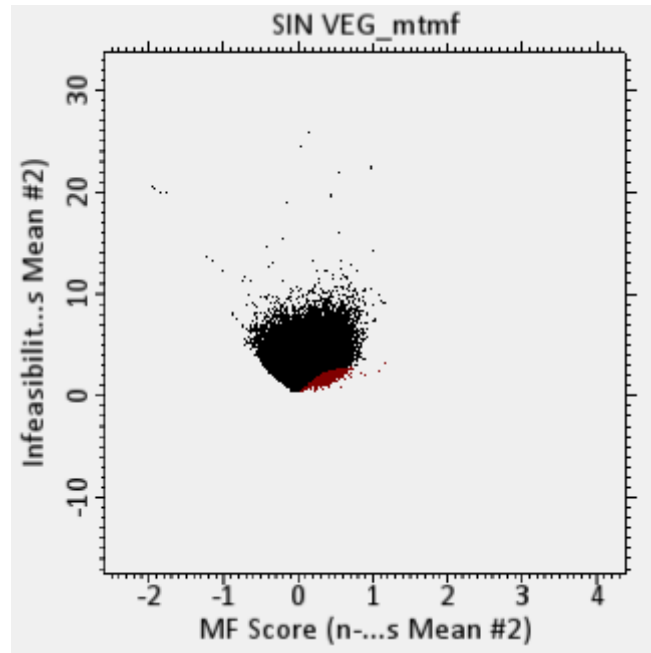


Figura 35. Probabilidad de ocurrencia de Molibdenita

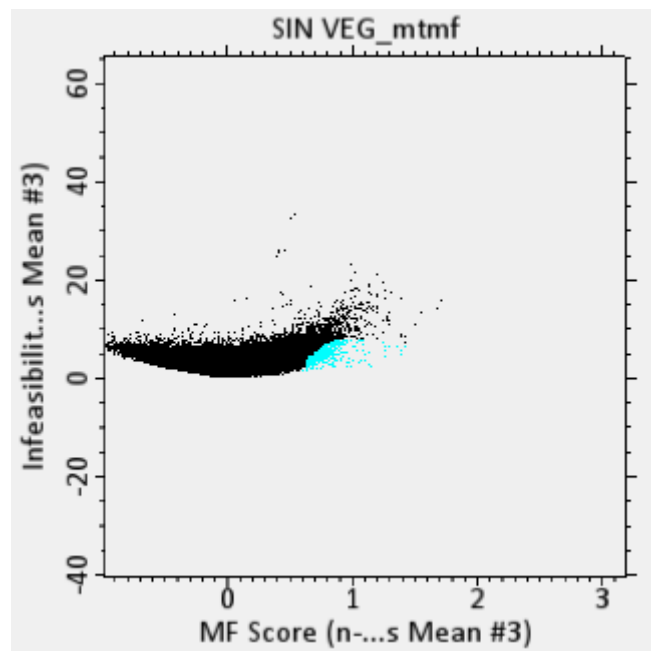


Figura 36. Probabilidad de ocurrencia de Bornita

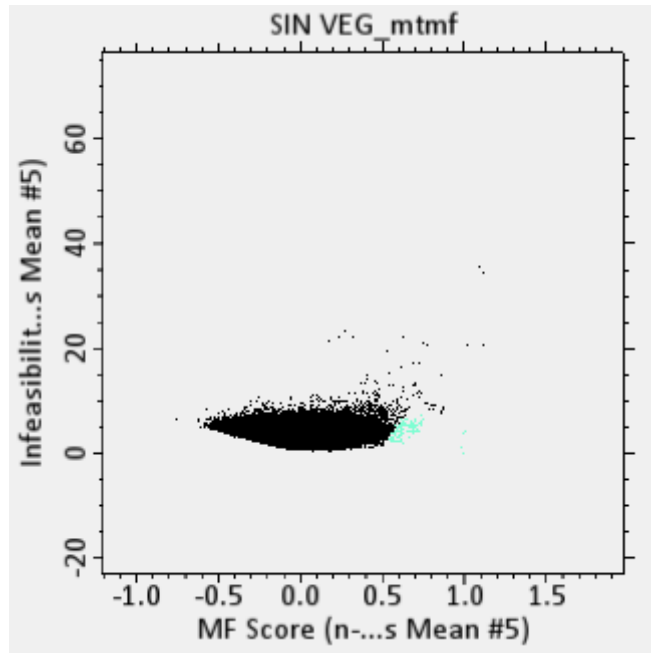


Figura 37. Probabilidad de ocurrencia de Esfalerita 2

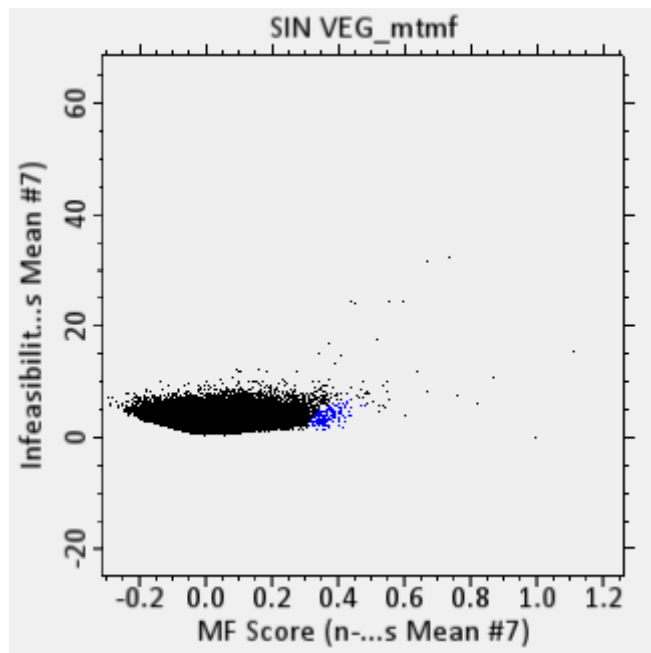


Figura 38. Probabilidad de ocurrencia de pirita 1

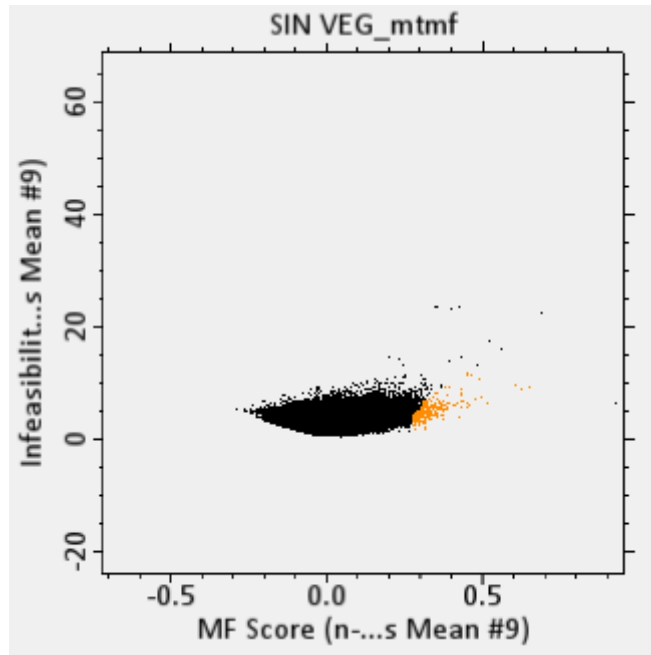


Figura 39. Probabilidad de ocurrencia de Cinabrio

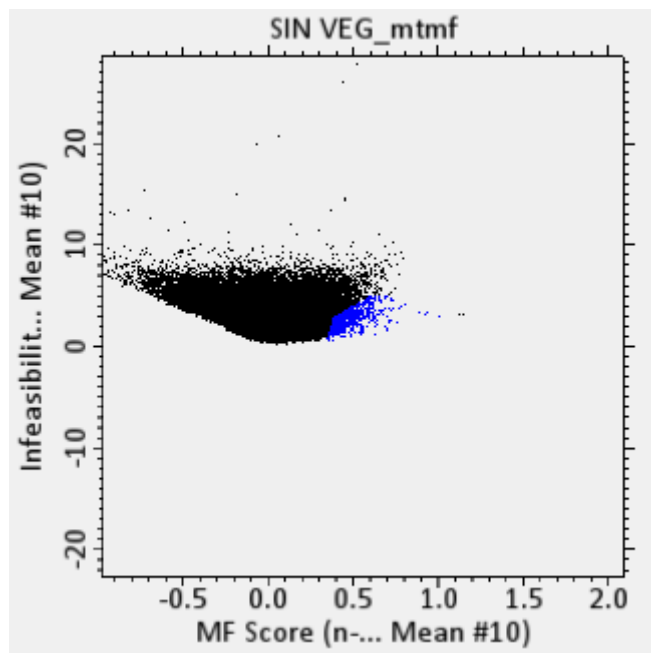


Figura 40. Probabilidad de ocurrencia de Pirita 2

2.4.2.8. Etapa de post procesamiento

Para la etapa de post procesamiento se presentarán en resultados la ubicación espacial de los minerales de sulfuro, los cuales fueron exportados del software Geo imagen a el software ArcGIS haciendo la transformación ráster a Shapefile, Este resultado por medio del análisis de probabilidad de ocurrencia permite identificar en coordenadas cada una de las zonas en las que se aprecia exposición superficial de sulfuros.

2.4.2.9. Aspectos éticos de la investigación.

La presente investigación está basada en aspectos éticos planteados por CONICET en su documento “Principios éticos para el comportamiento del investigador científico y tecnológico referido a lineamientos éticos para la comunidad científica” y por Oliveros (2006) en su documento “Aspectos éticos de la investigación en Ingeniería Software que involucra seres humanos”. Estos documentos ponen énfasis en dos aspectos del trabajo de los investigadores: su posición frente a la sociedad y su responsabilidad frente a su propio quehacer.

En la investigación no se realizó ningún tipo de pruebas en humanos ni animales, tampoco se involucró algún impacto físico, químico o biológico en las comunidades aledañas o fauna de las zonas de estudio; la técnica utilizada es considerada una tecnología limpia de estudio, por lo cual, no se requirió consentimiento informado en la población.

En investigación se recolectó información bibliográfica que sirvió de guía para el manejo de las variables de estudio y la aplicación de la técnica de teledetección que estuvo basada en autores como: Ospina (2019), Guevara (2015), Ramírez y Villena (2017), Diaz y Castrejón (2018).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los minerales que generan contaminación y el resultado de la creación de la librería espectral que sirvió para la aplicación del método SAM.

Se generaron dos librerías espectrales una proveniente de la base espectral de la USGS y la segunda creada a partir de la base espectral de la JPL, ambas en rangos de 0 a 2.5 micrómetros (μm).

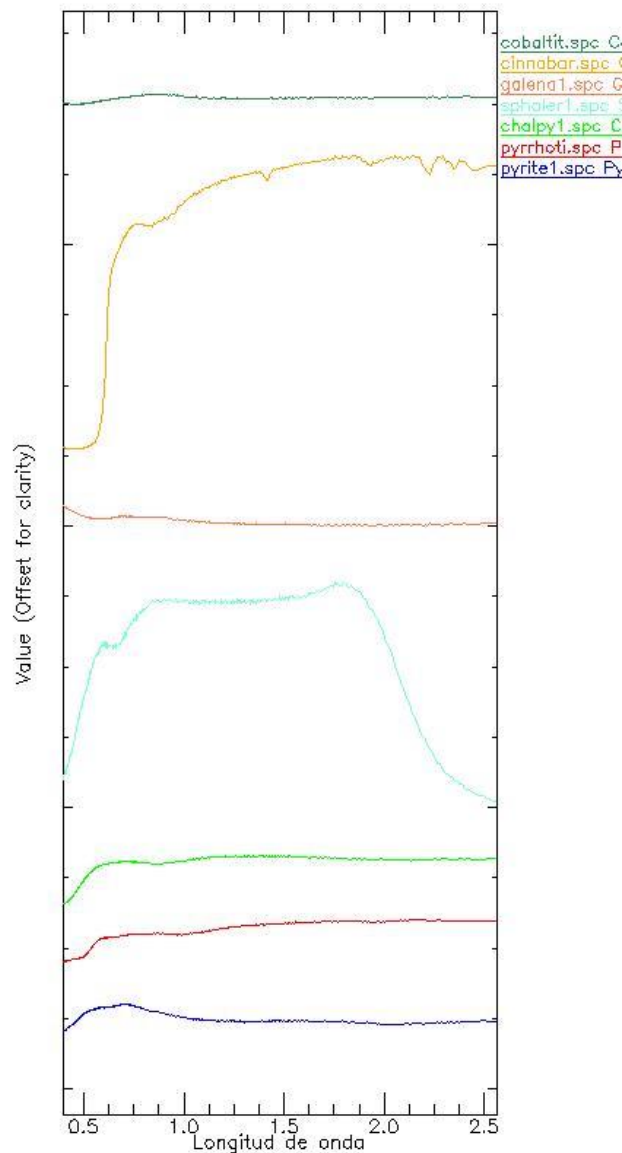


Figura 41. Librería N°1 para análisis espectral de la zona de estudio

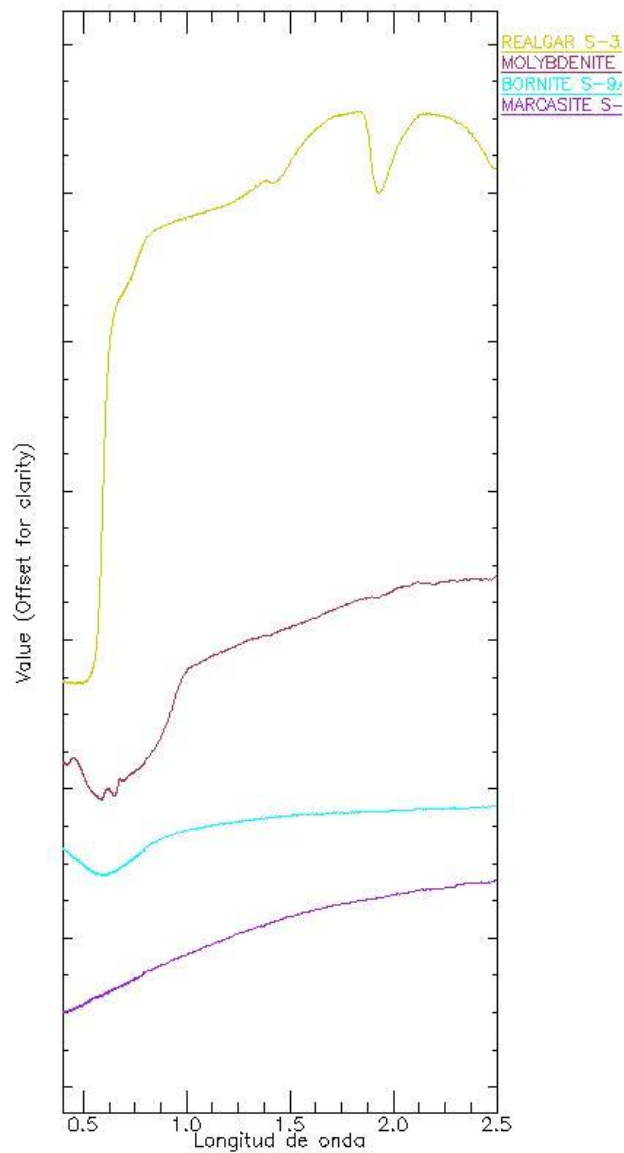


Figura 42. Librería N°2 para análisis espectral de la zona de estudio

Se presentan también los resultados provenientes del análisis SAM con la localización específica de Esfalerita, Pirita, Cinabrio, Molibdenita y Bornita en la cuenca del río Tingo.

La figura 43 presenta el resultado de ubicación de esfalerita tipo 1 en la cuenca del río Tingo, en color aguamarina se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al noroeste de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

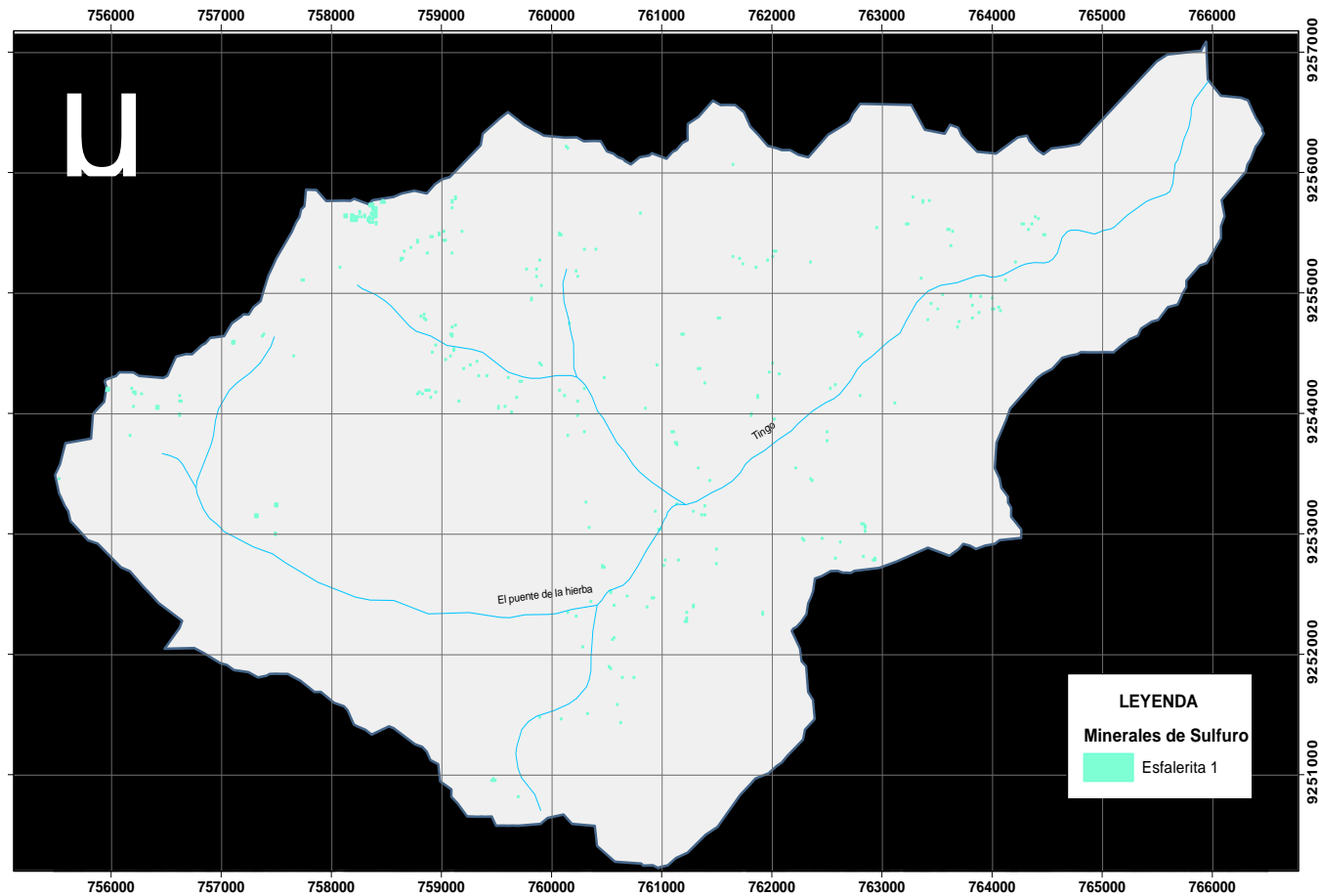


Figura 43. Localización espacial de Esfalerita 1 en la cuenca del río Tingo.

La figura 44 presenta el resultado de ubicación de esfalerita tipo 2 en la cuenca del río Tingo, en color aguamarina se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al noroeste y noroeste de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

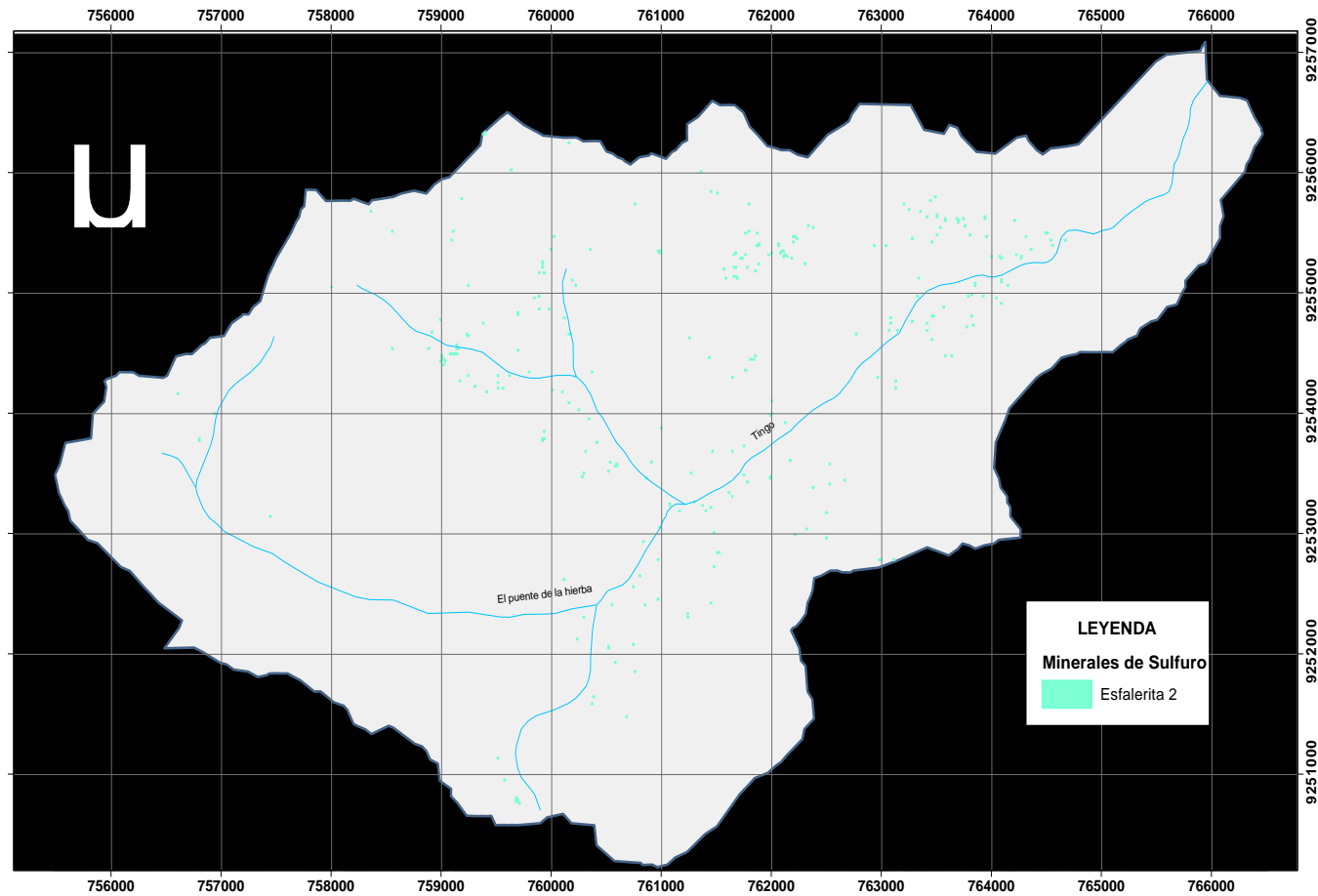


Figura 44. Localización espacial de Esfalerita 2 en la cuenca del río Tingo

La figura 45 presenta el resultado de ubicación de Molibdenita en la cuenca del río Tingo, en color maroon se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia en zonas cercanas a cauces de agua superficial. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

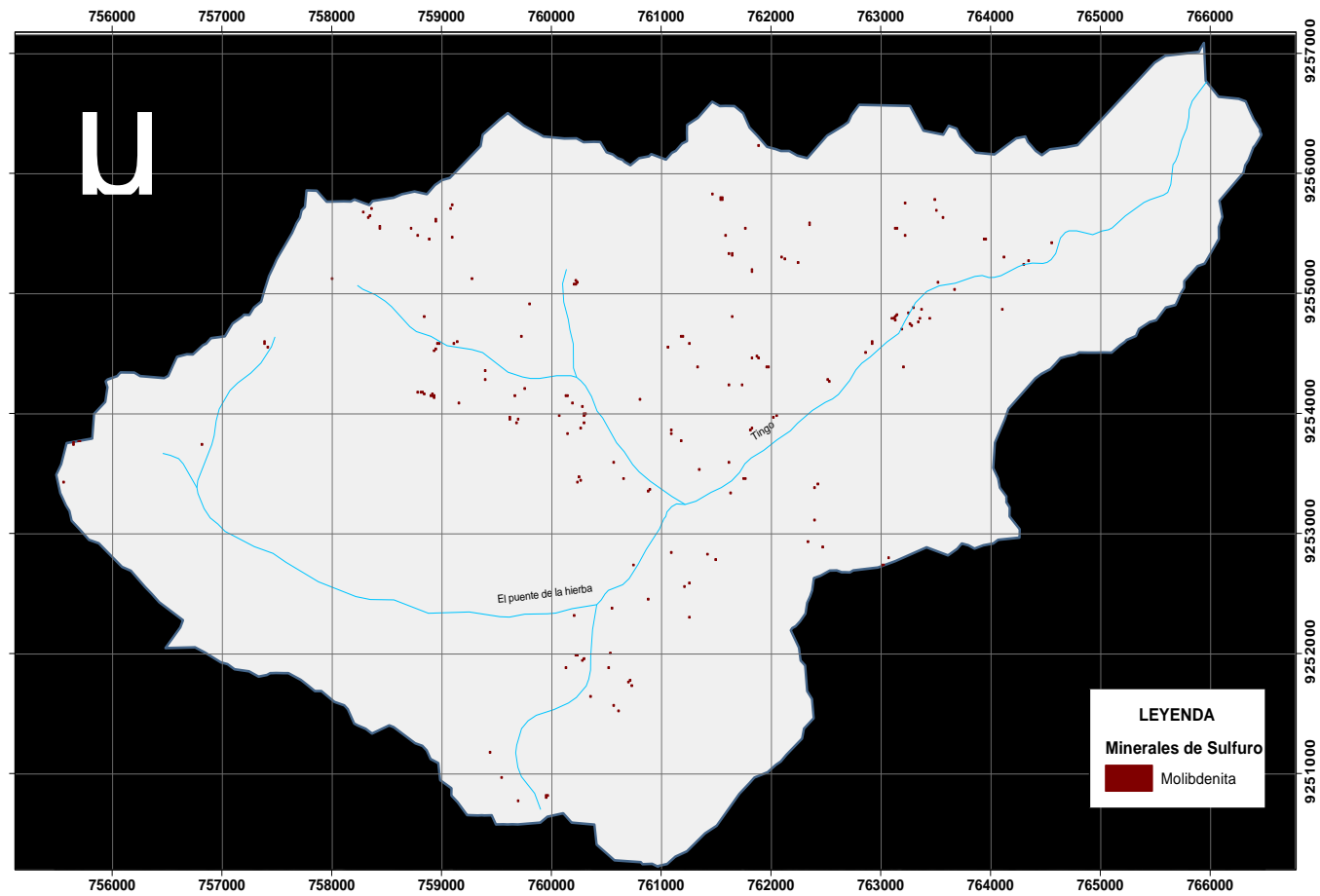


Figura 45.. Localización espacial de Molibdenita en la cuenca del río Tingo

La figura 46 presenta el resultado de ubicación de Bornita en la cuenca del río Tingo, en color cian se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al norte de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

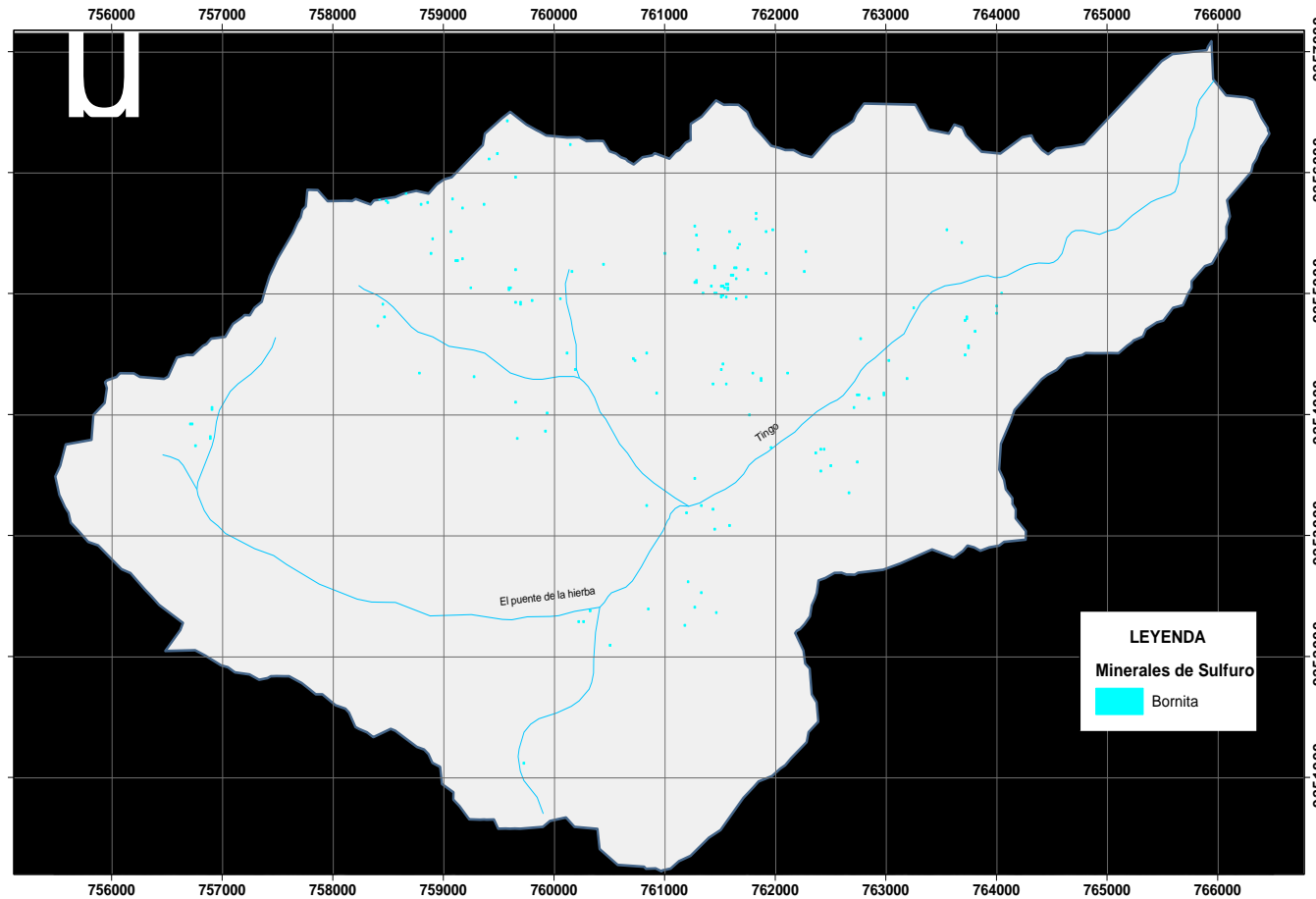


Figura 46. Localización espacial de Bornita en la cuenca del río Tingo

La figura 47 presenta el resultado de ubicación de Pirita tipo 1 en la cuenca del río Tingo, en color azul se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al norte y centro de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

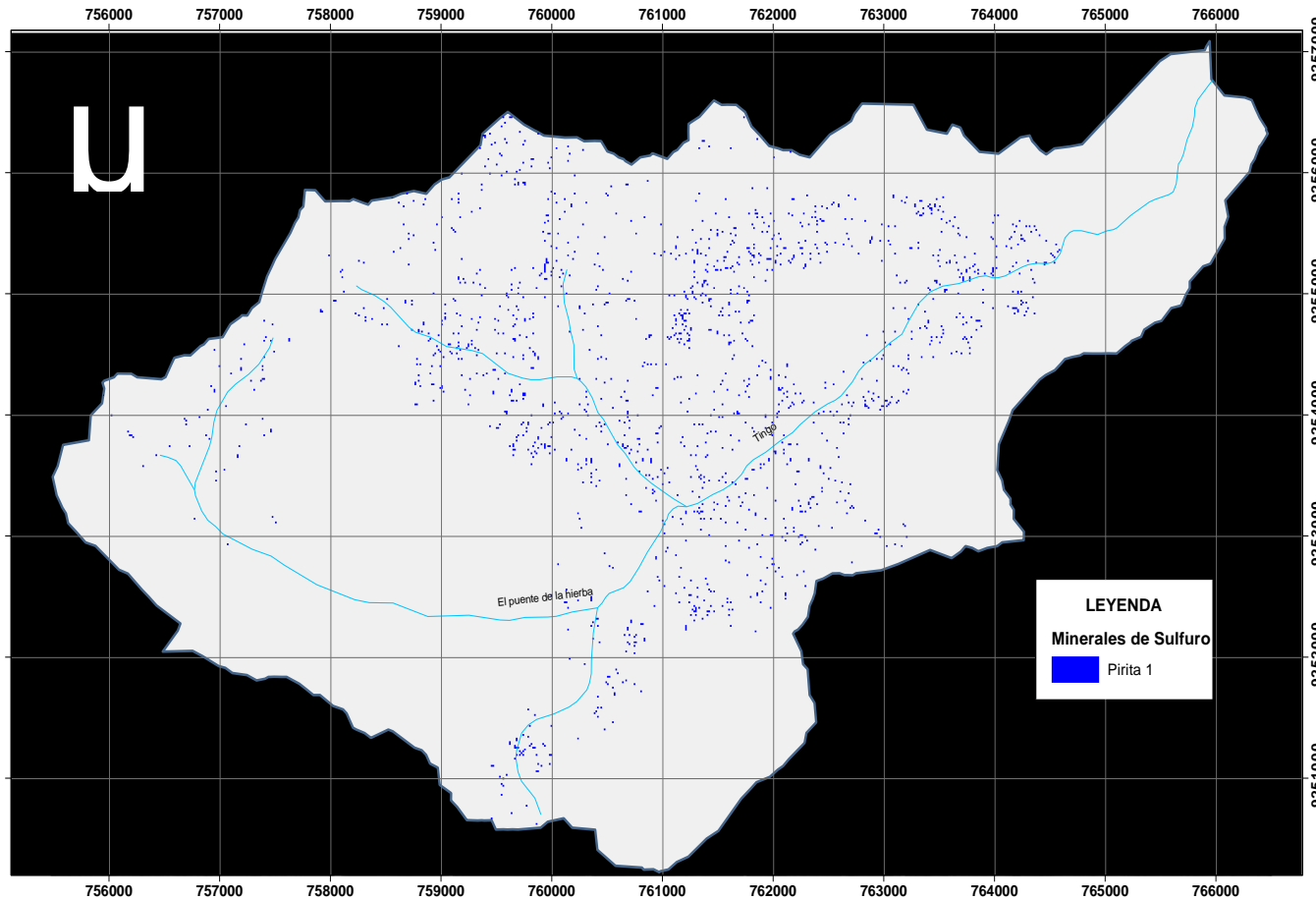


Figura 47. Localización espacial de Pirita 1 en la cuenca del río Tingo

La figura 48 presenta el resultado de ubicación de Pirita tipo 2 en la cuenca del río Tingo, en color azul se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al norte de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

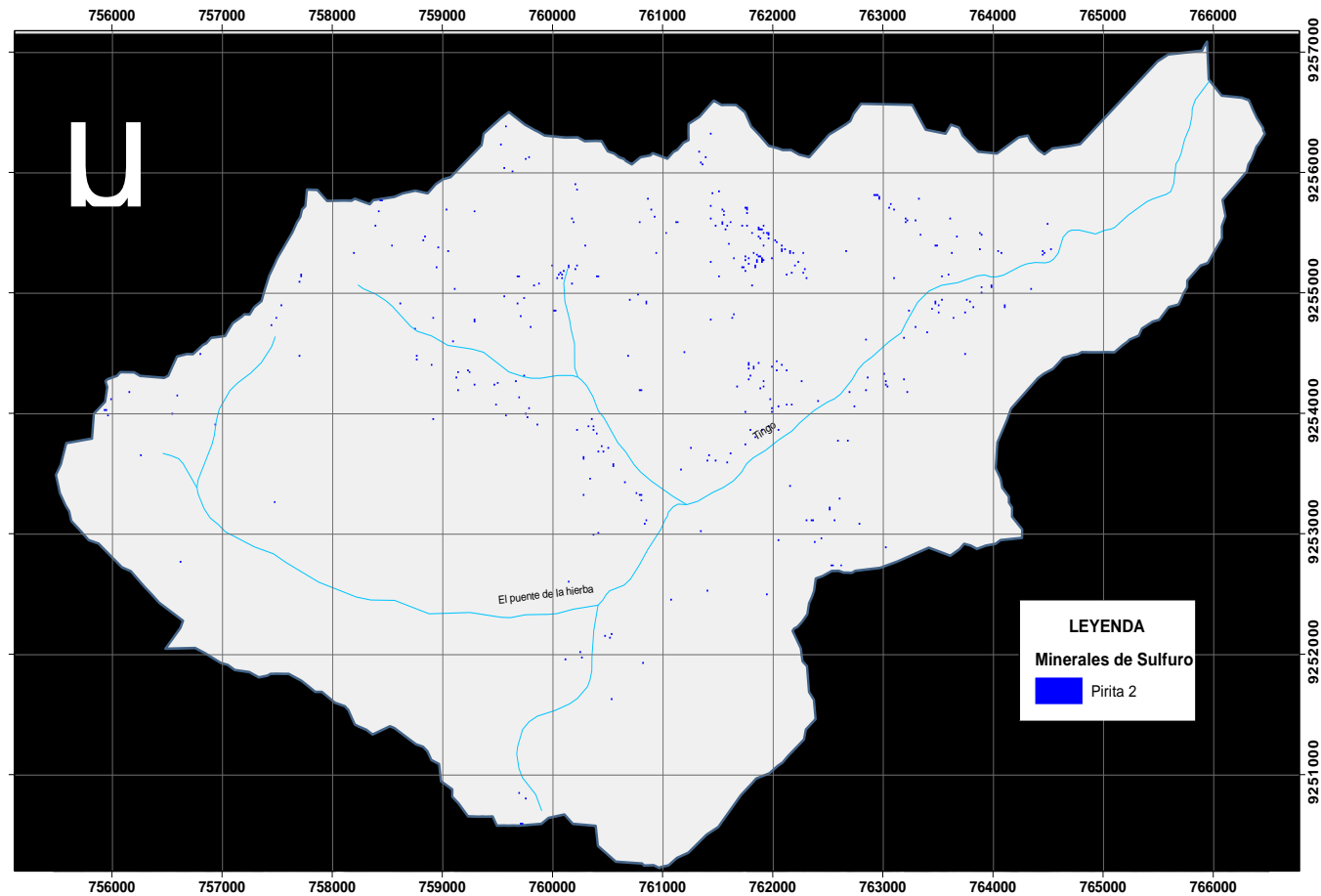


Figura 48.. Localización espacial de Pirita 2 en la cuenca del río Tingo

La figura 49 presenta el resultado de ubicación de cinabrio en la cuenca del río Tingo, en color naranja se puede observar este mineral que se extiende con mayor abundancia al norte de la zona. Las coordenadas de referencia se encuentran en el sistema WGS 84 – zona 17S

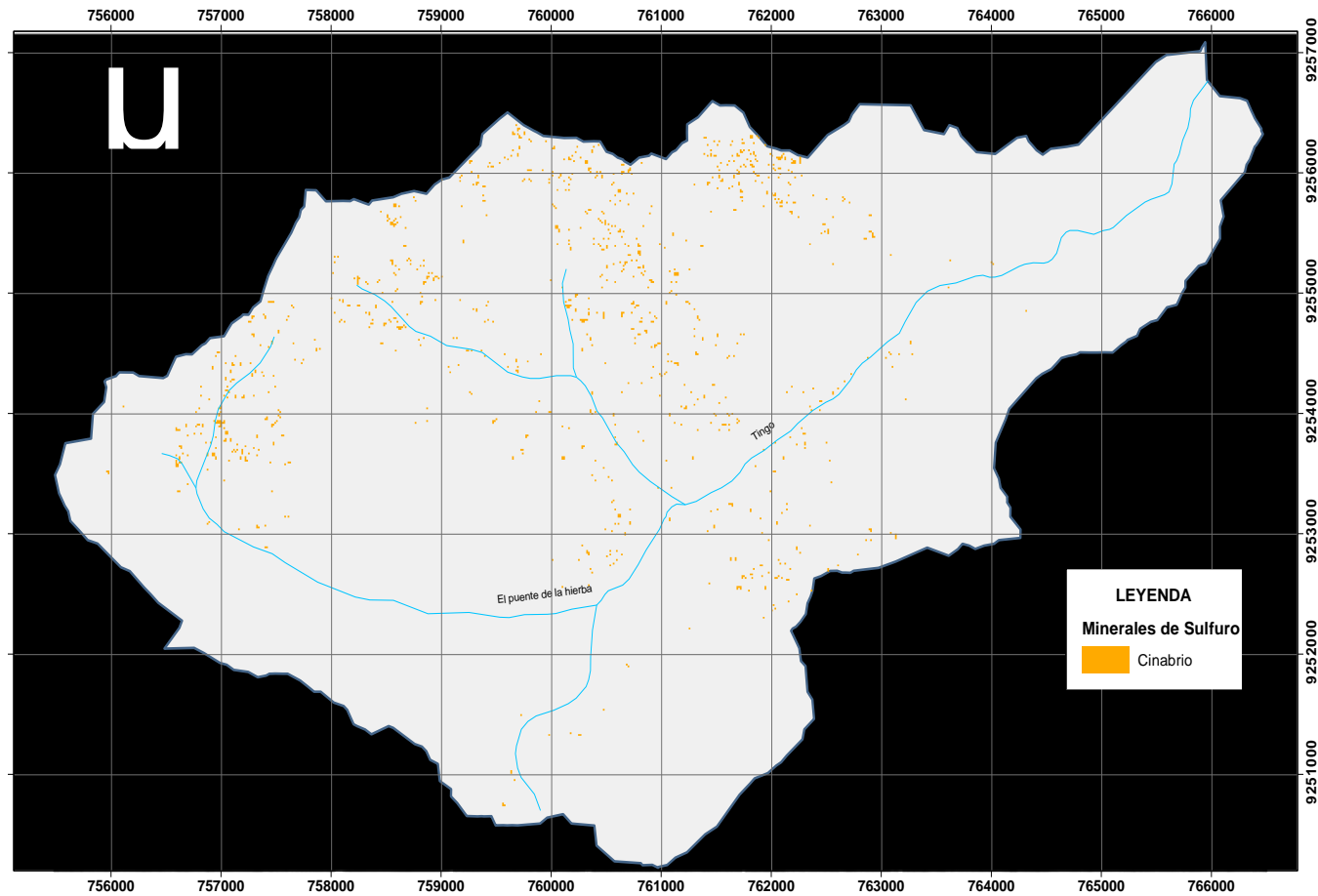


Figura 49. Localización espacial de Cinabrio en la cuenca del río Tingo

En la figura 50 se presenta el resultado de todos sulfuros presentes en la microcuenca del río Tingo, observándose que la mayor cantidad se encuentran distribuidos al norte y centro de la microcuenca y existe predominancia de pirita y esfalerita.

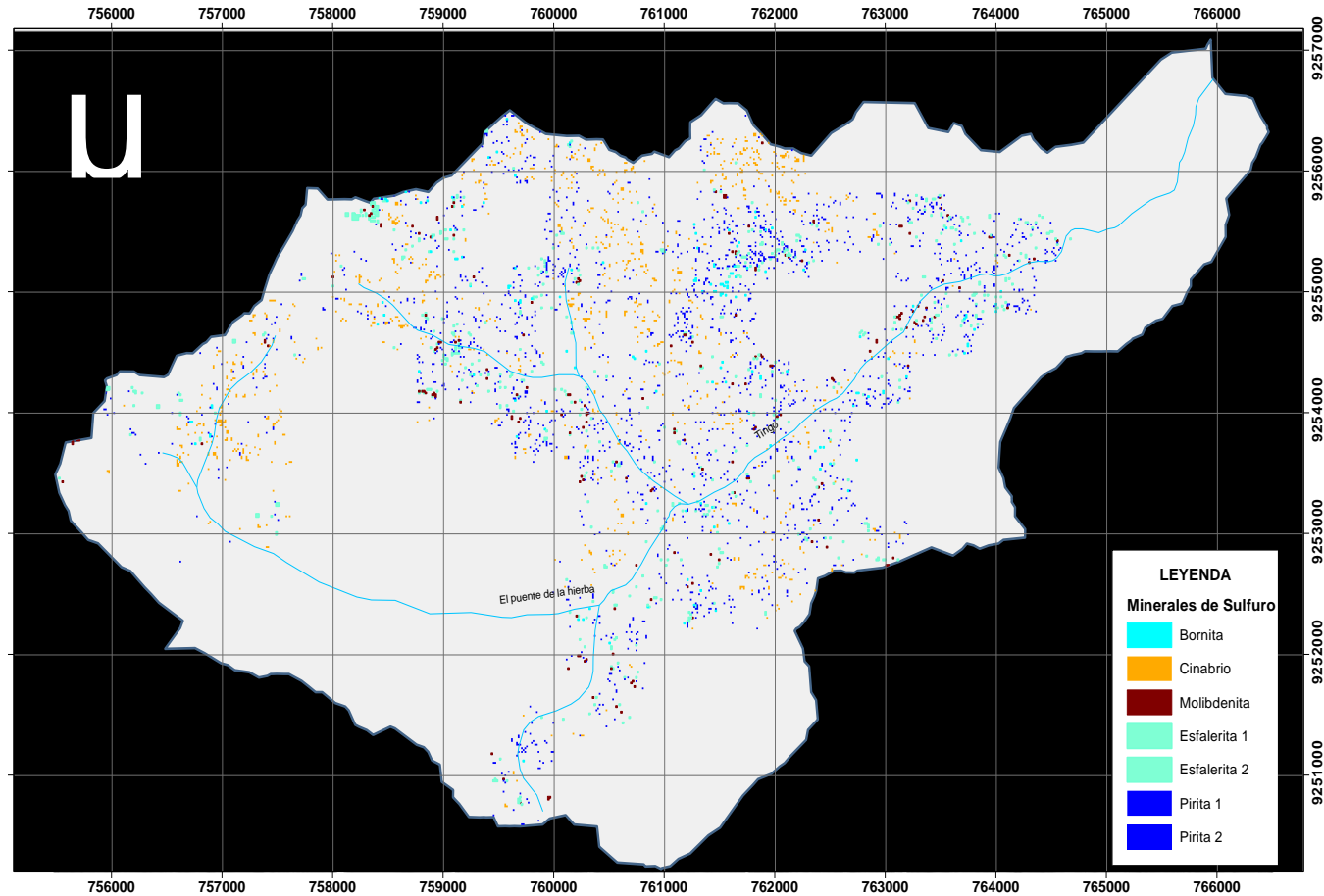


Figura 50. Localización espacial de minerales de sulfuro.

La figura 51 presenta todas las labores mineras y residuos mineros producidos en la microcuenca del río Tingo, observándose la mayor concentración en la zona norte, esta información fue recopilada de la base de datos de Ministerio de Energía y Minas (2019) y servirá para contrastar las zonas con presencia de contaminación por sulfuros.

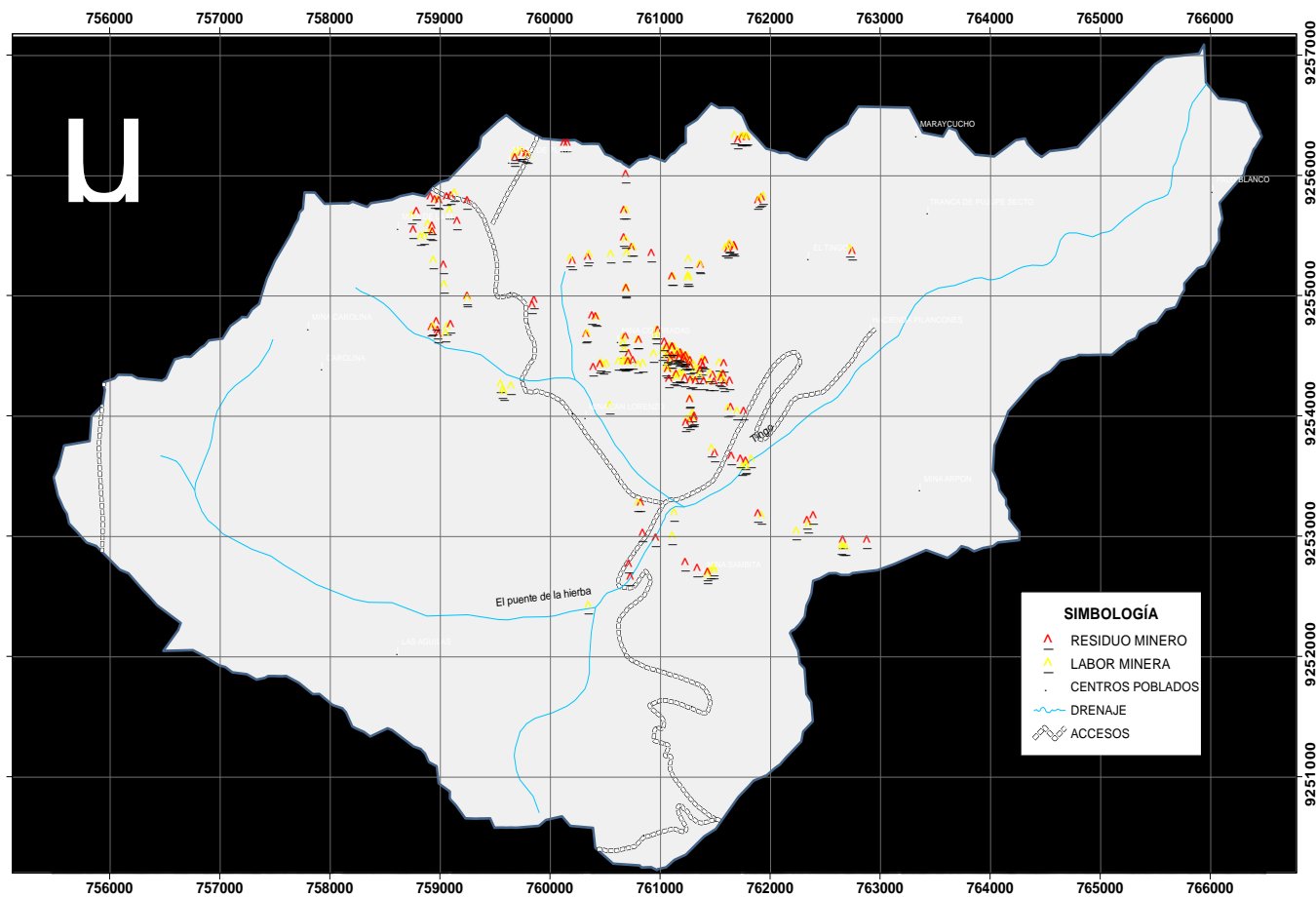


Figura 51. Residuos mineros y labores mineras en la cuenca del río Tingo

Se presenta el resultado de las zonas contaminadas por sulfuros en la figura 52, verificándose que la mayor concentración de estos minerales coincide con la presencia de residuos mineros y labores mineras en la microcuenca del río Tingo

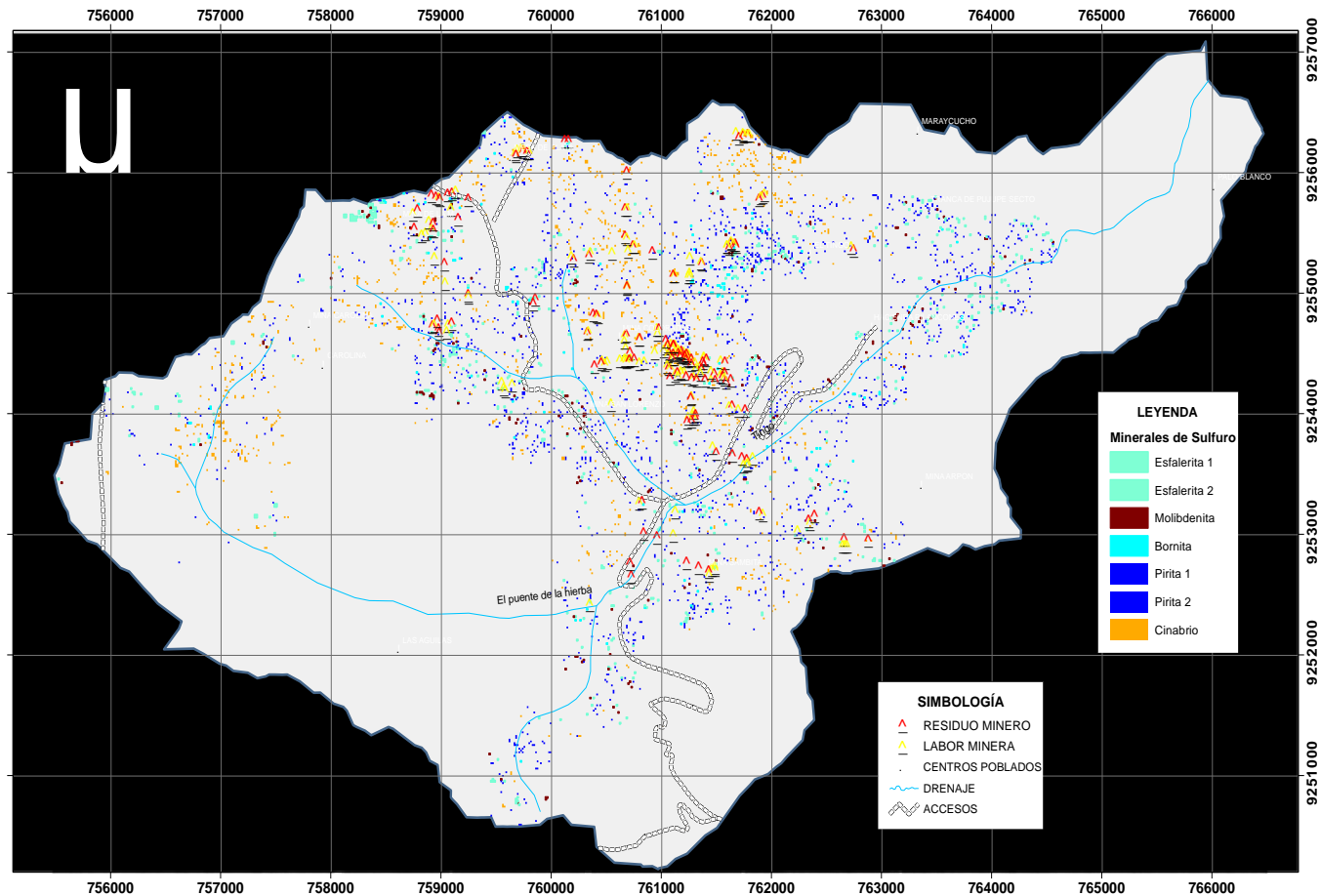


Figura 52. Residuos y labores mineras y su influencia en la contaminación por sulfuros

Se presenta la figura 53, los residuos y labores mineras en la zona de estudio, observándose a mayor detalle la ubicación de cada residuo y labor según el Ministerio de Energía y Minas (2019), verificándose la disposición de una mayor concentración minerales de sulfuro en zonas aledañas y cercanas a labores mineras y residuos mineros no remediados.

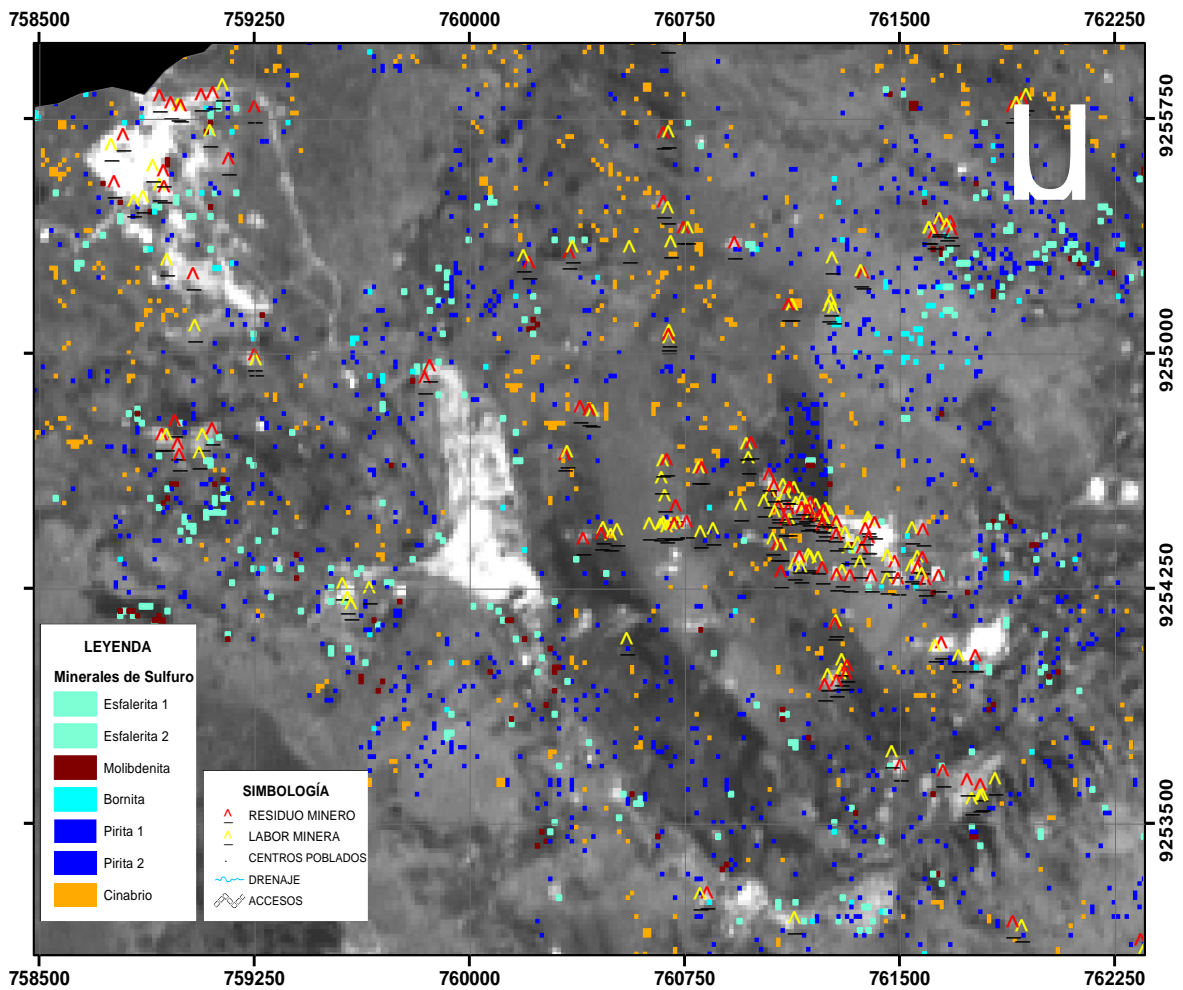


Figura 53. Vista 2 con zoom de los Residuos y labores mineras, y su influencia en la contaminación por sulfuros

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

A partir de los resultados se pudo verificar que los diferentes sulfuros que se encuentran en la zona, son producto de labores mineras aledañas y residuos mineros que se encuentran expuestos, por tal motivo los sulfuros identificados se encuentran sobrepuestas a muchos de estos puntos y sus alrededores, además se concuerda con

Guevara (2015). En su estudio realizado acerca de contaminación por sulfuros en el proyecto minero El Galeno, el cual verifica que muestras constituidas por filitas y sulfuros mixtos. Son las principales fuentes de contaminación.

También se verifica que la librería espectral de sulfuros generadas a partir de los datos espectrométricos de la USGS y JPL son de gran utilidad para la identificación de estos minerales en la zona de estudio, pues de otro modo no sería posible la aplicación del método SAM de comparación de espectros, concordando con Ramírez y Villena (2017). cuyo estudio utilizó técnicas de teledetección en imágenes Landsat para la ubicación de pasivos ambientales concluyendo que la identificación de minerales a partir de librerías espectrales es una gran herramienta para la localización mineral a partir del análisis espectral.

El método SAM permitió la identificación de minerales a partir de una base de datos espectrales, ubicando en la cuenca del río Tingo: pirita, esfalerita, cinabrio, molibdenita y bornita; concordando con Diaz y Castrejón (2018). En su investigación titulada: Teledetección de minerales generadores de acidez y metales pesados, usando imágenes satelitales áster en el distrito de Bambamarca,

Cajamarca - 2018, los cuales encontraron a partir del método SAM; Pirita y Esfalerita al igual que el presente estudio.

Las áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca están ubicadas en zonas aledañas a centros mineros sin actividad y residuos mineros no tratados, datos recolectados por el Ministerio de Energía y Minas (2019), concordando con Salomons (1995). Que enfatiza que el abandono de las minas, sin adoptar ningún tipo de medidas de recuperación ambiental, ha originado numerosos focos de contaminación que afectan a ríos y suelos del entorno.

Se verifica también que a partir de la teledetección se realizó la ubicación puntual de sulfuros de origen minero y su dispersión en la cuenca del río Tingo, observándose la verdadera magnitud del problema, contrastando una gran dispersión de estos contaminantes en grandes extensiones a partir de sus puntos generadores, que según Gómez et al. (2011); es una de las amenazas más importantes para la calidad del ambiente y de la salud humana por la capacidad de los sulfuros de liberar moléculas de metales y generar acidez por la disociación de su estructura.

De los resultados encontrados también se puede verificar que la exposición de sulfuros al intemperismo genera una serie de procesos de oxidación, generación de acidez y liberación de metales pesados que según Chávez (2018), en su investigación, concluye de las pruebas NAG realizadas a rocas con contenido de sulfuro; un alto potencial de generación de H_2SO_4 (267 a 377 Kg/Ton), liberación de metales como As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn en cantidades hasta 330 mg/L, y de las pruebas de celda de humedad, muestra la generación de acidez hasta 5.95 y

presencia de metales como Cd (0.04mg/kg), Cr (<0.025 mg/kg), Cu (0.03 mg/kg), Fe (1,9 mg/kg), Ni (0.019 mg/Kg), Pb (0.09 mg/kg). La presencia de sulfuros son una de las principales fuentes de contaminación suelos, aguas superficiales y subterráneas. Problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado los ciclos productivos.

En la investigación se tuvo como limitantes: la poca disponibilidad de imágenes que cumplan con las características espectrales que se requerían para la zona de estudio, de todos modos, se encontró una imagen L1T Aster que permitió realizar el estudio.

También se tuvo como limitante la presencia de mucha vegetación y agua en la zona de estudio, por lo cual fue necesario el uso de filtros de información

Finalmente se recomienda para investigaciones que usan la técnica de teledetección:

El uso de herramientas de teledetección como etapa previa a la identificación en campo, utilizando imágenes de mayor resolución espectral y espacial como las imágenes Hyperion. Lo cual reducirá aún más el tiempo, costo y precisión; puntualizando y detallando aún más las zonas mineralizadas que se planea identificar.

Se recomienda complementar las técnicas de teledetección con análisis espectroscópico y geoquímicos para reducir los márgenes de error que podría generar las imágenes satelitales.

4.2 Conclusiones

La teledetección permitió ubicar áreas contaminadas por sulfuros de origen minero en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca mediante el uso de firmas espectrales provenientes de las librerías base del Instituto Geológico de los Estados Unidos y el Laboratorio de Propulsión a Chorro.

Los sulfuros que generan contaminación en la zona de estudio presentan cationes metálicos bivalentes de estructura débil y se llegó a identificar Pirita, Esfalerita, Cinabrio, Molibdenita y Bornita.

Se concluye también que, si bien la librería espectral de la USGS contiene muchos minerales, no presentan en su totalidad todos los sulfuros que se pretendía localizaren la microcuenca del río Tingo es por tal motivo que fue necesario complementar con minerales de la librería espectral de la JPL.

El método de Angulo de Mapeo Espectral (SAM) fue una gran herramienta para la identificación de todo tipo de sulfuros en la cuenca del río Tingo, presentando la ubicación de minerales con un rango de error espacial de 15 metros.

Las áreas contaminadas por sulfuros en la microcuenca del río Tingo – Cajamarca están ubicadas en zonas aledañas a mineros y residuos mineros, concluyéndose que este tipo de estudios son de mucha importancia para la comprensión de las zonas afectadas por sulfuros de origen minero y su verdadera extensión a partir de los focos generadores.

REFERENCIAS

- Abrams, M., & Kook, S. (1999), Aster user handbook, Version 2, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio NASA. (2013). La radiación. Recuperado de: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/radiation_resources_sp.html
- Aguilera, M., y Herrera, J. (2007). *Sensoramiento remoto satelital* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Bolívar, Bolívar, Colombia.
- Ahmad, B., & Qurat. F. (2012). Pixel Purity Index Algorithm and n-Dimensional Visualization for ETM+ Image Analysis: A Case of District Vehari. *Global Journal of Human Social Science Arts & Humanities*. 12(15).
- Bravo, N. (2017). Teledetección espacial LANSAT, SENTINEL2, ASTER L1T Y MODIS. Geomática Ambiental S.R.L.
- Chávez, R. (2018). *Evaluación geoquímica e identificación de drenaje ácido de roca de los desmontes, mineral y pared de tajo de la UEA - Cerro de pasco compañía Volcan*. (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección Ambiental. Barcelona: ARIEL.
- Diaz, J. y Castrejon, A. (2018). *Teledetección de minerales generadores de acidez y metales pesados, usando imágenes satelitales ÁSTER en el distrito de Bambamarca, Cajamarca-2028*. (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú.

- Directorio del CONICET. (2006): *Principios éticos para el comportamiento del Investigador Científico y Tecnológico* (Publicación N° 126). CONICET PERÚ, 22-
<http://www.conicet.gov.ar/documents/11716/0/OCR+RD+20060322-0540.pdf>.
- Gómez, A; Valenzuela, J; Meza, D; Villanueva, M; Ramírez, J; Almendariz, J y Pérez, E. (2011). Impact of mining activities on sediments in a semi-arid environment. *Geochem.* 26, 2101-2112.
- González, F., Ruiz, J., y Acosta, F. (2013). *Tutorial de teledetección espacial*. Canarias: TECLAN.
- Guevara, J. (2015). *Generación de acidez por la presencia de sulfuros en el futuro tajo del proyecto minero “El Galeno”* (Tesis de Maestría). Piura, Perú.
- Gutierrez, M. (1993). Compendio de teledetección geológica. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=KzZTZxcoTvAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Heather E. (2011). Geochemistry and Mineralogy of Solid Mine Waste: Essential Knowledge for Predicting Environmental Impact. *Department of Geological Sciences and Geological Engineering Queen’s University, Kingston, Canada, 7*, 381-386.
- Hook, s., Myers, J., Thome, K., Fitzgerald, M., & Kahle, A. (2001). The MOSIS/ASTER airborne simulador (MASTER) – a new instrument for eartha science studies. *Remote Sensing of Environment*, 76(01), 93-102.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET. (2011). Riesgo Geológico en la región Cajamarca. Boletín N°44.

- Manolakis, D., and Shaw, G. (2002). Detection algorithms for hyperspectral imaging applications in urban areas: asbestos concrete sheeting identification and mapping. *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 7(01), 7059-7803.
- Meijerink, A. (2007). *Remote Sensing Applications To Groundwater*. Paris: UNESCO.
- Nordstrom D.K. & Alpers C.N. (1999): Geochemistry of acid mine waters. En: The environmental geochemistry of mineral deposits. *Econ. Geol*,6, 133-160.
- Oliveros, A; Martínez, S. (2007): *Aspectos éticos de la investigación en Ingeniería de Software que involucra seres humanos* (Publicación N° 775). INTEC UADE LIMA. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23714/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Olías, M., Nieto, J., Aguasanta, M. y Ruiz, C. (2010). La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel. *Universidad de Huelva*.
- Ormeño, S. (2006). *Teledetección fundamental*. Madrid: SOV
- Ospina, D. (2019). *Estimación de la contaminación causada por la minería en cuerpos de agua del bajo Cauca a través de imágenes satelitales*. (Tesis de Pregrado). Universidad EIA, Antioquia, Colombia.
- Ramírez, E. y Villena, E. (2017). *Teledetección de pasivos ambientales de origen químico utilizando imágenes satelitales Landsat 8 en la provincia de Hualgayoc-2017*. (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú.

Rejas, J. (2014). *Detección de patrones y anomalías espectrales del terreno mediante espectrometría de imagen de alta resolución*. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Resolución 408 de 2019. [Ministerio de Energía y Minas]. Por la cual se reglamenta el inventario de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. Diciembre 24 de 2019.

Salomons W. (1995). Impacto ambiental de los metales derivados de la actividad minera: procesos, predicciones, prevención. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, (53),53-56

Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. Mexico,McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS. (2016). Imagen ASTER L1T. Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Smith, M. (2004). How to convert ASTER radiance values to reflectance. An online guide.

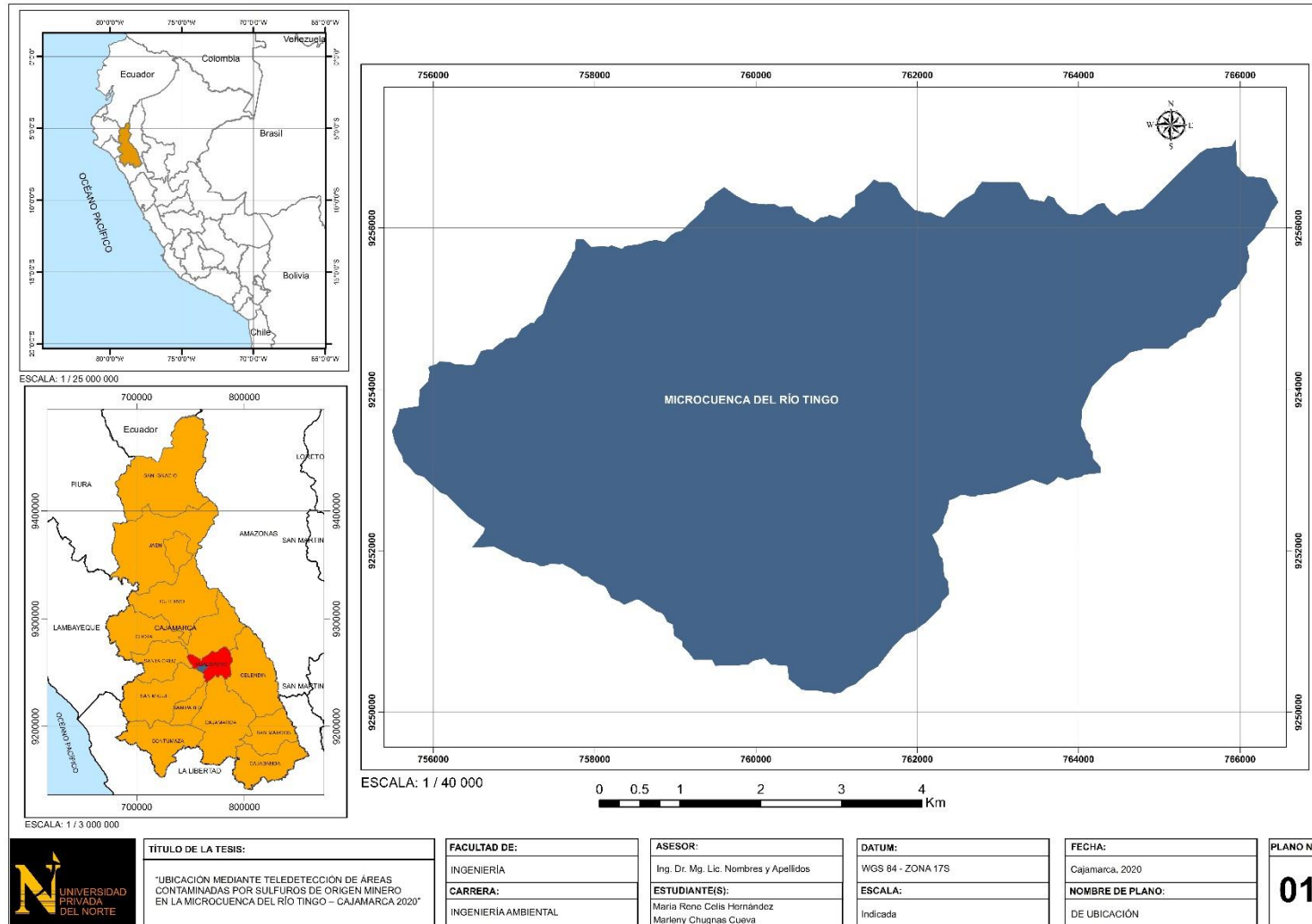
Sociedad Minera La Cima S.A. (2005). Estudio de Impacto Ambiental proyecto Cerro Corona.

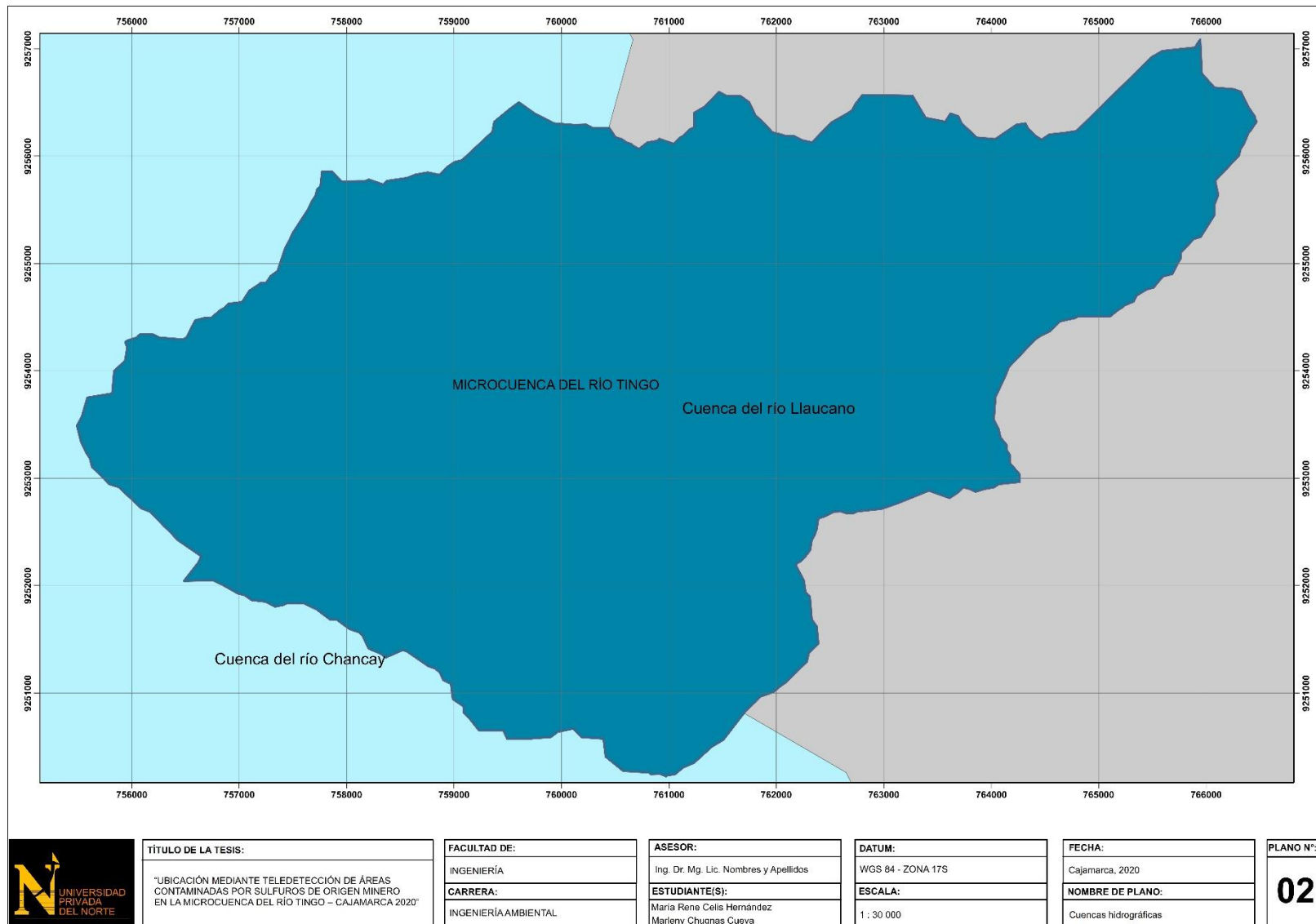
Sociedad Geológica del Perú. (2001). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú.

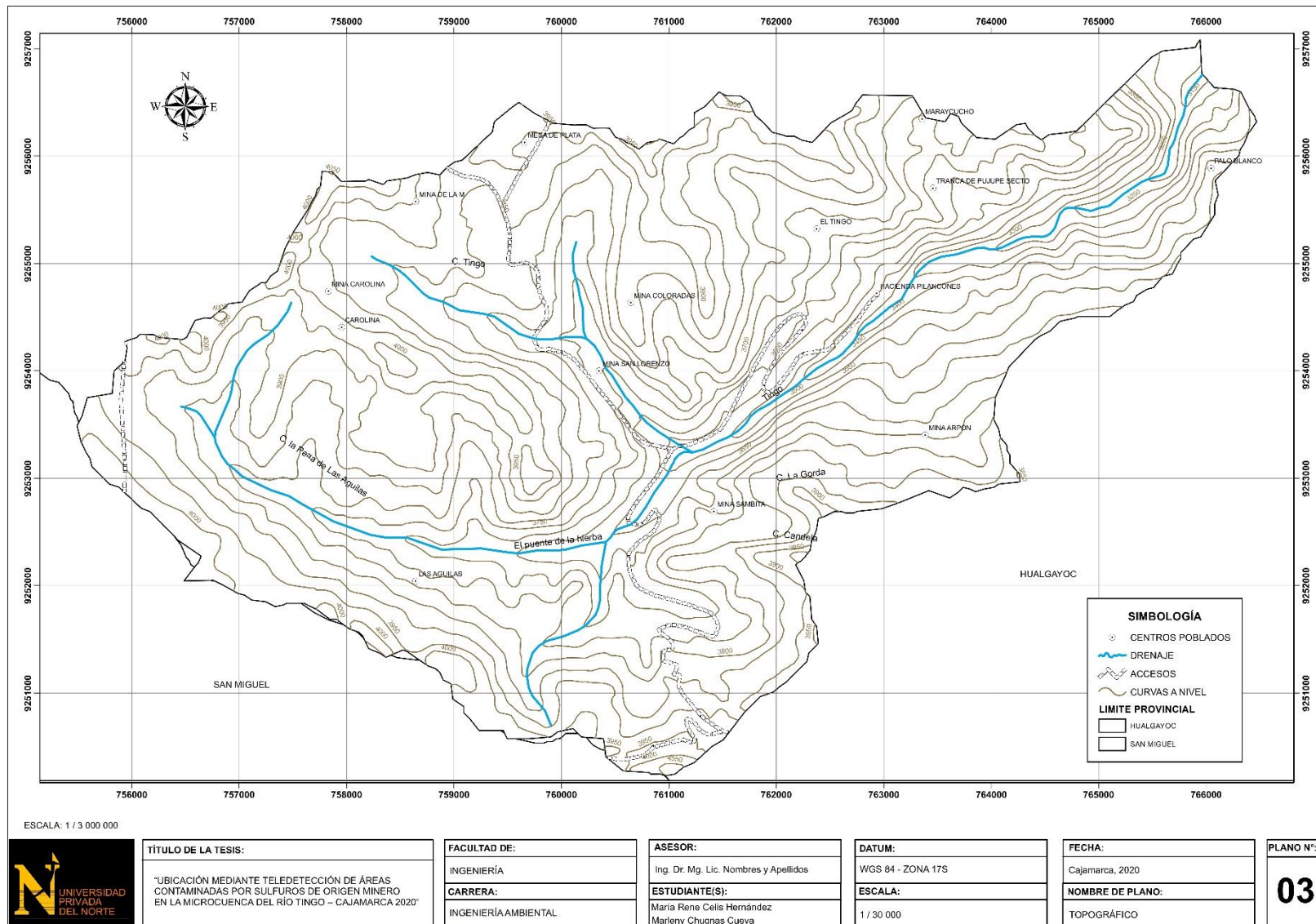
Vargas, C. (2010). Imágenes de satélite en la exploración geológica-minera. *RS-GEOIMAGE*.

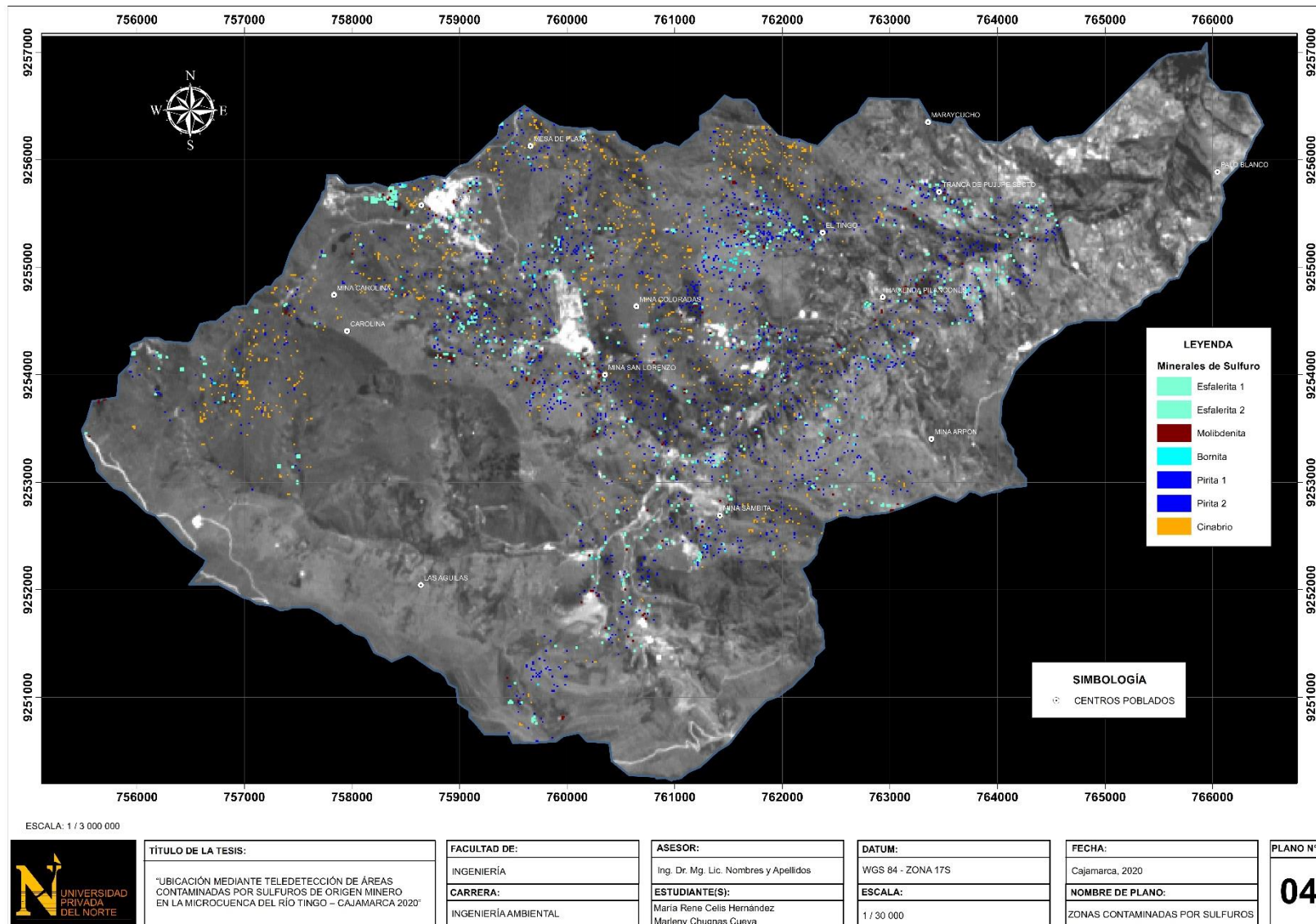
ANEXOS

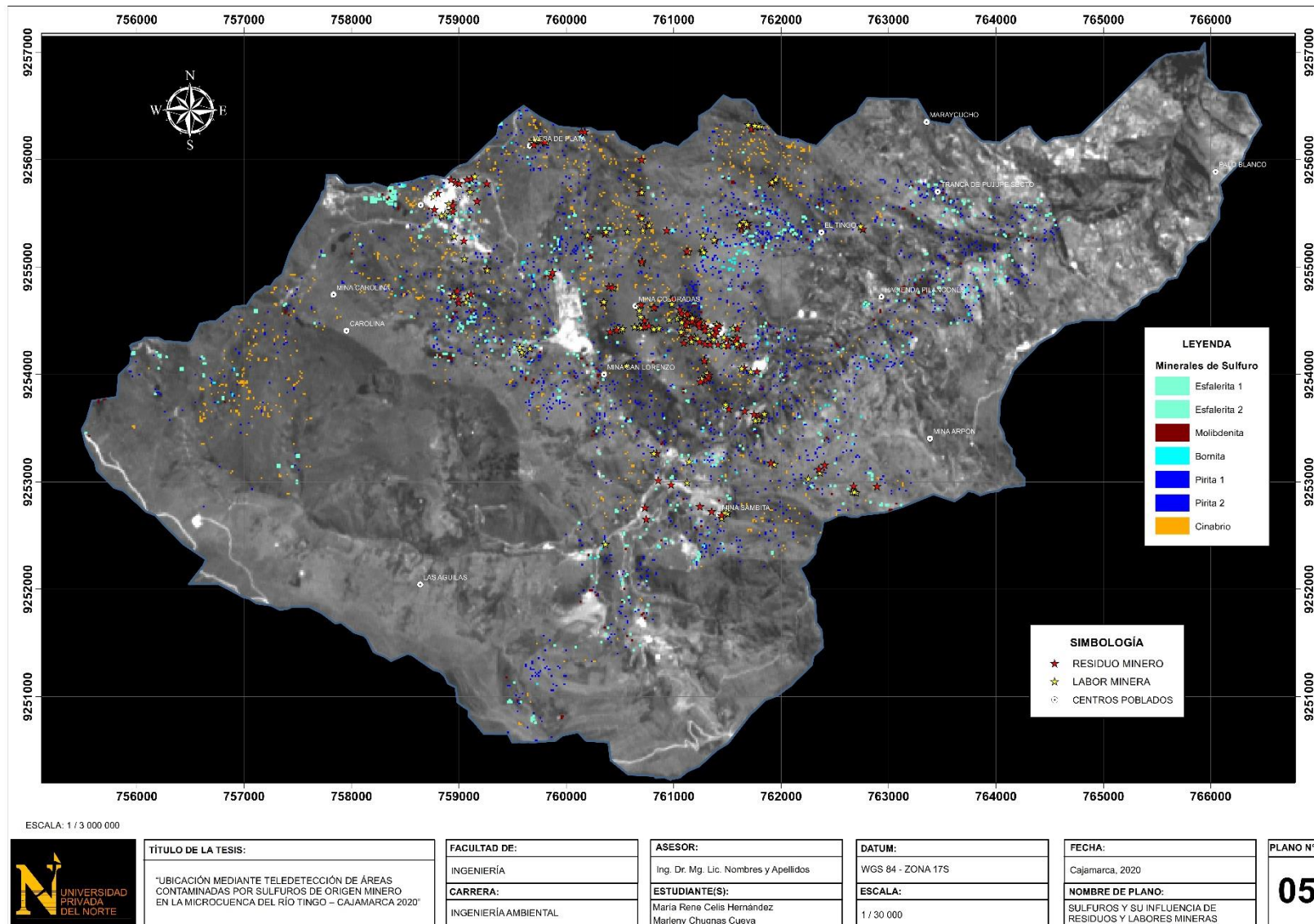
Anexo 01. Planos











Anexo 02. Lista de labores mineras y residuo minero

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|--------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 1 | SATELITE (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759079 | 9254732 |
| 2 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761304 | 9253968 |
| 3 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJEO COMUNICADO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761307 | 9253982 |
| 4 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761288 | 9254138 |
| 5 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761309 | 9254011 |
| 6 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761844 | 9253631 |
| 7 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761242 | 9254470 |
| 8 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761252 | 9254454 |
| 9 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761285 | 9254439 |
| 10 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761202 | 9254480 |
| 11 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761253 | 9254495 |
| 12 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761199 | 9254340 |
| 13 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761192 | 9254347 |
| 14 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761126 | 9254461 |
| 15 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761142 | 9254560 |
| 16 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761103 | 9254570 |
| 17 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761037 | 9254521 |
| 18 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761087 | 9254510 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|--------------------------|--------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 19 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761143 | 9254318 |
| 20 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJEO COMUNICADO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761149 | 9254514 |
| 21 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | PIQUE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761111 | 9254545 |
| 22 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | CHIMENEA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761265 | 9254485 |
| 23 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | CHIMENEA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761097 | 9254380 |
| 24 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761330 | 9254371 |
| 25 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761217 | 9254508 |
| 26 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761183 | 9254504 |
| 27 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761059 | 9254547 |
| 28 | BELLA UNION | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761716 | 9254026 |
| 29 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760706 | 9255061 |
| 30 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760705 | 9255040 |
| 31 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759762 | 9256192 |
| 32 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJEO COMUNICADO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759814 | 9256164 |
| 33 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761263 | 9255142 |
| 34 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760772 | 9255391 |
| 35 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760702 | 9255454 |
| 36 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759741 | 9256190 |
| 37 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761375 | 9255253 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|-----------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 38 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761270 | 9255160 |
| 39 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760704 | 9255697 |
| 40 | (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759052 | 9255079 |
| 41 | (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758955 | 9255289 |
| 42 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758761 | 9255657 |
| 43 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758872 | 9255492 |
| 44 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758928 | 9255529 |
| 45 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758906 | 9255588 |
| 46 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759104 | 9255700 |
| 47 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758994 | 9255784 |
| 48 | LA CIMA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760365 | 9252419 |
| 49 | PROVEEDORA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760982 | 9254657 |
| 50 | PROVEEDORA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760976 | 9254701 |
| 51 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760439 | 9254806 |
| 52 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762363 | 9253087 |
| 53 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762252 | 9253027 |
| 54 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761936 | 9253162 |
| 55 | ABASTECEDORA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760198 | 9255300 |
| 56 | ABASTECEDORA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760568 | 9255331 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 57 | ABASTECEDORA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760712 | 9255345 |
| 58 | ABASTECEDORA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760369 | 9255330 |
| 59 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760956 | 9254508 |
| 60 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760860 | 9254429 |
| 61 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760816 | 9254421 |
| 62 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760692 | 9254537 |
| 63 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761166 | 9254309 |
| 64 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760679 | 9254594 |
| 65 | TRES AMIGOS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759567 | 9254254 |
| 66 | TRES AMIGOS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759597 | 9254190 |
| 67 | TRES AMIGOS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759584 | 9254209 |
| 68 | TRES AMIGOS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759661 | 9254243 |
| 69 | MECHERO (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762700 | 9252901 |
| 70 | TARA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762664 | 9252908 |
| 71 | TARA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762682 | 9252905 |
| 72 | COLORADA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761143 | 9253187 |
| 73 | COLORADA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761124 | 9252994 |
| 74 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762740 | 9255381 |
| 75 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761502 | 9252730 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 76 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761502 | 9252708 |
| 77 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761448 | 9252665 |
| 78 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761475 | 9252709 |
| 79 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761320 | 9254419 |
| 80 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761365 | 9254386 |
| 81 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761403 | 9254457 |
| 82 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761400 | 9254465 |
| 83 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761615 | 9255392 |
| 84 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761649 | 9255421 |
| 85 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761675 | 9255402 |
| 86 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761918 | 9255792 |
| 87 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761612 | 9255393 |
| 88 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761951 | 9255816 |
| 89 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761310 | 9254298 |
| 90 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761466 | 9254272 |
| 91 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761225 | 9254337 |
| 92 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761554 | 9254433 |
| 93 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761572 | 9254340 |
| 94 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761552 | 9254312 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------|--------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 95 | MARUJA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759265 | 9254971 |
| 96 | SAN JUAN (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761372 | 9254325 |
| 97 | SAN JUAN (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761467 | 9254346 |
| 98 | SATELITE (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759067 | 9254674 |
| 99 | SATELITE (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758953 | 9254731 |
| 100 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TAJEO COMUNICADO | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761279 | 9255136 |
| 101 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760351 | 9254677 |
| 102 | COLORADA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760815 | 9253264 |
| 103 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761799 | 9253582 |
| 104 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761791 | 9253578 |
| 105 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761761 | 9253570 |
| 106 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760687 | 9254448 |
| 107 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760713 | 9254446 |
| 108 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | CHIMENEA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761135 | 9255145 |
| 109 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | CHIMENEA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760502 | 9254411 |
| 110 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760638 | 9254445 |
| 111 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760677 | 9254444 |
| 112 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760698 | 9254437 |
| 113 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760735 | 9254448 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 114 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760810 | 9254624 |
| 115 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760684 | 9254647 |
| 116 | BELLA UNION | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761634 | 9254056 |
| 117 | BELLA UNION | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761587 | 9254286 |
| 118 | FATIMA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761483 | 9253718 |
| 119 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761693 | 9256325 |
| 120 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | CHIMENEA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761765 | 9256312 |
| 121 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761274 | 9255295 |
| 122 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761811 | 9256313 |
| 123 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761791 | 9256315 |
| 124 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761756 | 9256317 |
| 125 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759690 | 9256161 |
| 126 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759706 | 9256185 |
| 127 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | PIQUE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760525 | 9254428 |
| 128 | CAROLINA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760476 | 9254435 |
| 129 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761075 | 9254485 |
| 130 | RIMAC (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760558 | 9254078 |
| 131 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761172 | 9254527 |
| 132 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761068 | 9254397 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 133 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761260 | 9253963 |
| 134 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | BOCAMINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759148 | 9255846 |
| 135 | CLEOPATRA | LABOR MINERA | TRINCHERA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758839 | 9255478 |
| 136 | SATELITE (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759112 | 9254748 |
| 137 | SATELITE (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758992 | 9254702 |
| 138 | SATELITE (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | MATERIAL DE DESBROCE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758998 | 9254666 |
| 139 | MARUJA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759260 | 9254985 |
| 140 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760839 | 9253267 |
| 141 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | MATERIAL DE DESBROCE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761195 | 9254491 |
| 142 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | MATERIAL DE DESBROCE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761189 | 9254475 |
| 143 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761240 | 9254442 |
| 144 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761289 | 9254451 |
| 145 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761246 | 9254489 |
| 146 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761161 | 9254340 |
| 147 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761199 | 9254513 |
| 148 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761168 | 9254496 |
| 149 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | MATERIAL DE DESBROCE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761123 | 9254493 |
| 150 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761111 | 9254461 |
| 151 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761126 | 9254562 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 152 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761126 | 9254562 |
| 153 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761088 | 9254499 |
| 154 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761056 | 9254604 |
| 155 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761083 | 9254379 |
| 156 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761284 | 9254128 |
| 157 | FATIMA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761513 | 9253677 |
| 158 | BELLA UNION | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761775 | 9254026 |
| 159 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760396 | 9254819 |
| 160 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761383 | 9255248 |
| 161 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760757 | 9255393 |
| 162 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760686 | 9255473 |
| 163 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759760 | 9256174 |
| 164 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760686 | 9255694 |
| 165 | CONSTANCIA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759169 | 9255613 |
| 166 | CONSTANCIA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759260 | 9255779 |
| 167 | (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759046 | 9255246 |
| 168 | BELLA UNION | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758982 | 9254775 |
| 169 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758968 | 9255790 |
| 170 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758771 | 9255537 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 171 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758945 | 9255521 |
| 172 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758943 | 9255573 |
| 173 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759074 | 9255815 |
| 174 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759114 | 9255822 |
| 175 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759004 | 9255780 |
| 176 | RIMAC (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761095 | 9254294 |
| 177 | BARRAGAN (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761937 | 9255803 |
| 178 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760427 | 9254811 |
| 179 | ABASTECEDORA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759854 | 9254913 |
| 180 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762351 | 9253118 |
| 181 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762406 | 9253158 |
| 182 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761905 | 9253177 |
| 183 | ABASTECEDORA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760218 | 9255278 |
| 184 | ABASTECEDORA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760358 | 9255312 |
| 185 | LORENZO MIGUEL (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760729 | 9254503 |
| 186 | MECHERO (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762893 | 9252958 |
| 187 | TARA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762675 | 9252962 |
| 188 | ABASTECEDORA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759871 | 9254952 |
| 189 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760974 | 9252975 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 190 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761353 | 9252724 |
| 191 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761245 | 9252770 |
| 192 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760743 | 9252653 |
| 193 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760856 | 9253014 |
| 194 | COLORADA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760730 | 9252760 |
| 195 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 762762 | 9255354 |
| 196 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761445 | 9252690 |
| 197 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761402 | 9254400 |
| 198 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761380 | 9254370 |
| 199 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761424 | 9254449 |
| 200 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761391 | 9254430 |
| 201 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761687 | 9255409 |
| 202 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761631 | 9255376 |
| 203 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761692 | 9255386 |
| 204 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761645 | 9255414 |
| 205 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761904 | 9255779 |
| 206 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761241 | 9254305 |
| 207 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761292 | 9254285 |
| 208 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761337 | 9254280 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 209 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761412 | 9254280 |
| 210 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761494 | 9254325 |
| 211 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761505 | 9254269 |
| 212 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761593 | 9254428 |
| 213 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761589 | 9254338 |
| 214 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761573 | 9254306 |
| 215 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761601 | 9254266 |
| 216 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761647 | 9254280 |
| 217 | SATELITE (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758936 | 9254729 |
| 218 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760343 | 9254666 |
| 219 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761792 | 9253614 |
| 220 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760935 | 9255342 |
| 221 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760701 | 9256001 |
| 222 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760699 | 9254651 |
| 223 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760820 | 9254624 |
| 224 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760725 | 9254446 |
| 225 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760768 | 9254453 |
| 226 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761123 | 9255146 |
| 227 | BELLA UNION | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761657 | 9254065 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------------|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 228 | FATIMA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761662 | 9253659 |
| 229 | FATIMA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761746 | 9253630 |
| 230 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761799 | 9256311 |
| 231 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761721 | 9256286 |
| 232 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761759 | 9256308 |
| 233 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760141 | 9256260 |
| 234 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759798 | 9256165 |
| 235 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760173 | 9256262 |
| 236 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 759697 | 9256140 |
| 237 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760470 | 9254415 |
| 238 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760407 | 9254397 |
| 239 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761327 | 9253992 |
| 240 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761323 | 9253968 |
| 241 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761289 | 9254412 |
| 242 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761073 | 9254567 |
| 243 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761231 | 9254472 |
| 244 | MINAS BLANCAS (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760993 | 9254705 |
| 245 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | MATERIAL DE DESBROCE | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761289 | 9253944 |
| 246 | MINA CORTADERA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 761249 | 9253931 |

| Número | Nombre | Tipo | Sub tipo | Región | Provincia | Distrito | Este | Norte |
|--------|---------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 247 | CAROLINA (LLAUCANO) | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 760704 | 9255049 |
| 248 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758928 | 9255814 |
| 249 | CLEOPATRA | RESIDUO MINERO | DESMONTE DE MINA | CAJAMARCA | HUALGAYOC | HUALGAYOC | 758802 | 9255689 |