

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“PROSPECCIÓN ESPECTROSCÓPICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS MINERALIZADAS EN EL DISTRITO DE SOROCHUCO, CAJAMARCA - 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA GEÓLOGO

Autores:

Bach. Karla Katherine Garro Oyarce
Bach. Lesly Yudeny Diaz Cervantes

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, el que me acompaña y me levanta de mi continuo tropiezo; A mis padres, porque desde que tengo uso de memoria recuerdo su apoyo incondicional; A mi hija, la principal motivación de seguir alcanzando mis metas y quien me ha enseñado muchas cosas en la vida, principalmente la paciencia; Y al amigo de toda mi vida, mi esposo; quién me apoyó y alentó a continuar en todo momento.

Lesly Diaz.

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño, y apoyo incondicional. A mi Tía Aurelia, mi primo Roger y a toda mi familia y amigos (as) por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y de mi vida, les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

Karla Garro.

AGRADECIMIENTO

Nos gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchos amigos, familiares y colegas que nos han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, a nuestros padres que nos han ayudado y apoyado en todo momento; A nuestro tutor, Mg. Ing. Miguel Portilla Castañeda, por habernos orientado; A nuestro director de carrera Ing. Shonel Cáceres, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis; Al Programa Nacional Beca 18 por brindarnos el sustento económico durante 5 años que duró la carrera.

Así mismo, expresar reconocimiento a la institución Minera La Zanja; Especialmente a los ingenieros Omar Cerna y José Trujillo por todas las atenciones e información brindada para nuestra investigación.

Finalmente, recordar también a todos nuestros amigos que nos acompañaron a campo; gracias por su tiempo y apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
DEDICATORIA -----	2
AGRADECIMIENTO -----	3
ÍNDICE DE TABLAS -----	6
ÍNDICE DE FIGURAS -----	7
RESUMEN -----	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN -----	14
1.1. Realidad problemática-----	14
1.2. Formulación del problema-----	25
1.3. Objetivos-----	25
1.4. Hipótesis-----	25
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA -----	26
2.1. Tipo de investigación-----	26
2.2. Población y muestra.-----	26
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos-----	26
2.4. Procedimiento-----	28
2.4.1. Etapa de Precampo o gabinete I-----	28
2.4.2. Etapa de campo-----	52
2.4.3. Etapa de post campo o gabinete II-----	53
CAPÍTULO III. RESULTADOS -----	55
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES -----	141

REFERENCIAS ----- 147

ANEXOS ----- 149

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de imágenes ASTER.....	29
Tabla 2. Coordenadas UTM de referencia distrital	55
Tabla 3. Accesibilidad a la zona de estudio	56
Tabla 4. Datos promedio estación estructural N°1	70
Tabla 5. Datos promedio estación estructural N°2.....	72
Tabla 6. Datos promedio estación estructural N°3.....	73
Tabla 7. Datos promedio estación estructural N°4.....	75
Tabla 8. Datos de falla N°1 determinada en campo	76
Tabla 9. Datos de falla N°2 determinada en campo	78
Tabla 10. Descripción macroscópica de muestras y resultados TerraSpec	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Imagen satelital ASTER L1B.	30
Figura 2. Imagen satelital ASTER L1B recortada y calibrada de la zona de estudio	30
Figura 3. Imagen Aster corregida del distrito de Sorochuco.....	32
Figura 4. Mascara generada por método PC en el distrito de Sorochuco	32
Figura 5. Firma espectral de actinolita	33
Figura 6. Firma espectral de albita	34
Figura 7. Firma espectral de alunita	34
Figura 8. Firma espectral de arsenopirita.	35
Figura 9. Firma espectral de calcedonia.....	35
Figura 10. Firma espectral de calcita	36
Figura 11. Firma espectral de calcopirita	36
Figura 12. Firma espectral de caolinita.	37
Figura 13. Firma espectral de chabasita.	37
Figura 14. Firma espectral de calcopirita.	38
Figura 15. Firma espectral de clorita.....	38
Figura 16. Firma espectral de corindón.....	39
Figura 17. Firma espectral de cuarzo.	39
Figura 18. Firma espectral de dickita.	40
Figura 19. Firma espectral de epidota	40
Figura 20. Firma espectral de galena.	41
Figura 21. Firma espectral de goetita.	41
Figura 22. Firma espectral de grosularia.....	42
Figura 23. Firma espectral de halloysita.	42
Figura 24. Firma espectral de hematita.	43

Figura 25. Firma espectral de hornblenda.....	43
Figura 26. Firma espectral de illita.....	44
Figura 27. Firma espectral de esmectita.....	44
Figura 28. Firma espectral de jarosita.....	45
Figura 29. Firma espectral de caosmectita.....	45
Figura 30. Firma espectral de montmorillonita.....	46
Figura 31. Firma espectral de muscovita.....	46
Figura 32. Firma espectral de olivino.....	47
Figura 33. Firma espectral de piritita.....	47
Figura 34. Firma espectral de rutilo.....	48
Figura 35. Firma espectral de topacio.....	48
Figura 36. Firma espectral de tremolita.....	49
Figura 37. Variogramas de probabilidad vs improbabilidad de ocurrencia por mineral.....	50
Figura 38. Zonas de posible mineralización analizadas mediante técnica multiespectral.....	51
Figura 39. Ubicación geográfica y política del distrito de Sorochuco.....	55
Figura 40. Accesibilidad.....	56
Figura 41. Columna estratigráfica del distrito de Sorochuco.....	62
Figura 42. Plegamiento al norte del distrito de Sorochuco.....	63
Figura 43. Fallamiento inverso - distrito de Sorochuco.....	64
Figura 44. Fallamiento normal - distrito Sorochuco.....	65
Figura 45. Fallamiento regional, distrito Sorochuco.....	65
Figura 46. Mapa Estructural del distrito de Sorochuco.....	66
Figura 47. Toma de datos - formación Chimú.....	67
Figura 48. Toma de datos - formación santa.....	68
Figura 49. Toma de datos - formación Carhuaz.....	68

Figura 50. Toma de datos - formación Chulec.....	69
Figura 51. Proyección estereográfica en Dips – Estación 1	71
Figura 52. Análisis en diagrama de rosetas Dips-estación N°1	71
Figura 53. Proyección estereográfica en Dips – Estación 2	72
Figura 54. Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°2	73
Figura 55. Proyección estereográfica en Dips – Estación 3	74
Figura 56. Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°3	74
Figura 57. Proyección estereográfica en Dips – Estación 4.....	75
Figura 58. Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°4	76
Figura 59. Grafica en Stereonet de falla N°1.	77
Figura 60. Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°1	77
Figura 61. Grafica en Stereonet de falla N°2	78
Figura 62. Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°2	79
Figura 63. Grafica en Stereonet de falla N°3.	80
Figura 64. Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°3	80
Figura 65. Esfuerzos globales calculados en Stereonet.....	81
Figura 66. Muestra 1, alteración propilítica	82
Figura 67. Muestra 2, alteración argílica.....	83
Figura 68. Muestra 3, alteración argílica.....	83
Figura 69. Muestra 4, alteración argílica.....	84
Figura 70. Muestra 5, alteración avanzada.....	84
Figura 71. Muestra 6, alteración argílica.....	85
Figura 72. Muestra 7, alteración argílica.....	85
Figura 73. Muestra 8, óxidos.....	86
Figura 74. Muestra 9, alteración argílica.....	86

Figura 75. Muestra 10, alteración argílica avanzada.....	87
Figura 76. Muestra 11, alteración argílica avanzada.....	87
Figura 77. Muestra 12, alteración argílica avanzada.....	88
Figura 78. Muestra 13, alteración argílica – argílica avanzada.....	88
Figura 79. Zonas de alteración y posible mineralización.....	89
Figura 80. Firma espectral muestra M1 - 00001, Palygorskita epidota.	94
Figura 81. Firma espectral muestra M1 - 00002, Palygorskita epidota	95
Figura 82. Firma espectral muestra M1D - 00001, Montmorillonita.....	96
Figura 83. Firma espectral muestra M1D - 00002, Palygorskita kaolinita	97
Figura 84. Firma espectral muestra M1D - 00003, Clorita Kaolinita.	98
Figura 85. Firma espectral muestra M2 - 00001, Paragonita - Kaolinita.....	99
Figura 86. Firma espectral muestra M2 - 00002, Kaolinita Paragonita	100
Figura 87. Firma espectral muestra M2D - 00001, Paragonita	101
Figura 88. Firma espectral muestra M2D - 00002, Nulo.	102
Figura 89. Firma espectral muestra M2D - 00003, Nulo	103
Figura 90. Firma espectral muestra M3 - 00001, Paragonita	104
Figura 91. Firma espectral muestra M3 - 00002, Muscovita – Illita - Montmorillonita...	105
Figura 92. Firma espectral muestra M3D - 00001, Muscovita – Illita - Montmorillonita.	106
Figura 93. Firma espectral muestra M4 - 00001, Nulo	107
Figura 94. Firma espectral muestra M4 - 00002, Nontronita (esmetita).	108
Figura 95. Firma espectral muestra M4 - 00003, Nulo	109
Figura 96. Firma espectral muestra M4D - 00001, Nulo.	110
Figura 97. Firma espectral muestra M4D - 00002, Nulo	111
Figura 98. Firma espectral muestra M5 - 00001, Pirofilita - Dickita	112
Figura 99. Firma espectral muestra M5 - 00002, Dickita	113

Figura 100. Firma espectral muestra M5 - 00003, Pirofilita.....	114
Figura 101. Firma espectral muestra M5D - 00001, Pirofilita - Dickita.....	115
Figura 102. Firma espectral muestra M6 - 00001, Montmorillonita - Kaolinita	116
Figura 103. Firma espectral muestra M6 - 00002, Montmorillonita - Kaolinita.	117
Figura 104. Firma espectral muestra M6 - 00003, Montmorillonita.....	118
Figura 105. Firma espectral muestra M6D - 00001, Montmorillonita - Kaolinita.....	119
Figura 106. Firma espectral muestra M7 - 00001, Muscovita	120
Figura 107. Firma espectral muestra M7 - 00002, Kaolinita - Paragonita.....	121
Figura 108. Firma espectral muestra M7D - 00001, Muscovita - Kaolinita	122
Figura 109. Firma espectral muestra M8 - 00001, Nulo	123
Figura 110. Firma espectral muestra M8 - 00002, Nulo	124
Figura 111. Firma espectral muestra M8 - 00003, Nulo.	125
Figura 112. Firma espectral muestra M8D - 00001, Nulo.	126
Figura 113. Firma espectral muestra M9 - 00001, Paragonita.	127
Figura 114. Firma espectral muestra M9 - 00002, Paragonita.	128
Figura 115. Firma espectral muestra M9D - 00001, Nulo.	129
Figura 116. Firma espectral muestra M10 - 00001, Paragonita - Nontronita.	130
Figura 117. Firma espectral muestra M10D - 00001, Muscovita - Pirofilita.....	131
Figura 118. Firma espectral muestra M10D - 00002, Muscovita – Nontronita.	132
Figura 119. Firma espectral muestra M11 - 00001, Pirofilita - Dickita.....	133
Figura 120. Firma espectral muestra M11 - 00002, Pirofilita.....	134
Figura 121. Firma espectral muestra M12 - 00001, Montmorillonita - Kaolinita.	135
Figura 122. Firma espectral muestra M12 - 00002, Montmorillonita - Kaolinita.	136
Figura 123. Firma espectral muestra M12D - 00001, Montmorillonita - Kaolinita.....	137
Figura 124. Firma espectral muestra M13 - 00001, Kaolinita.	138

Figura 125. Firma espectral muestra M13 - 00002, Kaolinita. 139

Figura 126. Firma espectral muestra M13D - 00001, Montmorillonita – Kaolinita..... 140

RESUMEN

La espectroscopia permite la determinación y caracterización de muchos ensambles de alteración asociadas con depósitos minerales metálicos. Por tal razón la presente investigación titulada. Prospección espectroscópica para la identificación de zonas mineralizadas en el distrito de Sorochuco, Cajamarca – 2020, tiene el objetivo principal de determinar zonas mineralizadas prospectables mediante el uso de espectroscopía. La investigación es de enfoque cuantitativo, aplicada tecnológica con diseño no experimental de carácter transversal correlacional causal. Con población muestral que corresponde a zonas mineralizadas en el distrito de Sorochuco de la cuales se obtuvo 13 muestras con presencia de minerales de alteración.

La investigación utilizó el análisis documental además de la observación directa como instrumentos de recolección y análisis de datos, siguió un procedimiento específico que constó de un procesamiento Aster L1B, cartografiado geológico local, cartografiado estructural local y cartografiado de alteraciones, se obtuvo 5 zonas mineralizadas importantes mediante el uso de espectroscopia satelital en todo el distrito de Sorochuco, de las cuales se realizó el mapeo en campo para obtención de datos en dos zonas ubicadas al sur este del mismo, se detectó a partir del análisis multiespectral y TerraSpec minerales como alunita, caolinita, illita, esmectita, montmorillonita, epidota, clorita, dickita y pirofilita, minerales que por su asociación definen zonas de alteración argílica, argílica avanzada y propilítica asociada a yacimientos tipo pórfido de Au, Ag y Cu

Palabras clave: Multiespectral, alteración, espectroscopia, zona mineralizada

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las técnicas geoquímicas a nivel mundial vienen desarrollando nuevas tecnologías que generan eficiencia y eficacia en procesos prospectivos de minerales, es por ello que la espectrometría permite la detección de minerales de manera eficiente exacta y rápida, pues “trabaja en regiones del infrarrojo de onda corta (SWIR) y el infrarrojo cercano (VNIR), aplicable a la caracterización de muchos de los ensambles de alteración asociada con depósitos minerales metálicos económicos” (Páez, 2008, p.35).

Según Gázquez, Rull, Calaforra, Venegas, Manrique, Sanz, Medina, Catalá-Espí, Sansano, Navarro, Forti, De Waele, y Martínez (2014). Mediante esta técnica se definen halos mineralógicos y geoquímicas asociadas con la mineralización económica y pueden ser reconocidos más allá de las evidentes limitaciones de los depósitos de mineral metálico, que permiten la detección a distancia a través de la espectroscopia de reflectancia SWIR y VNIR. Este análisis espectroscópico hace uso de un espectrómetro para la identificación y caracterización de ciertos grupos minerales (filosilicatos, arcillas, carbonatos y sulfatos)

El sistema puede ser utilizado para desarrollar una amplia gama de modelos para el análisis de muchos tipos de muestras, incluyendo los afloramientos, las muestras de mano, núcleo, chips de RC de perforación, y pastas metalúrgicas, todo con poco o ninguna preparación de la muestra según Gázquez et al. (2014)

Es por ello que la presente investigación se centra en el mapeo espectroscópico en el distrito de Sorochuco, el cual es un distrito con amplia gama de mineralización y con altos porcentajes de concesión mineral metálica, en la cual se realizará un mapeo geológico, mapeo estructural y cartografiado de ensambles de alteración y las variaciones mineralógicas asociadas serán de ayuda para descifrar la compleja

secuencia de eventos asociados con la alteración de un depósito minerales metálicos en particular, haciendo uso de espectrómetros, los cuales son usados en varios ambientes de mineralización, incluyendo depósitos epitermales de alta y baja sulfuración, depósitos porfiríticos y meso termales, yacimientos de oro, plata y cobre. Al mismo tiempo el uso del espectrómetro SWIR en el campo permite que la mineralogía sea cartografiada e interpretada en secciones geológicas. La interpretación resultante puede ser aplicada en tiempo real para guiar la perforación y puede ser integrada con otro tipo de datos para mejorar los objetivos, modelos geológicos y guías regionales.

El estudio tendrá como antecedentes a autores internacionales, nacionales y locales. Estos autores permitieron la comprensión del uso de tecnología de reflectancia, usando espectrómetros y tecnología espectroscópica satelital, para identificación de minerales de alteración.

Según Páez (2008). En su investigación: espectrometría de reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración en la zona de Viruela-La Cruz, proyecto La india: Distrito Minero mulatos, Sahuaripa, Sonora México, localizado en el distrito minero Mulatos, en rocas volcánicas de edad Eoceno-Oligoceno en la provincia de la Sierra Madre Occidental (SMO), ha sido clasificado por sus características geológicas un yacimiento epitermal de alta sulfuración (HS).

En la cual se llevó a cabo un muestreo de superficie, con el objeto de identificar mediante el uso de un espectrómetro infrarrojo PIMA II, los diferentes minerales de alteración y sus asociaciones, para definir las zonas de alteración. Los minerales identificados fueron sílice, alunita, dickita, caolinita, illita, esmectitas, y menores cantidades de clorita y jarosita. Con apoyo del espectrómetro y descripciones de campo se definieron tres principales zonas de alteración, que a su vez se subdividen para dar

lugar a un complejo, pero bien definido sistema de alteración. Además de elaborar un mapa interpretado de alteración, se añadió la información de 1215 muestras de roca con valores de Au en ppm, lo que permitió acoplar su técnica de mapeo para identificar zonas de alteración asociadas a la mineralización de Au y definir guías de exploración basadas en asociaciones minerales que conforman diferentes fronteras de alteración.

Morales (2016). En su investigación “Análisis PIMA, para caracterización geoquímica y petrominerográfica del prospecto vicuña-lucanas, Ayacucho”

El Proyecto Vicuña, está ubicado en la Cordillera de los Andes del Perú Central, margen Oeste, en la Región de Ayacucho, Provincia de Lucanas, entre altitudes de 3915 m.s.n.m. a 4330 m.s.n.m., en concesiones pertenecientes a la Minera Apogeo S.A.C. donde se colectó muestras, siendo los objetivos caracterizar zonas con mineralización económica mediante la toma de muestras geoquímicas y petrominerográficas y determinar el tipo de yacimiento con valores potencialmente económicos. La metodología seguida consistió en la recopilación y revisión de información del área de investigación, trabajo de campo, ensayos de laboratorio, trabajo de gabinete y la redacción del documento final.

Se determinó los resultados anómalos de elementos económicos como el Cobre, Oro y Plata; a su vez, en el área de estudio existen extensas zonas de alteración hidrotermal que dan indicios de posible mineralización en profundidad relacionados a la Formación Castrovirreyna. Las alteraciones hidrotermales encontradas van desde intensa alteración argílica, propilítica y de manera puntual silicificación englobada por la alteración argílica avanzada; esta abundancia de minerales arcillosos nos permitió realizar estudios y análisis PIMA, que junto a una caracterización geoquímica y

petrominerográfica del estudio, permitió la identificación de asociaciones de minerales y su distribución espacial en superficie con ocurrencia económica.

Para la presente tesis se tendrá en cuenta las siguientes definiciones conceptuales:

“El término espectroscopia se usa para designar aquellas técnicas en que se analiza la absorción, la emisión o la dispersión de la energía electromagnética producida por átomos o moléculas para el estudio cualitativo y/o cuantitativo de la composición de una “muestra” o de procesos físicos” (Davis, 2002, p.55).

Absorción. Viene a ser dada cuando los átomos o moléculas absorben energía radiante, ésta excita a la estructura cuantizada (electrón, átomo, molécula) a un nivel energético más elevado. El tipo de excitación depende de la frecuencia (o longitud de onda) de la radiación EM. Los electrones son ascendidos a orbitales más elevados por la luz ultravioleta y la visible; las radiaciones infrarrojas excitan vibraciones de electrones, átomos y moléculas; las microondas excitan rotación molecular e inversión de spines electrónicos (Davis, 2002).

Emisión. se refiere cuando los átomos y moléculas que han sido excitados, a un nivel energético superior, pueden pasar a niveles más bajos (mayores o iguales que su nivel de equilibrio) emitiendo una radiación (emisión o luminiscencia). “Aquellos átomos excitados por una fuente de energía de temperatura alta emiten una energía radiante” (Davis, 2002).

Emisión óptica o atómica. Cuando los átomos fueron excitados por luz (UV o visible) la radiación emitida se denomina fluorescencia atómica. En el caso de moléculas se llama fluorescencia si la transición entre los estados posee el mismo spin y fosforescencia si la transición ocurre entre estados de spin diferente.

Dispersión. Cuando una radiación EM pasa por una sustancia, la mayor parte de esta radiación sigue con la dirección original, pero una porción pequeña se dispersa en otras direcciones. La luz que se dispersa con la misma frecuencia que la luz entrante se denomina dispersión de Rayleigh (Davis, 2002).

Entre los métodos más resaltantes de la espectroscopia tenemos los siguientes:

Espectroscopia de emisión atómica. Este tipo de técnica muchas veces se indica por la abreviatura EEA (espectroscopía de emisión atómica) o EEO (espectroscopía de emisión óptica) usa la medición cuantitativa de la emisión óptica (luz visible o UV) de los átomos para determinar la concentración de los elementos en la muestra emisora (Osorio, 2007).

La muestra de laboratorio debe estar en una solución que es aspirada a la región de excitación, donde es descompuesta, volatilizada, y excitada por una fuente de temperatura muy alta, por ejemplo, una llama, descarga eléctrica, antorcha de plasma u otro medio. Esta fuente de atomización de temperatura elevada suministra la energía suficiente para elevar la energía de los átomos a niveles superiores (Osorio, 2007).

El conjunto de radiaciones emitidas por el átomo excitado, correspondiente a frecuencias características (discretas), es lo que constituye el espectro de línea, o espectro de emisión del elemento, y es una característica única para cada elemento que lo identifica, como si fuera su “firma personal” o sus “huellas dactilares” (Osorio, 2007).

Espectroscopia de absorción atómica. Usa la absorción de la luz como una medida de la concentración de átomos en forma gaseosa. Como las muestra por lo general se encuentran en estado líquido o sólido respectivamente, éstas tienen que volatilizarse en una llama o en un incinerador de grafito. Estos átomos absorben luz ultravioleta o

visible lo que hace que los electrones de sus orbitales externos transiten a niveles energéticos superiores. “La concentración de un elemento en la muestra volatilizada, se determina por la magnitud de la luz absorbida por sus átomos, ya sea mediante la aplicación de la ley de Beer-Lambert o mediante el uso de curvas de calibración previamente confeccionadas para cada elemento” (Osorio, 2007, p. 115).

La espectroscopía de absorción atómica requiere que los átomos de la muestra estén en estado gaseoso, lo que implica que la muestra debe descomponerse y volatilizarse en una fuente de temperatura alta tal como una llama o un incinerador de grafito. La llama puede usarse si la muestra a analizar está en forma líquida (una solución), mientras que el incinerador de grafito acepta muestras en forma de soluciones, lechadas o sólidos. Al usar llamas, las soluciones se aspiran con un flujo gaseoso a una cámara donde se forma un aerosol que ingresa a la llama. En el caso de los incineradores, la muestra se calienta, descompone y volatiliza directamente en éstos y los vapores se interponen al paso de la luz de la lámpara usada (Osorio, 2007).

Fluorescencia de rayos x. Conocido también como espectrometría de fluorescencia, aquí los átomos o moléculas que son excitados a altos niveles de energía pueden caer a niveles más bajos emitiendo radiación (emisión o luminiscencia). Para los átomos excitados por una fuente de energía a alta temperatura esta emisión de luz es comúnmente llamada emisión atómica y óptica (espectroscopía de emisión atómica) y para los átomos excitados con luz, es llamada fluorescencia (espectroscopia atómica de fluorescencia) (Merito, 2015).

La fluorescencia atómica es la emisión óptica de átomos en la fase de gas que han sido excitados a más altos niveles de energía por absorción de radiación electromagnética. La espectroscopía de fluorescencia atómica (AFS) es una técnica de elementos múltiples utilizada para el análisis de trazas de metales en agua de mar, sustancias

biológicas y muestras agrícolas. Su mayor sensibilidad es al zinc, mercurio y selenio (Merito, 2015).

Espectrometría de radiación gamma. El estudio de la intensidad de la radiación Gamma natural correspondiente a un intervalo energético dado ofrece la posibilidad de estimar los contenidos del potasio, uranio y torio. "Este método se fundamenta en el comportamiento del espectro de las radiaciones Gamma naturales" (Willard, 1991, p.26).

Las mediciones pueden efectuarse tanto en el laboratorio como en el campo en afloramientos de rocas o de suelos usando equipos denominados espectrómetros y diferenciales. Los equipos modernos permiten leer directamente los contenidos de K (en %), y de U, Th (en ppm) respectivamente. El uso de este tipo de técnicas es muy útil por el costo bajo del equipo, su ligereza que permite usarlo en el campo y la relativa facilidad en su manejo. La limitación fundamental de su uso está asociada, a que solo será posible estudiar aquellos elementos que posean radioisótopos con radiación y bien diferenciada con respecto a su energía (frecuencia) (Willard, 1991).

Espectrometría de plasma. Las técnicas más comúnmente usadas para la determinación de concentraciones de trazas de elementos en muestras están basadas en la espectrometría atómica (AES). Para disociar moléculas en átomos libres, se utilizan fuentes térmicas como llamas, hornos y descargas eléctricas (Zanches y Luxan, 2000).

Más recientemente, otros tipos de descargas eléctricas, llamadas plasmas, han sido usadas como fuentes de atomización / excitación para AES. "Estas técnicas incluyen el plasma inductivamente acoplado y el plasma acoplado directamente" (Zanches y Luxan, 2000, p3).

Las fuentes de plasma ofrecen varias ventajas comparadas con los métodos de llama y electrotérmicos. Una de ellas es que es una técnica para elementos múltiples y tiene un amplio rango de trabajo. Las fuentes de plasma actuales (DCP) brindan un método mucho más fácil para la manipulación de muestras gaseosas y líquidas. El espectro para docenas de elementos puede ser registrado al mismo tiempo, algo muy importante cuando la muestra es pequeña. Las fuentes de plasma también permiten la determinación de no metales como cloro, bromo, yodo y azufre (Zanches y Luxan, 2000).

Prospección Espectroscópica. Es un método de prospección o exploración indirecto. La prospección de minerales incluye cualquier método basándose en la medición sistemática de una o varias propiedades químicas de material naturalmente formado. El contenido de trazas de un elemento o de un grupo de elementos es la propiedad común, que se mide. El material naturalmente formado incluye rocas, suelos, capas de hidróxidos de Fe formadas por meteorización llamadas “gossan”, sedimentos glaciares, vegetación, sedimentos de ríos y lagos, agua y vapor. La prospección geoquímica está enfocada en el descubrimiento de distribuciones anómalas de elementos. Se distingue los estudios geoquímicos enfocados en un reconocimiento general y los estudios geoquímicos más detallados aplicados en un área prometedora para un depósito mineral (Gyh y Schleicher, 1990).

Elementos Indicadores (Pathfinder). Se refiere a un elemento asociado con el depósito mineral, pero que puede ser detectado más fácilmente en comparación al elemento blanco y se dispersa en un área más extendida, debido a que los elementos muestran diferentes grados de movilidad, controlados inicialmente por la estabilidad de los minerales que los contienen y posteriormente por el ambiente en el cual están migrando (Vásquez, 2009).

La selección de un pathfinder requiere que el elemento o elementos usados ocurran en el ambiente primario en estrecha asociación con el elemento que está siendo buscado o que sea derivado de él por descomposición radioactiva, tal como el uso del radón como pathfinder para el uranio. Es también esencial que exista una relación directa e interpretable entre la distribución geoquímica del pathfinder y la mineralización. En algunos casos los elementos pathfinder pueden estar en la ganga mientras que en otros casos podrían estar sustituyendo en parte la estructura del depósito mineral. En el caso de los depósitos polimetálicos uno de los elementos minerales podría ser los pathfinder por un depósito de interés (Vásquez, 2009).

Vargas (2009) describió que para la prospección espectral se debe tener en cuenta indicadores de análisis general según:

Valor de Fondo o Background. Su determinación se realiza por evaluaciones estadísticas y comparación con los valores referenciales calculados para diferentes tipos de materiales naturales en la Tierra. Este contenido es sometido a variaciones de acuerdo al tipo de roca u otro material en el que ocurre el elemento, por ello se considera como un valor medio (medidas de tendencia central, media aritmética, media geométrica) y no como un valor ponderado.

Umbral Threshold. Estadísticamente es el límite superior de las fluctuaciones del background y está en función de la concentración normal más dos veces la cantidad por la que se desvían los valores de fondo. En el caso más sencillo el valor umbral coincide con el límite superior de los valores del fondo, los valores mayores son anomalías, los valores menores pertenecen al fondo.

Anomalía. Una anomalía es una desviación con respecto a lo normal, es decir, una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Una anomalía se expresa por medio de números, que se puede

separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico, donde para ser detectada la anomalía tiene que desviarse claramente de este fondo. En sentido estricto un depósito mineral como un fenómeno escaso y anómalo por sí mismo es una anomalía geoquímica. La distribución geoquímica relacionada con la génesis o la erosión del depósito mineral también es una anomalía.

Anomalías significantes. Son anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se puede usar como guías para la prospección, pues tiene valores que exceden a los valores de fondo. Es determinado mediante los tratamientos estadísticos.

Anomalías negativas o no significantes. Son anomalías que apenas sirven para la búsqueda de depósitos minerales, pues sus valores son menores que aquellos del fondo. Desdichadamente las concentraciones altas de elementos indicadores pueden ser causadas por una mineralización no económica o por procesos geológicos - geoquímicos no relacionados con una mineralización.

Muestreo de anomalías. Partiendo del principio conocido que una muestra es una porción pequeña, representativa de un conjunto o masa mayor, se deduce teóricamente al menos, que esa pequeña porción debe reunir las mismas características y propiedades del material representado y estar de acuerdo con el grado de exactitud requerido en base a la calidad y al número de muestras.

Es útil mencionar que el muestreo es una operación cuantitativa, sus resultados tienen valores mínimos y máximos, lo que implica una variación en la cantidad de lo que se quiere medir. Desde el punto de vista geoquímico, esta particularidad es singularmente notable, ya que en la corteza terrestre la abundancia original de los elementos, producto de la dispersión primaria, muy pocas veces está distribuida en forma regular, a lo cual se le puede añadir diversos factores locales, como topografía, litología, aguas circulantes; esto afecta aún más la variación, cuyo conocimiento es la finalidad de la

labor de recolección de muestras. En este sentido, el muestreo geoquímico es una operación que está encerrada dentro de límites exactamente establecidos, para adquirir un carácter rígido y a la vez preciso (Vásquez, 2009).

Existen distintos métodos y procedimientos para determinar los contenidos de distintos elementos en las muestras. Estudiaremos solo algunas de las más usadas en la prospección espectroscópica y se mencionarán las ventajas y limitaciones de los mismos (Mazadiego, 1994):

Colorimetría. Se basa en el estudio del cambio de color que toma una solución dada, como resultado de la reacción química que se produce con un elemento específico. Al producirse este hecho se manifiestan dos aspectos sobre este elemento.

Cualitativo. ya que al producirse el cambio de coloración se detecta la presencia del elemento en la muestra (por encima del nivel de detección del método).

Cuantitativo. ya que la intensidad del color tomado por la solución nos informa sobre el contenido del elemento en la muestra analizada. Esto último puede hacerse de la forma más precisa estudiando la absorción de una luz en un intervalo estrecho de frecuencia (o de longitudes de onda) la cual, para soluciones de concentraciones no elevadas, resulta proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

Gravimetría. La gravimetría se refiere a la medición del peso. Las partículas se atrapan o recogen en filtros y se pesan. El peso del filtro con el contaminante recolectado menos el peso de un filtro limpio da la cantidad del material particulado en un determinado volumen de aire. (Davis, 2002).

Es por ello que mediante la espectrometría se buscará determinar los minerales que caracterizan una zona rica en minerales.

1.2. Formulación del problema

¿Qué zonas mineralizadas son prospectables mediante el uso de espectroscopía en el distrito de Sorochuco, Cajamarca – 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las zonas mineralizadas prospectables mediante el uso de espectroscopía en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020

1.3.1. Objetivos específicos

Determinar las zonas de probable muestreo de minerales mediante el uso de espectroscopia satelital en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020.

Realizar el cartografiado geológico y análisis cinemático de las fallas en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020.

Obtener información espectroscópica de muestras de mano tomadas en campo mediante el uso de un ASD TerraSpec 4 en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020.

Realizar la interpretación espectroscópica de reflectancia para determinar la mineralogía y el tipo de alteración que se tiene en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Las zonas mineralizadas son prospectables mediante el uso de espectroscópica, encontrándose zonas mineralizadas de tipo hidrotermal en las zonas de la Carpa, Chin chin y Ocsa

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según Hernández, (2010). La investigación por su fin será de tipo aplicada, buscará definir propuestas prácticas para mapeo de alteraciones e identificación de yacimientos; de alcance aplicado tecnológico, ya que se busca mejorar los métodos de prospección, generando modelos con una certeza en la identificación mineral mayor a lo convencional; de enfoque cuantitativo, pues recolectará datos minerales de reflectancia espectroscópica en zonas mineralizadas; con diseño no experimental pues no se manipulará las variables de trabajo y de carácter transversal correlacional causal, ya que la toma de datos se realizará en un punto específico espacio temporalmente, buscando la correlación de sus variables y la interrelación de causa efecto de sus variables.

2.2. Población y muestra.

2.2.1. Población

La población de estudio corresponde a las rocas mineralizadas tomadas en el distrito de Sorochuco

2.2.2. Muestra

13 muestras de roca mineralizada con presencia de minerales de alteración, recolectadas por medio de muestreo selectivo en el distrito de Sorochuco

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos.

Análisis documental

El análisis documental se realizó en boletines geológicos del Perú, revistas científicas, tesis de pre y post grado referidas a análisis multiespectral y prospección espectroscópica

Observación directa.

La observación directa se realizó con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información y tener un panorama claro sobre la zona de mapeo, se recolecto información sobre prospección espectroscópica, geología regional, topografía base y datos sobre muestreo en zonas cercanas, además se revisó bibliografía sobre técnicas de muestreo geoquímico y se recolecto imágenes satelitales para un análisis multiespectral mineral previo a la etapa experimental.

2.3.2. Instrumentos

- Picota de geólogo
- Lupa 20x,40x,60x
- Imágenes satelitales
- Ficha de observación
- Rayador de minerales
- Brújula azimutal
- GPS navegador
- Espectrómetro de reflectancia ATF 2160

2.3.3. Materiales

- Porcelana
- Ácido clorhídrico
- Libreta de apuntes
- Rotuladores
- Colores

2.4. Procedimiento

2.4.1. Etapa de Precampo o gabinete I

En esta etapa se realizó la investigación documental, es decir, la recopilación de información existente sobre prospección espectroscópica. Esta información se recolectó de diversas fuentes como: artículos científicos, tesis doctorales, maestrías y proyectos de investigación minera.

Para realizar la revisión bibliográfica se realizó un análisis y parafraseo de la información encontrada. Estableciendo una relación entre las fuentes y comparándolas entre ellas así recopilar de manera críticamente información útil.

En esta etapa también se elaboraron los planos topográfico y geológico regionales a partir de la carta geológica 14G y 15G, realizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET),

Para lo cual se ingresó a la página virtual de GEOCATMIN <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>, de la cual se realizó la descarga de información geológica de la zona de trabajo. De igual modo se realizó la descarga de información topográfica, hidrográfica y de accesibilidad haciendo uso del programa Global Mapper, información que fue organizada y presentada en formato Shapefile en programa SIG ArcGIS; sobre los cuales se recolectará información detallada a escala local de contactos litológicos, pliegues y estructuras que en la zona puedan evidenciar ambientes de génesis mineral.

También requirió el análisis e interpretación de imágenes satelitales ASTER para delimitar la mineralogía; utilizándose el software ArcGIS 10.5 y ENVI 5.4 mediante el método denominado Crosta el cual se detalla a continuación

2.4.1.1. Procesamiento de la imagen Aster L1B

Descarga de imágenes Aster L1B

La descarga de la imagen satelital se realizó teniendo en cuenta información multiespectral que abarque la zona de estudio, que contenga una información multicanal en sus tres subsistemas tales como SWIR, VNIR Y TIR y buenas condiciones atmosféricas; para lo cual se hará uso del servidor virtual del Instituto Geológico de los Estados Unidos: <https://www.usgs.gov/>

Tabla 1

Características de imágenes ASTER

Subsistemas espectrales	N° Banda	Ancho de banda (µm)	Longitud de onda efectiva	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica (bits)
NVIR	1	0.52 – 0.60	0.556000	15	8
	2	0.63 – 0.69	0.661000		
	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)		
	11	8.475 – 8.825	(8.635)		
TIR	12	8.925 – 9.275	(9.074)	90	12
	13	10.25 – 10.95	(10.659)		
	14	10.95 – 11.65	(11.267)		

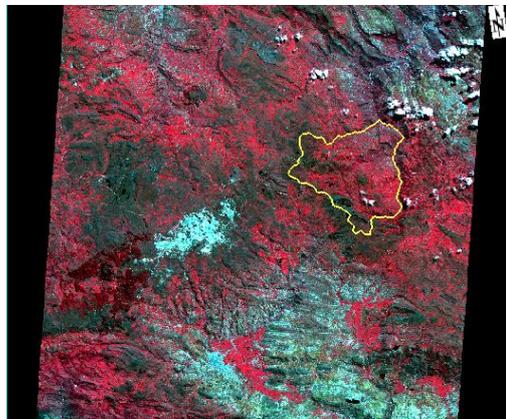
Fuente: USGS (2015), información recopilada de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

2.4.1.2. Calibración

La calibración de una imagen satelital es un proceso que se aplica con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor, de esta manera se logra mejorar la calidad tanto visual como espectral de la imagen.

Figura 1

Imagen satelital ASTER LIB.



Fuente: Propia

Figura 2

Imagen satelital ASTER LIB recortada y calibrada de la zona de estudio.



Fuente: Propia

2.4.1.3. Enmascaramiento

En la presente investigación se realizó el enmascaramiento de agua, nubes, vegetación, zonas urbanas, sombras y cualquier tipo de información que sea innecesaria y redundante para la búsqueda de material mineralizado, para lo cual se utilizará el método de análisis de componentes principales (CP)

Las bandas de CP son combinaciones lineales de las bandas espectrales originales y no están correlacionadas. Se puede calcular el mismo número de bandas de PC de salida como de entrada de bandas espectrales. El primer PC(PC1) contiene el mayor porcentaje de varianza de los datos y la banda de PC segunda (PC2) contiene la segundo más grande de la varianza de datos, y así sucesivamente.

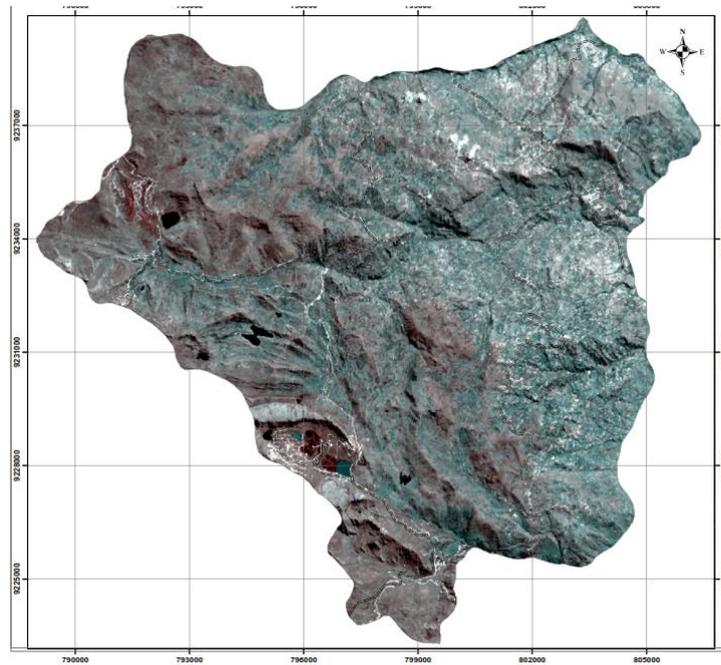
Las bandas de PC de última (PCn) aparecen ruidosos porque contienen muy poca variación, que en gran parte se debe al ruido en los datos originales espectral.

Las bandas de los Componentes Principales se utilizan para producir imágenes de compuesto color más coloridos que espectralmente, los colores de las imágenes compuestas por esto componentes son mayor calidad visual porque los datos no se correlacionan.

(Richards y Jia, 1999. Extracto de un manual de ayuda ENVI)

Figura 3

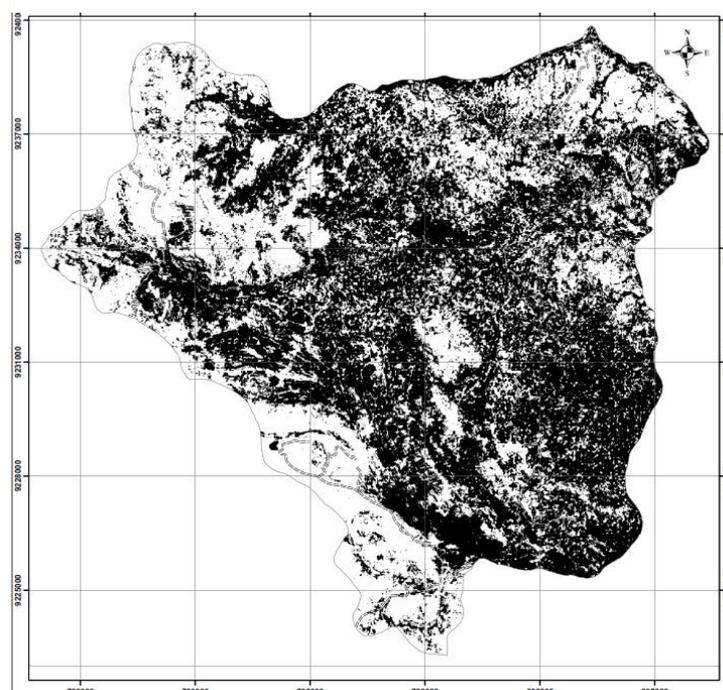
Imagen Aster corregida del distrito de Sorochuco



Fuente: Propia

Figura 4

Mascara generada por método PC en el distrito de Sorochuco



Fuente: Propia

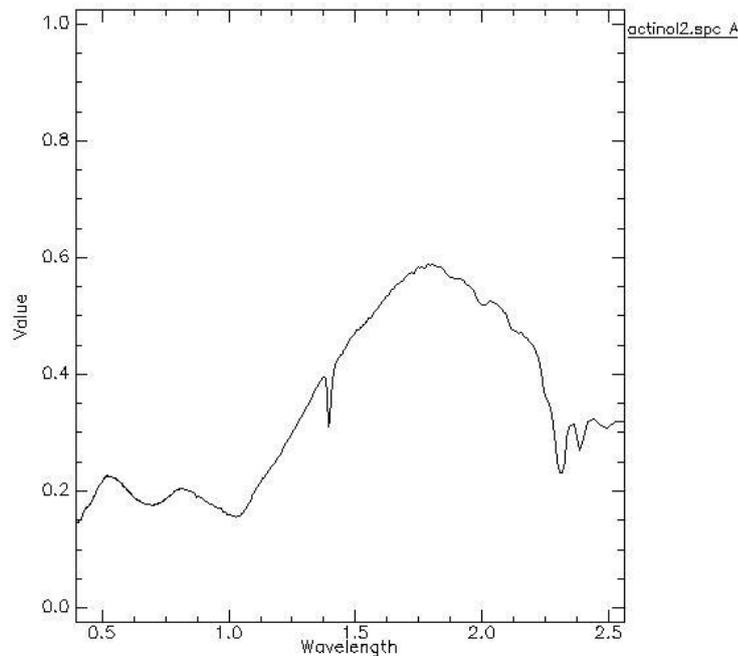
2.4.1.4. Elaboración de librería espectral

La librería espectral se generó a partir de datos obtenidos de foto espectrómetros de reflectancia estudiados en el laboratorio de reflectancia espectral de la agencia de propulsión a chorro de la NASA, conocido por sus siglas en inglés como: Jet Propulsion Laboratory (JPL). Esta información permitió la comparación de picos de reflectancia y absorción característicos de cada mineral.

A continuación, se presentan las firmas espectrales de minerales de alteración conocidos, observándose en el eje vertical el valor de reflectancia y absorción; mientras que en el eje horizontal la longitud de onda en micrómetros (μm)

Figura 5

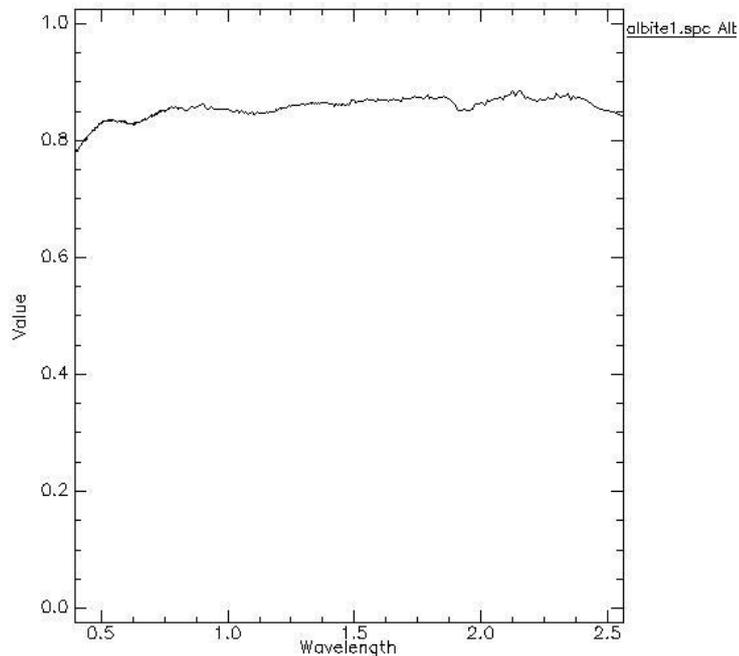
Firma espectral de actinolita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 6

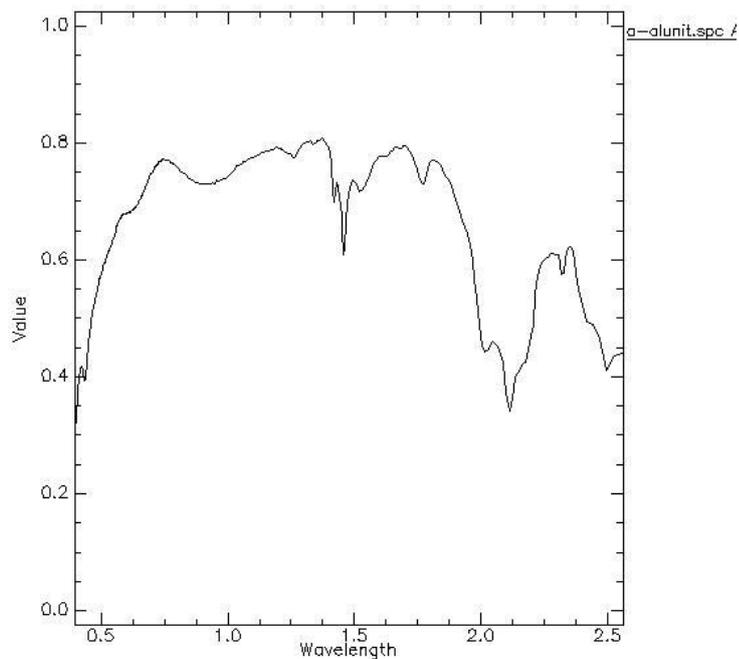
Firma espectral de albita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 7

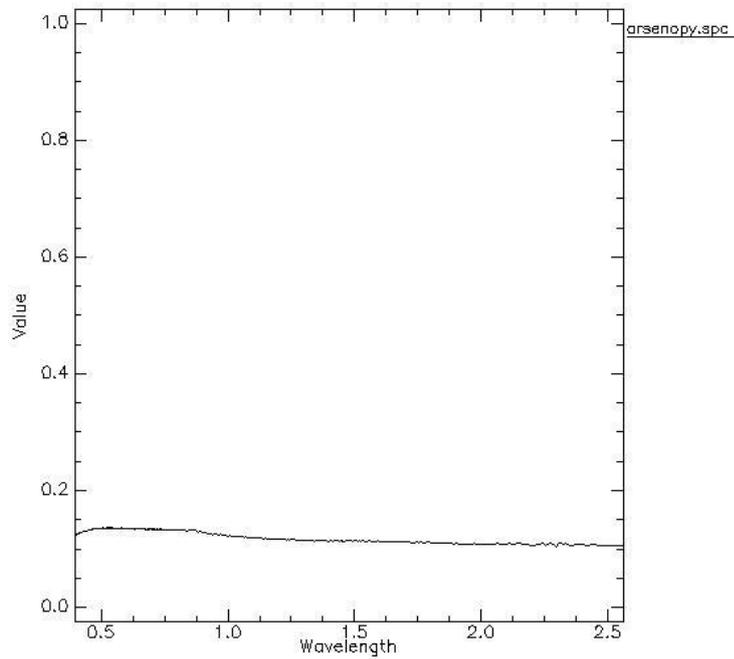
Firma espectral de alunita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 8.

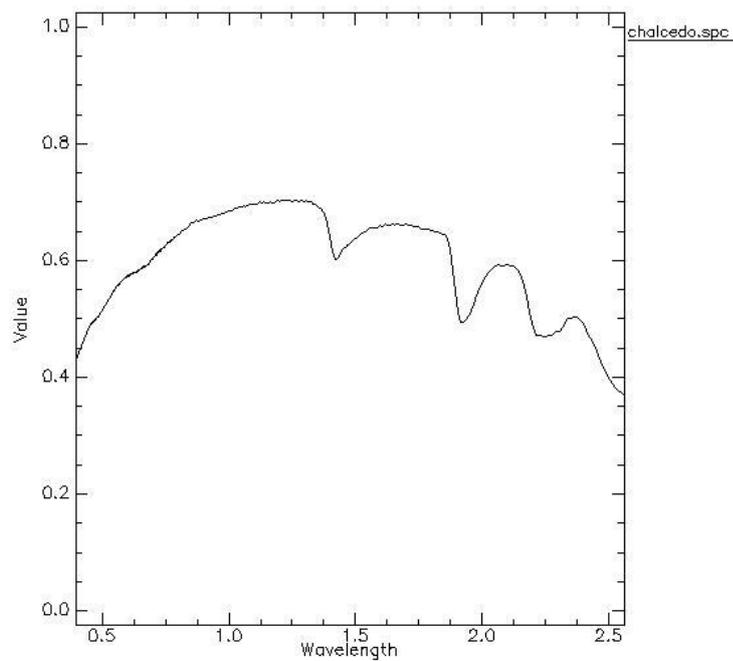
Firma espectral de arsenopirita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 9

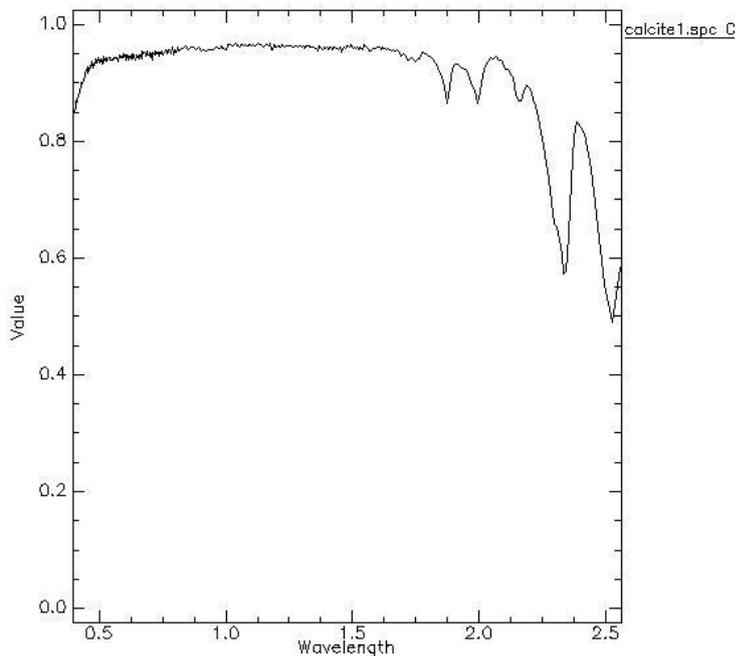
Firma espectral de calcedonia



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 10

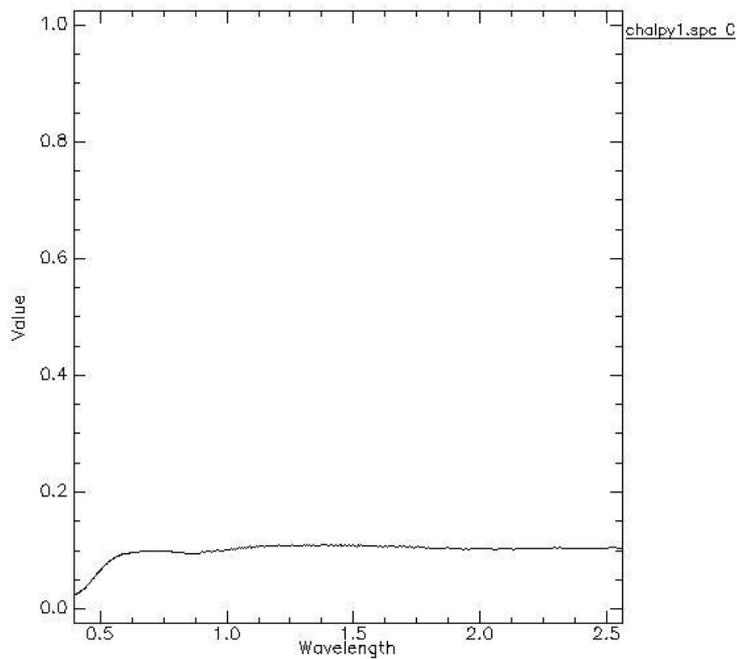
Firma espectral de calcita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 11

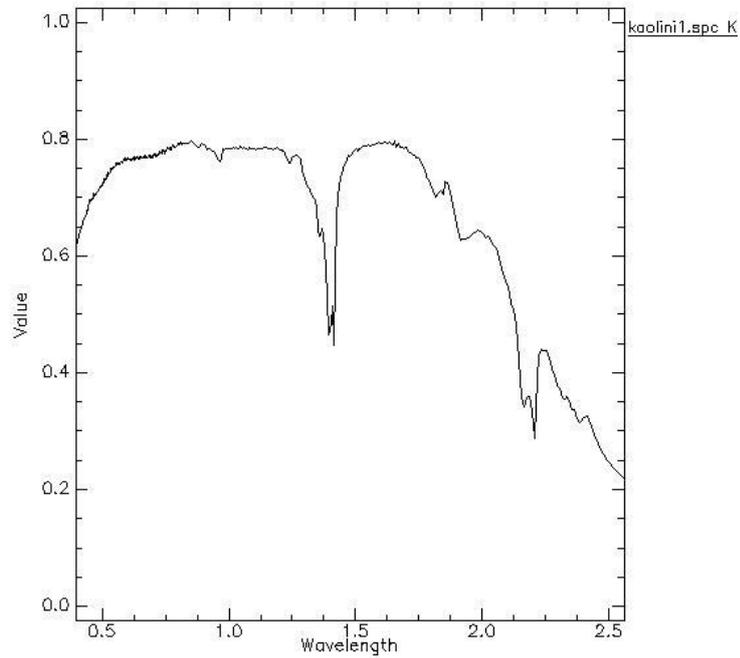
Firma espectral de calcopirita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 12.

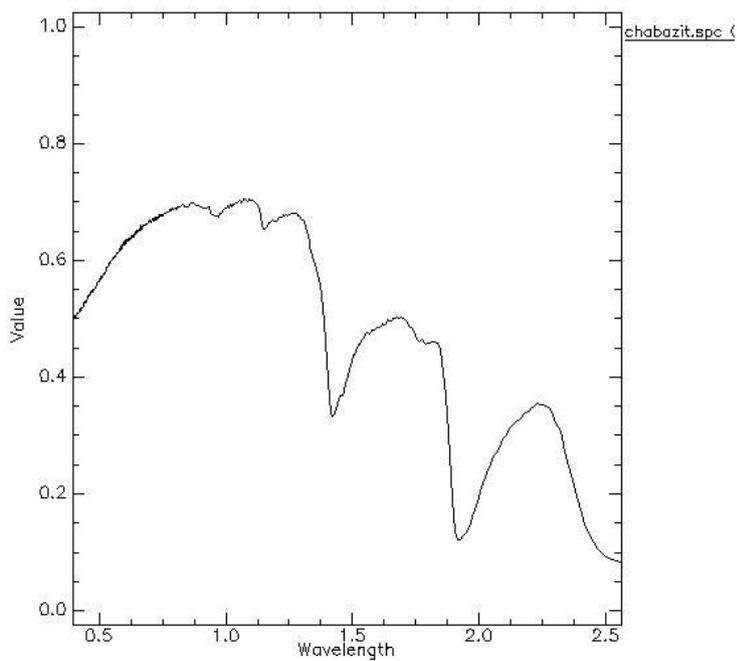
Firma espectral de caolinita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 13.

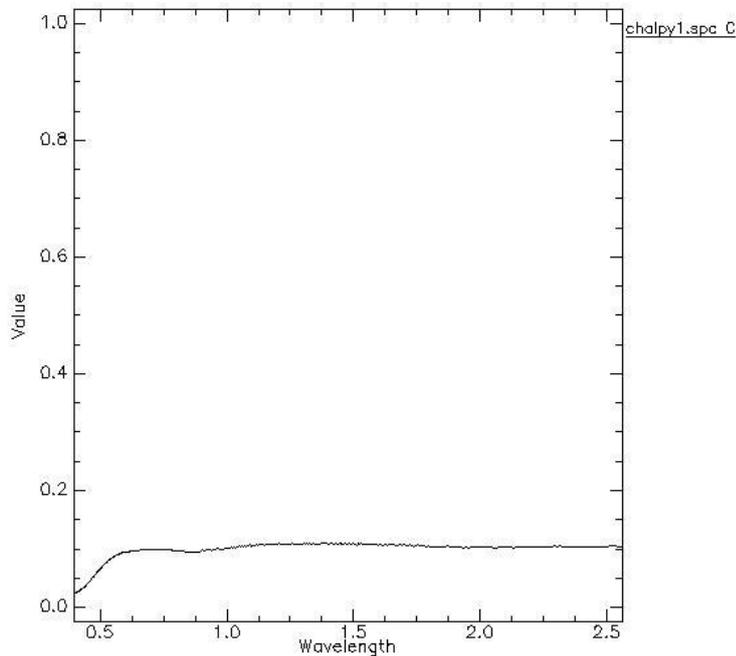
Firma espectral de chabasita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 14.

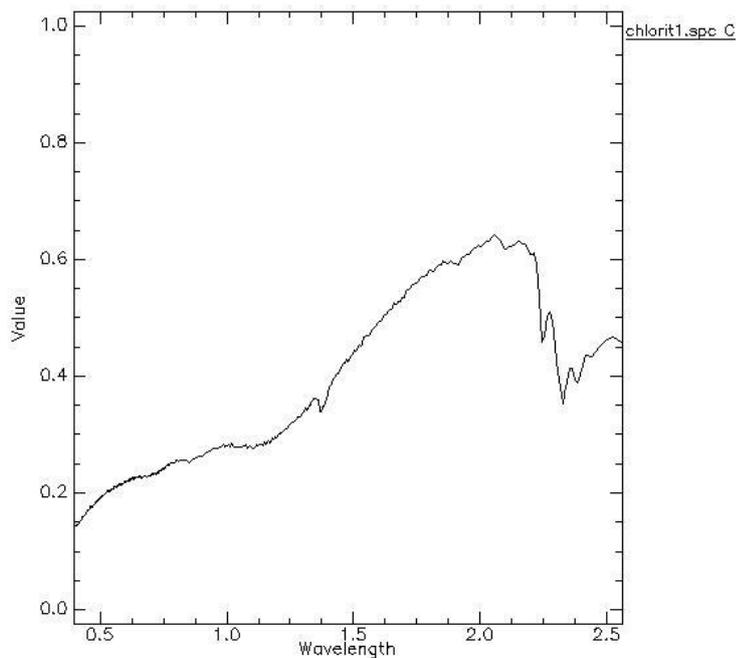
Firma espectral de calcopirita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 15.

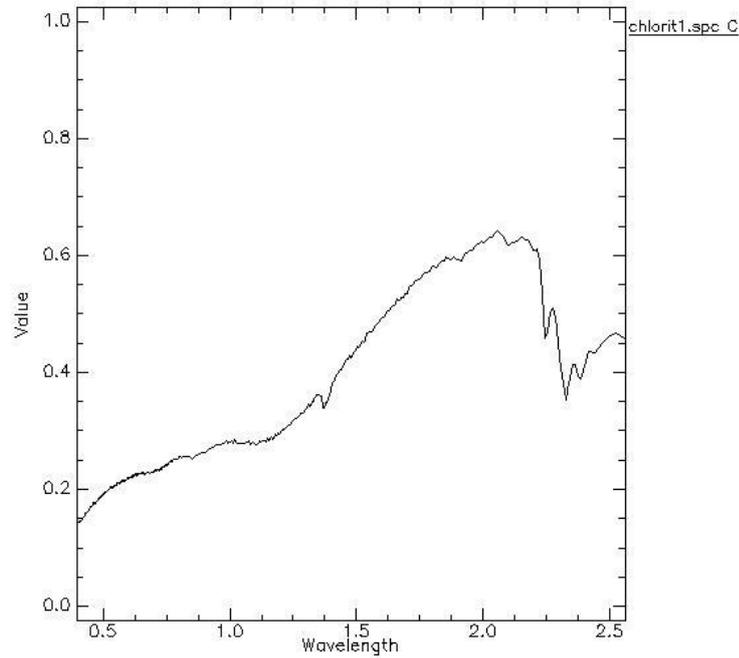
Firma espectral de clorita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 16.

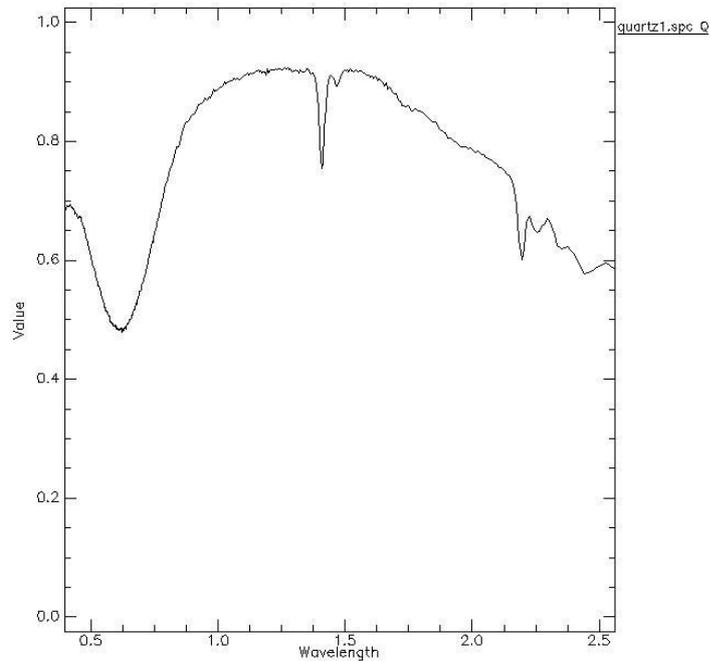
Firma espectral de corindón



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 17.

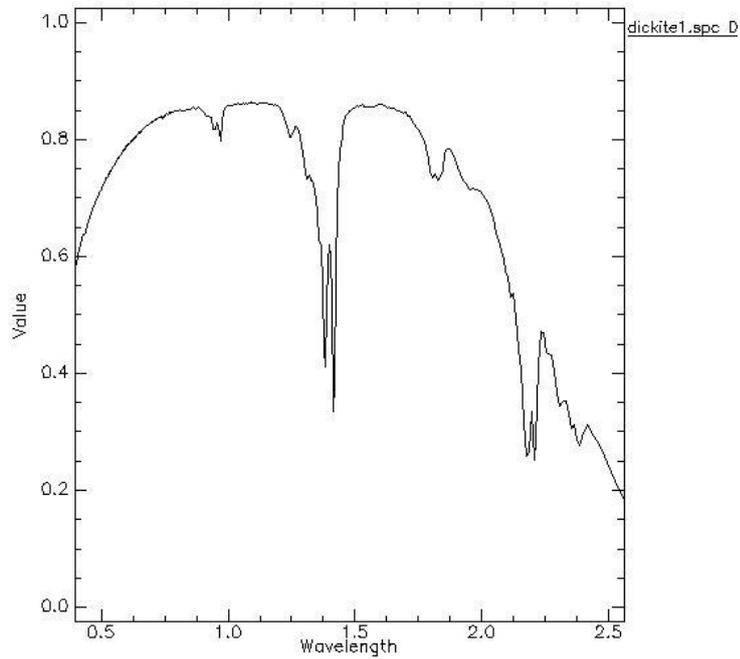
Firma espectral de cuarzo



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 18.

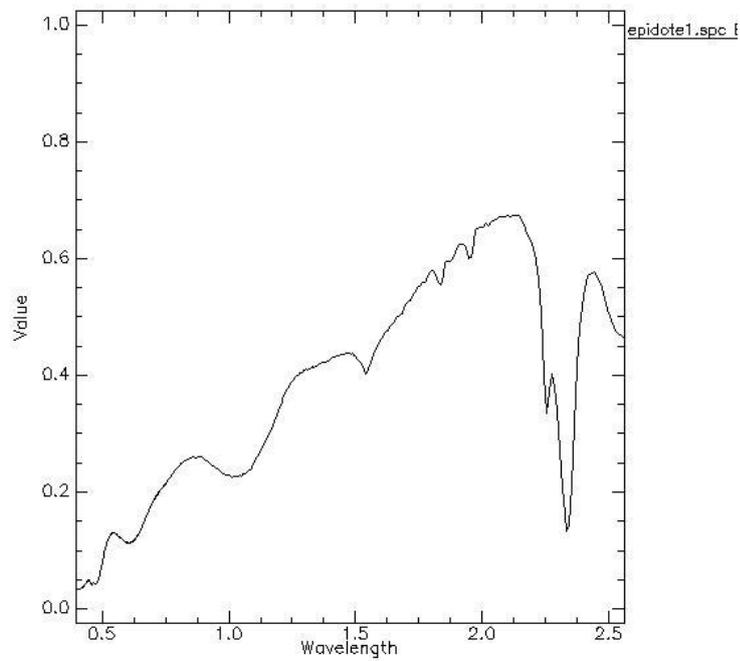
Firma espectral de dickita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 19

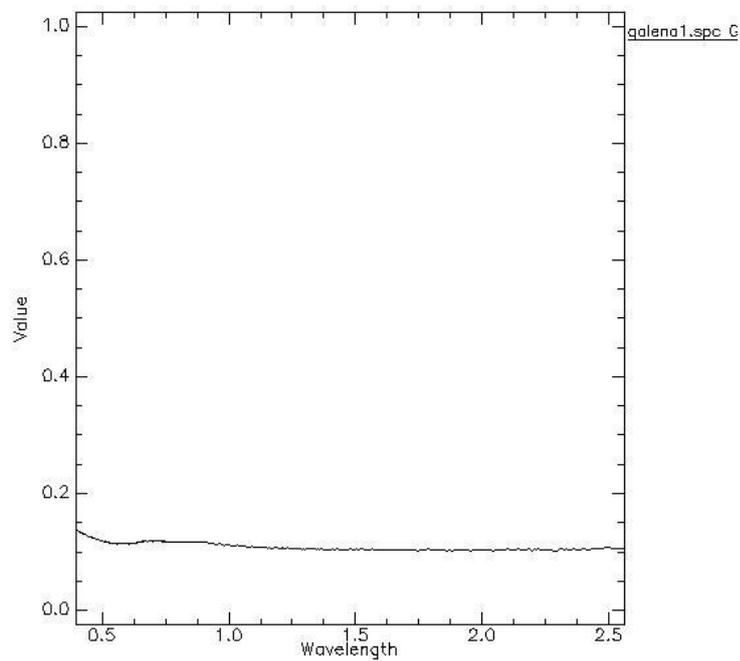
Firma espectral de epidota



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 20.

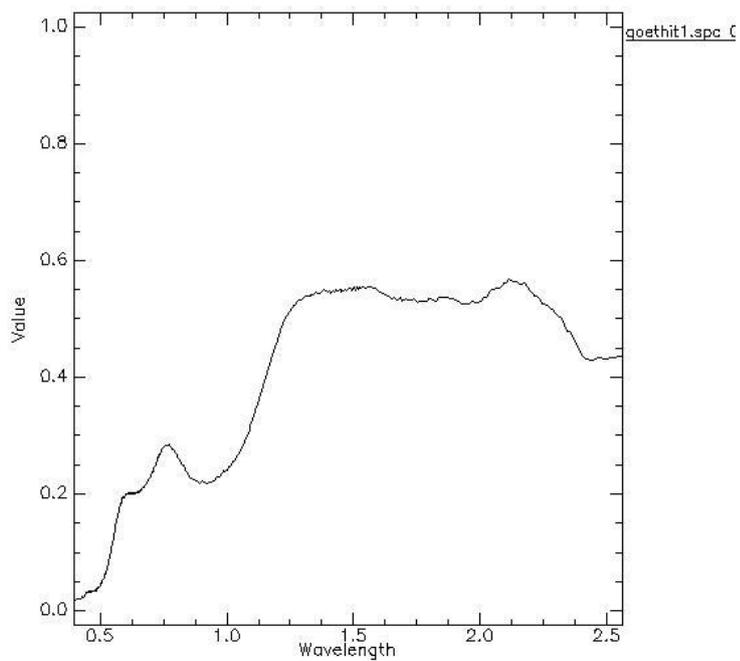
Firma espectral de galena



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 21.

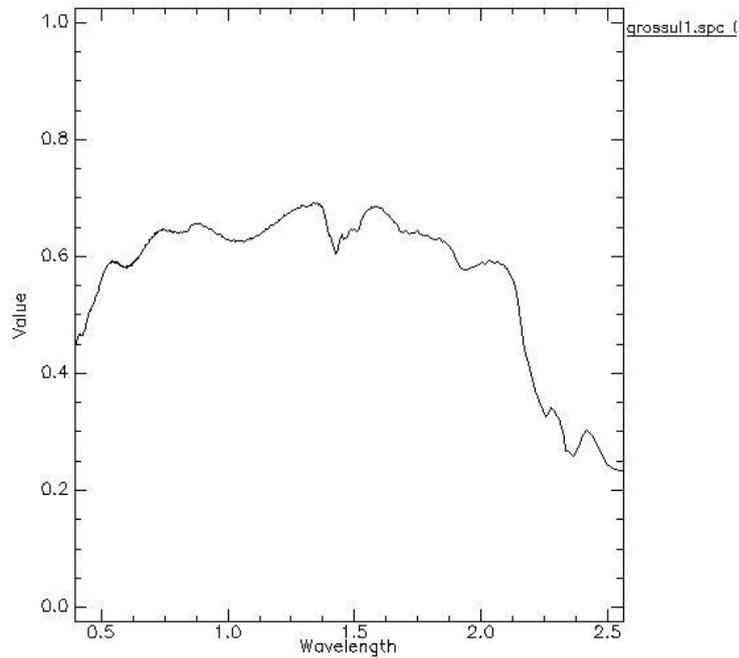
Firma espectral de goetita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 22

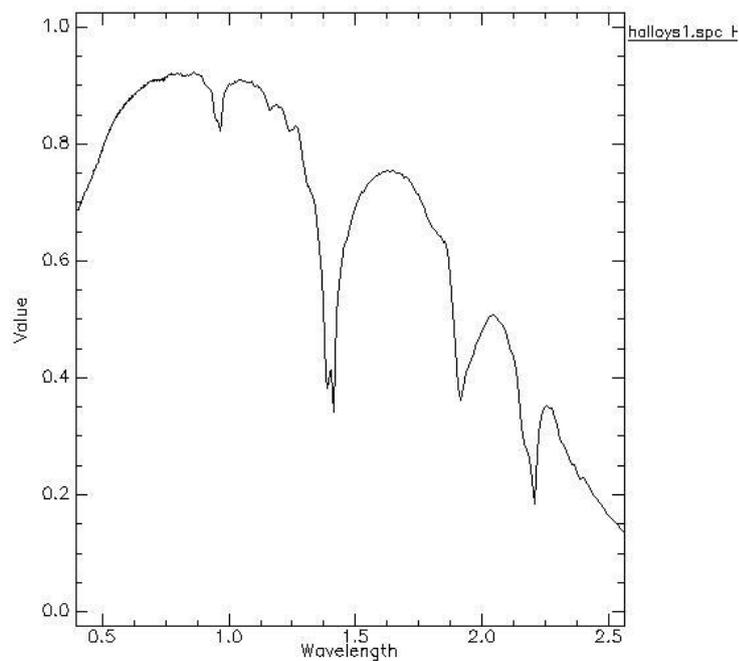
Firma espectral de grosularia



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 23.

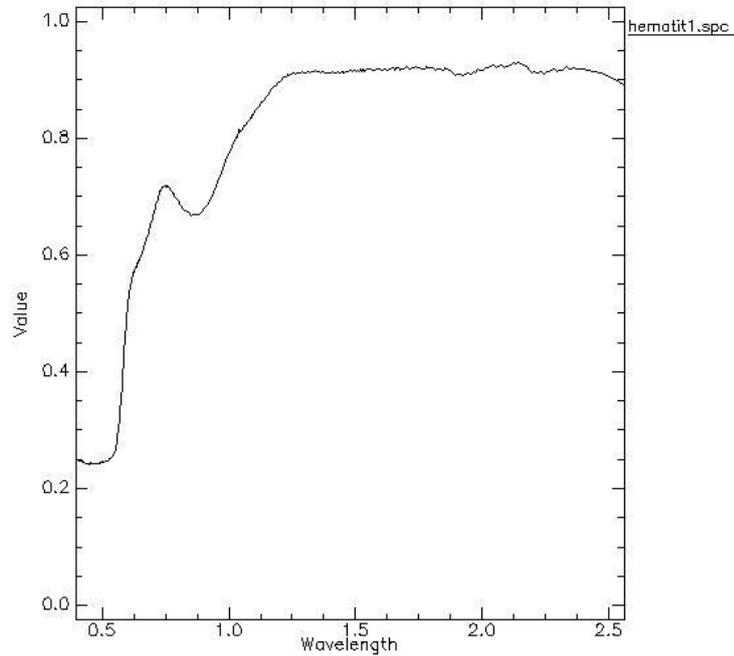
Firma espectral de halloysita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 24.

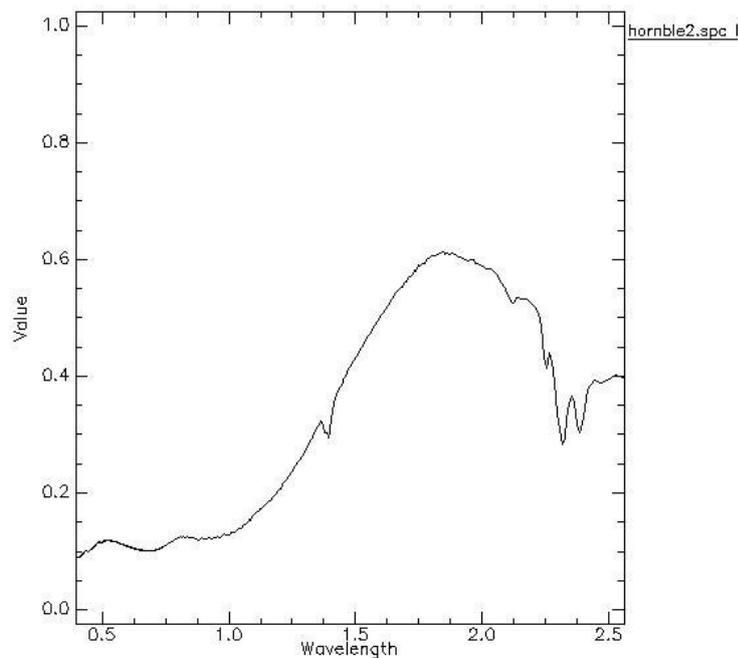
Firma espectral de hematita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

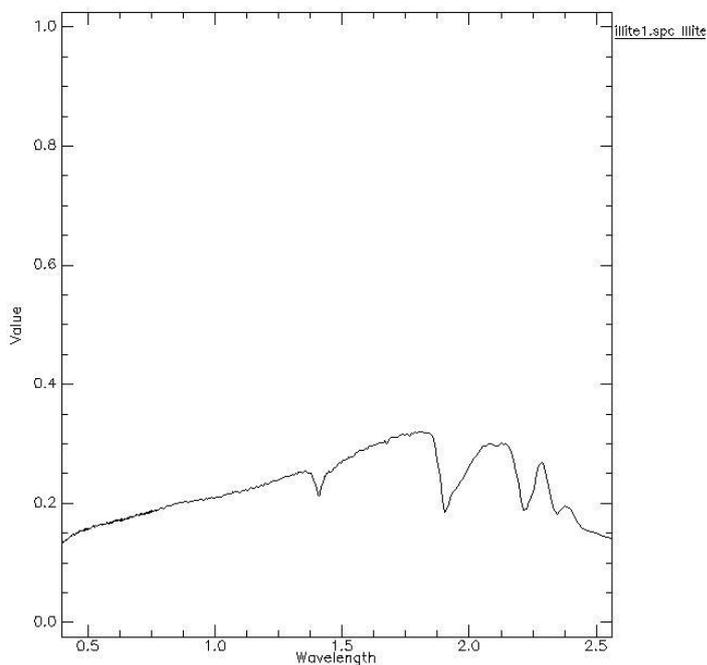
Figura 25.

Firma espectral de hornblenda



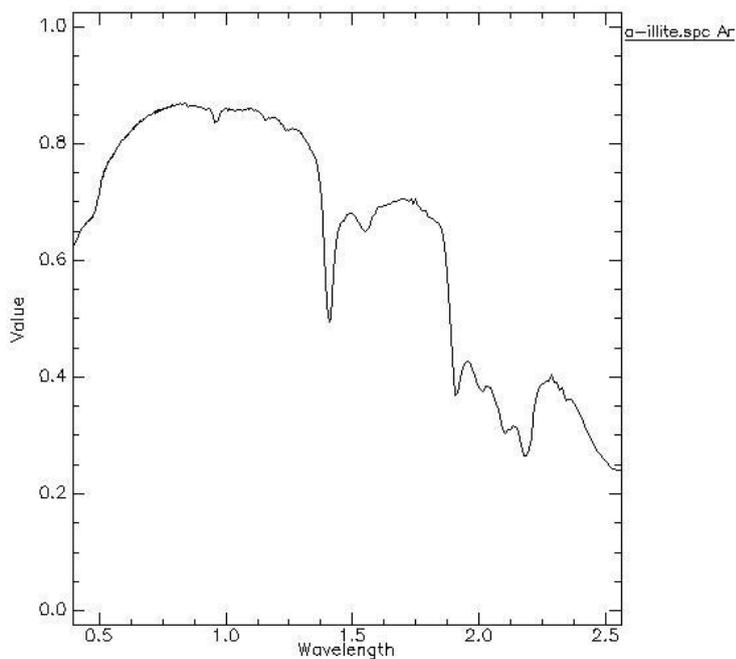
Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 26.
Firma espectral de illita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

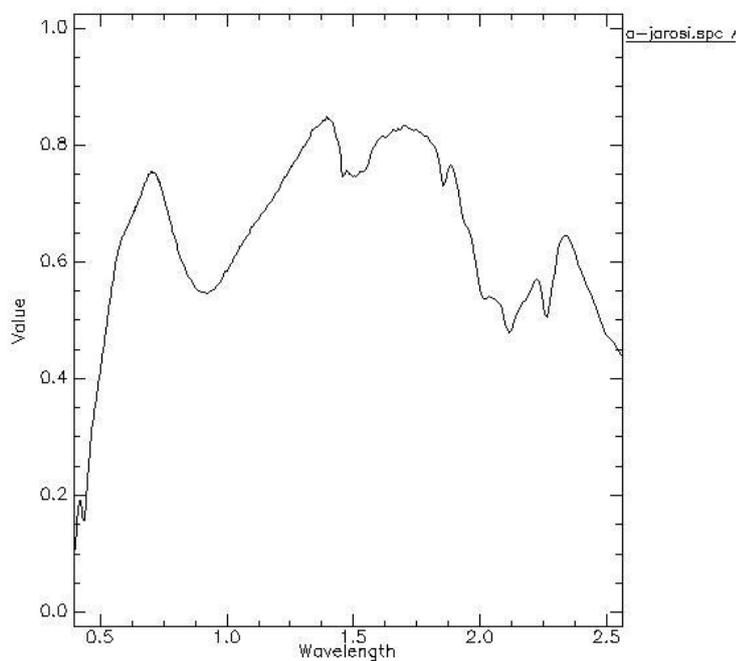
Figura 27.
Firma espectral de esmectita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 28.

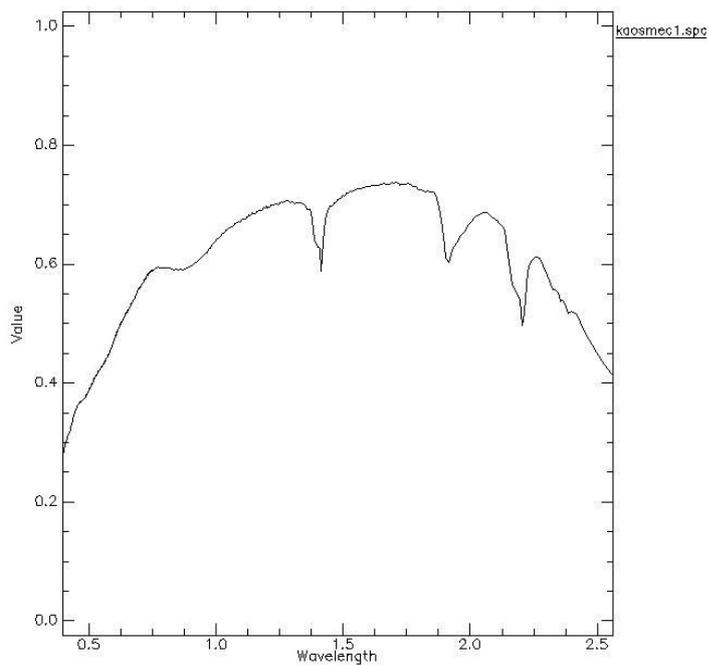
Firma espectral de jarosita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 29.

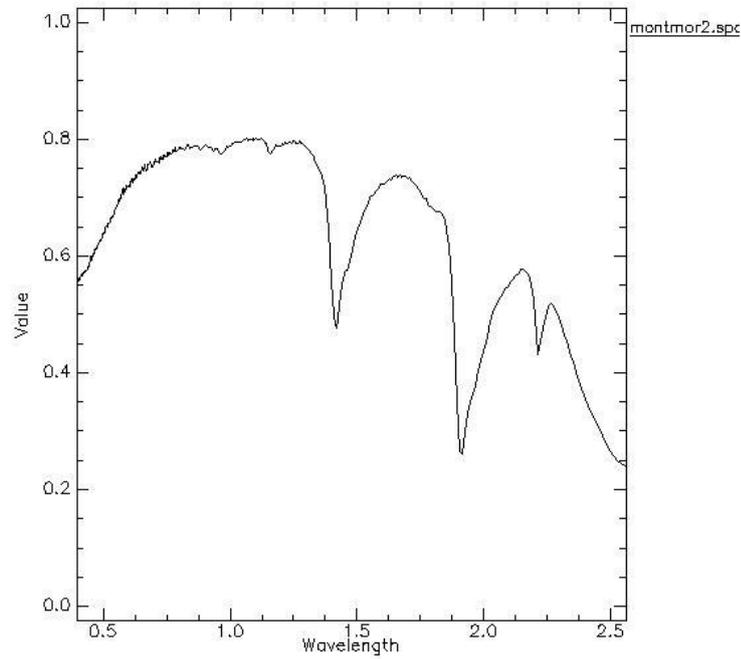
Firma espectral de caosmectita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 30.

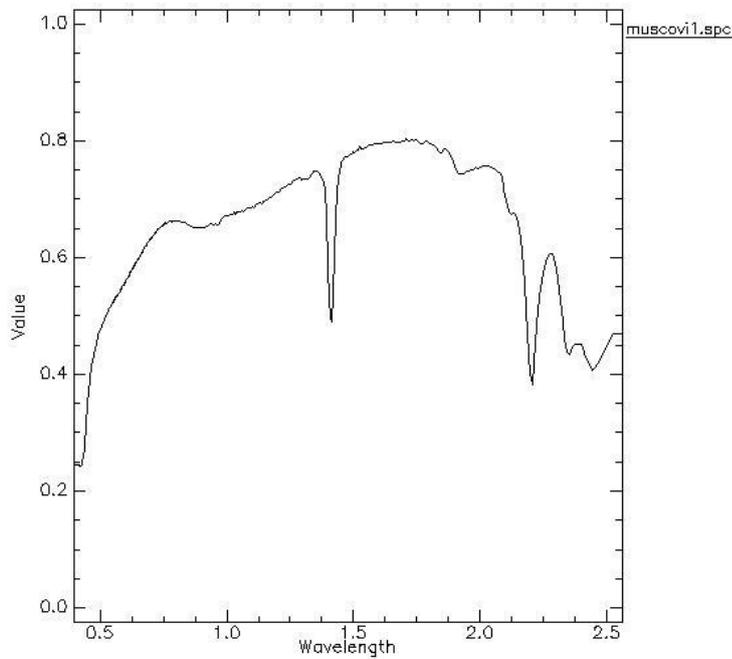
Firma espectral de montmorillonita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 31

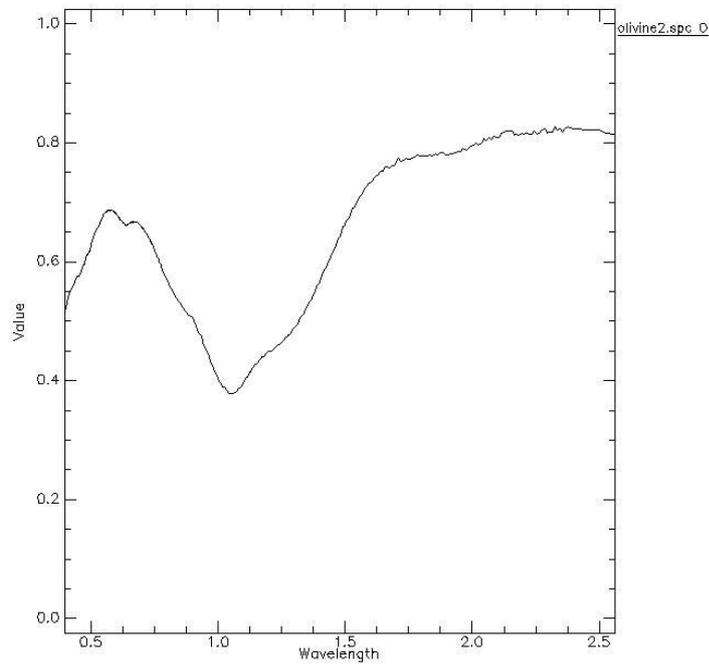
Firma espectral de muscovita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 32

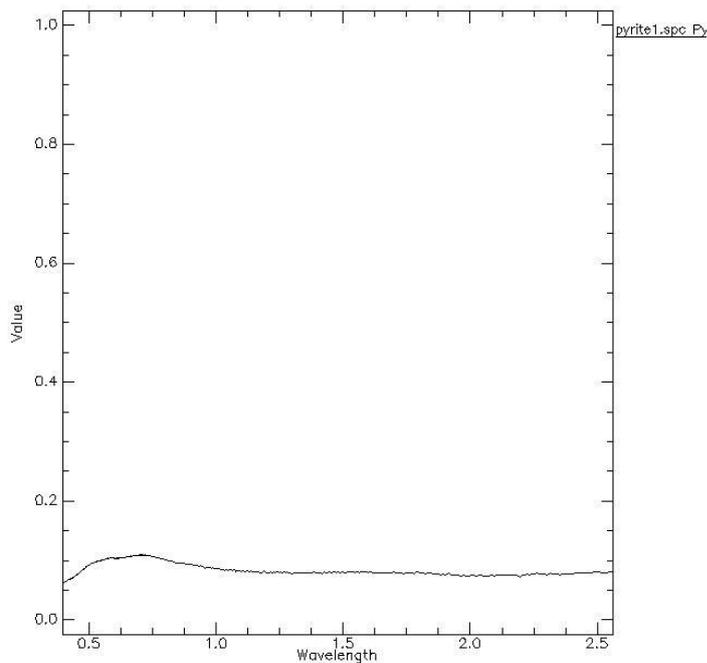
Firma espectral de olivino



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 33.

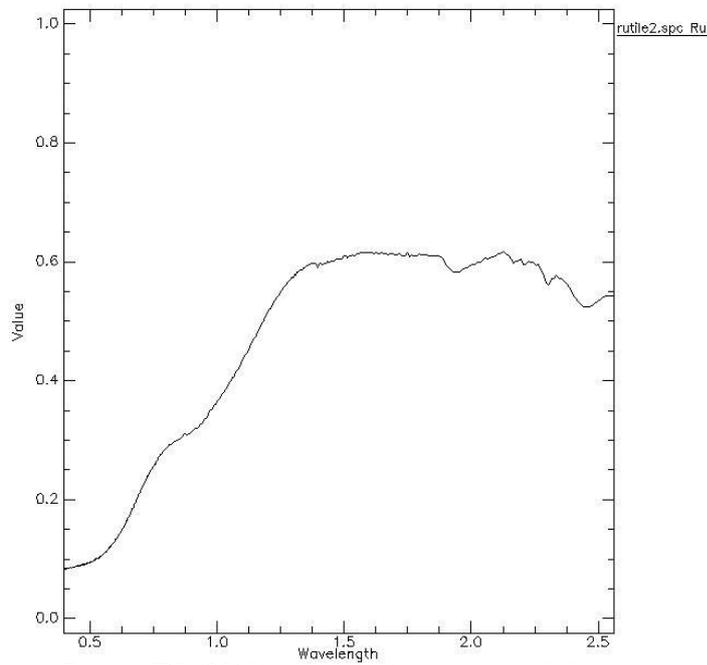
Firma espectral de pirita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 34.

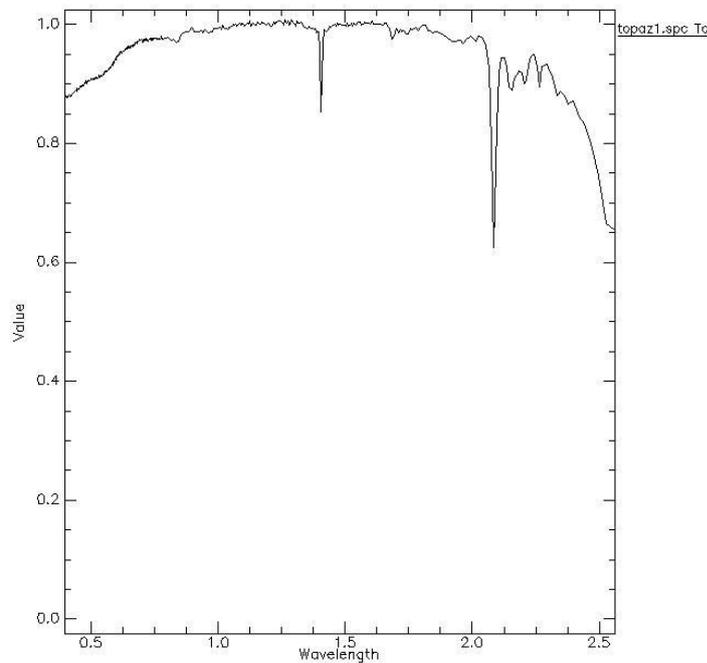
Firma espectral de rutilo



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 35.

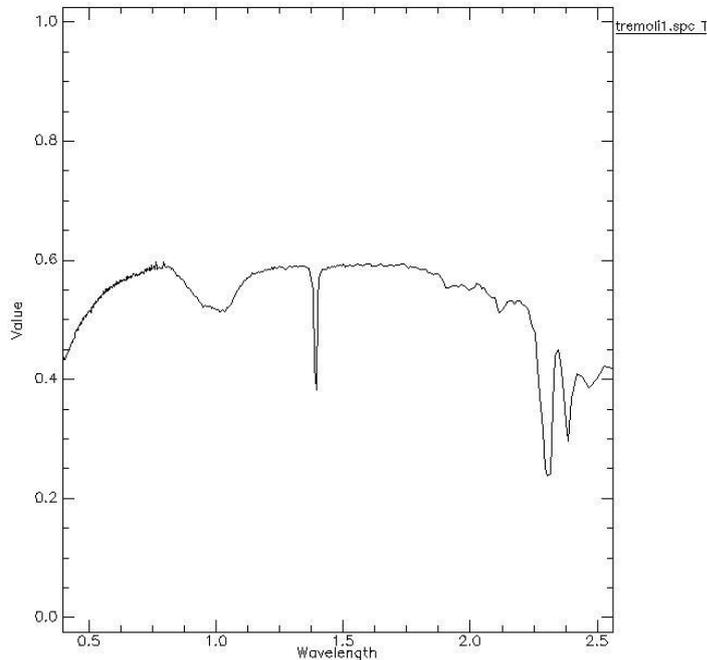
Firma espectral de topacio



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

Figura 36.

Firma espectral de tremolita



Fuente: JPL (2015), información recopilada de librerías espectrales

2.4.1.5. Análisis espectral MTMF

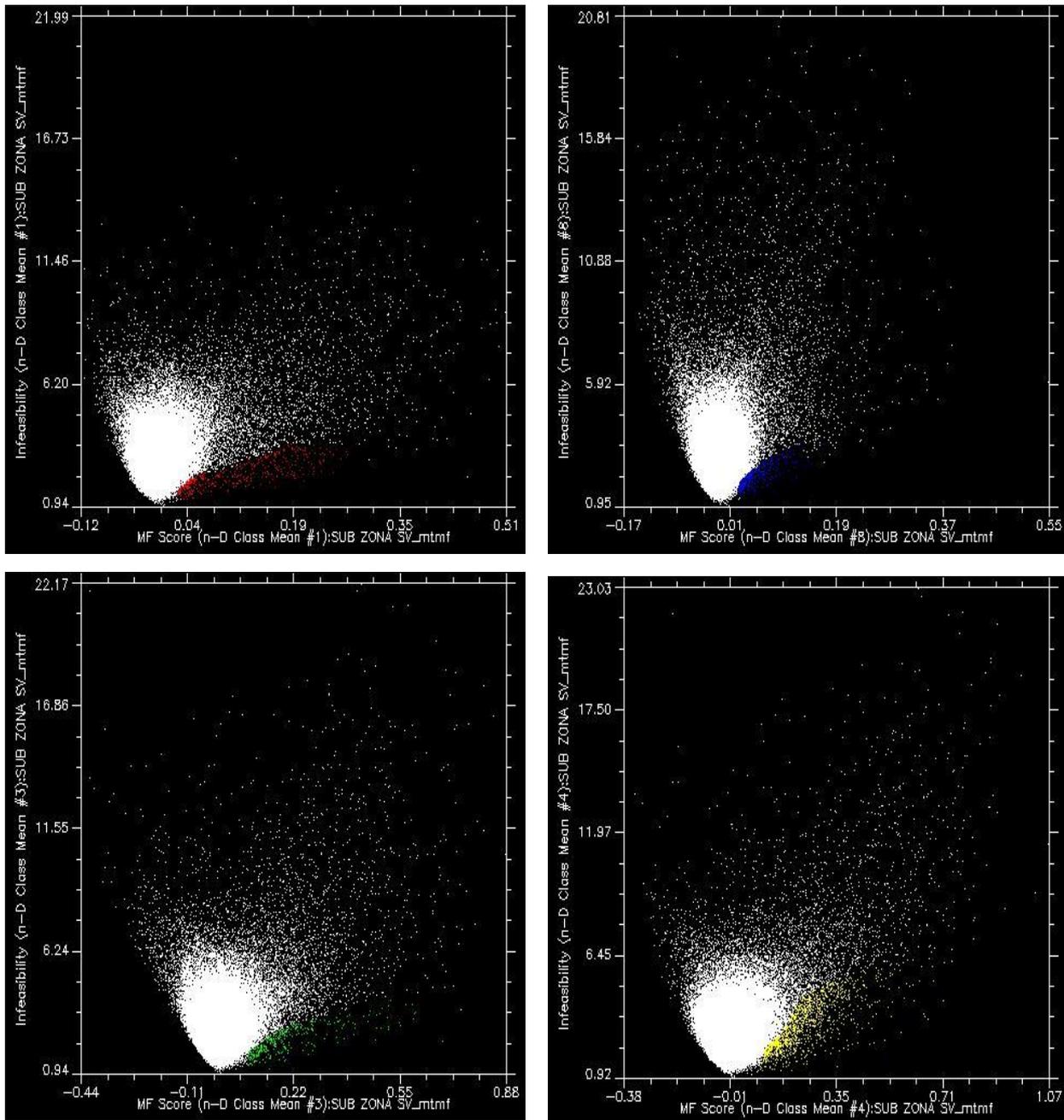
Posteriormente a la creación de librerías espectrales se procedió a realizar la obtención de firmas espectrales haciendo uso del software Envi 5.4 mediante la técnica denominada Pixel Purity index (Ahmad, 2012) y el método Crosta propuesto por Crosta et al., (2003), estas técnicas consisten en buscar los pixeles espectralmente más puros en la imagen, dentro de los cuales aparecen firmas espectrales de minerales de alteración que posteriormente se interpretó para lo cual se aplicó el método Mixture Tuned Matched Filtering O MTMF (Ahmad y Qurat, 2012).

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

La probabilidad de ocurrencia se calcula gracias al análisis de variogramas por mineral que nos permite su localización espacial.

Figura 37

Variogramas de probabilidad vs improbabilidad de ocurrencia por mineral



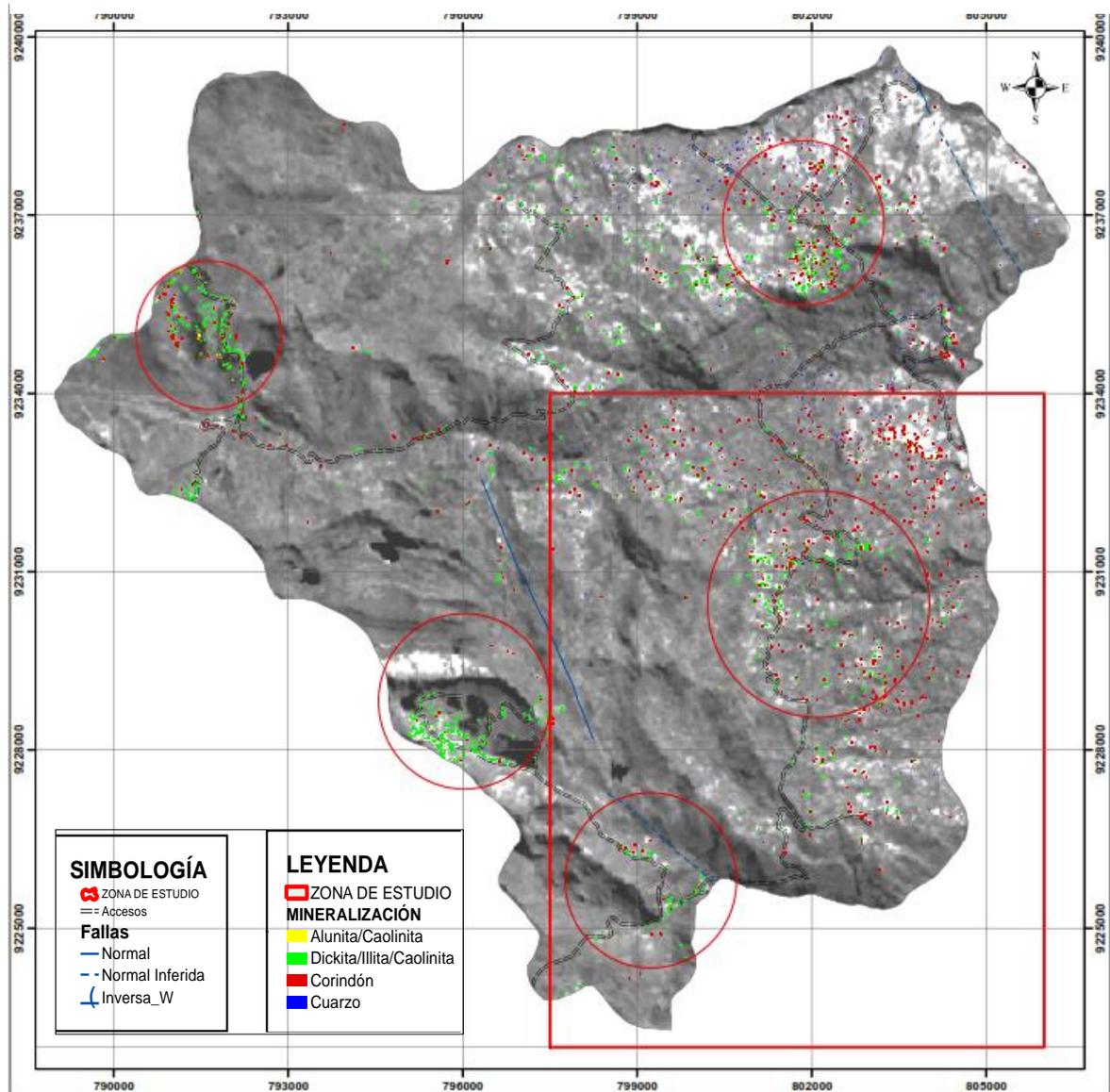
Fuente: Propia

2.4.1.6. Zonas de probable mineralización

Se llegó a determinar 5 zonas mineralizadas importantes en todo el distrito de Sorochuco, de las cuales se realizó solo el mapeo en campo de dos zonas ubicadas al sur este del distrito debido a la extensión y accesibilidad de la zona, se detectó en estas zonas: alunita, caolinita, illita, dickita, corindón y cuarzo; los cuales corresponden a minerales de alteración hidrotermal.

Figura 38.

Zonas de posible mineralización analizadas mediante técnica multiespectral en Aster



Fuente: propia

2.4.2. Etapa de campo

La técnica que se utilizó para cumplir con la expectativa de esta investigación, conlleva a una serie de procedimiento en la cual se analizaron muestras de roca que fueron colectadas de forma sistemática en líneas de muestreo y por técnicas de muestreo selectivo.

En cada punto de muestreo se tomaron al menos tres ejemplares de mano que estuvieron libres de materia orgánica; el lugar de muestreo también será condicionado a la presencia de afloramientos.

La ubicación de cada muestra tuvo un apoyo base de técnicas de prospección a partir de imágenes multiespectrales, con la finalidad de generar zonas de interés en campo, también se documentó la mayor cantidad de información geológica posible de la zona de muestreo, como: Tipo de roca, alteración, datos estructurales, tipo y grado de oxidación, mineralogía y comentarios; con la finalidad de obtener un ambiente geológico de desarrollo mineral.

La espectrometría de reflectancia es una eficiente herramienta para la identificación de minerales en muestras individuales, sin embargo, el mayor provecho se obtiene de la recolección de datos en forma sistemática.

Como en toda investigación o caso de estudio el manejo limpio y preciso de la información recabada es de suma importancia para obtener resultados útiles y confiables, de modo que toda la información referida al proceso de muestreo para el análisis debe ser clara y contener la mayor cantidad de información posible, por ejemplo: Numero de muestra, localización, tipo de muestra (muestra de mano, chips de barrenación, núcleo, pulpas, suelo etc.), y por supuesto una descripción detallada de las características geológicas como litología, alteración, estructuras, grado y tipo de oxidación, , mineralogía etc.

Al realizar el análisis de una muestra, es importante tomar en cuenta, los siguientes aspectos, ya que de ello depende, la buena o mala interpretación de los datos espectrales:

- Localización
- Tipo de mineralización
- Codificación
- Recolección de muestra de roca mineralizada considerable.

Para el análisis de rocas con el espectrómetro solo se requiere de muestras de mano con superficie fresca y lo más plana posible y que estén libres de contaminantes, la muestra se coloca sobre el orificio de 3 cm de diámetro en el espectrómetro y esta debe quedar inmóvil hasta que se termine el proceso de escaneo.

La aplicación de este método no es adecuada para la mayoría de los silicatos anhidros, además, no es posible identificar aquellos minerales que estén presentes en cantidades menores al 5%, salvo algunas excepciones.

La espectrometría de reflectancia nos servirá como herramienta de sectorización que permita evidenciar zonas de alteración que puedan presentar mineralización metálica que sea económicamente rentable

2.4.3. Etapa de post campo o gabinete II

En la etapa de gabinete II la totalidad de muestras fueron analizadas mediante la técnica de espectrometría de reflectancia haciendo uso de un espectrómetro TerraSpec, y los datos obtenidos fueron procesados para la identificación de minerales con el apoyo del software SPEC-MIN y SpecWin Aplicacion.

La información obtenida fue presentada en firmas espectrales de minerales de alteración hidrotermal que permitirá sectorizar zonas de alteración hidrotermal.

Posteriormente se presentó esta información en planos en formato Shapefile trabajado con ayuda de programa SIG como es ArcGIS 10.5.

Adicionalmente se trabajó los datos estructurales en programas especializado DIP's y Stereonet, con la finalidad de graficar las principales estructuras presentes en la zona de estudio y determinar los principales esfuerzos que dieron origen a las estructuras de la zona y posible causa de mineralización.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aspectos generales

3.1.1. Ubicación

El Distrito peruano de Sorochuco es uno de los doce distritos que conforman la Provincia de Celendín, ubicada en la Región de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, en el norte del Perú.

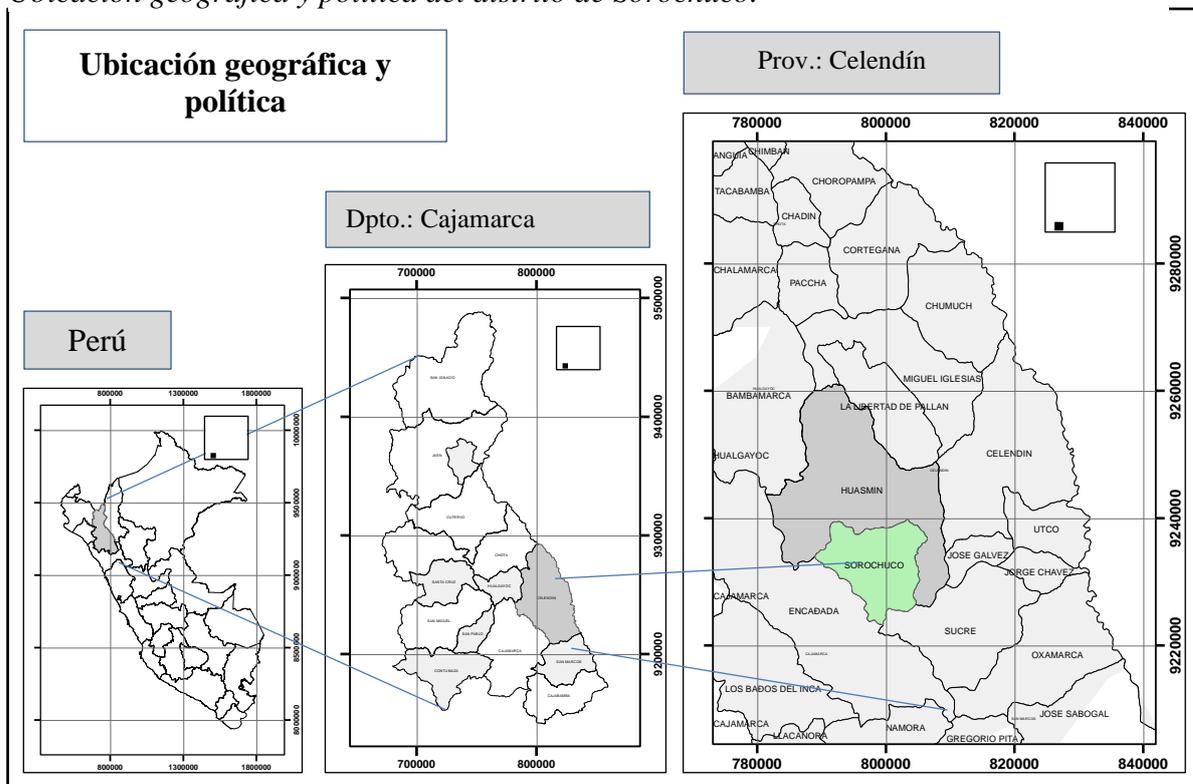
Tabla 2
Coordenadas UTM de referencia distrital

Vértices	Latitud	Longitud
1	9240200	788500
2	9240200	807000
3	9223000	807000
4	9223000	788500

Fuente. propia

Figura 39:

Ubicación geográfica y política del distrito de Sorochuco.



Fuente: propia

3.1.2. Accesibilidad

La accesibilidad a la zona de estudio se realizó por medio de la carretera Cajamarca – Celendín, posteriormente se tomó el desvío a la unidad minera Michiquillay, y finalmente la carretera Sorochuco, con un tiempo aproximado de 3 horas con 45 minutos hasta el inicio de la zona de trabajo.

Tabla 3

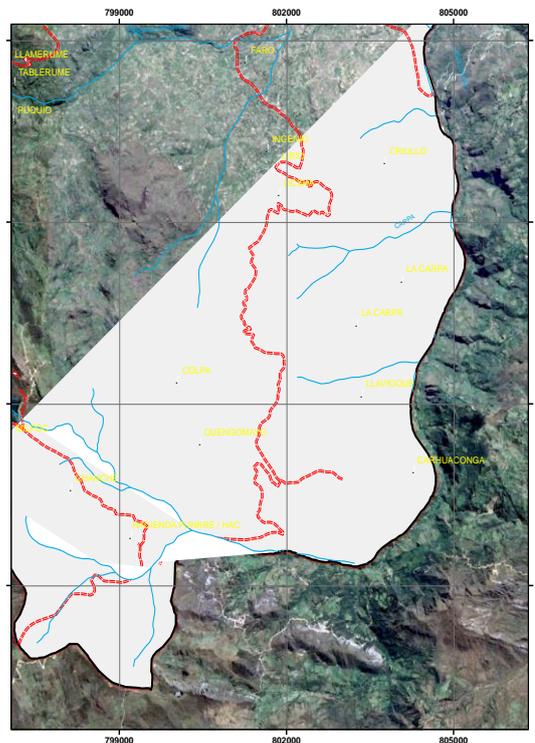
Accesibilidad a la zona de estudio

Tipo de accesos	Nombre del acceso	Tiempo de acceso
Carretera asfaltada	Carretera Cajamarca -Celendín	1h15min
Trocha carrozable	Desvío Michiquillay	1h30min
Trocha carrozable	Carretera Sorochuco	1h10min

Fuente: propia

Figura 40

Accesibilidad a la zona de estudio



Fuente: Propia.

3.1.3. Geología regional del distrito de Sorochuco.

La geología del distrito de Sorochuco fue trabajada a partir de información proporcionada por Geocatmin la cual sirvió como base para el análisis mineral y geológico que permitirá comprender la zona de estudio a nivel local.

En la cual se determinó las siguientes formaciones:

Formación Chimú (Ki-chi)

Esta formación consiste en una intercalación de areniscas cuarzosas, lutitas en su etapa temprana y en bancos gruesos de una potente secuencia de cuarcitas blancas. en la parte tardía. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600 m. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: La formación Chimú está delimitada cronológicamente en el Valanginiano inferior a medio, es suprayacente a la formación Chicama del Titoniano e infrayacente a la formación Santa del Valanginiano superior. Se correlaciona con las areniscas cuarzosas de la formación Hualhuani. (Cruzado, 2011).

Formación Santa (Ki- s)

Esta formación está compuesta por una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras, con una potencia entre los 100 a 150 m. Suprayacente a la formación Chimú e infrayacente a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos. El cambio de facies es notable según los lugares, en la zona de Cajamarca solamente hay lutitas y areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado con la forma de la cuenca. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: La formación Santa está extendida hacia el sur del país, zona del Callejón de Huaylas, Sihuas y Pomabamba, donde es posible encontrarla con

las mismas relaciones estratigráficas, a pesar de su variación litológica en el contenido calcáreo y lutáceo. (Cruzado, 2011).

Formación Carhuaz (Ki – ca)

Esta formación consiste en paquetes rocosos de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. También contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. (Cruzado, 2011).

La formación Carhuaz es suprayacente con suave discordancia a la formación Santa e infrayacente concordante a la formación Farrat. Tiene una potencia aproximado de 500m. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: Cronológicamente la formación Carhuaz está delimitada entre las edades Valanginiano superior, Hauteriviano y Barremiano (Cruzado, 2011).

Formación Farrat (Ki- f).

Esta formación consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene una potencia promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. (Cruzado, 2011).

La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz e infrayace con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: Esta formación se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, al sur. Se han encontrado especímenes correspondientes al Cretáceo inferior. Por otra parte, la formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano por lo que se le asigna una edad aptiana. (Cruzado, 2011).

Formación Inca (Ki – i).

Esta formación está compuesta por intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. Presenta una potencia aproximada de 100 m. Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: Cronológicamente y debido a la presencia de parahoplites, se le asigna una edad que se encuentra entre el Aptiano superior y Albiano inferior. (Cruzado, 2011).

Formación Chulec (Ki – chu)

Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos algo azulados. Su grosor varía de 200 a 250 m. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: Presenta una gran variedad de fósiles como cefalópodos, lamelibranquios y equinoideos. Estos fósiles se encuentran distribuidos en la parte baja del Albiano medio y en el Albiano inferior. Se correlaciona con la parte inferior de la formación Crisnejas que aflora en el valle del Marañón y con la formación Santa Úrsula. Esta formación se extiende por los andes centrales del Perú. (Cruzado, 2011).

Formación Pariatambo (Ki – pt).

Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Su espesor varía entre 150 a 200 m. (Cruzado, 2011).

Edad y correlación: La formación Pariatambo contiene restos de moluscos, estas especies son típicamente pelágicas del Albiano superior. Se correlaciona con la parte superior de la formación Crisnejas y con la formación Yacu Ushco. Se extiende ampliamente en los andes centrales del Perú. (Cruzado, 2011).

Formación San Pablo (P-sp)

Esta unidad consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un espesor de 900 m. (Cruzado, 2011).

La formación San pablo yace con suave discordancia erosional al volcánico Chilete e infrayace a la formación Huambos en igual relación. (Cruzado, 2011).

Formación Huambos (Nm-huam)

En casi todo el sector andino del departamento y en ambos lados de la divisoria continental se encuentra aflorando una unidad de tobas ácidas, en los alrededores del pueblo del mismo nombre. (Cruzado, 2011).

La topografía de la formación Huambos es bastante característica, generalmente forma llanuras delimitadas por farallones o escarpas donde se aprecia la estratificación, sobre estas superficies se ha desarrollado un sistema dendrítico de drenaje. (Cruzado, 2011).

Depósito glacial fluvial (Q - glfl).

Se encuentran morrenas glaciares compuestas por fragmentos de caliza del cretáceo superior. El límite inferior de las morrenas quedada cerca de 3600 msnm. (Cruzado, 2011).

Deposito aluvial (Q- al).

Depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, están conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa. (Cruzado, 2011).

Dacita (P-da). Se presenta en una serie de stocks alineados, dando la forma de una franja, están asociados con la mayor parte de la mineralización polimetálica. (Cruzado, 2011).

Figura 41

Columna estratigráfica del distrito de Sorochuco.

ERATEMA	SISTEMA	Unidades litoestratigráficas		Rocas intrusivas y subvolcánicas
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósito aluvial	Q - al	P - da Dacita
		Depósito glacial, fluvial	Q - glfl	
	~~~~~			
NEÓGENO	Formación Huambos	Nm - huam		
	~~~~~			
PALEÓGENO	Formación San pablo	P - sp		
	MESOZOICO CRETÁCICO	Formación Pariatambo	Ki - pt	
Formación Chulec		Ki - chu		
Formación Inca		Ki - i		
Grupo Goyllarisquizza		Formación Farrat	Ki - f	
		Formación Carhuaz	Ki - ca	
		Formación Santa	Ki - s	
		Formación Chimú	Ki - chi	

Fuente: Propia

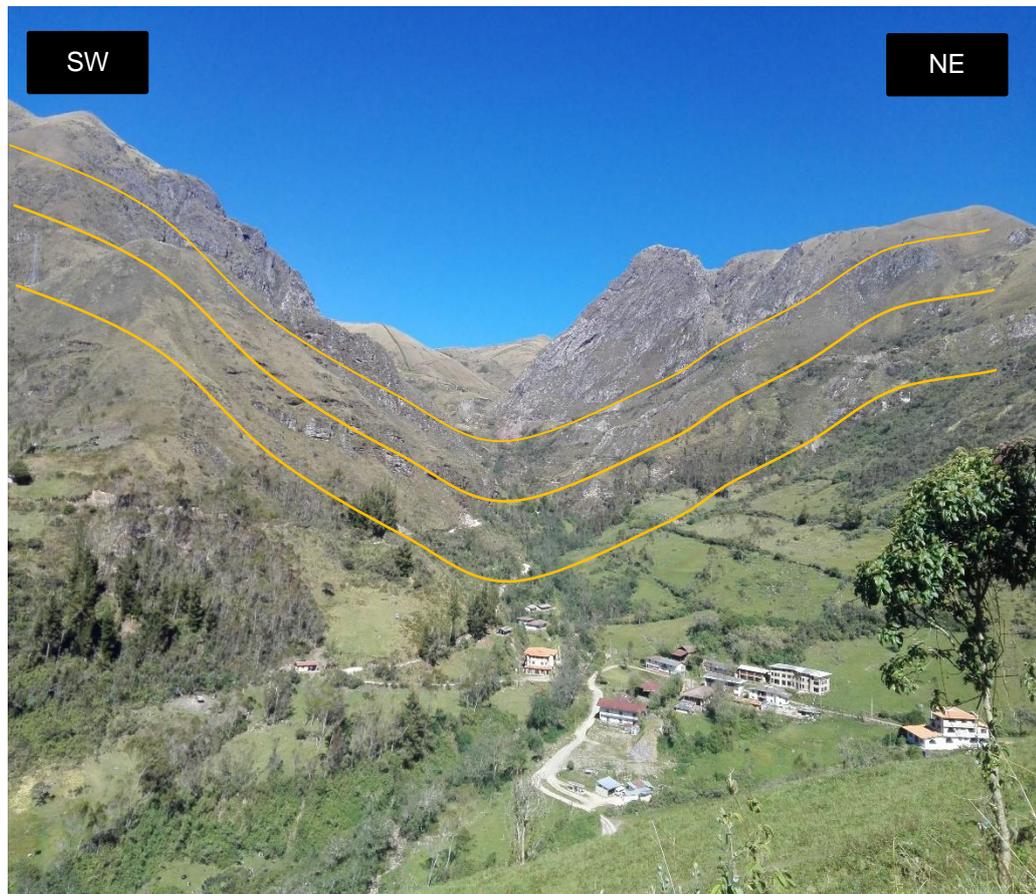
Geóloga estructural regional.

Pliegues.

Su origen está asociado a los eventos tectónicos ocurridos producto de la orogenia andina, que ha traído como consecuencia una gran complejidad estructural. Estas han deformado las secuencias litológicas Mesozoicas y Cenozoicas, que conforman los relieves, donde se manifiestan los plegamientos de tipo sinclinal y anticlinal. Se encuentran alineados al rumbo andino, aunque en algunos sectores cambian de dirección por efectos de la ocurrencia de fallamientos, que ocurrieron posteriores a la deformación. (Cruzado, 2011).

Figura 42.

Plegamiento al norte del distrito de Sorochuco



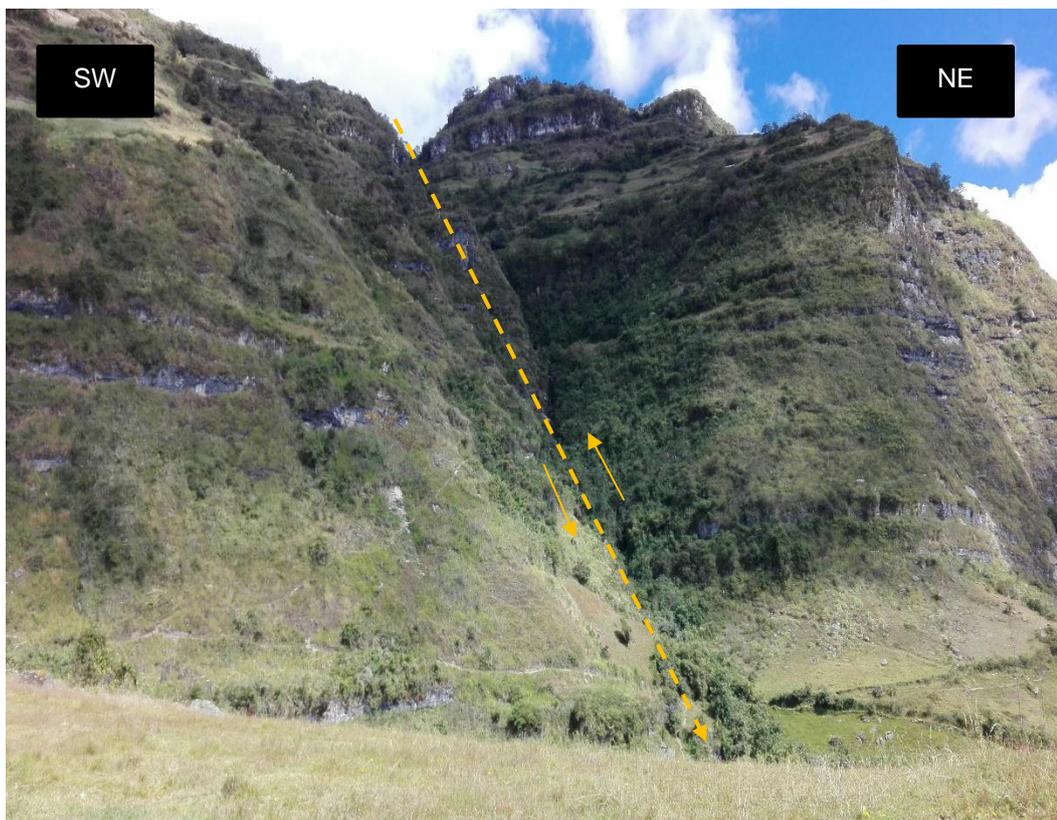
Fuente: propia

Fallas.

En el área del departamento de Cajamarca se evidencian una serie de fallas, que han sido originados por fuerzas distensivas y compresionales efectuadas durante levantamiento de los andes (fase Inca), siguiendo el rumbo del alineamiento andino. Estas estructuras se encuentran bien desarrolladas especialmente donde existen plegamientos, pues en algunos casos constituyen consecuencias de los efectos ocasionados por estos últimos. (Cruzado, 2011).

Figura 43

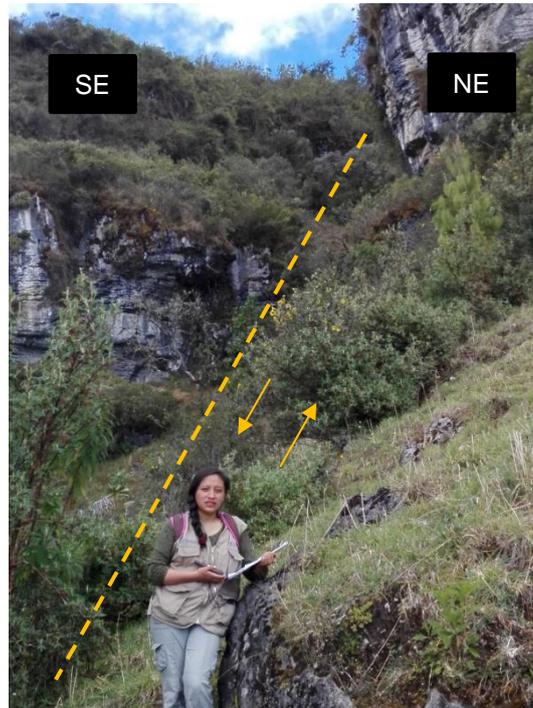
Fallamiento inverso - distrito de Sorochuco



Fuente:propia

Figura 44.

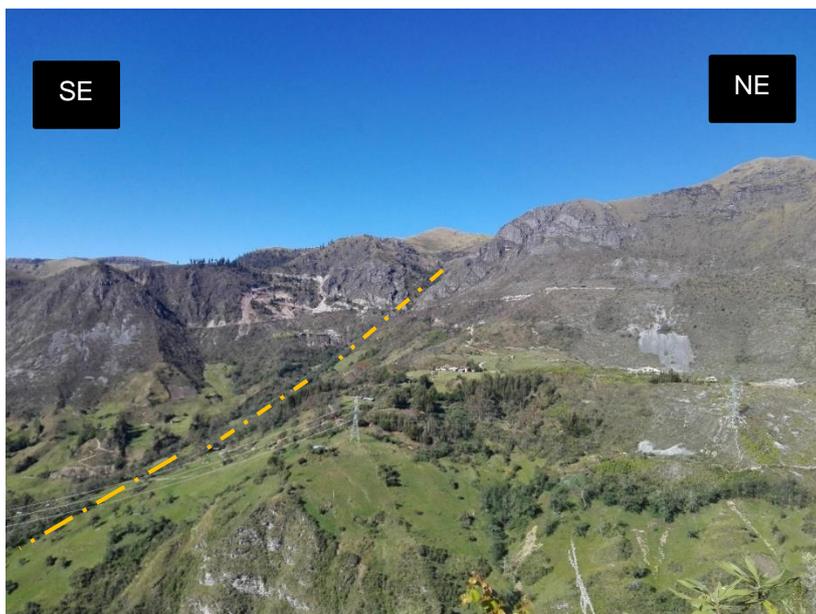
Fallamiento normal - distrito Sorochuco



Fuente: propia

Figura 45

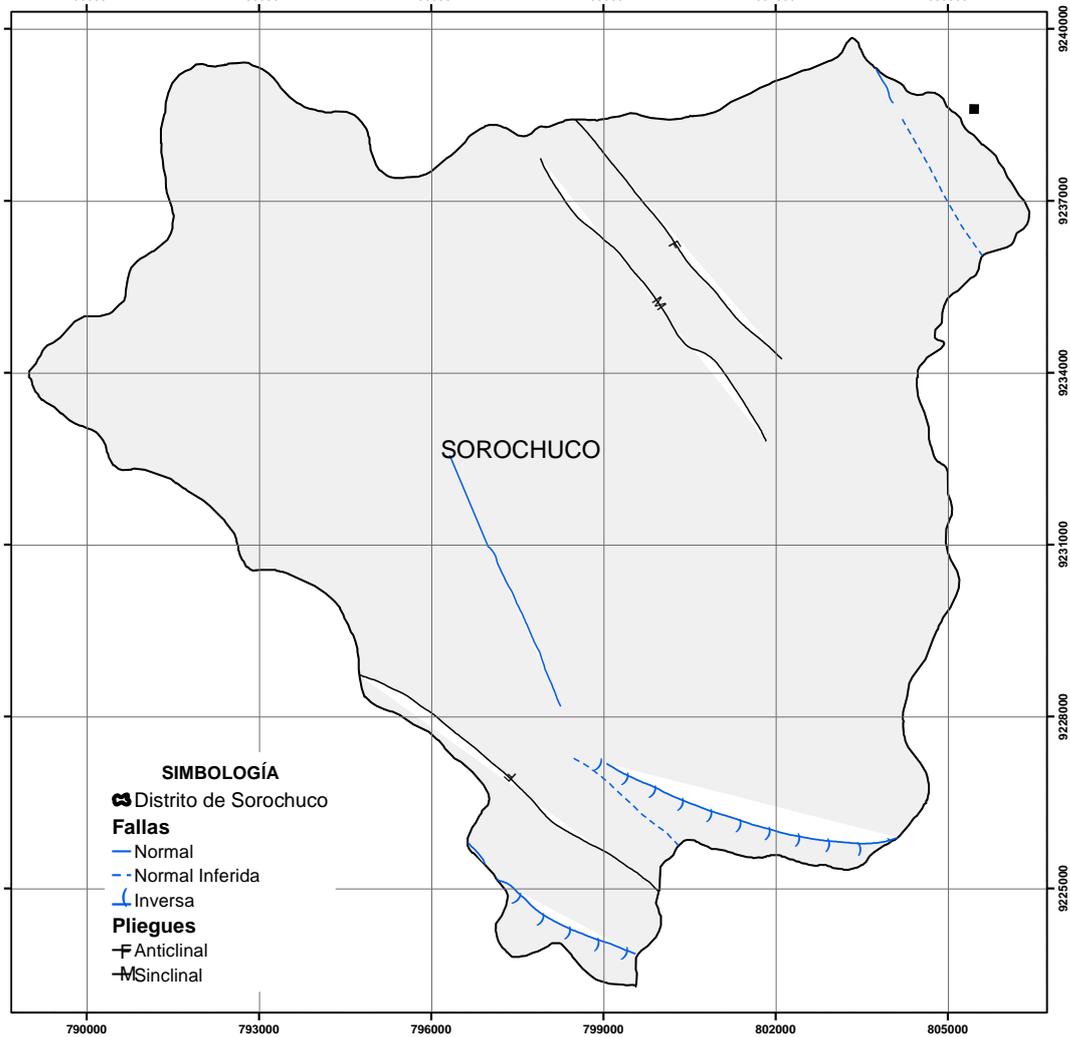
Fallamiento regional, distrito Sorochuco



Fuente: propia

Figura 46

Mapa Estructural del distrito de Sorochuco.



Fuente: propia

Geología económica.

La Región Cajamarca tiene un gran potencial geológico-minero albergando en su territorio, depósitos del tipo pórfido de Cu-Au (Mo, Ag), cuerpos y vetas de oro, plata, polimetálicos y depósitos epitermales de tipo alta sulfuración en rocas volcánicas miocénicas de la Cordillera Occidental. (Cruzado, 2011).

3.1.4. Cartografiado geológico local

En la zona de estudio se realizó el cartografiado geológico detallado teniendo en cuenta zonas de contacto, azimut, rumbo y litología que compone a cada formación geológica.

Formación Chimú (Ki-chi)

En el área de estudio la formación chimú aflora con alternancia de bancos potentes de areniscas cuarzosas de grano medio, secuencia de cuarcitas blancas intercaladas y lutitas fisibles. Los buzamientos característicos en esta formación son de 40°SW y azimut N340°.

Figura 47.

Toma de datos - formación Chimú



Fuente: propia

Formación Santa (Ki- s)

Se encontró intercalaciones poco potentes de calizas margosas y areniscas de grano medio de tonalidad gris, con azimut promedio de 120° y 310° en ambos flancos del anticlinal que forman en la zona de estudio, buzamientos promedio de 25°SW y 30°NE respectivamente.

Figura 48.

Toma de datos - formación santa



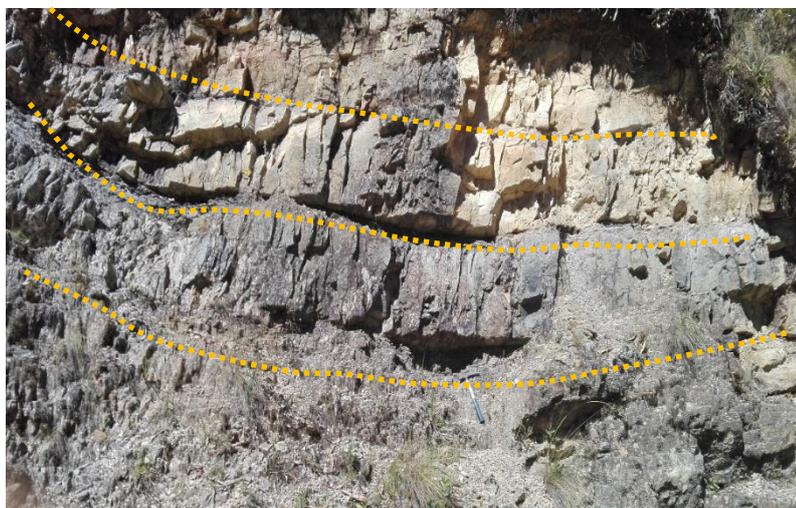
Fuente: propia

Formación Carhuaz (Ki – ca)

En la zona de estudio la formación Carhuaz consiste en la intercalación de areniscas con presencia de oxidación que brindan la tonalidad rojiza, de grano medio a grueso, con lutitas grises y arenisca blanca con alto contenido de cuarzo, esta formación presentó azimuth promedio de N280° y buzamiento de 30°SW.

Figura 49.

Toma de datos - formación Carhuaz



Fuente: propia

Formación Farrat (Ki- f).

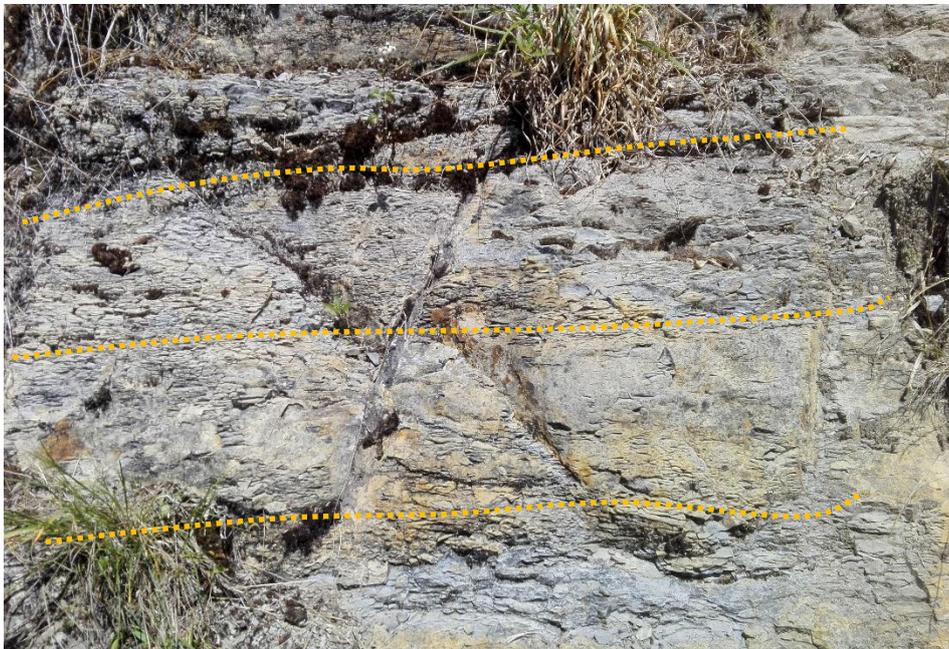
Esta formación presentó areniscas blanquecinas de grano medio, intemperismo medio a alto, presencia de alto fracturamiento, con azimut promedio de N110° y buzamiento de 40°SW

Formación Chulec (Ki – chu)

En la zona de estudio la formación presentó intercalación de secuencia fosilífera de calizas arenosas de grano fino a medio y coloración blanco amarillenta a gris, lutitas calcáreas y margas color crema de aspecto terroso, el azimut promedio tomado en campo es de N65° y N°320 que forman ambos flancos del sinclinal en la zona de estudio, buzamientos de 35°NE Y 20°SW.

Figura 50.

Toma de datos - formación Chulec



Fuente: propia

Formación San Pablo (P- sp)

Esta unidad consistió en pseudo estratos gruesos de rocas volcánicas de composición andesítica, intercaladas en los niveles superficiales con flujos piroclásticos, también se encontró en las zonas base areniscas rojizas.

3.1.5. Geología estructural local

Para el cartografiado estructural se tomó rumbos y buzamientos de estructuras como: familias de diaclasas, fallas y estratificación (anexo 1).

Estación estructural N°1

Tabla 4

Datos promedio estación estructural N°1

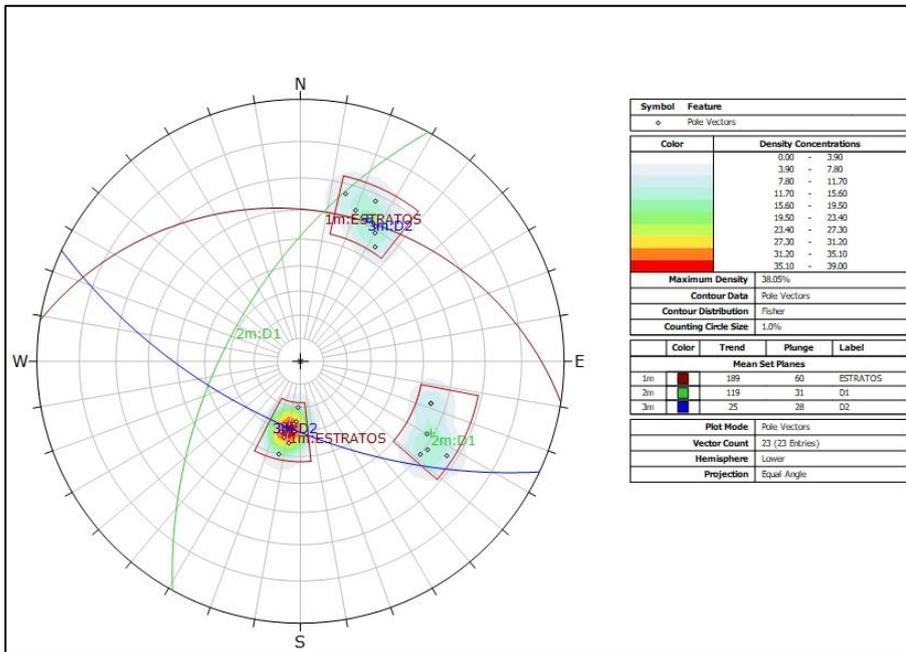
Tipo de discontinuidad	Código	Azimut	DIP	DD
Estrato	E	N279	30NE	N10
Diaclasa 1	D1	N214	61NW	N304
Diaclasa 2	D2	N115	62SW	N205

Fuente: propia

Se aprecia en la estación N°1 con coordenadas N 9224520 E 797910, la disposición de los estratos con azimut promedio N°279° en afloramiento de la formación Carhuaz y presencia de dos familias de diaclasas D1 y D2, esta disposición formada puede generar cuñas de deslizamiento al NW de la gráfica de polos apreciado en la Figura 51, también podemos verificar que, a partir del diagrama de roseta (figura 52), la mayor cantidad de discontinuidades de la zona de estudio tiene una orientación NW a SE.

Figura 51

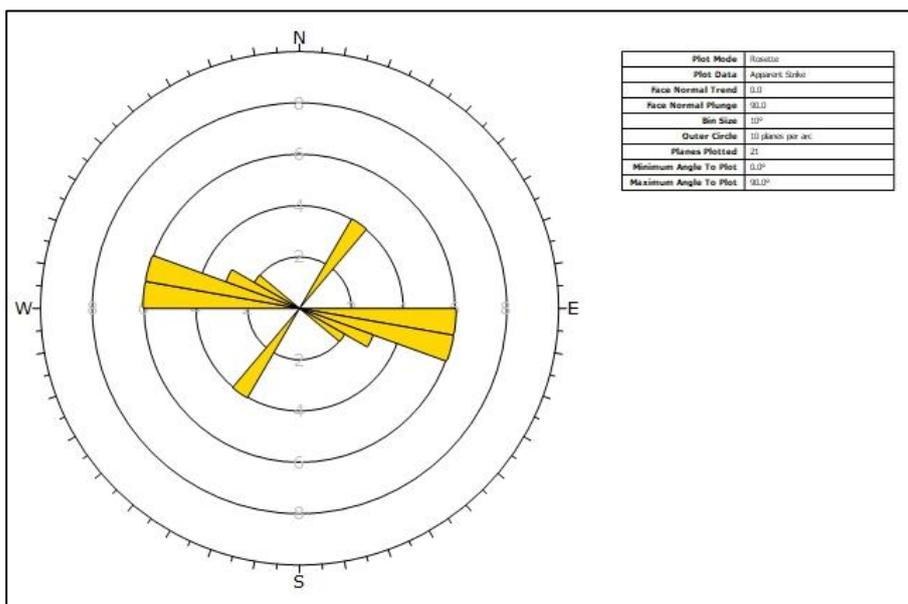
Proyección estereográfica en Dips – Estación 1



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 52

Análisis en diagrama de rosetas Dips-estación N°1.



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Estación estructural N°2

Tabla 5

Datos promedio estación estructural N°2

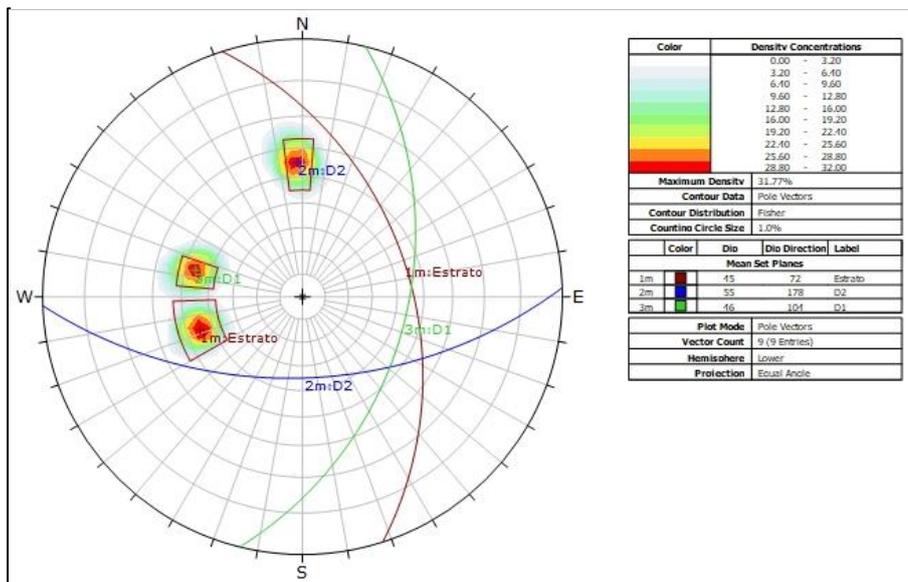
Tipo de discontinuidad	Código	Azimut	DIP	DD
Estrato	E	N343	45NE	N72
Diaclasa 1	D1	N14	46SE	N104
Diaclasa 2	D2	N87	55SE	N178

Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Se aprecia en la estación N°2 con coordenadas N 9225532 E 799565, la disposición de los estratos con azimut promedio N°343° en afloramiento de la formación Chimú y presencia de dos familias de diaclasas D1 y D2, esta disposición formada puede generar cuñas de deslizamiento al SE de la gráfica de polos apreciado en la Figura 53, también podemos verificar que, a partir del diagrama de roseta (figura 54), la mayor cantidad de discontinuidades de la zona de estudio tiene una orientación N a S.

Figura 53

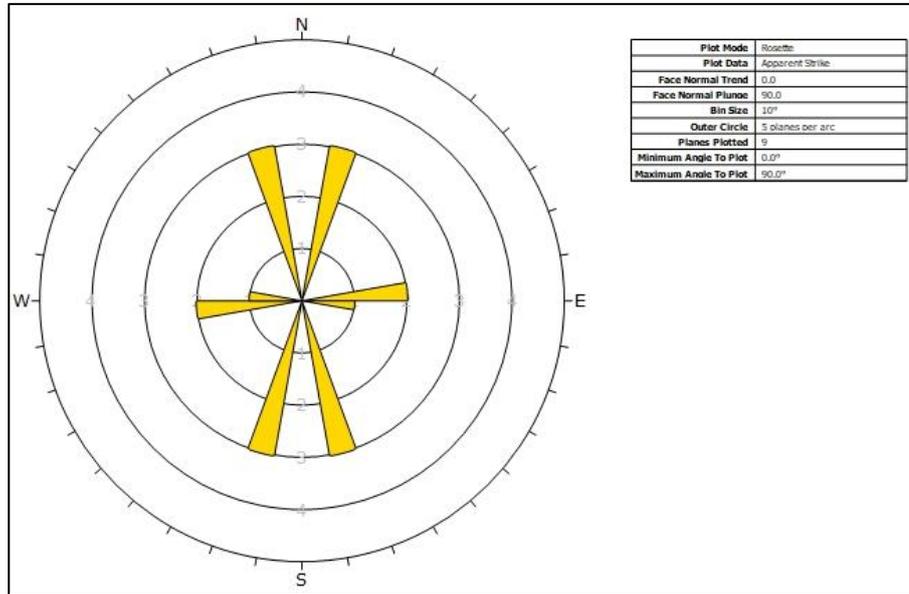
Proyección estereográfica en Dips – Estación 2



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 54

Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°2



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Estación N°3

Tabla 6

Datos promedio estación estructural N°3

Tipo de discontinuidad	Código	Azimut	DIP	DD
Estrato	E	146	44	237
Diaclasa 1	D1	196	82	286
Diaclasa 2	D2	78	32	169

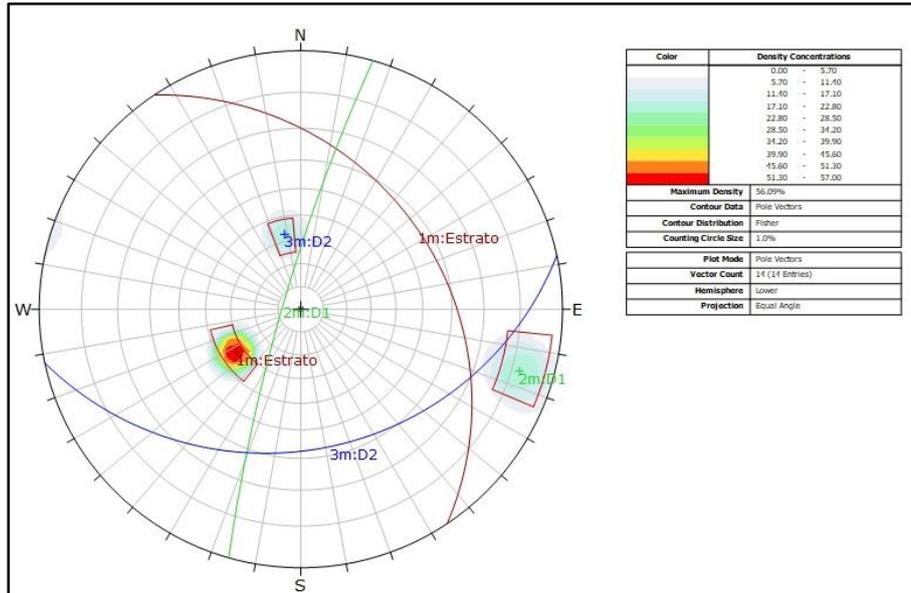
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Se aprecia en la estación N°3 con coordenadas N 9225916 E 800804, la disposición de los estratos con azimut promedio N°146° en afloramiento de la formación Santa y presencia de dos familias de diaclasas D1 y D2, esta disposición formada puede generar cuñas de deslizamiento al SE de la gráfica de polos apreciado en la Figura 55, también podemos verificar que, a partir del

diagrama de roseta (figura 56), la mayor cantidad de discontinuidades de la zona de estudio tiene una orientación NW a SE

Figura 55

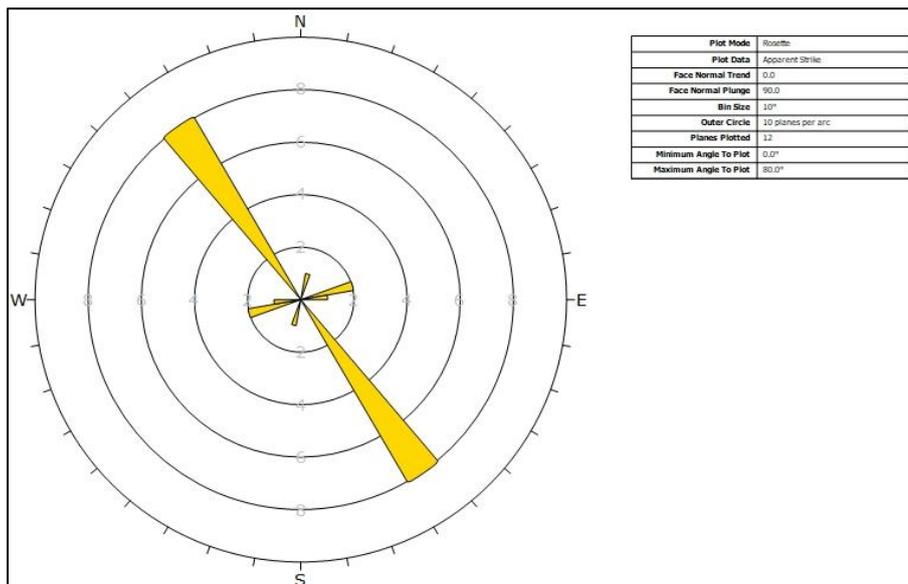
Proyección estereográfica en Dips – Estación 3



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 56

Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°3



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Estación N°4

Tabla 7

Datos promedio estación estructural N°4

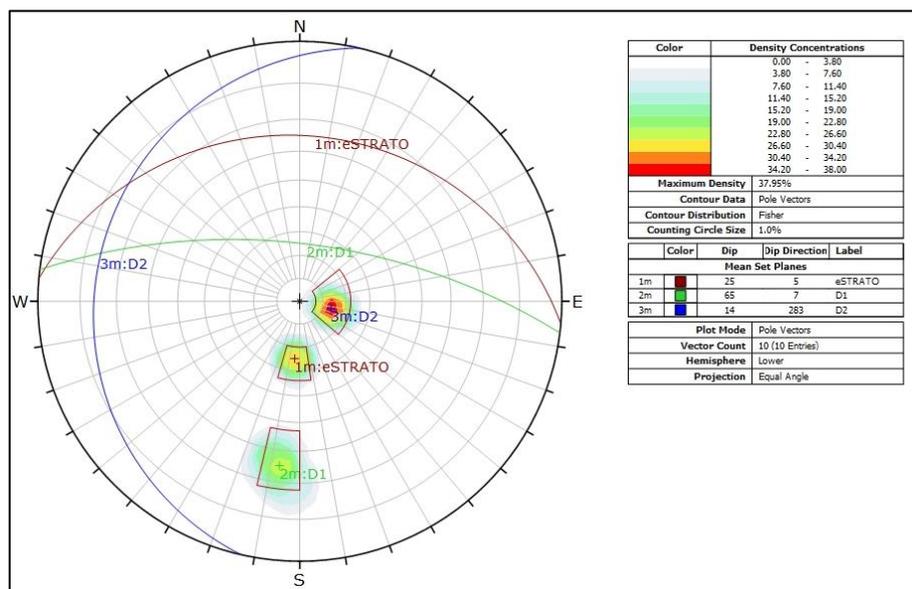
Tipo de discontinuidad	Código	Azimut	DIP	DD
Estrato	E	275	25	8
Diaclasa 1	D1	277	45	7
Diaclasa 2	D2	192	15	283

Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Se aprecia en la estación N°4 con coordenadas N 9225653 E 800216, la disposición de los estratos con azimut promedio N°275° y presencia de dos familias de diaclasas D1 y D2, esta disposición formada puede generar cuñas de deslizamiento al NE de la gráfica de polos, apreciada en la Figura 57, también podemos verificar que, a partir del diagrama de roseta (figura 58), mayor cantidad de discontinuidades de la zona tiene una orientación NW a SE.

Figura 57

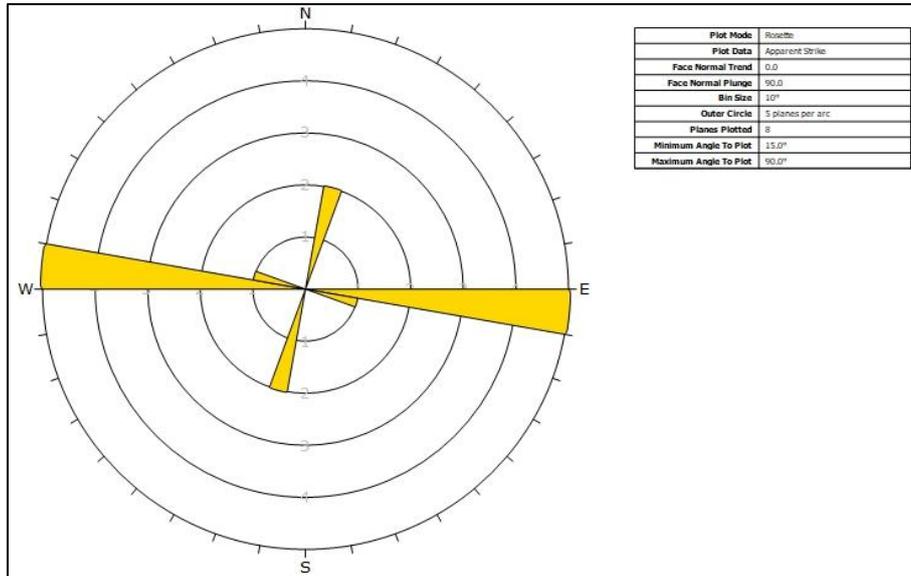
Proyección estereográfica en Dips – Estación 4



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 58

Análisis en diagrama de roseta Dips – estación N°4



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Fallamientos

Falla Inversa

Tabla 8

Datos de falla N°1 determinada en campo

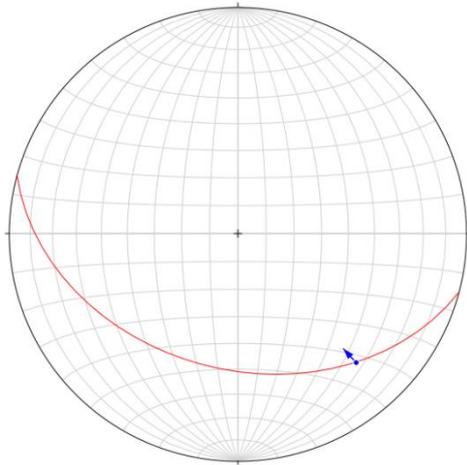
Tipo de discontinuidad	Cinemática	Código	Azimut	DIP	DD	Pitch
Falla	Inversa	F1	N105	38SW	196	40
Falla	Inversa	F1	N107	435SW	195	40
Falla	Inversa	F1	N103	40SW	196	40

Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

En la figura 59 se aprecia la gráfica de la falla N°1 en la cual se corrobora la cinemática de su movimiento determinando así, una falla de tipo inversa.

Figura 59.

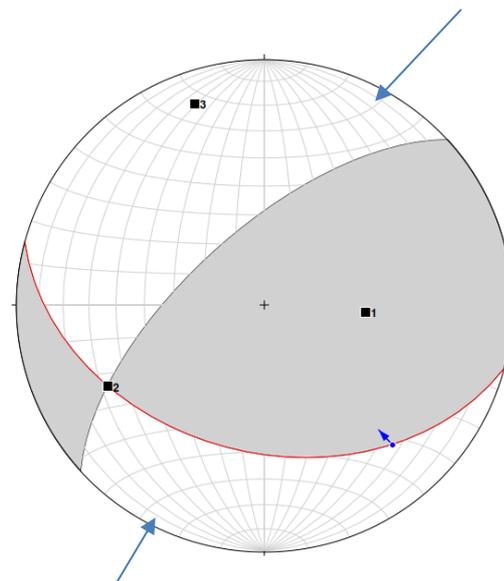
Grafica en Stereonet de falla N°1



Fuente: propia, Se aprecia el desplazamiento de techo ascendente que realiza, dato que fue obtenido a partir de Pich tomado en estrías de la falla

Figura 60

Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°1



También se verifica mediante el análisis de diedros rectos que la falla inversa fue generada por esfuerzo compresivos de dirección NE - SW

Falla Normal

Tabla 9

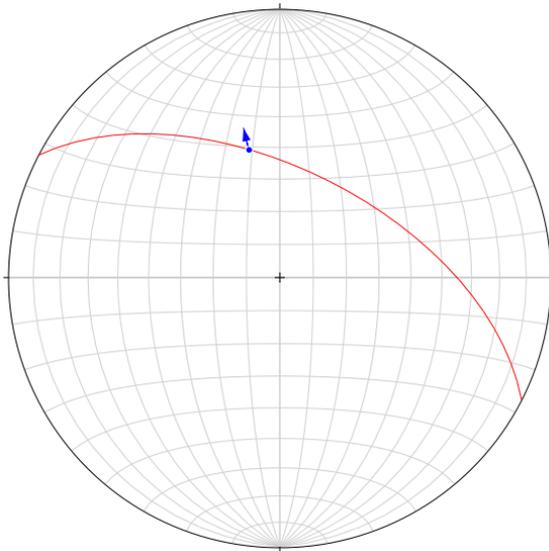
Datos de falla N°2 determinada en campo

Tipo de discontinuidad	Cinemática	Código	Azimut	DIP	DD	Pitch
Falla	Normal	F2	N297	55NE	27	65
Falla	Normal	F2	N295	57NE	26	65
Falla	Normal	F2	N300	53NE	28	65

Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 61

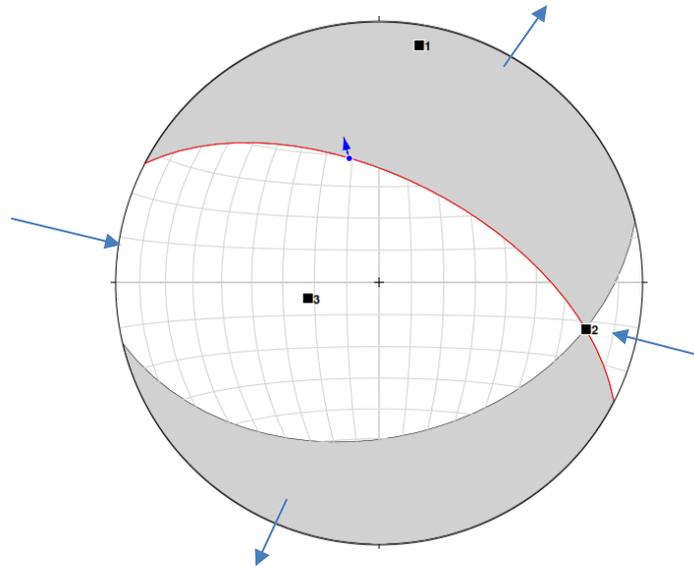
Grafica en Stereonet de falla N°2



Fuente: propia; Se aprecia la gráfica de la falla N°2 en la cual se corrobora la cinemática de su movimiento determinando así, una falla de tipo normal, por el desplazamiento de techo descendente que realiza, dato que fue obtenido a partir de Pitch tomado en estrías de la falla

Figura 62

Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°2



Fuente: Propia, se verifica mediante el análisis de diedros rectos que la falla normal fue generada por esfuerzo distensivos de dirección NE – SW

Falla Inversa

Tabla 10

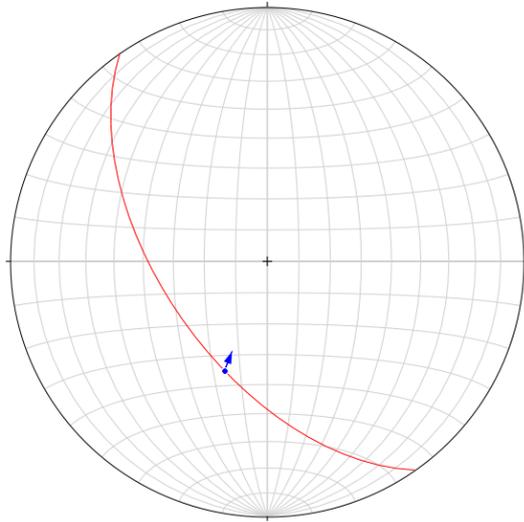
Datos de falla N°3 determinada en campo

Tipo de discontinuidad	Cinemática	Código	Azimut	DIP	DD	Pitch
Falla	Inversa	F3	N145	58SW	N236	70
Falla	Inversa	F3	N150	56SW	N240	70
Falla	Inversa	F3	N148	60SW	N239	70

Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

Figura 63.

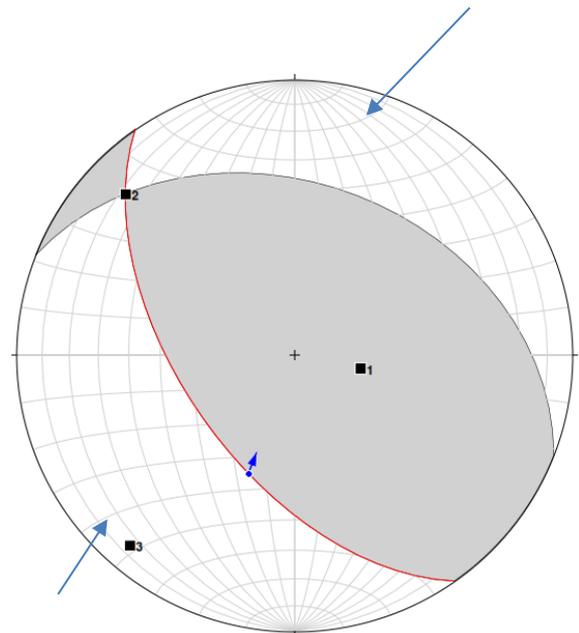
Grafica en Stereonet de falla N°3



Fuente: propia, se aprecia la gráfica de la falla N°3 en la cual se corrobora la cinemática de su movimiento determinando así, una falla de tipo inversa, por el desplazamiento de techo ascendente que realiza, dato que fue obtenido a partir de Pich tomado en estrías de la falla

Figura 64

Gráfica en Stereonet de esfuerzos de falla N°3



Fuente: Propia, se verifica mediante el análisis de diedros rectos que la falla inversa fue generada por esfuerzo compresivo de dirección NE – SW

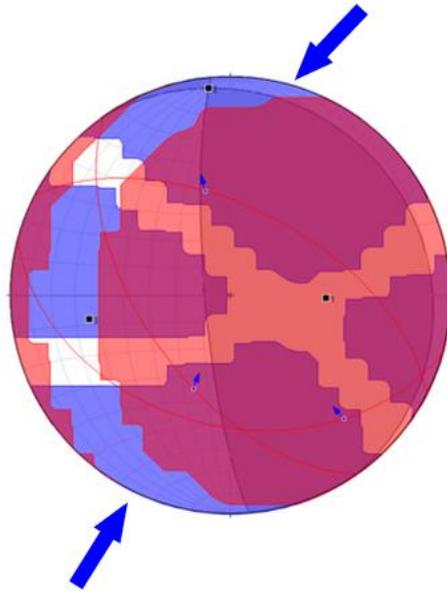
A partir del mapeo estructural se pudo obtener los esfuerzos globales que rigen la zona de estudio verificándose lo siguiente:

3.1.6. Resultados Stereonet global

Haciendo uso del software Stereonet y a partir de los datos recolectados de fallas plasmados en la figura N°65, fue posible determinar la dirección y el tipo de esfuerzo global, se obtuvo que existen fuerzas compresivas representadas por coloración azul las cuales tienen dirección NE – SW y en color magenta se representa las zonas distensivas con dirección NW – SE.

Figura 65

Esfuerzos globales calculados en Stereonet.



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

3.1.7. Cartografiado de alteraciones

Alteración Argílica Avanzada

A partir de las muestras recolectadas se aprecia predominancia de pirofilita y en menor proporción alunita dickita y caolinita.

Alteración Propilítica

Se encontró determinada por la asociación mineralógica: clorita, epidota más arcillas., aun cuando es de fácil identificación por muestra de mano es necesario corroborar espectralmente esta alteración, se encuentran por lo general delimitando zonas de alteración argílica y argílica avanzada

Alteración Argílica

Esta alteración se encontró delimitada por arcillas como: caolinita, illita, esmectita y dickita esta asociación mineralógica es característica y de gran extensión en la zona de estudio

Mineralógicamente fue más abundante la caolinita y la esmectita, que se encuentran asociados a otras arcillas (montmorillonita, dickita) y minerales de aluminio como la pirofilita, alunita.

Figura 66

Muestra 1, alteración propilítica



Fuente: propia

Figura 67

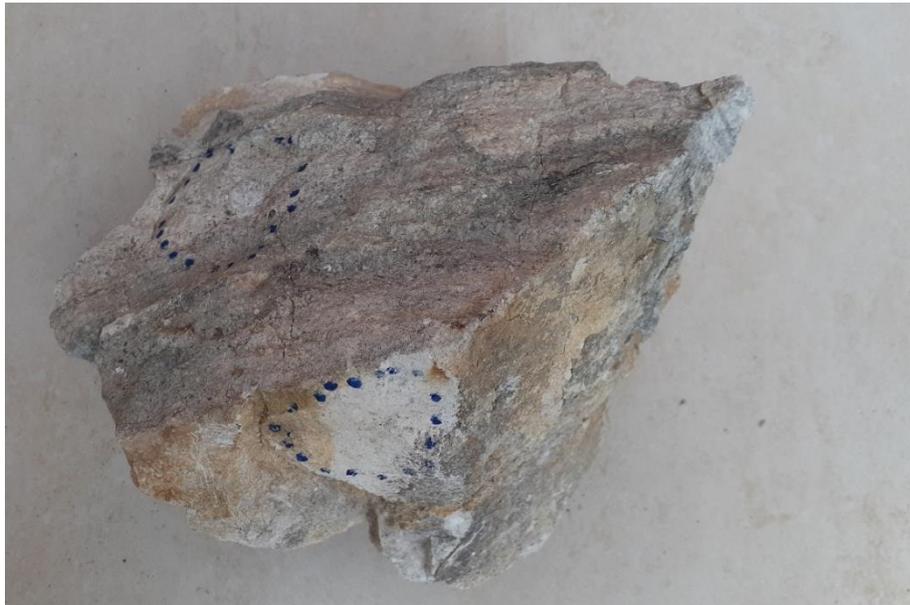
Muestra 2, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 68

Muestra 3, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 69

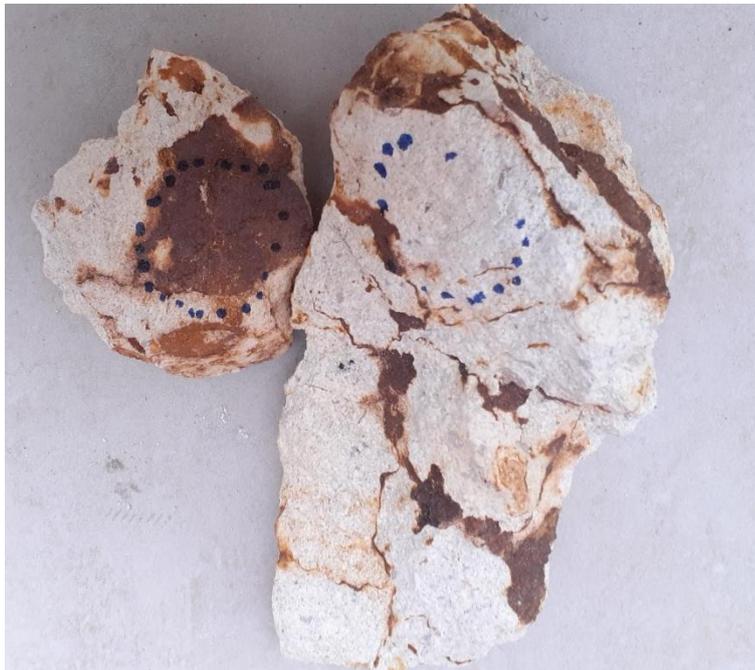
Muestra 4, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 70

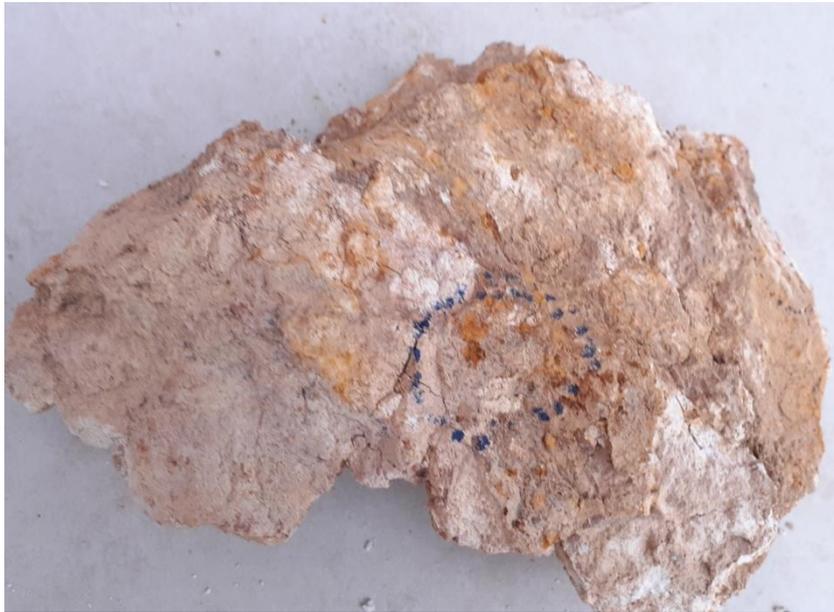
Muestra 5, alteración avanzada



Fuente: propia

Figura 71.

Muestra 6, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 72.

Muestra 7, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 73.

Muestra 8, óxidos



Fuente: propia

Figura 74.

Muestra 9, alteración argílica



Fuente: propia

Figura 75.

Muestra 10, alteración argílica avanzada



Fuente: propia

Figura 76

Muestra 11, alteración argílica avanzada



Fuente: propia

Figura 77.

Muestra 12, alteración argílica avanzada



Fuente: propia

Figura 78.

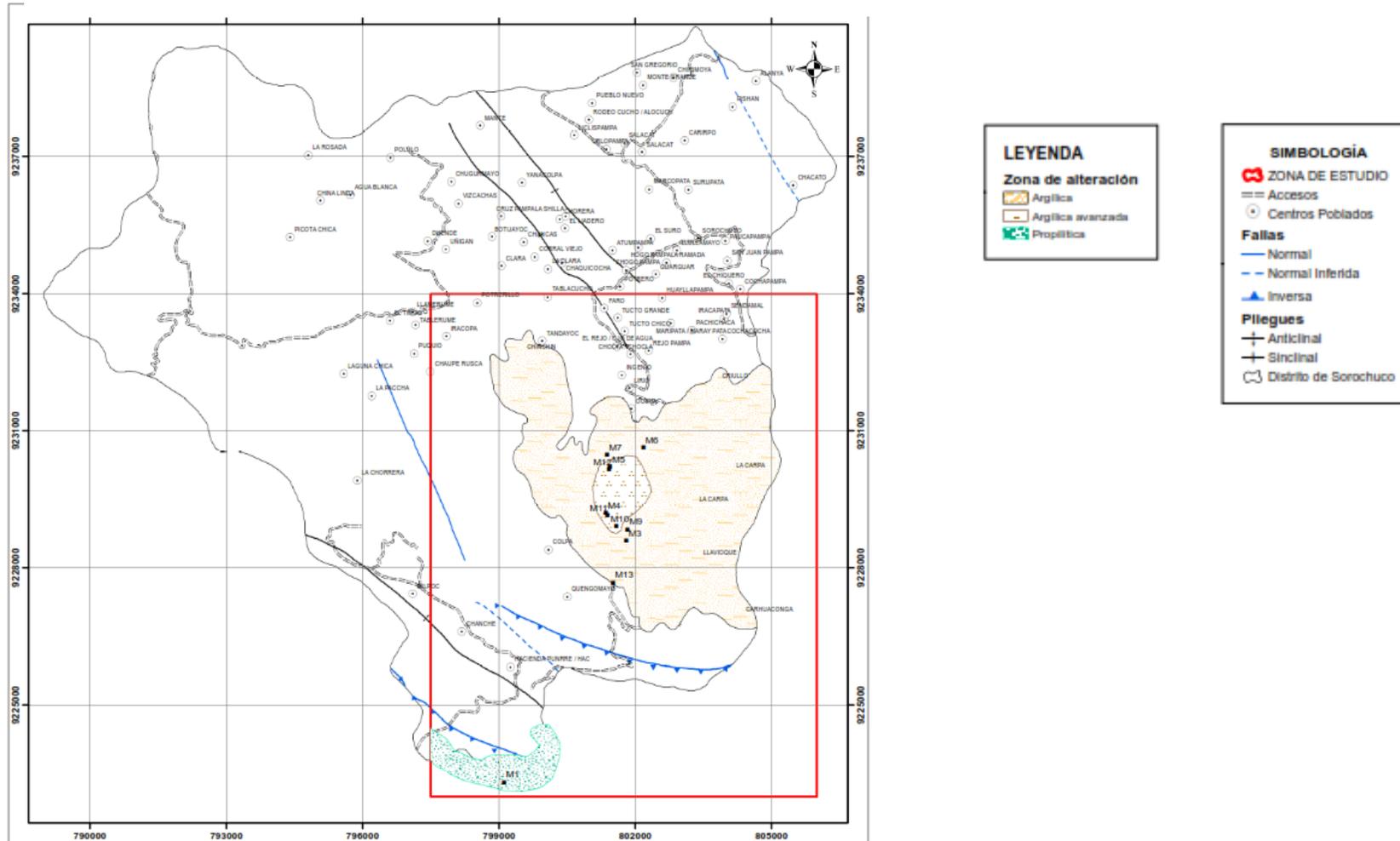
Muestra 13, alteración argílica – argílica avanzada



Fuente: propia

Figura 79.

Zonas de alteración y posible mineralización.



Fuente: Propia

3.1.8. Resultados espectroscópicos de muestras de mano (TerraSpec)

Posterior al trabajo de planificación se realizó el mapeo de alteraciones en campo, gracias al apoyo del análisis espectral de imágenes Aster el trabajo fue puntual y de carácter específico, las muestras recolectadas en campos fueron analizadas por medio de un espectrómetro.

Para la identificación de los minerales fue importante la observación y la medición de los diferentes rasgos espectrales capturados por el TerraSpec 4. Estos rasgos fueron comparados ante un registro de firmas espectrales de referencia para cada mineral que han sido previamente compiladas y que permiten identificar aspectos importantes como: mineralogía, grado de cristalinidad, etc.

En la siguiente tabla se presenta la ubicación espacial de cada muestra, descripción macroscópica y resultado TerraSpec

Tabla 10

Descripción macroscópica de muestras y resultados TerraSpec

ID	Código Campo	Descripción macroscópica	Este	Norte	Cota	Resultado TerraSpec	Código TerraSpec
1	M1	Mineral: Presencia de sulfuros como pirita y calcopirita. Presencia de Biotita poco cristalizada y plagioclasa, clorita y epidota Presencia de cuarzo blanco lechoso redondeados. Matriz: Dacitas	799110	9223313	3839	Epidota, clorita, montmorillonita, caolinita	M1-00001, M1-00002, MD1-00001, MD1-00002, MD1-00003

ID	Código Campo	Descripción macroscópica	Este	Norte	Cota	Resultado TerraSpec	Código TerraSpec
2	M2	Matriz: Caolinita y areniscas Mineral: cuarzo, óxidos como hematitas y arcillas.	801226	9224432	3609	Paragonita, caolinita	M2-00001, M2-00002, MD2-00001, MD2- 00002, MD2-00003
3	M3	Mineral: Cuarzo poco cristalizado, pirita, calcopirita, óxido de magnesio y sílice. Matriz: Arenisca tobacea y arcillas.	801803	9228590	3636	Montmorillonita, Muscovita, Paragonita	M3-00001, M3-00002, MD3-00001,
4	M4	Matriz: areniscas grises amarillo con presencia de pirita cuarzo, carbón antrasítico, esmectitas.	801347	9229213	3624	Nontronita	M4-00001, M4-00002, M4-00003, MD4-00001, MD4-00002
5	M5	Minerales: Dickita, Illita, esmectita, pirita, sílice y cuarzo poco cristalizado. Matriz: arcillo areniscosa.	801442	9230215	3485	Dickita, pirofilita	M5-00001, M5-00002, M5-00003, MD5-00001
6	M6	Minerales: cuarzo, hematita, montmorillonita. Matriz: areniscosa.	802181	9230635	3440	Montmorillonita, caolinita	M6-00001, M6-00002, M6-00003, MD6-00001
7	M7	Mineral: Hematita, limonita, Goetita. Matriz: areno tobacea y arcillas.	801375	9230478	3439	caolinita, Muscovita, Paragonita	M7-00001, M7-00002, MD7-00001

ID	Código Campo	Descripción macroscópica	Este	Norte	Cota	Resultado TerraSpec	Código TerraSpec
8	M8	Mineral: pirita diseminada, goetita y hematita, Matriz: areno tobacea	801859	92288671	3651	Null	M8-00001, M8-00002, M8-00003, MD8-00001
9	M9	Mineral: Pirita diseminada, azufre, sílice, cuarzo, óxido de magnesio y aluminio Matriz: areno arcillosa	801822	9228849	3667	Paragonita	M9-00001, M9-00002, MD9-00001
10	M10	Matriz: Toba blanco amarillenta, esmectitas	801582	9228904	3639	Paragonita, Nontronita, Pirofilita,	M10-00001, MD10- 00001, MD10-00002
11	M11	Minerales: Dickita, Illita, esmectita, pirita, sílice y cuarzo poco cristalizado. Matriz: arcillo areniscosa	801387	9229156	3626	Dickita, Pirofilita	M11-00001, M11-00002
12	M12	Minerales: Alunita amarilla, pirita, calcopirita y sílice. Matriz: arcillo areniscosa y arcillas	801427	9230169	3501	Montmorillonita. caolinita.	M12-00001, M12-00002, MD12-00001
13	M13	Minerales: Cuarzo desarrollado, caolinita, pirita y calcopirita. Matriz: arcillo areniscosa	801507	9227683	3630	caolinita, Montmorillonita	M13-00001, M13-00002, MD13-00001

Fuente: Propia

A continuación, se presentan dichos resultados expresados en histogramas que contienen el análisis de cada firma espectral mineral, en el eje X se aprecia la longitud de onda expresada en nanómetros, en el eje Y el porcentaje de reflectancia.

Cabe señalar que cada muestra de mano tuvo diferentes blancos de análisis mineral, con la finalidad de identificar más de un mineral de alteración por cada muestra.

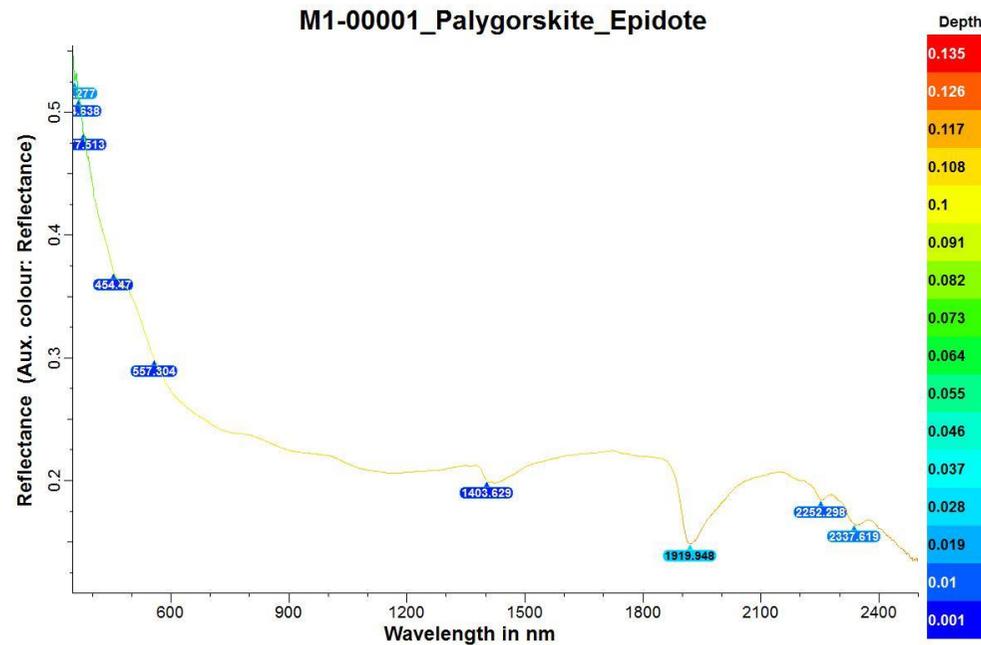
Los resultados que se obtuvieron se realizaron gracias a la comparación de rasgos espectrales característicos de cada mineral obtenidos a partir de las firmas espectrales

M1-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la palygorskita y epidota en las longitudes de onda de 0.27, 454.47, 557.304, 1403.63, 1919.9, 2252.3 y 2337.619, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1919.9

Figura 80.

Firma espectral muestra M1 - 00001, Palygorskita epidota



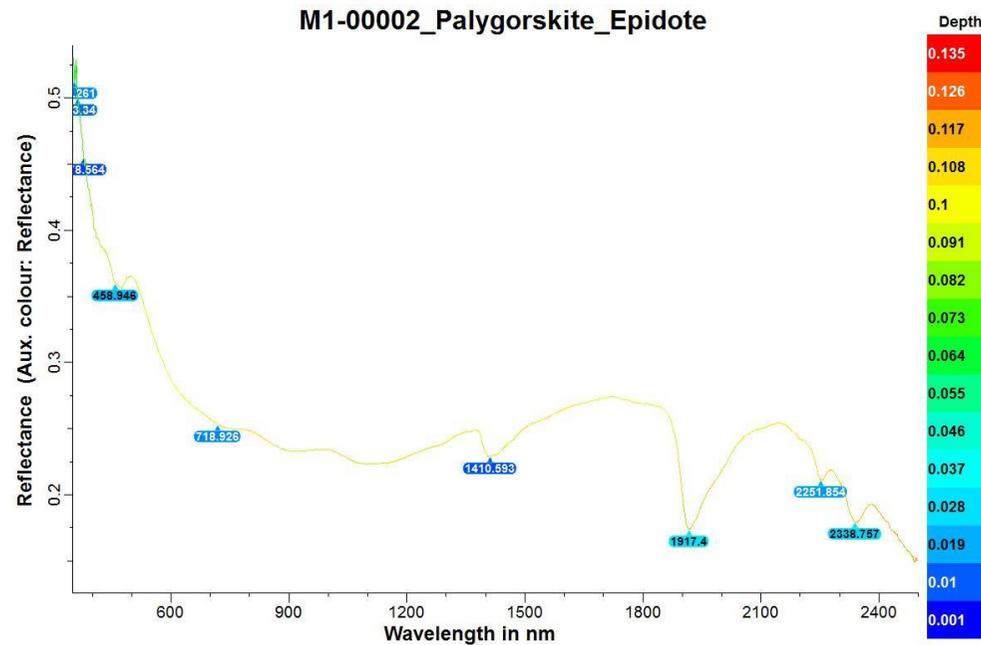
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M1-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la palygorskita y epidota en las longitudes de onda de: 0.3, 3.34, 8.56, 458.9, 718.9, 1410.6, 1917.4, 2251.9 y 2338.8 observándose los principales puntos de absorción en el punto 458.9, 1917.4 y 2338.8

Figura 81

Firma espectral muestra M1 - 00002, Palygorskita epidota



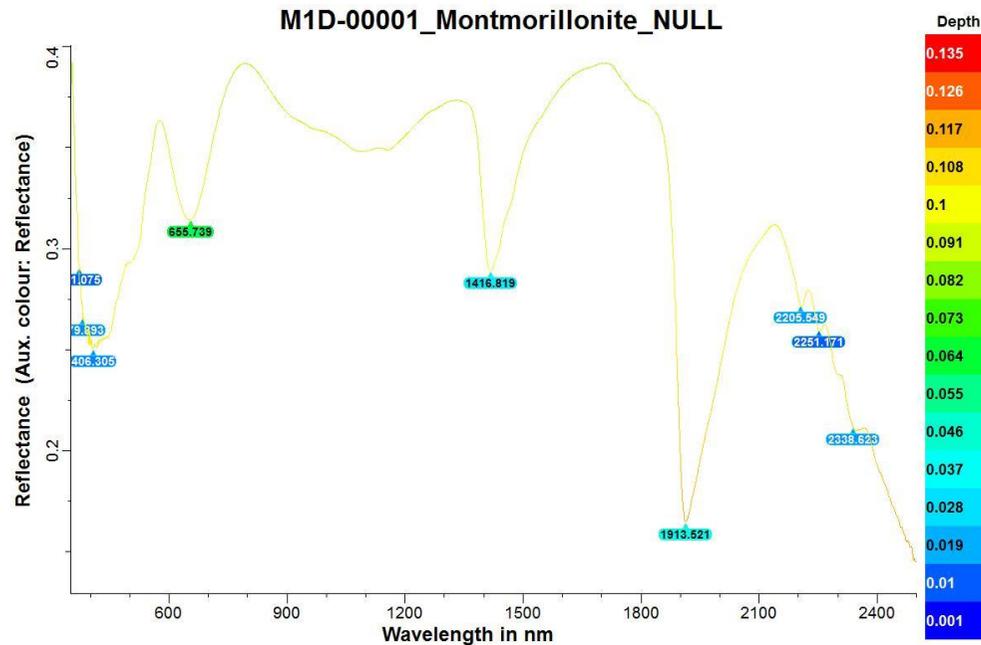
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M1D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita en las longitudes de onda de: 1.08, 79.9, 406.3, 655.739 y 1416.8, observándose los principales puntos de absorción en el punto 655.7, 1416.8 y 1913.5

Figura 82

Firma espectral muestra M1D - 00001, Montmorillonita



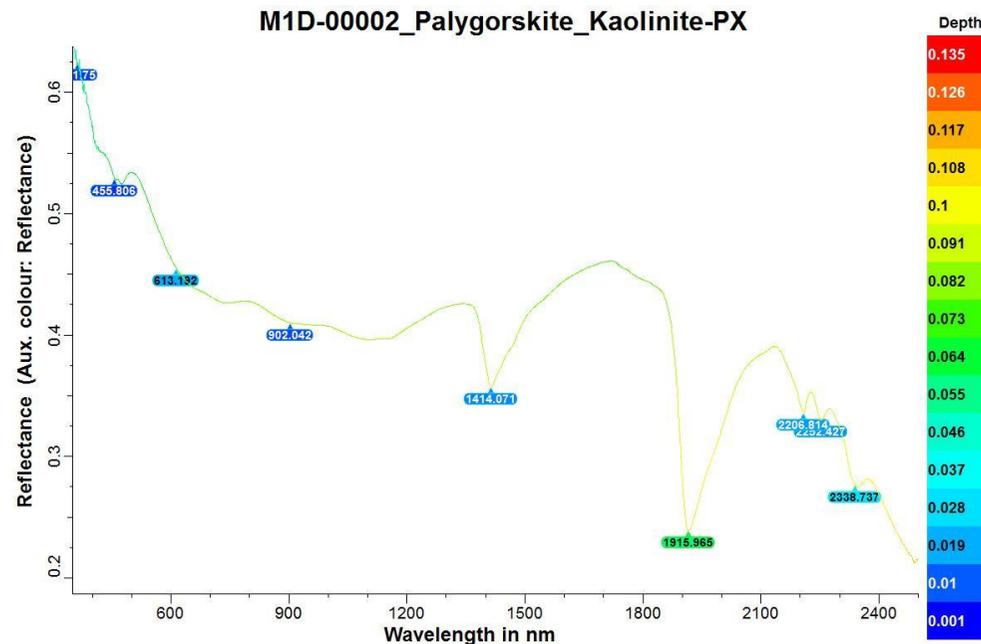
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M1D-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita en las longitudes de onda de: 1.75, 455.8, 613.1, 902.04, 1414.07, 1915.9, 2206.87, 2282.43 y 2338.73, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1915.9 y 2338.73.

Figura 83

Firma espectral muestra M1D - 00002, Palygorskita caolinita



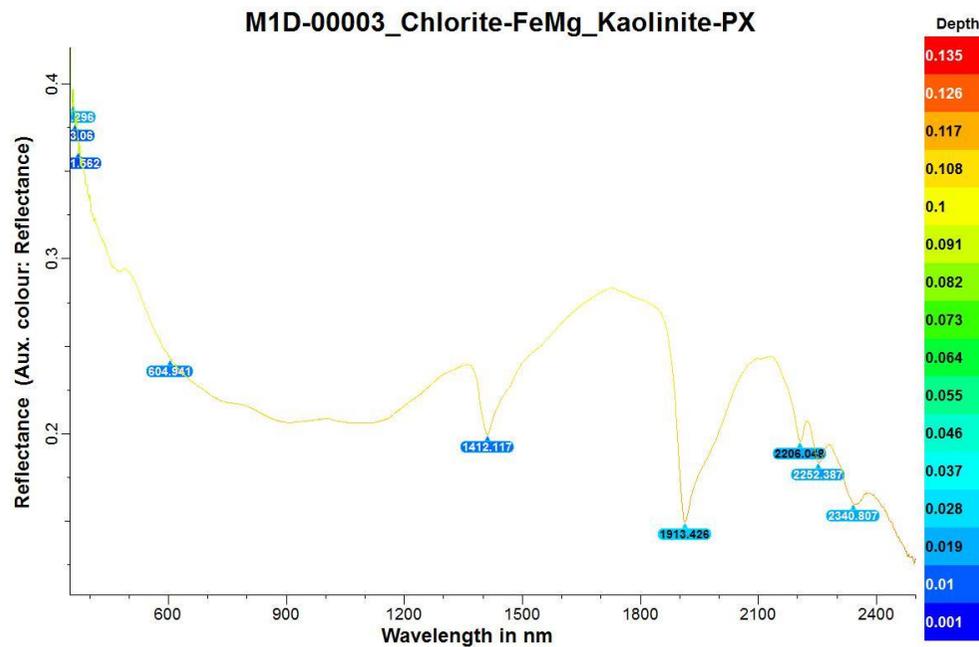
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M1D-00003

La firma espectral analizada tiene concordancia con la clorita y caolinita en las longitudes de onda de: 0.3, 3.06, 1.56, 604.94, 1412.12, 1913.43, 2208.05, 2252.39 y 2340.81, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1412.12, 1913.43 y 2340.81.

Figura 84.

Firma espectral muestra M1D - 00003, Clorita caolinita



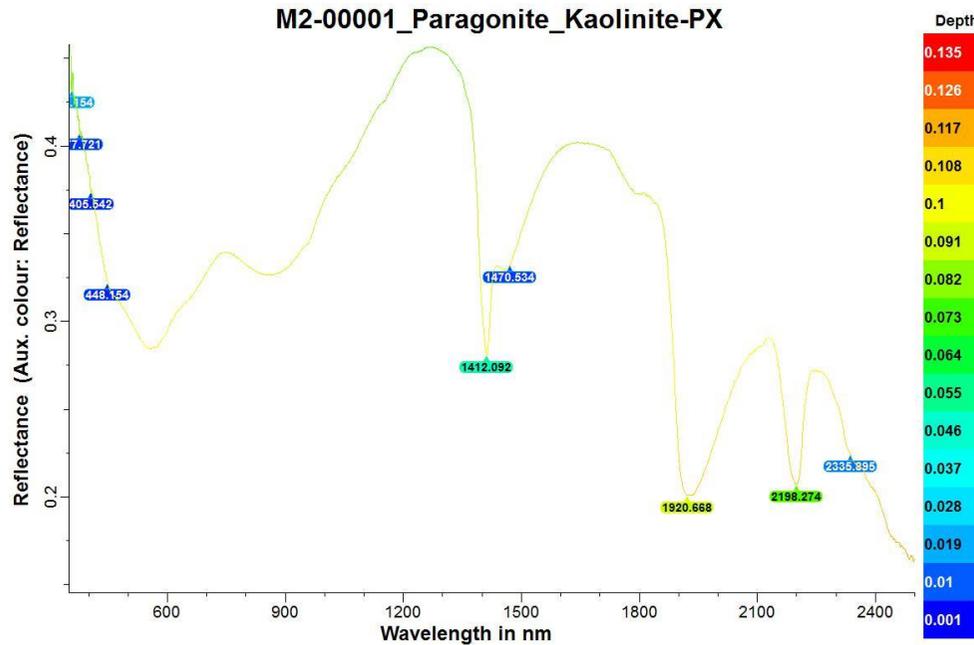
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M2-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita y caolinita en las longitudes de onda de: 0.15, 7.72, 405.84, 448.15, 1412.09, 1470.53, 1920.67, 2198.27 y 2335.90, observándose los principales puntos de: absorción en el punto 1412.09, 1920.67 y 2198.27.

Figura 85

Firma espectral muestra M2 - 00001, Paragonita - caolinita



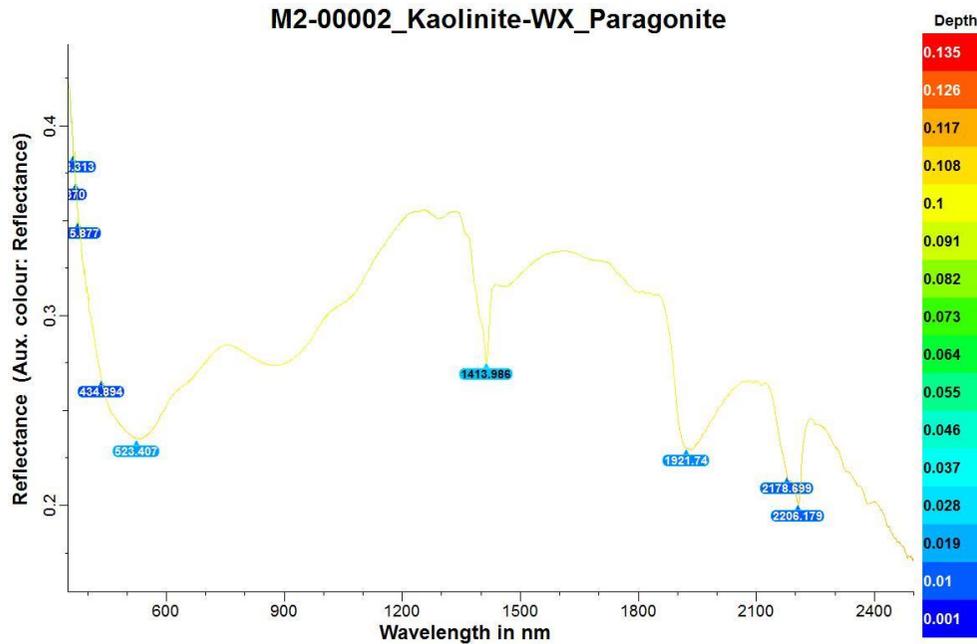
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M2-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la caolinita y paragonita en las longitudes de onda de: 0.31, 3.7, 5.87, 434.85, 523.07, 1413.99, 1921.74, 2178.65, 2206.18, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1413.99, 1921.74 y 2206.18.

Figura 86

Firma espectral muestra M2 - 00002, caolinita Paragonita



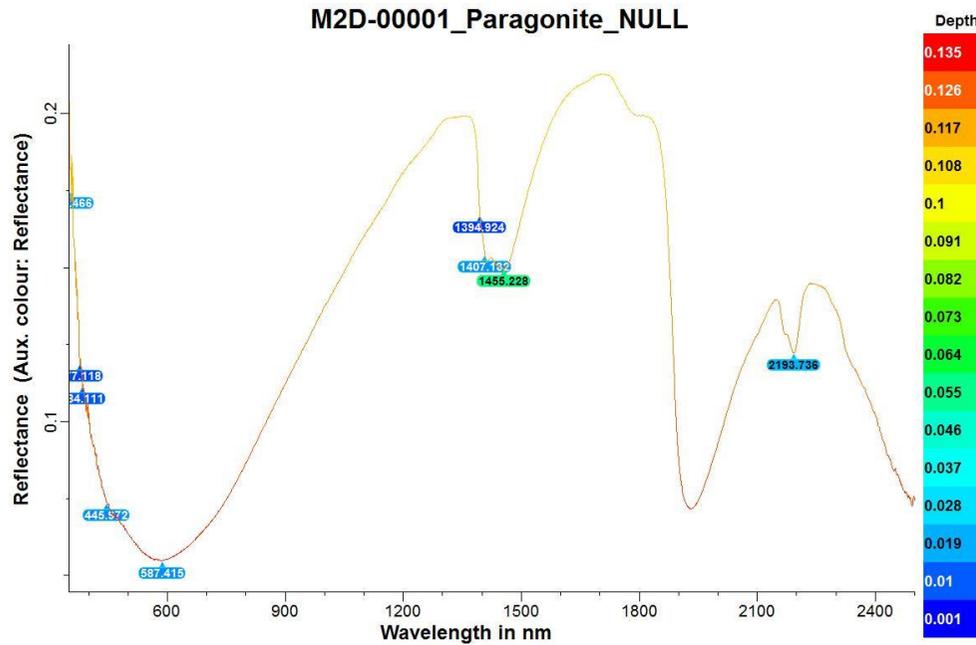
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M2D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita en las longitudes de onda de: 0.47, 7.12, 84.11, 445.57, 587.42, 1394.92, 1407.18, 1455.228, 2193.738, observándose los principales puntos de absorción en el punto 587.42, 1455.23 y 2193.74.

Figura 87

Firma espectral muestra M2D - 00001, Paragonita



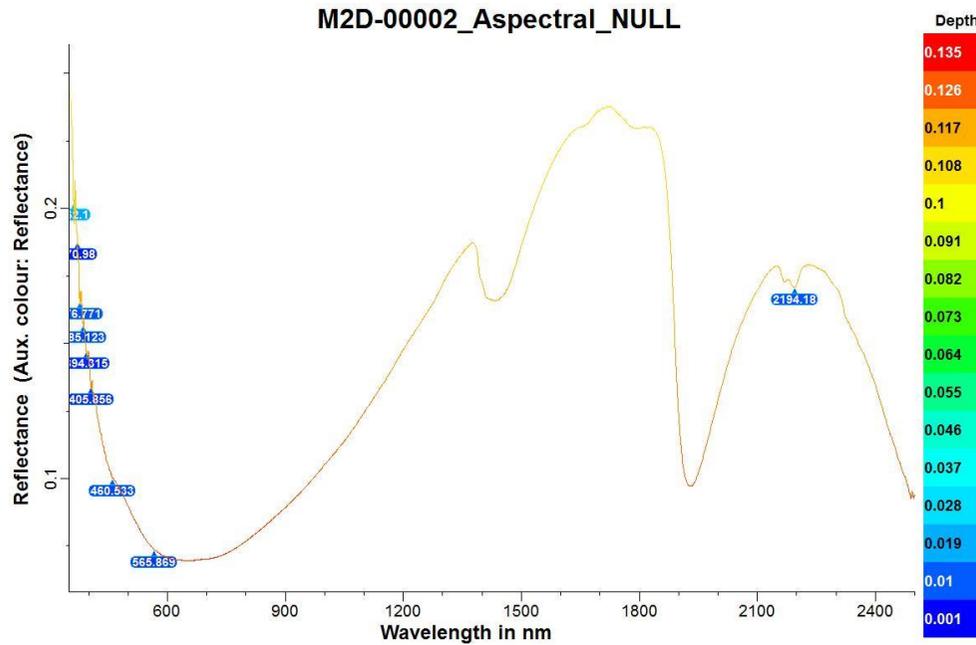
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M2D-00002

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 88.

Firma espectral muestra M2D - 00002, Nulo



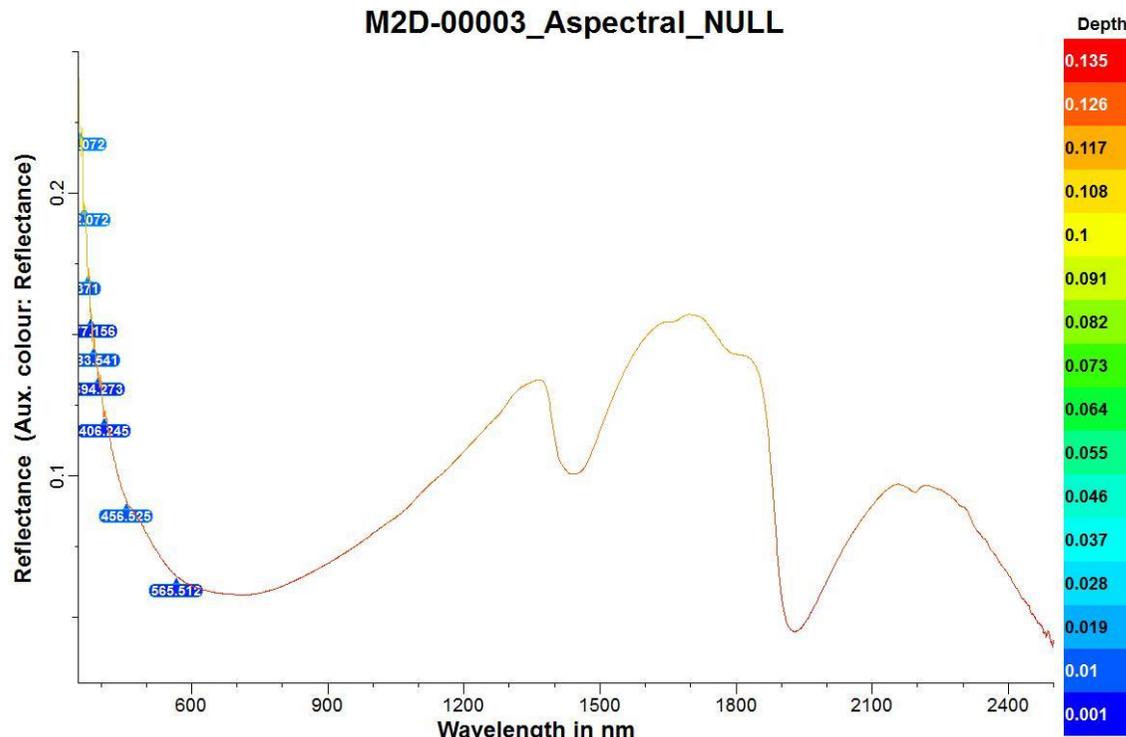
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M2D-00003

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 89

Firma espectral muestra M2D - 00003, Nulo



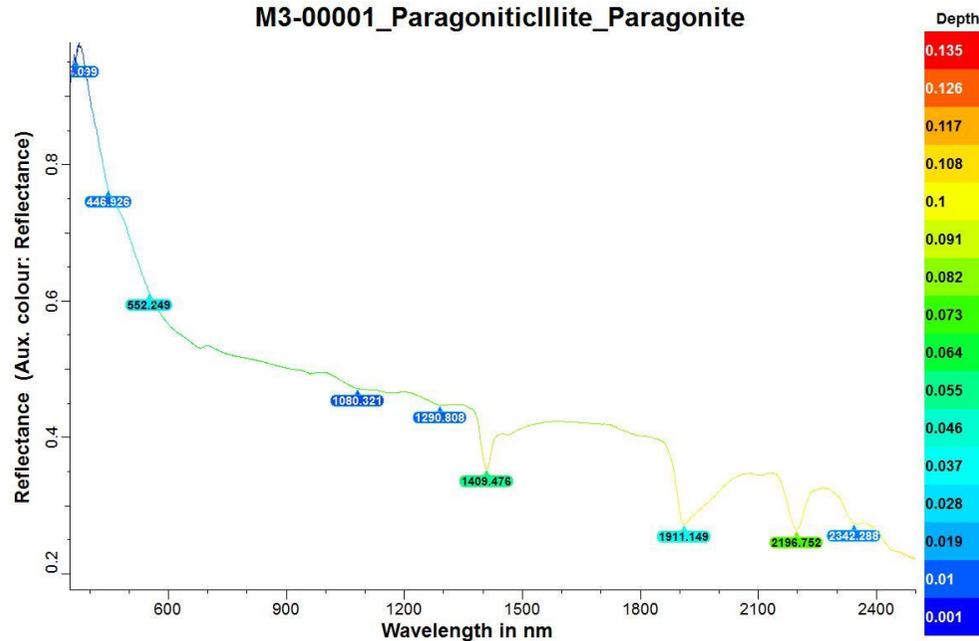
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M3-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita en las longitudes de onda de: 0.39, 446.93, 552.25, 1080.32, 1290.81, 1409.48, 1911.15, 2196.75 y 2342.29, observándose los principales puntos de absorción en el punto 552.25, 1409.48 y 2196.75

Figura 90

Firma espectral muestra M3 - 00001, Paragonita



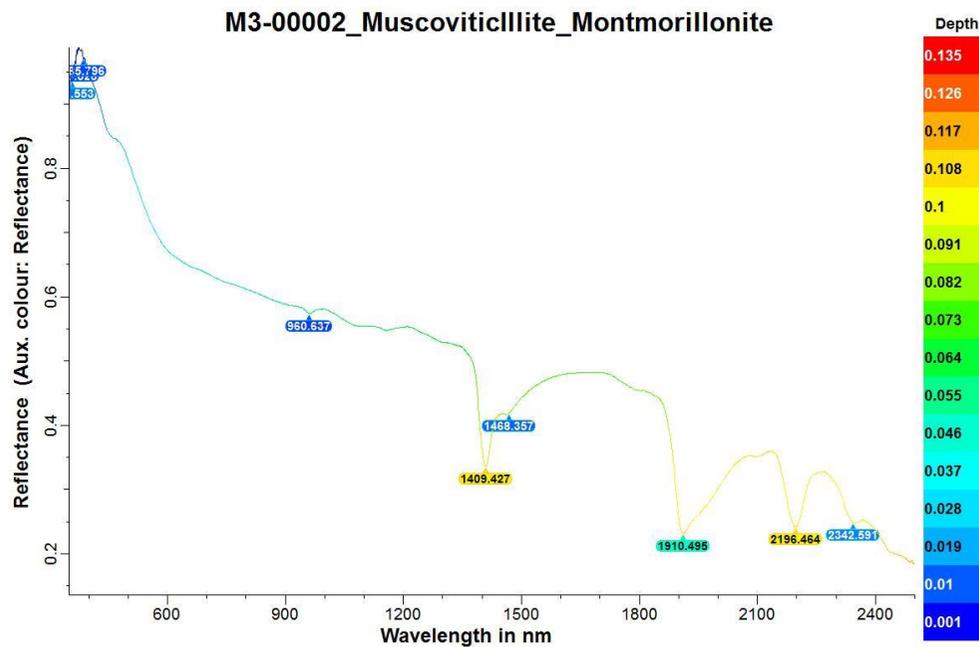
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M3-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la muscovita, illita y montmorillonita en las longitudes de onda de: 85.79, 960.64, 1409.43, 1468.34, 1910.50, 2196.46 y 2342.59, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1409.43, 1910.50 y 2196.46.

Figura 91

Firma espectral muestra M3 - 00002, Muscovita – Illita - Montmorillonita



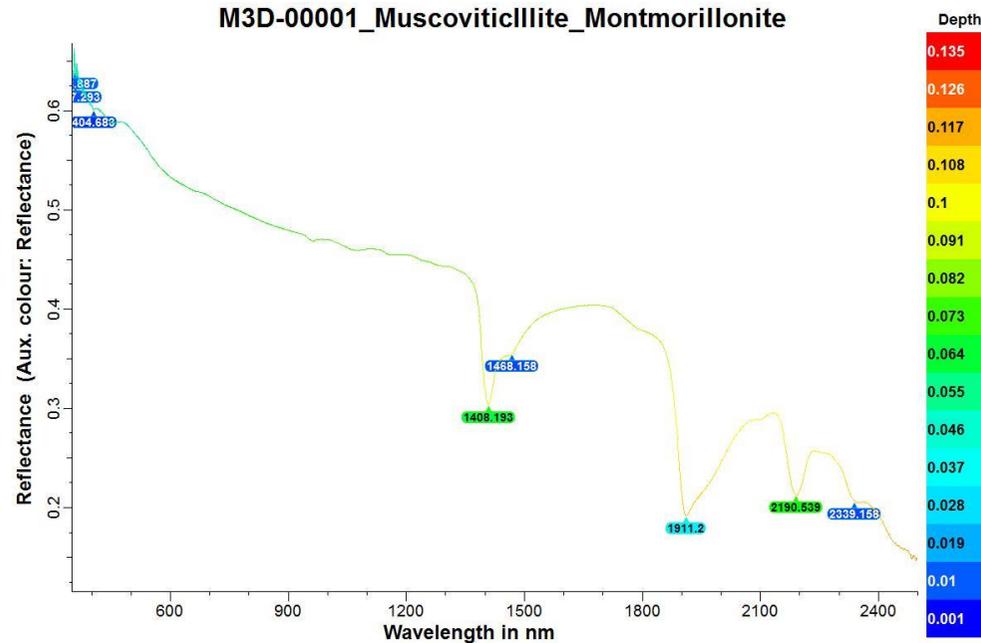
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M3D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la muscovita y montmorillonita en las longitudes de onda de: 7.29, 404.68, 1408.19, 1468.16, 1911.2, 2190.54 y 2339.16, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1408.19, 1911.2 y 2190.54.

Figura 92.

Firma espectral muestra M3D - 00001, Muscovita – Illita - Montmorillonita



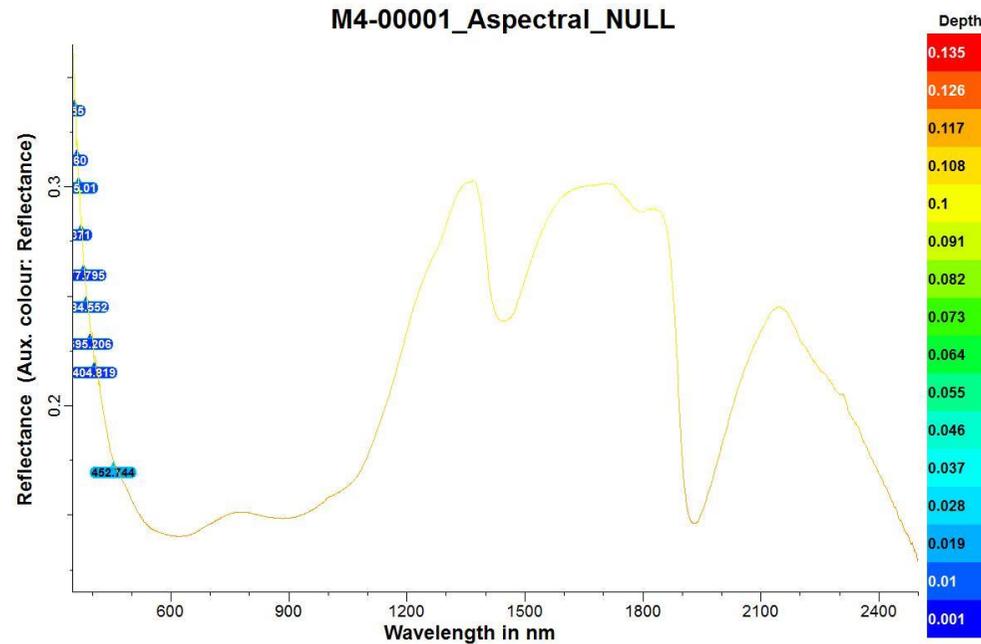
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M4-00001

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 93

Firma espectral muestra M4 - 00001, Nulo



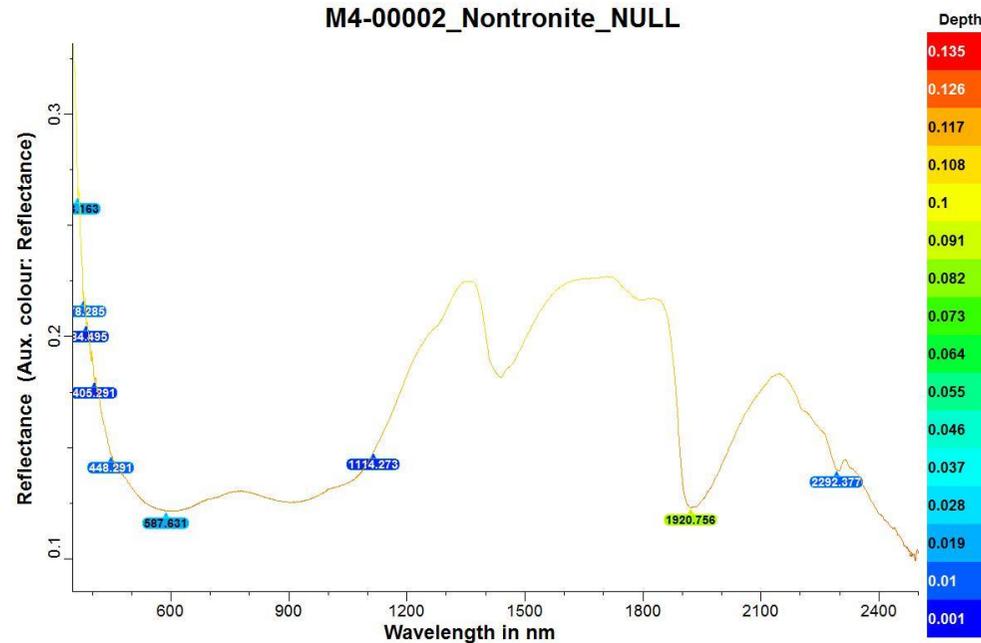
Fuente: Propia

M4-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la nontronita en las longitudes de onda de: 1.16, 587.63, 114.27, 1920.76 y 2292.38, observándose los principales puntos de absorción en el punto 587.63, 1920.76 y 2292.377.

Figura 94.

Firma espectral muestra M4 - 00002, Nontronita (esmectita)



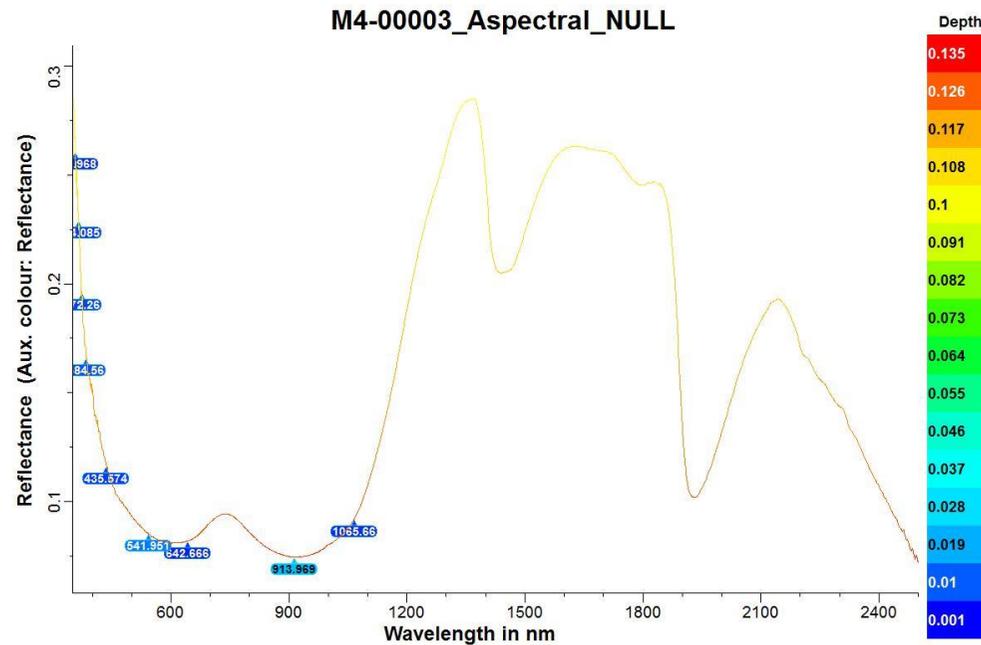
Fuente: Propia

M4-00003

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 95

Firma espectral muestra M4 - 00003, Nulo



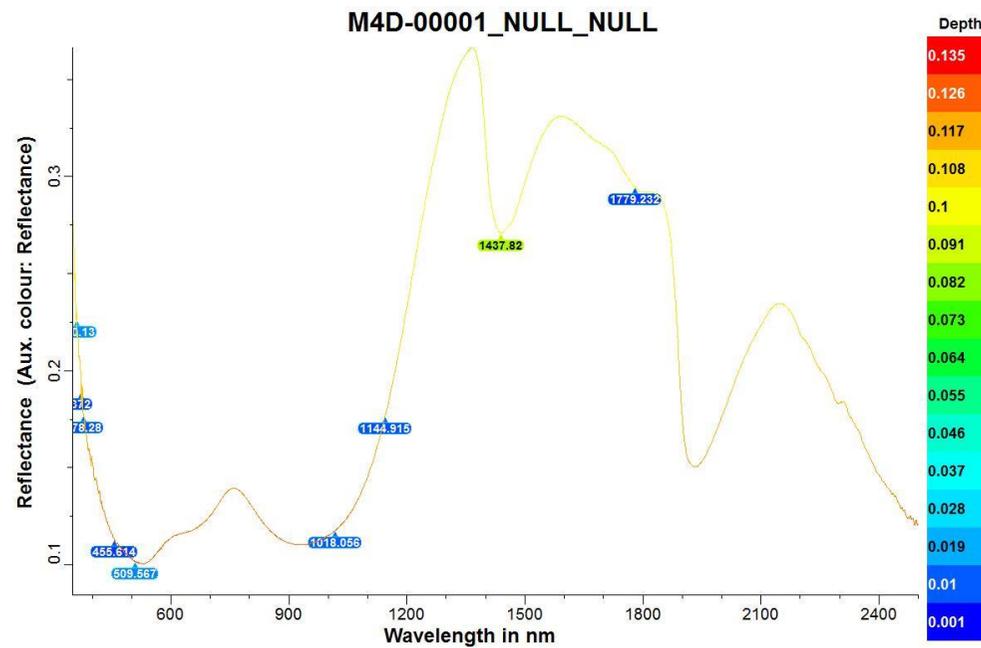
Fuente: Propia

M4D-00001

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 96.

Firma espectral muestra M4D - 00001, Nulo



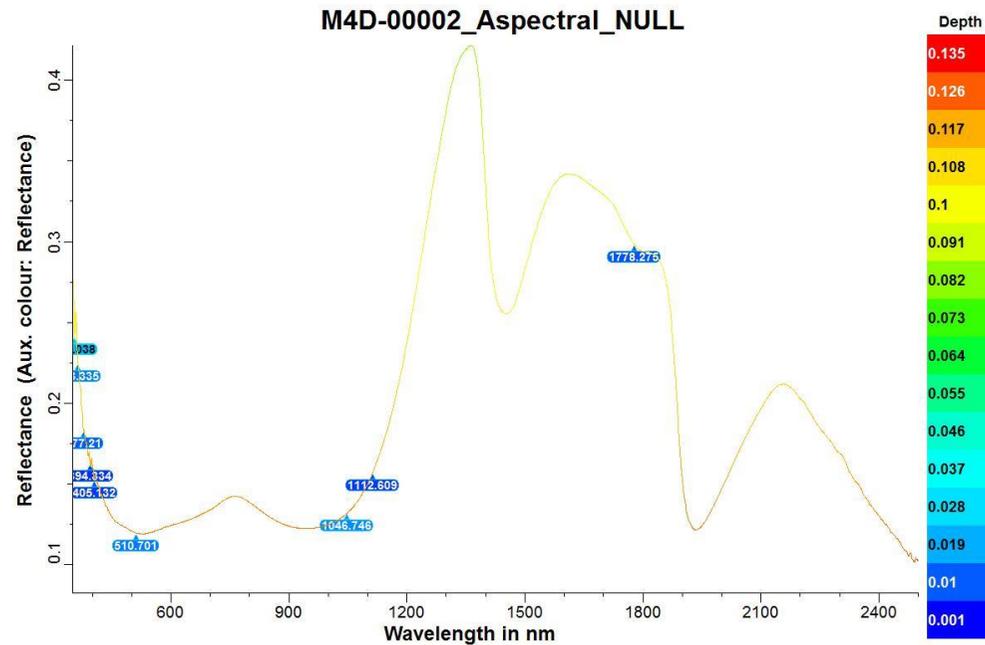
Fuente: Propia

M4D-00002

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 97

Firma espectral muestra M4D - 00002, Nulo



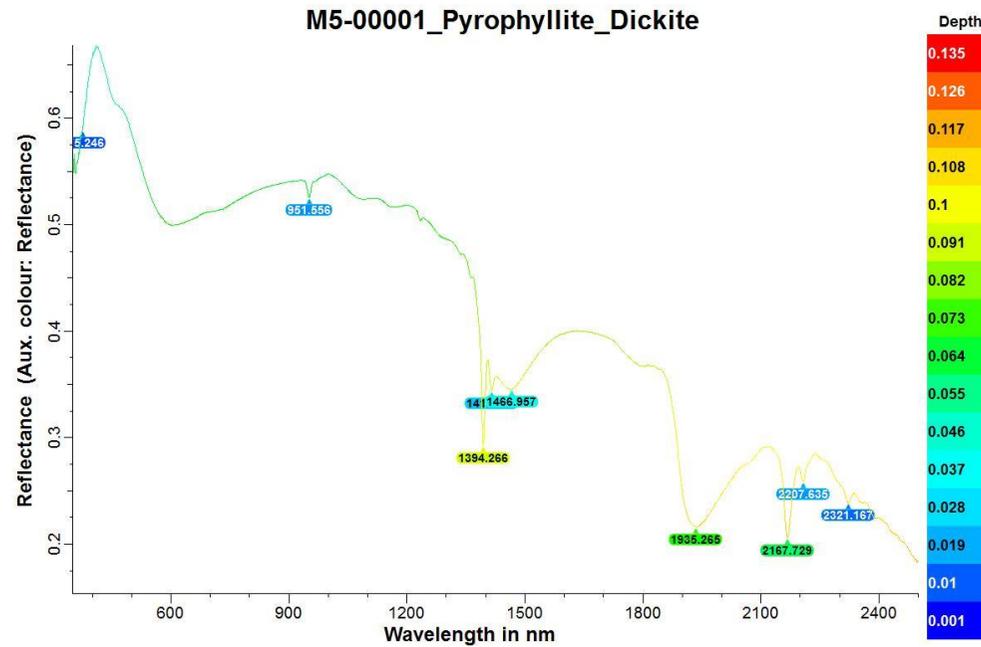
Fuente: Propia

M5-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la pirofilita y dickita en las longitudes de onda de: 5.25, 951.56, 1394.27, 1466.96, 1936.27, 2167.73, 2207.64 y 2321.17, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1394.27, 1936.27 y 2167.73.

Figura 98

Firma espectral muestra M5 - 00001, Pirofilita - Dickita



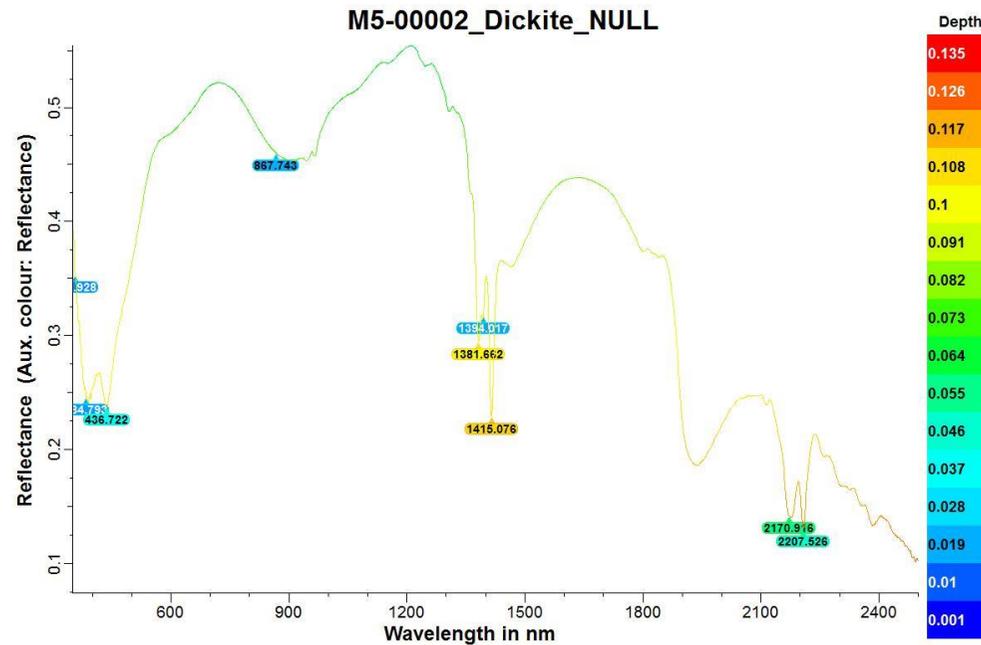
Fuente: Propia

M5-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la dickita en las longitudes de onda de: 34.79, 436.72, 887.74, 1381.66, 1394.01, 1416.07, 2170.92 y 2207.53, observándose los principales puntos de absorción en el punto 436.72, 1381.66, 1394.01, 1416.07, 2170.92 y 2207.53.

Figura 99

Firma espectral muestra M5 - 00002, Dickita



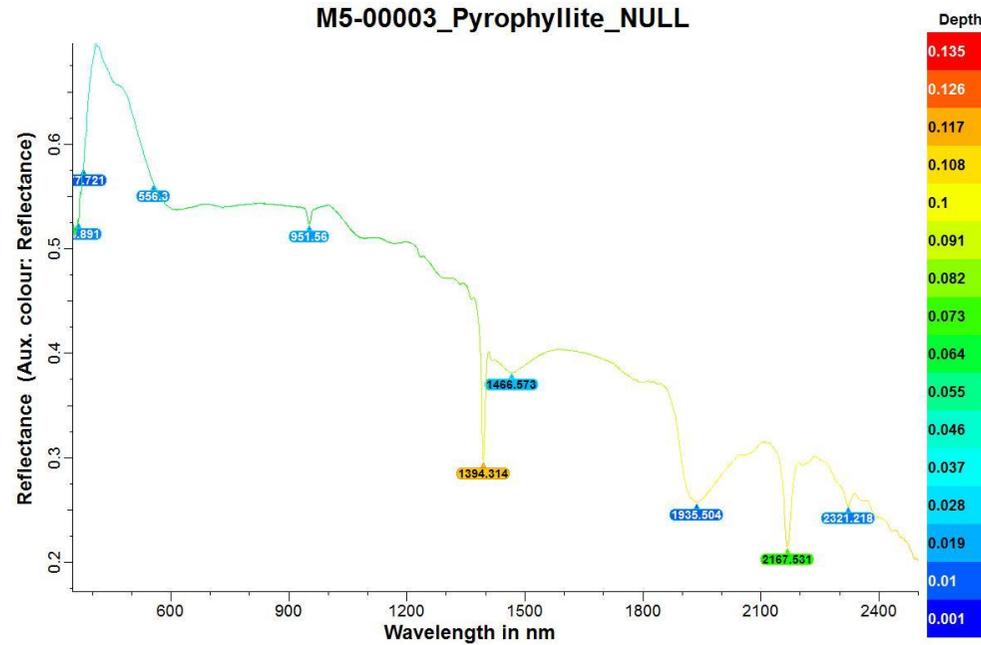
Fuente: Propia

M5-00003

La firma espectral analizada tiene concordancia con la pirofilita en las longitudes de onda de: 7.72, 556.3, 951.56, 1394.31, 1465.67, 1935.60, 2167.531 y 2321.218, observándose los principales puntos de absorción en el punto 556.3, 951.56, 1394.31 y 2167.531.

Figura 100

Firma espectral muestra M5 - 00003, Pirofilita



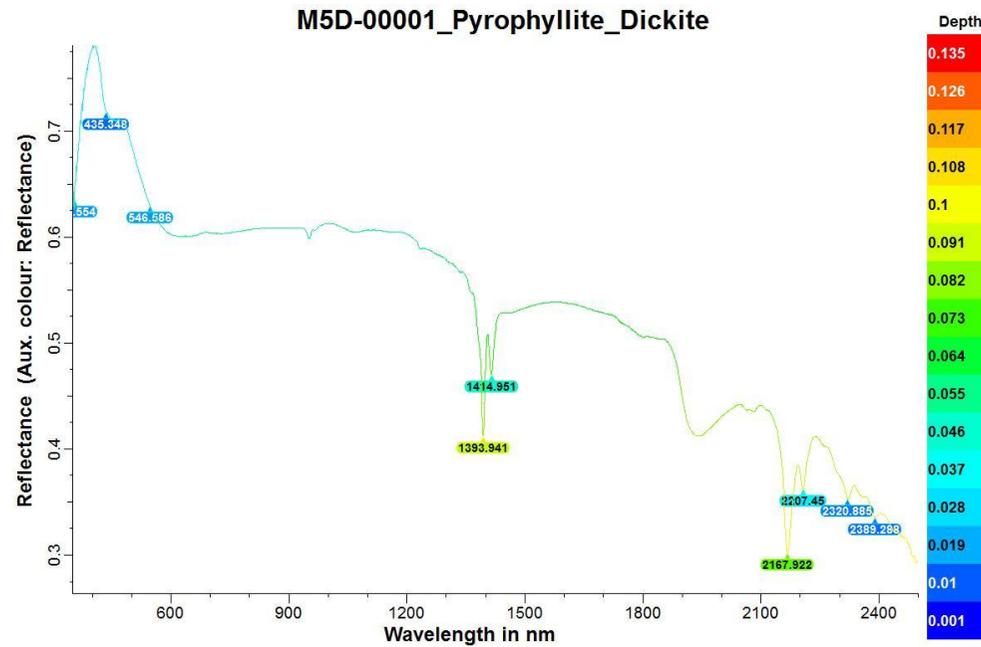
Fuente: Propia

M5D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la pirofilita y dickita en las longitudes de onda de: 435.35, 646.69, 1393.94, 1414.95, 2197.92, 2207.45, 2320.89 y 2389.29, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1393.94, 1414.95, 2197.92 y 2389.29.

Figura 101

Firma espectral muestra M5D - 00001, Pirofilita - Dickita



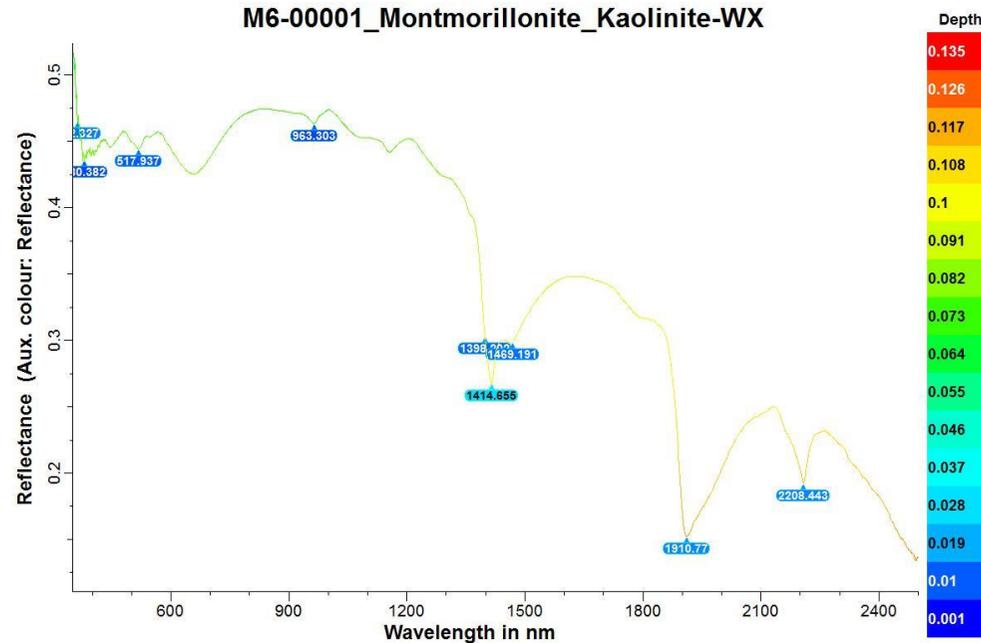
Fuente: Propia

M6-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 0.38, 517.94, 963.30, 1398.20, 1414.66, 1469.19, 1910.77 y 2208.44, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1414.66, 1910.77 y 2208.44.

Figura 102

Firma espectral muestra M6 - 00001, Montmorillonita - caolinita



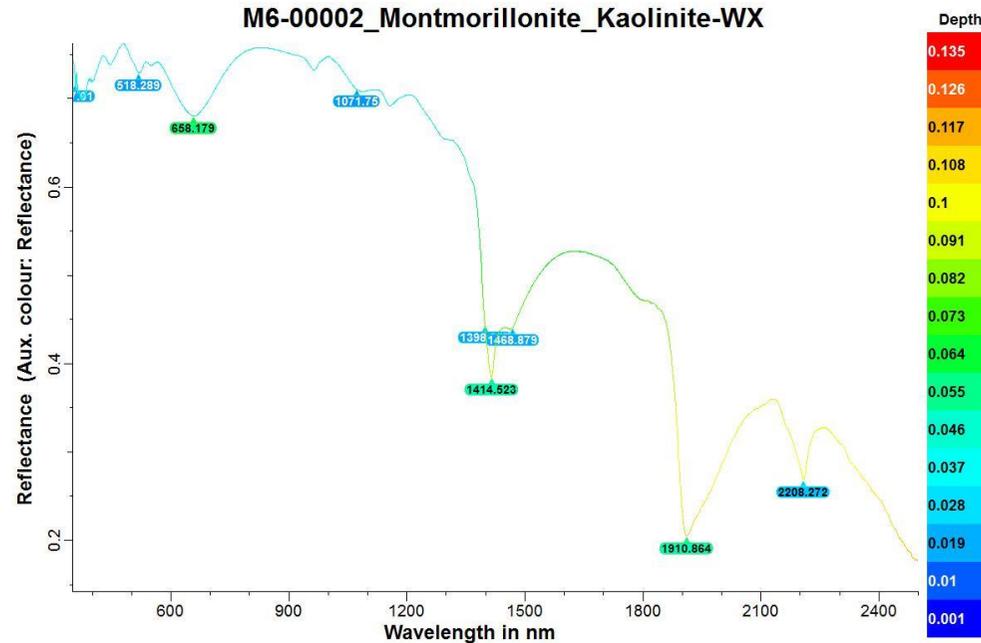
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M6-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la Montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 518.29, 658.18, 1071.75, 1398.20, 1414.523, 1468.88, 1910.87 y 2208.27, observándose los principales puntos de absorción en el punto 658.18, 1071.75, 1414.52 1910.87 y 2208.27.

Figura 103.

Firma espectral muestra M6 - 00002, Montmorillonita - caolinita



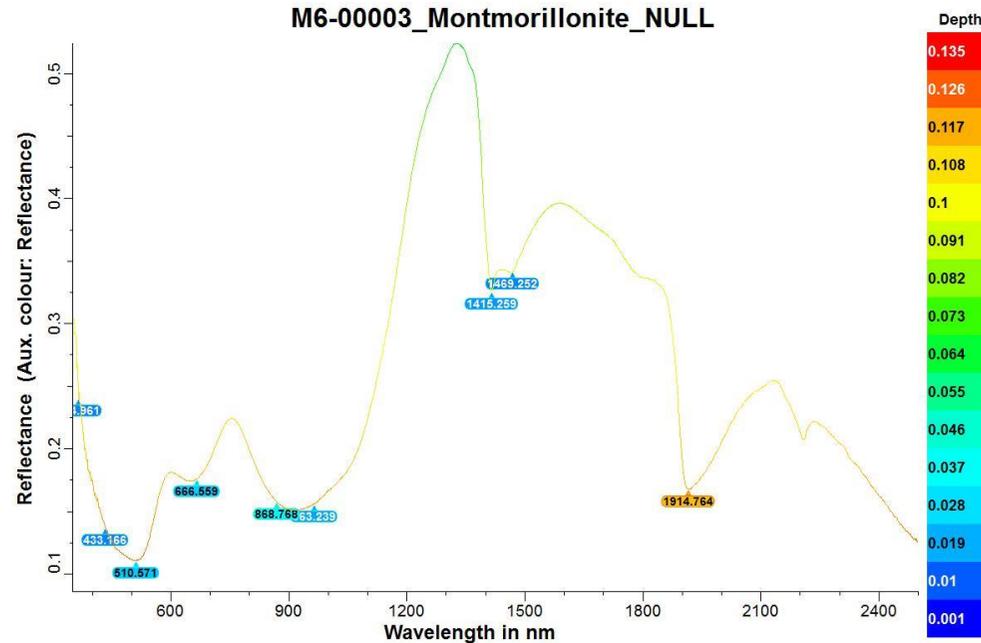
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M6-00003

La firma espectral analizada tiene concordancia con la Montmorillonita en las longitudes de onda de: 433.17, 610.67, 666.56, 868.77, 963.24, 1415.259, 1469.252 y 1914.784, observándose los principales puntos de absorción en el punto 610.67, 666.56, 963.24, 1469.252 y 1914.784.

Figura 104

Firma espectral muestra M6 - 00003, Montmorillonita



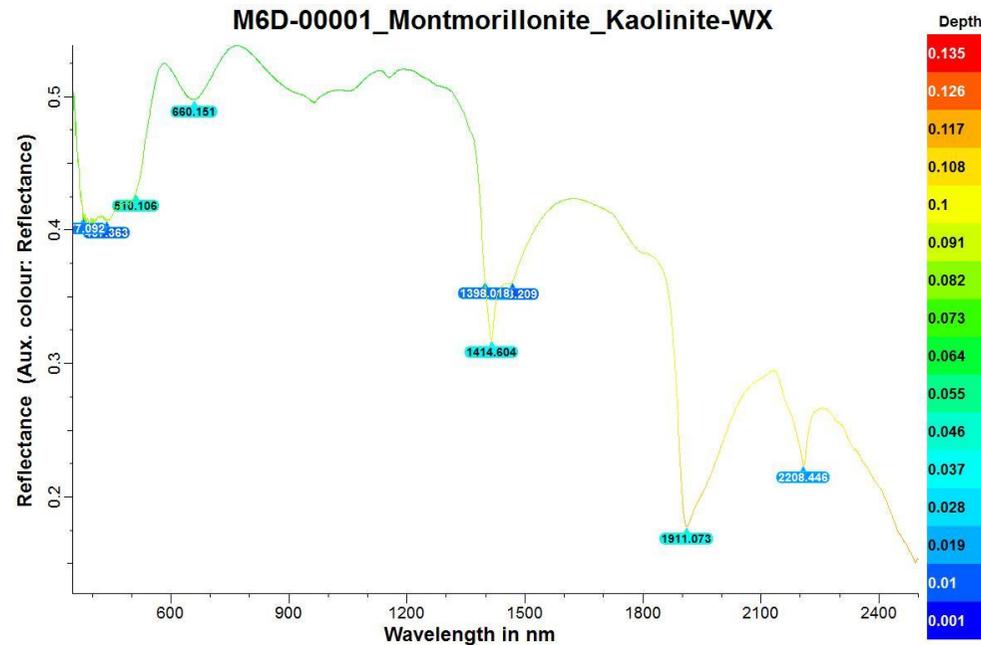
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M6D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la Montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 7.092, 510.106, 660.15, 1398.01, 1414.60, 1911.07 y 2208.45, observándose los principales puntos de absorción en el punto 510.106, 660.15, 1414.60 y 1911.07

Figura 105

Firma espectral muestra M6D - 00001, Montmorillonita - caolinita



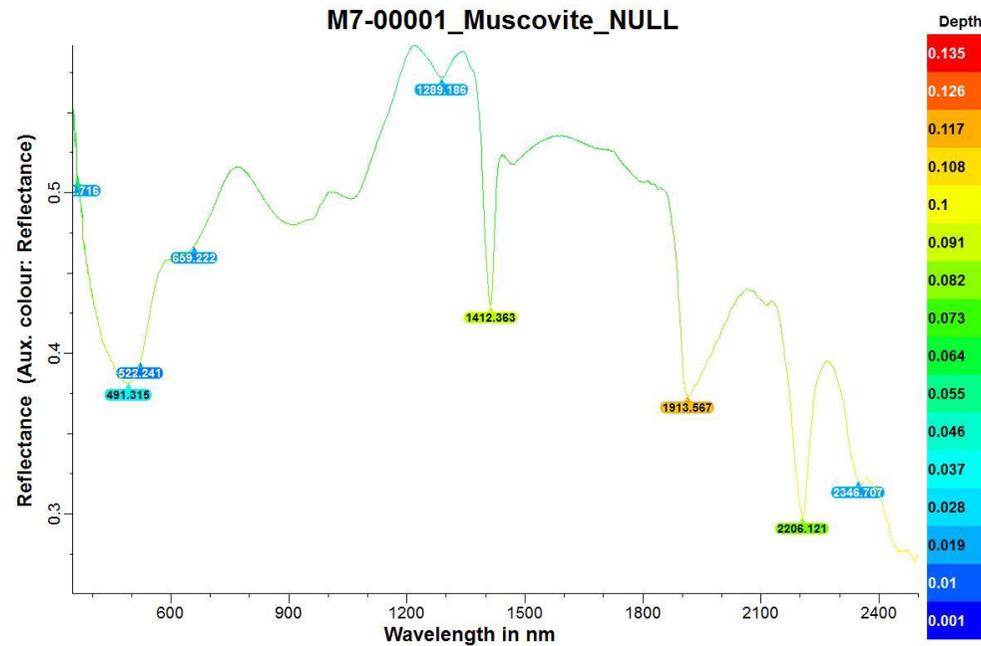
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M7-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la Muscovita en las longitudes de onda de: 491.32, 522.24, 659.22, 1289.186, 1412.36, 1913.57, 2206.12 y 2346.70, observándose los principales puntos de absorción en el punto 491.32, 1412.36, 1913.57, 2206.12.

Figura 106

Firma espectral muestra M7 - 00001, Muscovita.



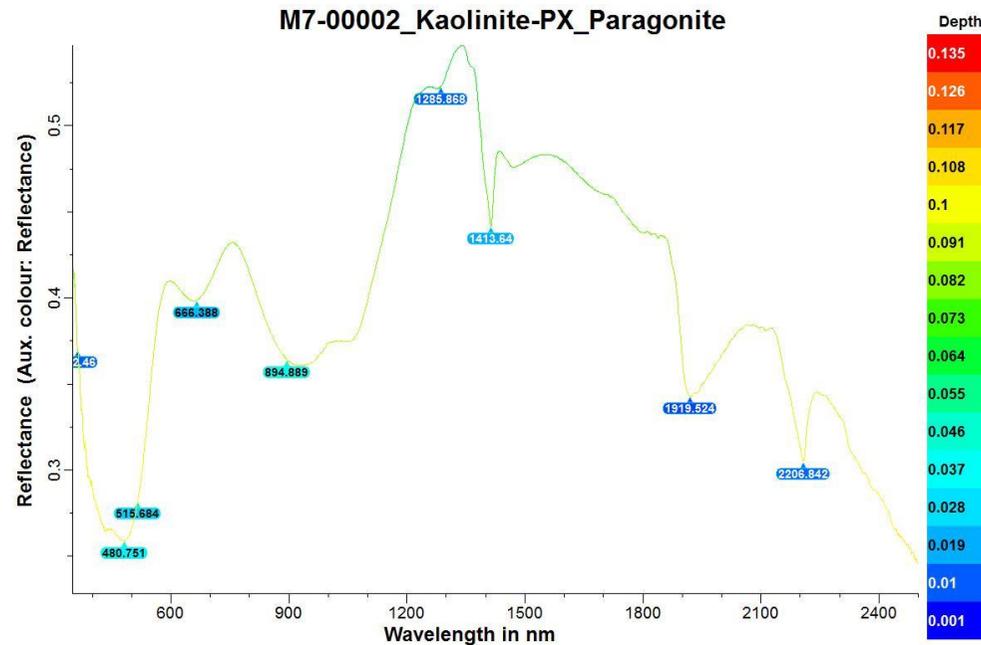
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M7-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la caolinita y paragonita en las longitudes de onda de: 2.46, 480.76, 515.68, 666.39, 894.89, 1285.87, 1413.64, 1919.52 y 2206.84, observándose los principales puntos de absorción en el punto 480.76, 894.89, 1413.64, 1919.52 y 2206.84.

Figura 107

Firma espectral muestra M7 - 00002, caolinita - Paragonita



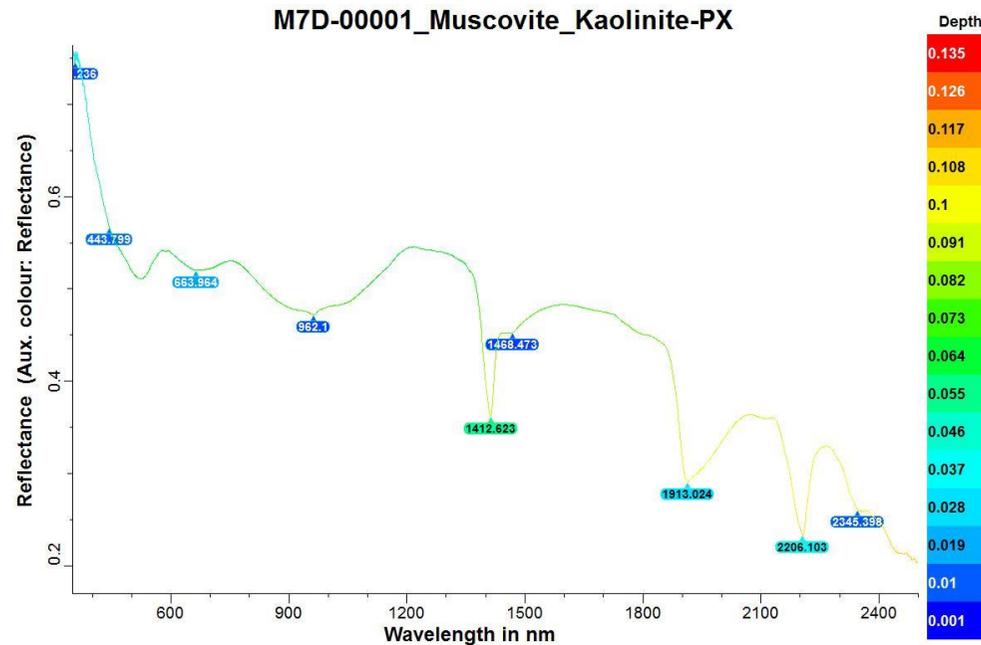
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M7D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la muscovita y caolinita en las longitudes de onda de: 443.79, 663.96, 962.1, 1412.62, 1468.47, 1913.02, 2206.10 y 2345.39, observándose los principales puntos de absorción en el punto 663.96, 1412.62, 1913.02, 2206.10.

Figura 108

Firma espectral muestra M7D - 00001, Muscovita - caolinita



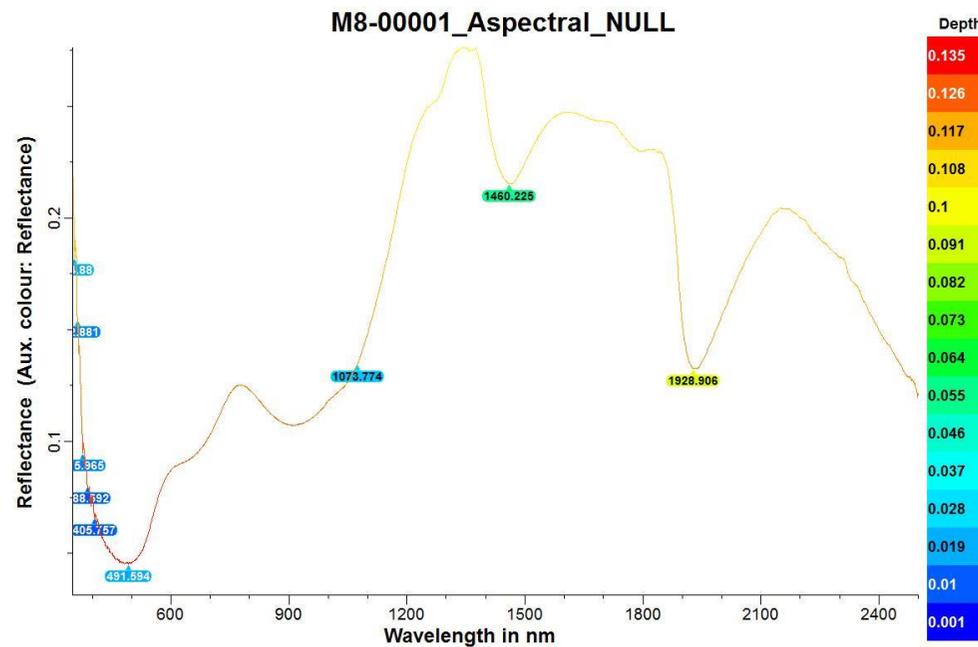
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M8-00001

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 109

Firma espectral muestra M8 - 00001, Nulo



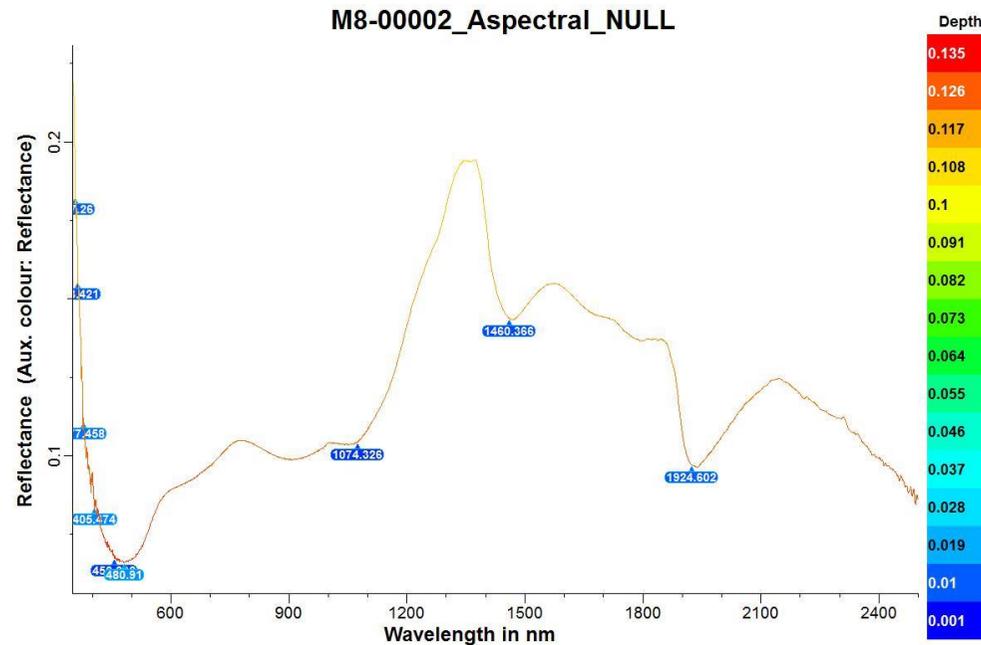
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M8-00002

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 110

Firma espectral muestra M8 - 00002, Nulo



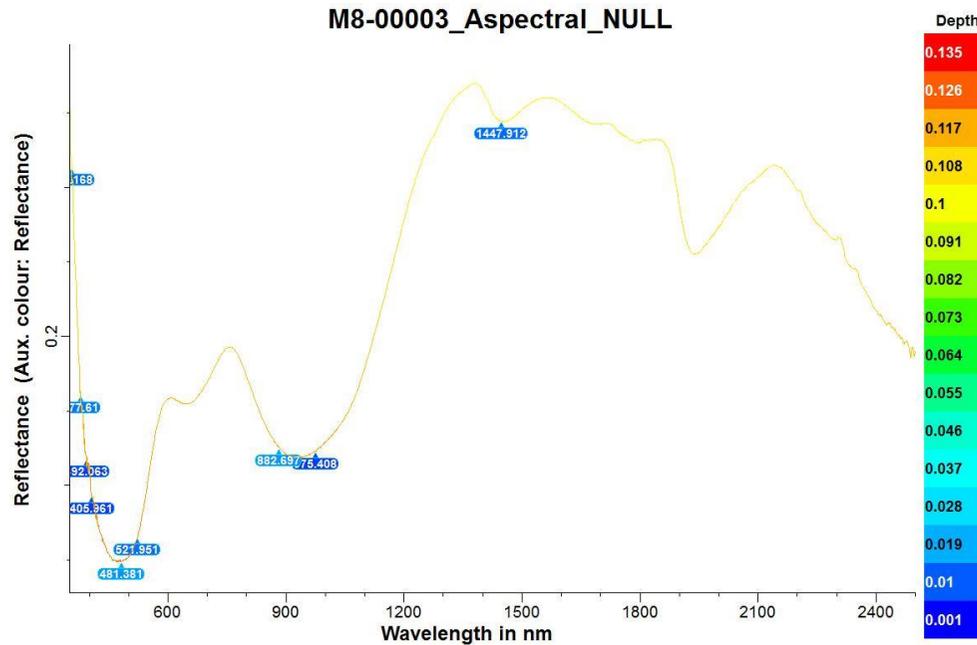
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M8-00003

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 111.

Firma espectral muestra M8 - 00003, Nulo



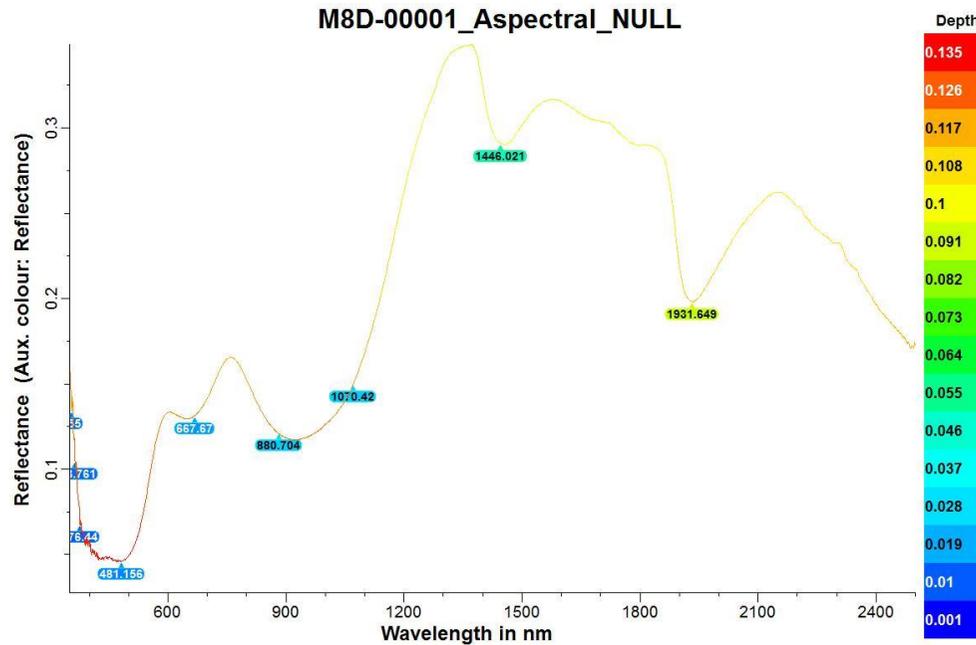
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M8D-00001

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 112.

Firma espectral muestra M8D - 00001, Nulo



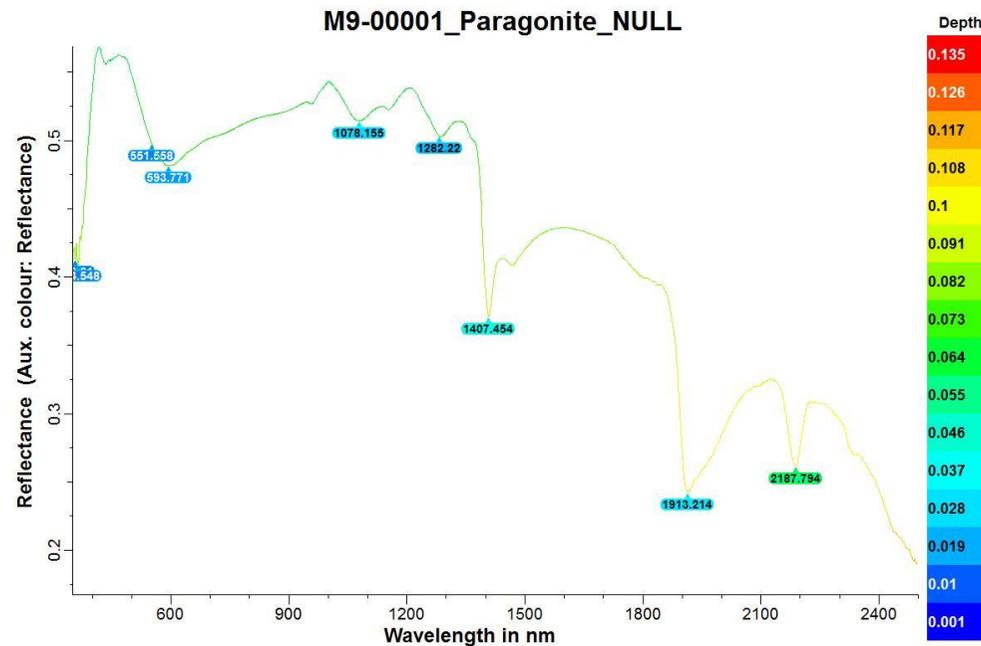
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M9-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita en las longitudes de onda de: 551.66, 593.77, 1078.17, 1282.22, 1407.45, 1913.21 y 2187.79, observándose los principales puntos de absorción en el punto 593.77, 1078.17, 1407.45, 1913.21 y 2187.79.

Figura 113.

Firma espectral muestra M9 - 00001, Paragonita



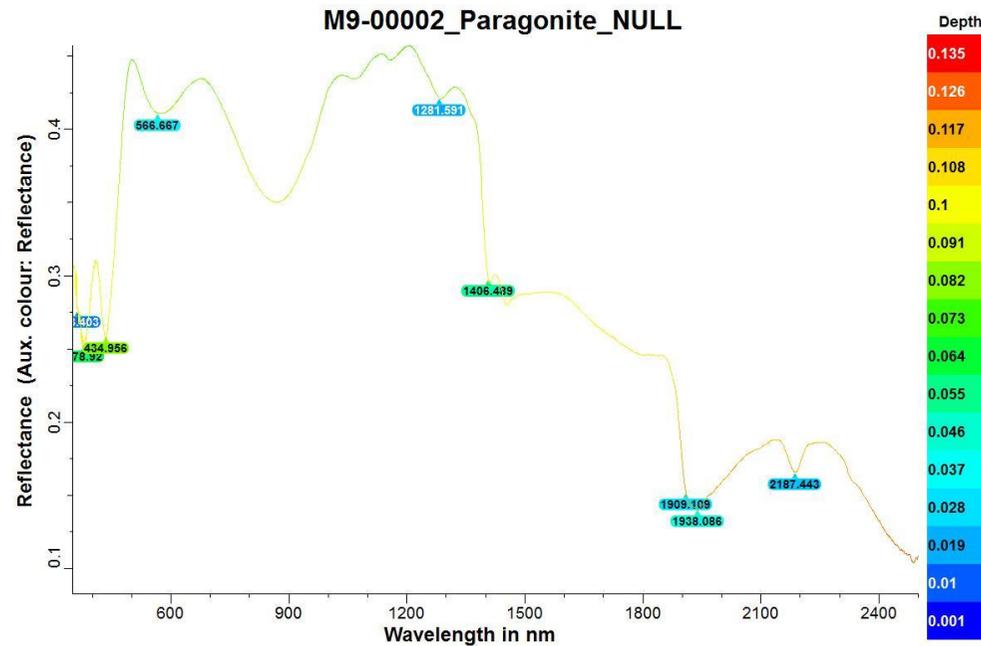
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M9-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita en las longitudes de onda de: 434.96, 566.67, 1281.60, 1406.49, 1909.11, 1938.09 y 2187.44, observándose los principales puntos de absorción en el punto 434.96, 1281.60, 1406.49, 1938.09 y 2187.44.

Figura 114.

Firma espectral muestra M9 - 00002, Paragonita



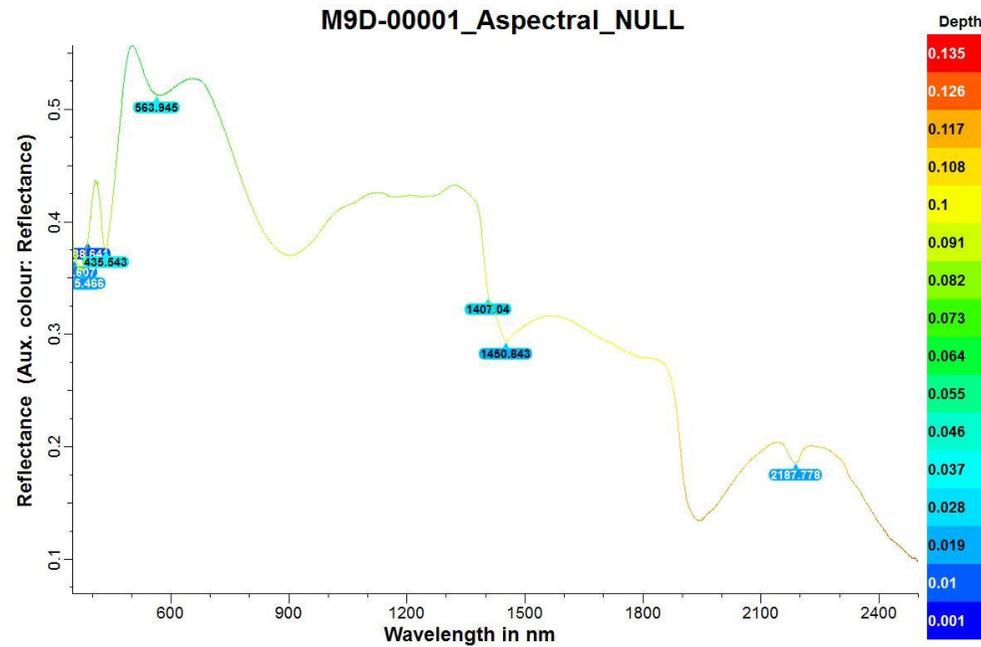
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M9D-00001

La firma espectral analizada tiene no tiene concordancia con minerales de alteración compilados en la base de datos, verificándose que muchos de los puntos característicos de la firma no cuentan con similitud espectral.

Figura 115.

Firma espectral muestra M9D - 00001, Nulo



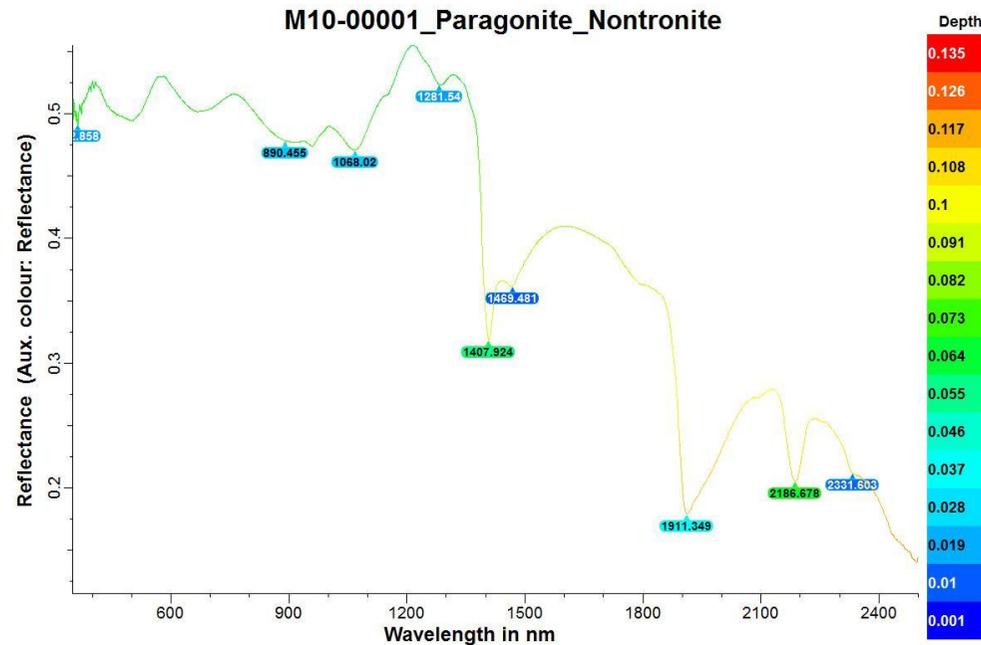
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M10-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la paragonita y nontronita en las longitudes de onda de: 0.858, 890.45, 1068.02, 1281.54, 1407.92, 1469.48, 1911.35, 2188.68 y 2331.60, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1281.54, 1407.92, 1911.35 y 2188.68.

Figura 116.

Firma espectral muestra M10 - 00001, Paragonita - Nontronita



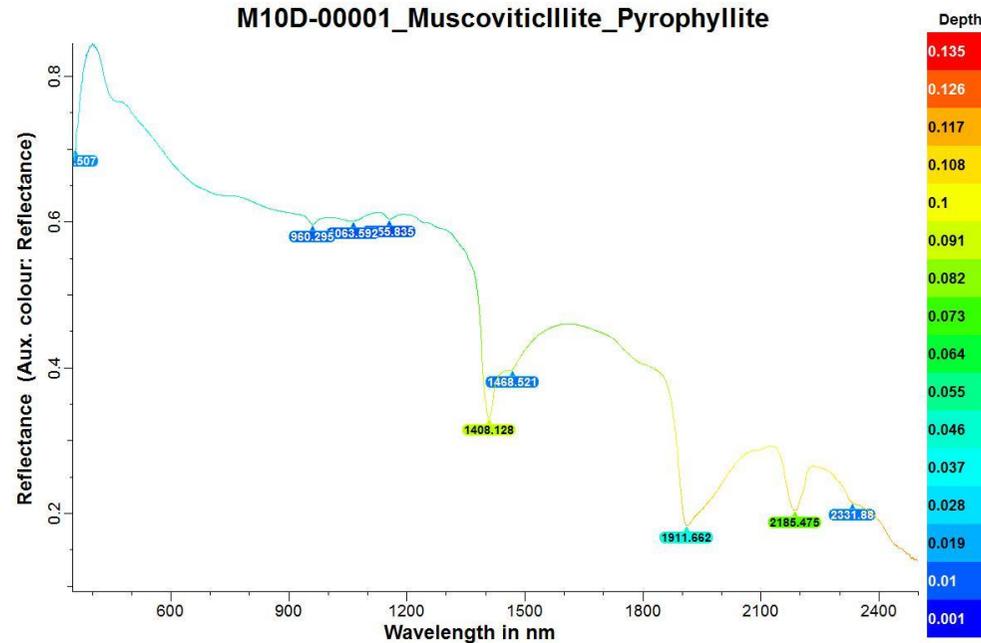
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M10D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la muscovita y pirofilita en las longitudes de onda de: 960.29, 1063.69, 1408.128, 1468.521, 1911.66, 2185.48 y 2331.88, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1408.128, 1911.66 y 2185.48.

Figura 117.

Firma espectral muestra M10D - 00001, Muscovita - Pirofilita



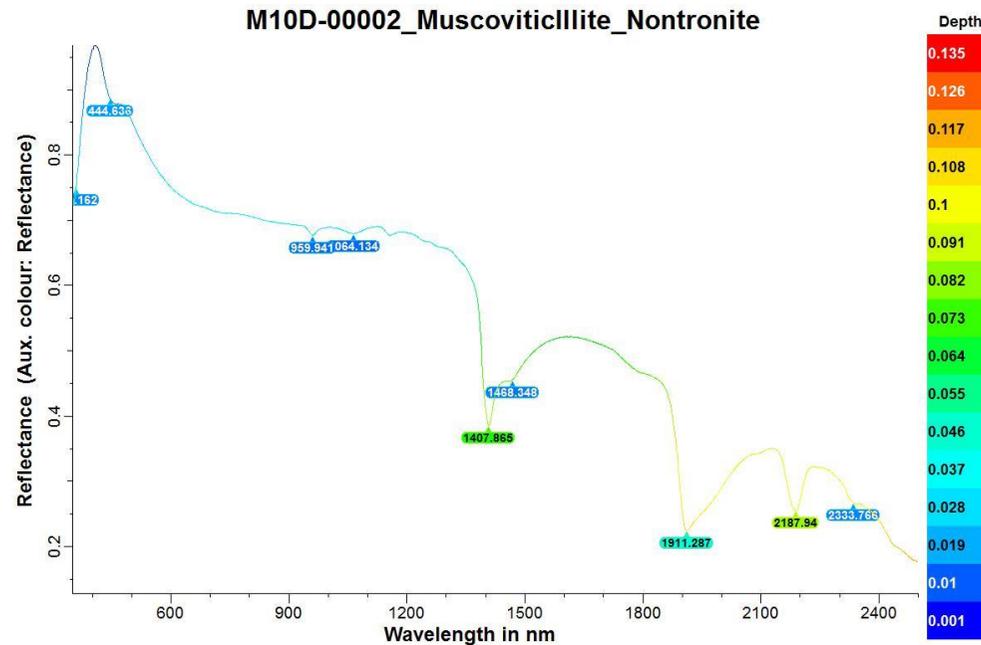
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M10D-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la muscovita y nontronita en las longitudes de onda de: 444.64, 959.94, 1407.87, 1468.35, 1911.29, 2187.94, 2333.76, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1407.87, 1911.29 y 2187.94.

Figura 118.

Firma espectral muestra M10D - 00002, Muscovita – Nontronita



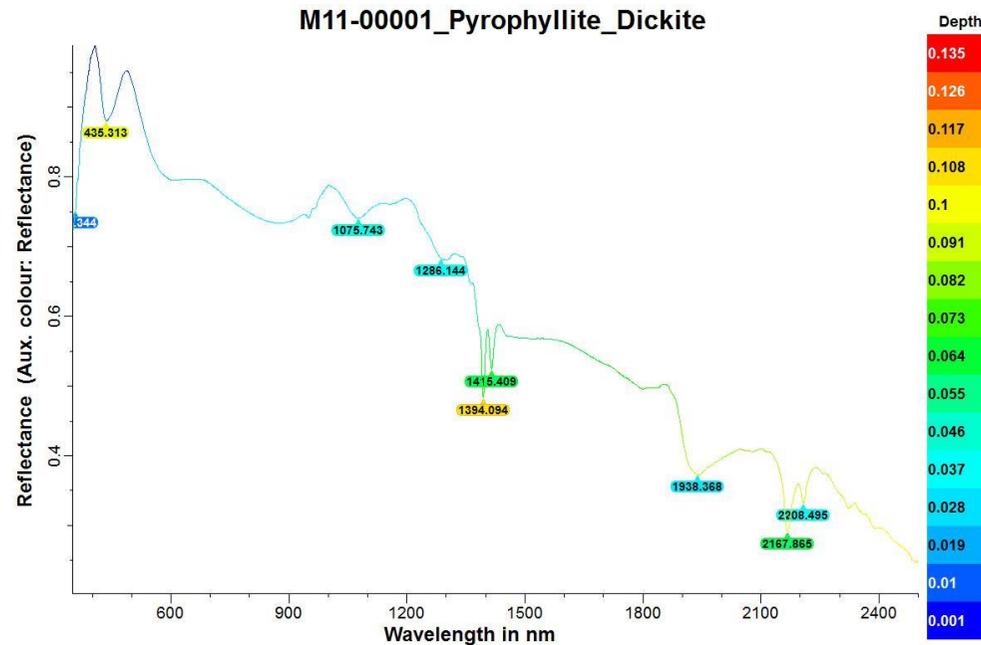
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M11-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la pirofilita y dickita en las longitudes de onda de: 435.313, 1075.74, 1286.14, 1394.09, 1416.41, 1938.37, 2167.86 y 2208.50, observándose los principales puntos de absorción en el punto 435.313, 1394.09, 1416.41 y 2167.86.

Figura 119.

Firma espectral muestra M11 - 00001, Pirofilita - Dickita



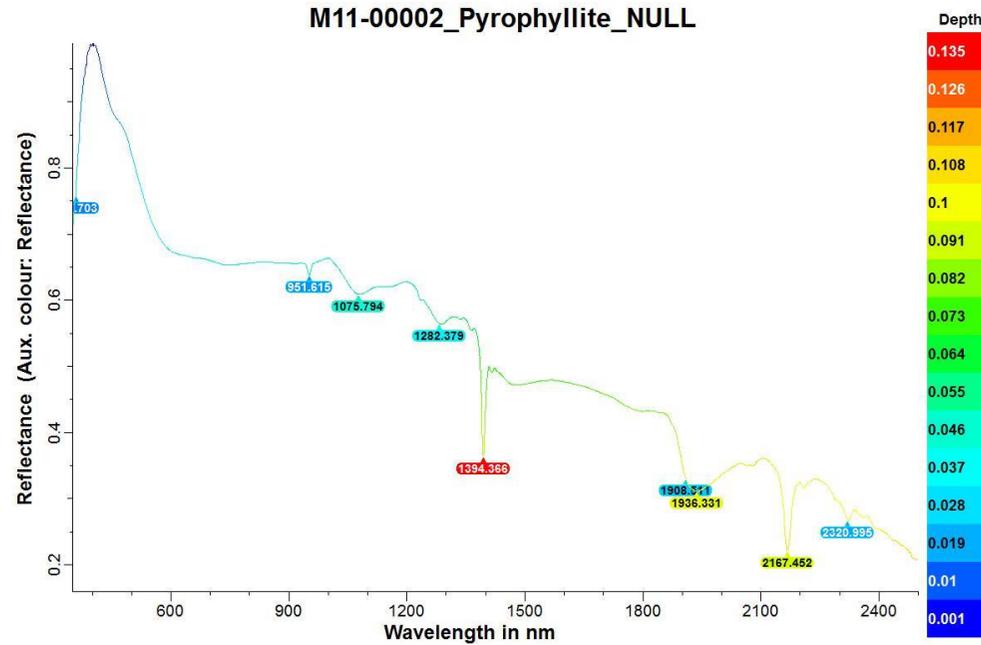
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M11-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la pirofilita en las longitudes de onda de: 0.70, 951.62, 1075.80, 1282.38, 1394.37, 1908.51, 1936.33, 2167.45 y 2320.99, observándose los principales puntos de absorción en el punto 0.70, 1394.37, 1936.33, 2167.45.

Figura 120.

Firma espectral muestra M11 - 00002, Pirofilita



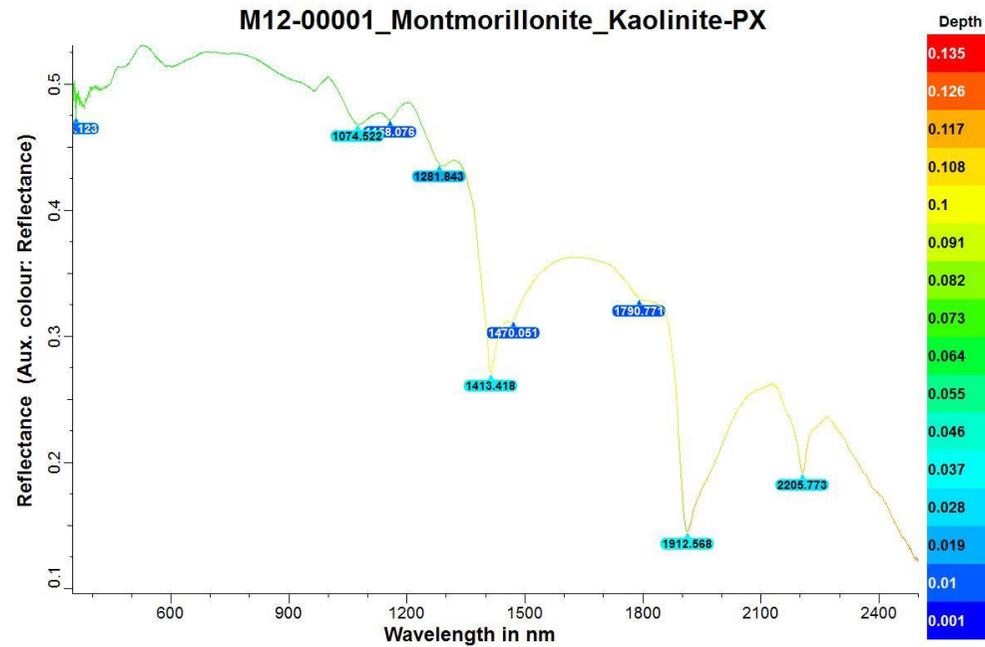
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M12-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 0.12, 1074.52, 1158.07, 1281.84, 1413.42, 1470.05, 1790.77, 1912.57 y 2205.77, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1074.52, 1470.05, 1912.57 y 2205.77

Figura 121.

Firma espectral muestra M12 - 00001, Montmorillonita - caolinita



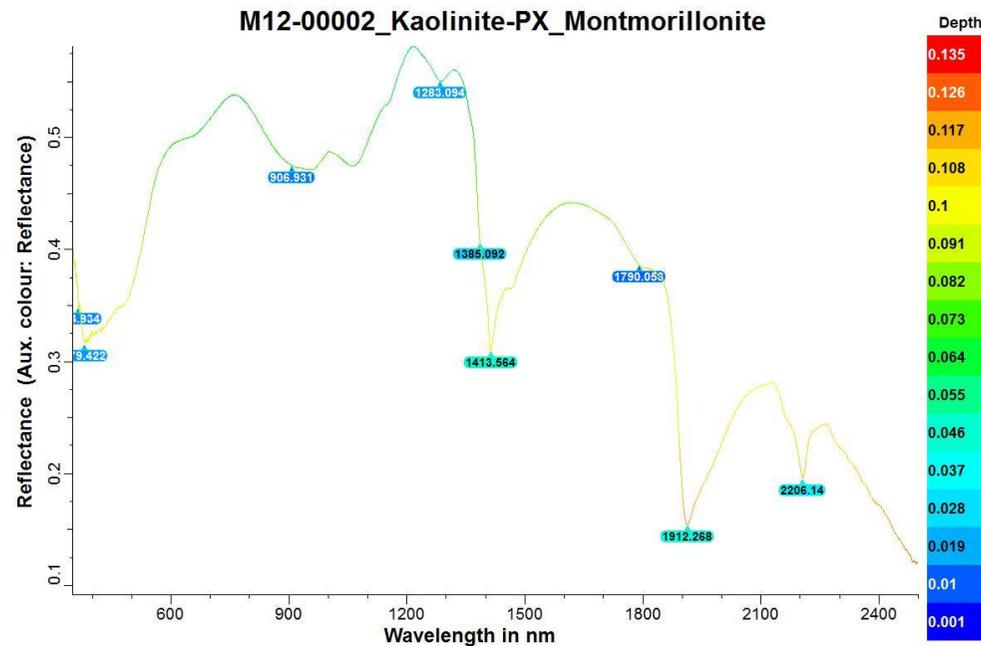
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M12-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 79.42, 906.93, 1283.09, 1386.09, 1413.66, 1790.05, 1912.27 y 2206.14, observándose los principales puntos de absorción en el punto 79.42, 1413.66, 1912.27 y 2206.14.

Figura 122.

Firma espectral muestra M12 - 00002, Montmorillonita - caolinita



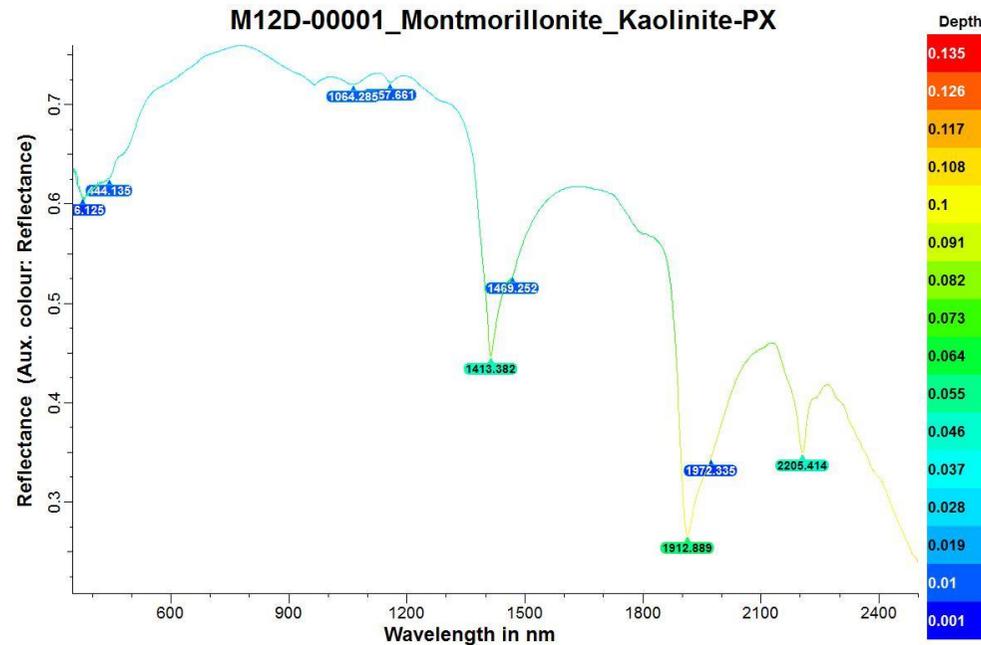
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M12D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la montmorillonita y caolinita en las longitudes de onda de: 6.125, 444.135, 1064.28, 1157.66, 1413.38, 1469.25, 1912.89, 1972.34 y 2205.41, observándose los principales puntos de absorción en el punto 6.125, 1413.38, 1912.89 y 2205.41.

Figura 123.

Firma espectral muestra M12D - 00001, Montmorillonita - caolinita



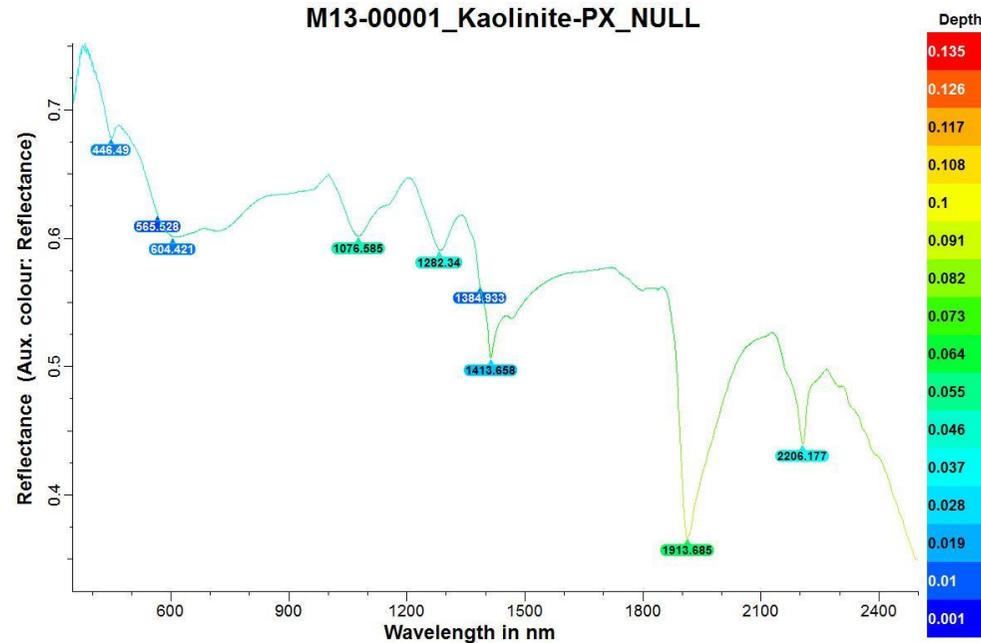
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M13-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la caolinita en las longitudes de onda de: 446.49, 565.63, 604.42, 1076.59, 1282.34, 1384.93, 1413.66, 1913.69 y 2206.18, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1076.59, 1282.34, 1413.66, 1913.69 y 2206.18.

Figura 124.

Firma espectral muestra M13 - 00001, caolinita



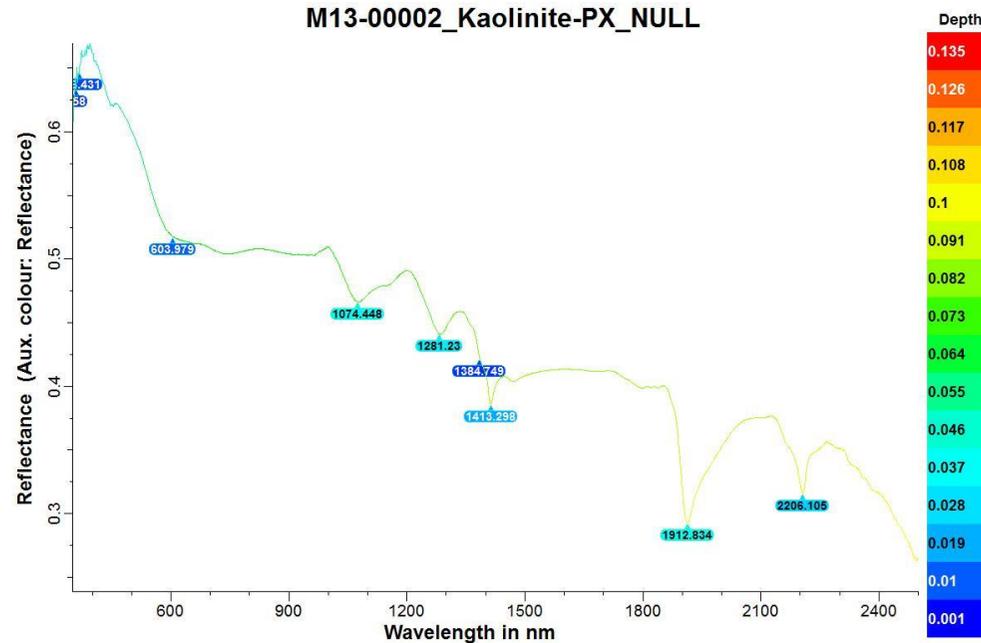
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M13-00002

La firma espectral analizada tiene concordancia con la caolinita en las longitudes de onda de: 0.431, 603.98, 1074.45, 1281.23, 1384.75, 1413.298, 1912.83 y 2206.11, observándose los principales puntos de absorción en el punto 1074.45, 1281.23, 1413.298, 1912.83 y 2206.11.

Figura 125.

Firma espectral muestra M13 - 00002, caolinita



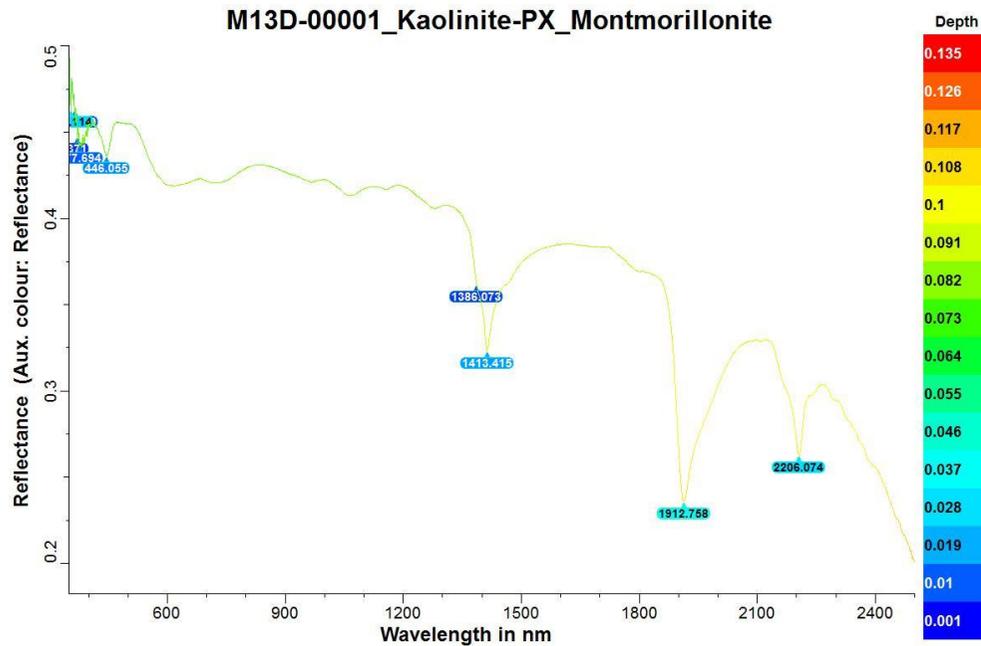
Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

M13D-00001

La firma espectral analizada tiene concordancia con la caolinita y montmorillonita en las longitudes de onda de: 7.69, 446.06, 1386.07, 1413.42, 1912.76 y 2206.07, observándose los principales puntos de absorción en el punto 446.06, 1413.42, 1912.76 y 2206.07,

Figura 126.

Firma espectral muestra M13D - 00001, Montmorillonita – caolinita



Fuente: Propia, trabajado a partir de datos de la zona de investigación

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

A partir de los resultados presentados, es necesario discutir la importancia de la espectroscopia en la identificación de zonas mineralizadas en el distrito de Sorochuco, Cajamarca 2020.

Para lo cual es necesario responder al problema planteado ¿Qué zonas mineralizadas son prospectables mediante el uso de espectroscopía en el distrito de Sorochuco, Cajamarca – 2020?

Verificándose en primer lugar que: mediante la técnica de espectroscopia satelital en imágenes Aster y la prospección espectroscopía usando TerraSpec fue posible determinar y puntualizar las zonas con presencia de mineralización, reduciendo de este modo el tiempo estimado de mapeo y obteniéndose un panorama regional de la zona en la cual se trabajará. Identificándose cinco zonas mineralizadas de las cuales se trabajó en dos por la accesibilidad y extensión, encontrándose en ambas zonas de mineralización, que según con Hedenquist (1996), están asociada a alteraciones de tipo hidrotermal en las zonas de la Carpa, Chin chin y Ocsha

Estructuralmente la orientación de esfuerzos compresivos NNE-SSO favorece la generación de permeabilidad vertical en los sistemas de fallas con dirección NNO-SSE debido a la creación de dominios compresionales y transtensionales

Debido a lo anterior, los sistemas hidrotermales suelen estar dominados por el transporte vertical de fluidos de origen profundo a través de grietas asociadas al sistema estructural de la zona de estudio, generando así zonas ricas en mineral.

La litología local descrita para el área, concordando con la litología descrita en la

literatura de Cruzado (2011); salvo pequeños rasgos litológicos que fueron corregidos en campo teniéndose formaciones como Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Chulec Pariatambo y San pablo, por otro lado, la unidad Dacítica es correlacionable singenéticamente con la formación Carhuaz concordando con Cruzado (2011).

Los análisis con espectroscopía de reflectancia (TerraSpec 4), tomados en muestras de campo (mapeo de alteraciones), permiten identificar una serie de minerales que se relacionan a alteraciones de tipo argílica avanzada, alteración argílica y alteración propilítica, concordando con Hedenquist (1996), que caracteriza alteraciones de tipo argílico y argílico avanzado a partir de la presencia de minerales como caolinita, pirofilita, dickita illita y esmectita.

De los minerales identificados se destacan los que siguen a continuación.

Se observa una fuerte presencia de arcillas como: caolinita sin una distribución definida, Nontronita (esmectita), Caolinita y Dickita que son las arcillas más abundantes en la zona de estudio y marca muy bien las zonas de fuertes alteraciones argílicas.

Se encuentra de manera menos abundante Alunita. Esta se puede identificar como de origen magmático (formada por fluidos principalmente magmáticos), que se caracterizan por presentarse en vetillas irregulares, cementando brechas y depósitos en huecos lixiviados como pseudomorfo de fenocristales o clastos líticos; de origen supérgeno dada por meteorización de sulfuros que se presentan de forma acicular rellenando espacios, se presenta asociada a Jarosita y Hematita.

También a partir de los espectros de las muestras de rocas se pueden definir de mejor forma minerales como Pirofilita, Clorita y Epidota, concordando con Páez

(2008) que identifica este tipo de minerales usando un espectrómetro PIMA.

Las áreas cubiertas de alteración argílica (Caolinita, Esmectita, Montmorillonita, Cuarzo) y argílica avanzada (Alunita, Dickita, Pirofilita) se pueden identificar como "lithocap like" por las asociaciones mineralógicas y su ubicación en el área y las áreas cubiertas por epidota, clorita y calcita se pueden definir como alteraciones de tipo propilítica.

A partir del análisis de espectros se diferencian 2 zona de alteración argílica una compuesta por diferentes tipos de arcillas (Caolinita, Esmectita, Dickita y Montmorillonita) y otra en que predomina la Esmectita, por sobre las demás arcillas. Esta zona se ubica en el centro este del área de estudio. Más al centro de la alteración anterior, ocurre un área de alteración argílica avanzada con predominancia de Pirofilita.

Este tipo de alteraciones que presenta la zona de estudio, según Morales (2016), y Hedenquist (1996), permite categorizar los flancos de estudio como zonas mineralizadas asociadas a yacimientos metálicos de Au, Ag y Cu

En la investigación se tuvo como limitantes: poca accesibilidad a las zonas de estudio en muchos puntos de mapeo, pues la mayoría eran propiedad privada o zonas de explotación minera informal, limitante que fue resulta y de gran ayuda con el uso de la teledetección.

También se tuvo como limitante la disponibilidad de equipos de espectroscopia que fueron resueltos gracias al apoyo de institución Minera La Zanja; Especialmente a los ingenieros Omar Cerna y José Trujillo.

Finalmente se recomienda para investigaciones espectroscópicas:

El uso de herramientas de teledetección como etapa previa a la prospección 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 siempre realizar mapeo de alteraciones que permita sectorizar, comprender y determinar la extensión de un yacimiento mineral, posterior a ellos realizar análisis geoquímicos estadísticos que permitan puntualizar las zonas mineralizadas en función de componentes elementales y de valor económicamente rentable.

Se recomienda para análisis espectroscópico recolectar siempre muestras representativas de buen tamaño que permita obtener varios puntos de disparo a la hora de utilizar el equipo TerraSpec

4.2. Conclusiones

Haciendo uso de espectrometría, en el distrito de Sorochuco se determinó zonas mineralizadas prospectables asociadas a alteraciones de tipo hidrotermal argílico y argílico avanzado, en los centros poblados de la Carpa, Chin chin y Ocsha, este tipo de alteraciones están fuertemente ligadas a la ocurrencia de yacimientos de tipo pórfido de Au, Ag y Cu.

Haciendo uso del sensoramiento multiespectral se determinaron 5 zonas de probable mineralización importantes en todo el distrito de Sorochuco, de las cuales se realizó el mapeo en campo de dos, ubicadas al sur de este; se detectó alunita, caolinita, illita, dickita, corindón y cuarzo; concluyéndose así que a pesar de realizar un mapeo puntual en campo siempre es necesario el apoyo de herramientas como el análisis multiespectral Aster, este permite entender regionalmente la distribución de la mineralización y realizar trabajos puntualizados a la hora del muestreo en campo; inclusive identificar minerales no llegados a localizar debido a la accesibilidad.

La información espectral que brinda el análisis TerraSpec es de gran importancia por el grado de confiabilidad mineralógica, hecho que permite caracterizar y determinar asociaciones que definan zonas mineralizadas a partir de la zonificación de alteraciones relacionadas a estas.

A partir del análisis multiespectral y TerraSpec se pudo definir minerales como alunita, caolinita. Illita esmectita montmorillonita epidota clorita dickita y pirofilita, minerales que por su asociación definen zonas de alteración argílica, argílica avanzada y propilítica asociada a yacimientos de tipo pórfido de Au, Ag y Cu

A partir del cartografiado geológico y el análisis cinemático de fallas de la zona de estudio se pudo comprender mejor la génesis de la mineralización, concluyéndose así que la orientación de esfuerzos compresivos NNE-SSO favorece la generación de permeabilidad vertical en los sistemas de fallas con dirección NNO-SSE debido a la creación de dominios compresionales y transtensionales emplazadas en rocas sedimentarias calcáreas, generando sistemas hidrotermales caracterizados por transporte vertical de fluidos a través de grietas asociadas al sistema estructural de la zona, generando así zonas ricas en mineral.

REFERENCIAS

- Cruzado, G. (2011). *Estudio de Geología*. Cajamarca, Perú.
- Davis, J. (2002). *Statistics and data analysis in Geology*. New York, United State of America: Wiley.
- Geyh, M. & Schleicher, H. (1990): *Absolute Age Determination*. Springer, Berlin.
- Gázquez, F. Rull, J.M. Calaforra, G. Venegas, J.A. Manrique, A. Sanz, J. Medina, A. Catalá-Espí, A. Sansano, R. Navarro, P. Forti, J. De Waele, J. Martínez, F. (2014) Caracterización mineralógica y geoquímica de minerales hidratados de ambientes subterráneos: implicaciones para la exploración planetaria. *IGEO*, 70(2).
- Hedenquist, J. (1996) *Depósitos de oro, estilos, características y exploración*. Sociedad de recursos geológicos de Japón. Tokyo
- Merito, I. (2015). *Puesta de un equipo de fluorescencia de rayos X portátil con fuentes radiactivas*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cantabria, España
- Mazadiego, L. (1994). *Desarrollo de una metodología para la prospección geoquímica en superficies de combustibles fósiles* (Tesis doctoral). Universidad politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Morales, D. (2016). *Análisis pima, caracterización geoquímica y petrominerográfica del prospecto vicuña-lucanas, Ayacucho* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del altiplano, Puno, Perú.
- Osorio, V. (2007). *Alteraciones y Mineralización en Prospecto Carla, Región de Antofagasta* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

- Páez, C. (2008). *Espectrometría de reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración en la zona de Viruela-La Cruz, proyecto La India: Distrito Minero Mulatos, Sahuaripa, Sonora México*. (Tesis de pregrado). Universidad de Sonora, Sonora, Mexico
- Sanchez, I. & Iuxan, P. (2000). La espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons, 3.0*.
- Siegel, F. (1992). *Geoquímica Aplicada*, Editado por los asuntos Científicos y Tecnológicos de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington.
- Vasquez. (2009). *Distribución de Tierras Raras y otros elementos traza en la franja Polimetálica 9°-10°S del Perú Central*.
- Willard, H. (1991). *Métodos instrumentales de análisis*. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamericana.

ANEXOS

ANEXO N°1.1 “Datos de registro Geomecanico – Registro N°1”

REGISTRO GEOMECANICO					PROYECTO: Tesis de Prospeccion Espectroscopica para Determinar Zonas Mineralizadas																
REGISTRO N°: 1					UBICACION: Cerca a la Hacienda El Puurre																
RESPONSABLES: Lesly Diaz, Karla Garro					TRAMO: DE:																
SISTEMA: WGS 84 ZONA 17S					HOJA N°: 1 A: 1																
EJECUTADO POR: Lesly Diaz, Karla Garro					FECHA: 20/09/2019																
DATA GFS.					MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES											
										TIPOS		RESIST. CO		DIRECCION		ESPACIADO (m)		PERISTENC (a)		ABERTURA (cm)	
ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGO / FORMAC	POTENCIA	GRANITE	FRAC	RQP	OS	E- Estan	OS	ORIENTACION	1- > 2	1- < 1	1- Nada	1- May Rug	TIPO	DIRREZA	1- Inabonda	1- an	1- Las. Red
													2- 2-6,8	2- 1-1	2- < 1,1	2- Rugos	1- Acilras	1- Fugura	2- Lig. AB	2- Inabonda	2- Las. Agria
													2- 0-6,2	2- 2-0	2- < 1,1-1,0	2- Lig. Rug	2- Oclras	2- Decro-Gran	2- Mod. AB	2- Inabonda	2- Las. Agria
													4- 1,2-4,06	4- 10-20	4- 1,0- 5,0	4- Ond. -Las	3- Oclras	3- Decro-Gran	4- May AB	4- Oclras	4- Gran
													2- < 0,06	2- > 20	2- < 1	2- Inabonda	4- Oclras	4- Inabonda	2- Decro-Gran	2- Decro-Gran	2- Pleg.
1	797910	9224520	3818	Cachaa	48 cm	3	1	300/30	2 E	R2	N274	N27W	4	1	4	3	5	3	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	47 cm	3	1	300/30	2 E	R2	N281	N29W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	46 cm	3	1	300/30	2 E	R2	N275	N29W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	45cm	3	1	300/30	2 E	R2	N278	N30W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	44cm	3	1	300/30	2 E	R2	N278	N33W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	43cm	3	1	300/30	2 E	R2	N282	N33W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	42cm	3	1	300/30	2 E	R2	N279	N32W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	39cm	3	1	300/30	2 E	R2	N285	N31W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	35cm	3	1	300/30	2 E	R2	N284	N28W	4	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	60cm	3	1	300/30	2 E	R2	N274	N24W	5	1	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	110 cm	3	1	300/30	2 E	R2	N283	N40W	5	2	5	3	5	3	3	3	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	116 cm	3	1	300/30	2 E	R2	N285	N39W	2	2	5	4	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	115cm	3	1	300/30	2 E	R2	N272	N21W	2	2	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	250cm	3	1	300/30	2 E	R2	N274	N32W	3	2	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	200cm	3	1	300/30	2 E	R2	N273	N35W	3	2	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	170cm	3	1	300/30	2 E	R2	N277	N25W	3	2	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	160cm	3	1	300/30	2 E	R2	N274	N24W	2	2	4	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	110cm	3	1	300/30	2 E	R2	N270	N30W	2	2	4	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	61 cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N218	S60W	3	1	4	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	59cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N215	S67W	3	1	4	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	70cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N190	S65W	3	1	5	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	40cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N210	S58W	3	1	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	45cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N215	S67W	3	1	5	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	67cm	3	1	300/30	2 D1	R2	N188	S55W	3	1	4	2	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	32cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N105	N67W	4	1	3	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	35cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N115	N68W	4	1	3	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	37cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N110	N63W	4	1	3	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	30cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N120	N59W	4	1	3	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	40cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N123	N55W	4	1	3	3	1	4	2	2	2
1	797910	9224520	3818	Cachaa	45cm	3	1	300/30	2 D2	R2	N119	N61W	4	1	3	3	1	4	2	2	2

ANEXO N°1.2 “Datos de registro Geomecanico – Registro N°2”

REGISTRO GEOMECANICO					PROYECTO: Tesis de Prospeccion Espectroscopica para Determinar Zonas Mineralizadas																
REGISTRO N°: 1					UBICACION: Cerca a la Hacienda El Puurre																
RESPONSABLES: Lesly Diaz, Karla Garro					TRAMO: DE:																
SISTEMA: WGS 84 ZONA 17S					HOJA N°: 1 A: 1																
EJECUTADO POR: Lesly Diaz, Karla Garro					FECHA: 27/09/2019																
DATA GFS.					MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES											
										TIPOS		RESIST. CO		DIRECCION		ESPACIADO (m)		PERISTENC (a)		ABERTURA (cm)	
ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGO / FORMAC	POTENCIA	GRANITE	FRAC	RQP	OS	E- Estan	OS	ORIENTACION	1- > 2	1- < 1	1- Nada	1- May Rug	TIPO	DIRREZA	1- Inabonda	1- an	1- Las. Red
													2- 2-6,8	2- 1-1	2- < 1,1	2- Rugos	1- Acilras	1- Fugura	2- Lig. AB	2- Inabonda	2- Las. Agria
													2- 0-6,2	2- 2-0	2- < 1,1-1,0	2- Lig. Rug	2- Oclras	2- Decro-Gran	2- Mod. AB	2- Inabonda	2- Las. Agria
													4- 1,2-4,06	4- 10-20	4- 1,0- 5,0	4- Ond. -Las	3- Oclras	3- Decro-Gran	4- May AB	4- Oclras	4- Gran
													2- < 0,06	2- > 20	2- < 1	2- Inabonda	4- Oclras	4- Inabonda	2- Decro-Gran	2- Decro-Gran	2- Pleg.
2	799565	9225532	3574	Chama	39cm	2	2	2/06	2 E	R3	N85	S59E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	42cm	2	2	2/06	2 E	R3	N88	S52E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	57cm	2	2	2/06	2 E	R3	N80	S51E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	62cm	2	2	2/06	2 E	R3	N80	S50E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	65cm	2	2	2/06	2 E	R3	N83	S53E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	60cm	2	2	2/06	2 E	R3	N80	S50E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	64cm	2	2	2/06	2 E	R3	N79	S43E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	88cm	2	2	2/06	2 E	R3	N84	S47E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	90cm	2	2	2/06	2 E	R3	N84	S46E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	39cm	2	2	2/06	2 E	R3	N88	S52E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	42cm	2	2	2/06	2 E	R3	N86	S59E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	53cm	2	2	2/06	2 E	R3	N87	S57E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	62cm	2	2	2/06	2 E	R3	N80	S54E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	65cm	2	2	2/06	2 E	R3	N82	S48E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	60cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N945	S49E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	84cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N240	N47E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	88cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N242	N51E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	90cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N239	N48E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	39cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N255	S53E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	42cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N255	S48E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	53cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N257	N50E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	62cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N255	N48E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	65cm	2	2	2/06	2 D1	R3	N251	N47E	4	1	5	3	1	4	2	2	1
2	799565	9225532	3574	Chama	60cm	2	2														

ANEXO N°1.3 “Datos de registro Geomecanico – Registro N°3”

REGISTRO GEOMECANICO										PROYECTO: Tesis de Prospeccion Epistotoscopica para Determinar Zonas Mineralizadas																			
REGISTRO N°: 1										UBICACION:																			
RESPONSABLES: Lesly Diaz, Karla Garro										TRAMO: DE:																			
SISTEMA: WGS 84 ZONA 17S										HOJA N°: 1 A: 1																			
										EJECUTADO POR: Lesly Diaz, Karla Garro																			
										FECHA: 27/09/2019																			
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES																													
DATA GPS		MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. CO/DIRECCION		ESPACIADO (m)			PERSISTENC IA (m)			ABERTURA (mm)			RUILOS		RELLENO		METROR		AGUA		CALIDAD DE LA INFORMACION		
ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGO / FORMAC	POTENCIA	METROR	SECCION DE FRAC:	RDP	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	
3	800804	9225916	3470	Saata	200cus	3	2	3012	2 E	R3	N148	S42W	3	2	5	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1

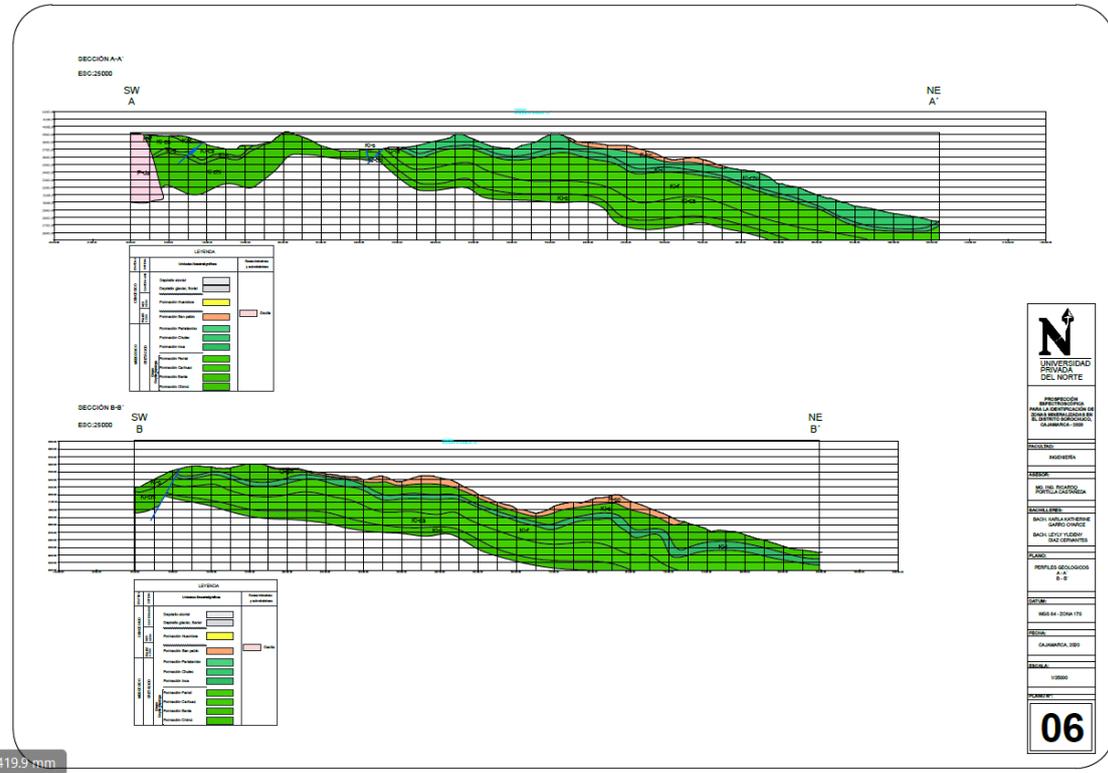
ANEXO N°1.4 “Datos de registro Geomecanico – Registro N°4”

REGISTRO GEOMECANICO										PROYECTO: Tesis de Prospeccion Epistotoscopica para Determinar Zonas Mineralizadas																		
REGISTRO N°: 1										UBICACION:																		
RESPONSABLES: Lesly Diaz, Karla Garro										TRAMO: DE:																		
SISTEMA: WGS 84 ZONA 17S										HOJA N°: 1 A: 1																		
										EJECUTADO POR: Lesly Diaz, Karla Garro																		
										FECHA: 10/10/2019																		
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES																												
DATA GPS		MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. CO/DIRECCION		ESPACIADO (m)			PERSISTENC IA (m)			ABERTURA (mm)			RUILOS		RELLENO		METROR		AGUA		CALIDAD DE LA INFORMACION	
ESTACION	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGO / FORMAC	POTENCIA	METROR	SECCION DE FRAC:	RDP	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR
4	800216	9225953	8456	Chimu	84cm	3	1	125/90	2 E	Estroto	R3	N275	N32E	4	1	5	3	1	4	2	1	4	2	2	1	4	2	2

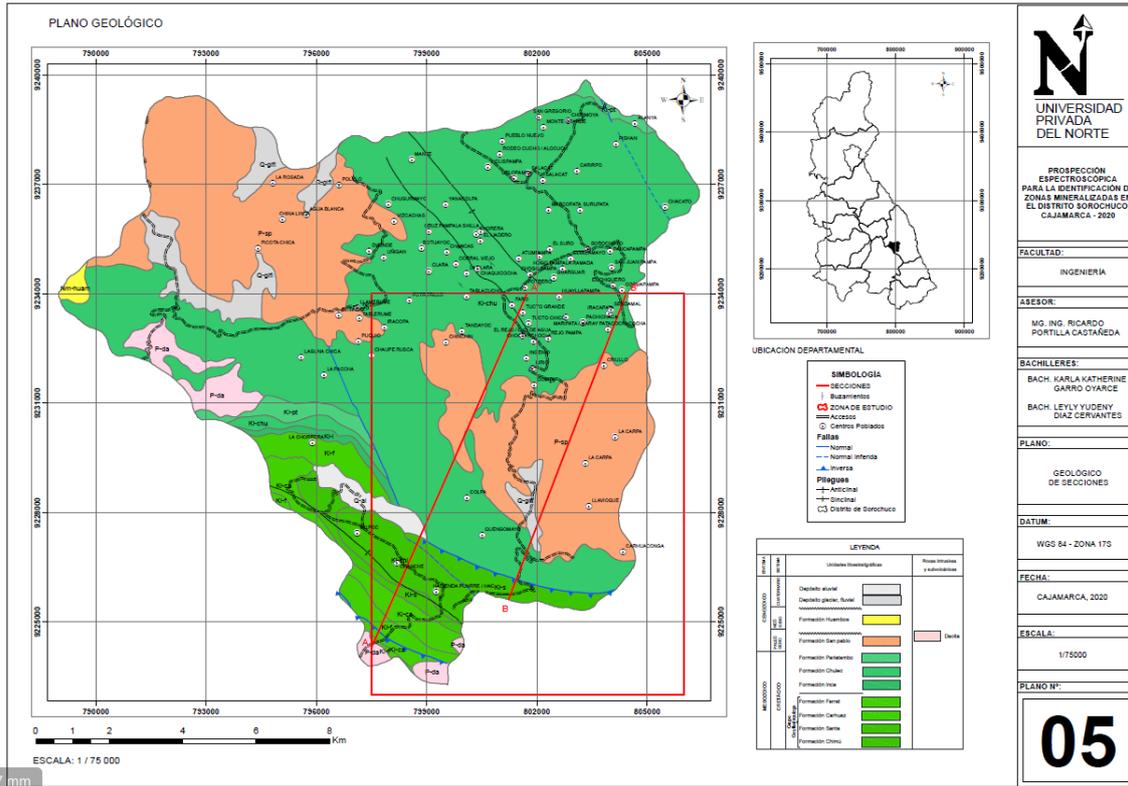
ANEXO N°2 “Datos obtenidos del análisis por TerraSpec en Minera La Zanja”

Sample	Sample Name	Min1 ±TSAS	W1 ±TSAS	Min2 ±TSAS	W2 ±TSAS	Error ±TSAS	Min1 ±TSAV	W1 ±TSAV	Min2 ±TSAV	W2 ±TSAV	Error ±TSAV	IND 1485	IND 2200	IND 2300	CRISTI	CRIST 2	REF218 1	REF216 4	CRIST_K AO	CRIST_M CA	
M1-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Palygorskite	0.755	Epidote	0.245	153.25	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2252.3	0.00723	3.611	0.893	0.909	0.983	0.002	
M1-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Palygorskite	0.656	Epidote	0.344	134.61	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2251.98	0.00632	10.585	0.962	1.002	0.98	0.000597	
M2-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	1	NULL	NULL	117.84	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2205.55	2251.17	0.0598	17.536	0.92	0.956	0.963	0.00318
M2-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Palygorskite	0.613	kaolinite-PX	0.387	124.8	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2206.81	2252	0.0778	16.277	0.9	0.932	0.956	0.00478
M2-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Chlorite-PeAg	0.739	kaolinite-PX	0.271	138.45	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2206.05	2251.87	0.11	16.789	0.967	1.013	0.955	0.00464
M2-0004.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Paragonite	0.742	kaolinite-PX	0.258	46.788	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2196.27	NULL	0.271	17.1	0.673	0.778	0.865	0.0159
M2-0005.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-WX	0.657	Paragonite	0.343	82.106	Hematite	1	NULL	NULL	384.35	NULL	NULL	2206.18	2252.65	0.201	22.116	0.755	0.811	0.93	0.00911
M2-0006.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Paragonite	1	NULL	NULL	78.043	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0.195	6.435	0.952	0.999	0.961	0.0503	
M2-0007.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	126.07	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	NULL	0.0775	6.248	1.196	1.203	0.994	0.0124	
M2-0008.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	58.452	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	NULL	2239.13	0.0626	2	0.999	1.012	0.987	0.0313
M3-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Paragonite	0.534	Paragonite	0.466	58.529	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2196.75	NULL	0.222	14.123	0.841	0.724	0.885	0.0157
M3-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	0.538	Montmorillonite	0.42	46.824	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	2196.46	NULL	0.3	13.846	0.539	0.646	0.835	0.0217
M3-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	0.633	Montmorillonite	0.367	55.632	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0.236	3.09	0.559	0.66	0.848	0.0765	
M4-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	64.147	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	NULL	2245.73	0.0161	12.047	1.125	1.151	0.978	0.00134
M4-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Nontronite	1	NULL	NULL	60.831	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2204.1	2238.49	0.0214	15.211	1.071	1.098	0.975	0.00141
M4-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	63.355	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2207.86	2243.26	0.0376	15.705	1.154	1.196	0.965	0.0024
M4-0004.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	137.89	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2202.15	2245.45	0.0122	14.903	1.129	1.152	0.98	0.000841
M4-0005.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	40.626	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2243.96	0.00324	5.186	1.026	1.04	0.968	0.000624	
M5-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	0.713	Dickite	0.287	92.611	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2207.64	2253.08	0.11	10.279	0.598	0.52	1.15	0.0107
M5-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Dickite	1	NULL	NULL	89.201	Jarosite	1	NULL	NULL	245.34	NULL	NULL	2207.53	2257.83	0.418	11.091	0.388	0.431	0.901	0.0377
M5-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	1	NULL	NULL	137.89	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.56	2253.91	NULL	NULL	0.628	0.525	1.198	NULL
M5-0004.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	0.59	Dickite	0.41	84.006	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2207.45	2257.76	0.136	11.177	0.661	0.595	1.111	0.0122
M5-0005.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	0.599	kaolinite-WX	0.401	35.673	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.44	NULL	0.202	13.691	0.632	0.661	0.956	0.0147
M6-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	0.637	kaolinite-WX	0.363	35.608	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.27	NULL	0.218	14.132	0.58	0.613	0.946	0.0155
M6-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	1	NULL	NULL	58.125	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2207.79	NULL	0.11	15.588	0.893	0.935	0.954	0.00766
M6-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	0.606	kaolinite-WX	0.384	29.768	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.45	NULL	0.197	13.484	0.653	0.682	0.956	0.0146
M7-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	1	NULL	NULL	96.897	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.12	NULL	0.175	18.908	0.754	0.845	0.892	0.0146
M7-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-PX	0.59	Paragonite	0.41	41.395	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.84	NULL	0.152	16.985	0.845	0.886	0.954	0.00893
M7-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	0.749	kaolinite-PX	0.251	53.025	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.1	NULL	0.321	19.844	0.629	0.715	0.882	0.0162
M8-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	61.905	Goethite	0.627	Lazurite	0.373	205.98	NULL	NULL	2253.92	0.00222	7.159	1.205	1.212	0.984	0.00031	
M8-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	94.441	Bornite	0.575	Goethite	0.425	102.1	NULL	NULL	2251.51	0.0152	10.444	1.02	1.034	0.986	0.00145	
M8-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	122.84	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2246.93	NULL	NULL	1.14	1.154	0.988	NULL	
M8-0004.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	41.36	Goethite	1	NULL	NULL	182.81	NULL	NULL	2241.65	NULL	NULL	1.218	1.233	0.958	NULL	
M9-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Paragonite	1	NULL	NULL	69.154	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.45	NULL	NULL	NULL	0.629	0.702	0.886	NULL
M9-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Paragonite	1	NULL	NULL	56.297	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.45	NULL	NULL	NULL	0.555	0.594	0.934	NULL
M9-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Aspectral	1	NULL	NULL	80.502	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.45	NULL	NULL	NULL	0.569	0.602	0.945	NULL
M10-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	0.758	Nontronite	0.242	35.35	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2209.58	NULL	NULL	NULL	0.563	0.449	1.256	NULL
M10-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	0.845	Pyrophyllite	0.155	62.124	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.75	NULL	NULL	NULL	0.435	0.512	0.851	NULL
M10-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Muscovite	0.748	Nontronite	0.252	55.827	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.45	NULL	NULL	NULL	0.481	0.562	0.856	NULL
M11-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	0.505	Dickite	0.495	81.59	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2208.49	2226.46	0.154	10.577	0.555	0.504	1.1	0.0146
M11-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Pyrophyllite	1	NULL	NULL	111.06	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.18	NULL	0.138	15.307	0.356	0.376	0.977	0.00901
M11-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	0.558	kaolinite-PX	0.442	39.569	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2205.77	NULL	0.224	15.83	0.611	0.642	0.951	0.0141
M12-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-PX	0.52	Montmorillonite	0.48	26.827	Goethite	1	NULL	NULL	274.24	NULL	NULL	2206.14	NULL	0.245	15.533	0.618	0.646	0.957	0.0158
M12-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	Montmorillonite	0.588	kaolinite-PX	0.412	43.204	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2205.41	NULL	0.202	16.064	0.702	0.735	0.955	0.0126
M13-0001.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-PX	1	NULL	NULL	127.47	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.07	NULL	0.167	15.574	0.797	0.822	0.977	0.0167
M13-0002.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-PX	1	NULL	NULL	123.25	NULL	NULL	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.11	NULL	0.135	15.46	0.789	0.807	0.977	0.00672
M13-0003.asd.sco	F5FR.23037.in-10.0.sec	kaolinite-PX	0.547	Montmorillonite	0.453	63.339	Aspectral	1	NULL	NULL	500	NULL	NULL	2206.07	NULL	0.167	15.574	0.797	0.822	0.977	0.0167

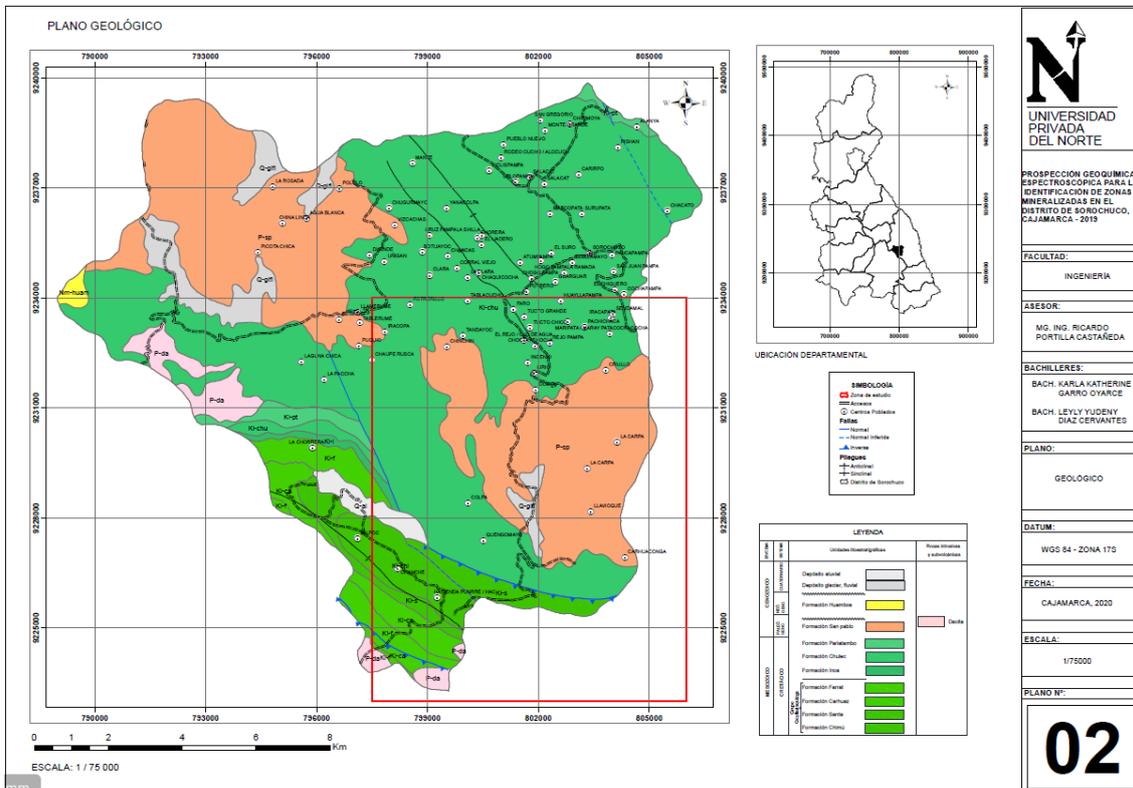
ANEXO N°3 “Cortes Geologicos”



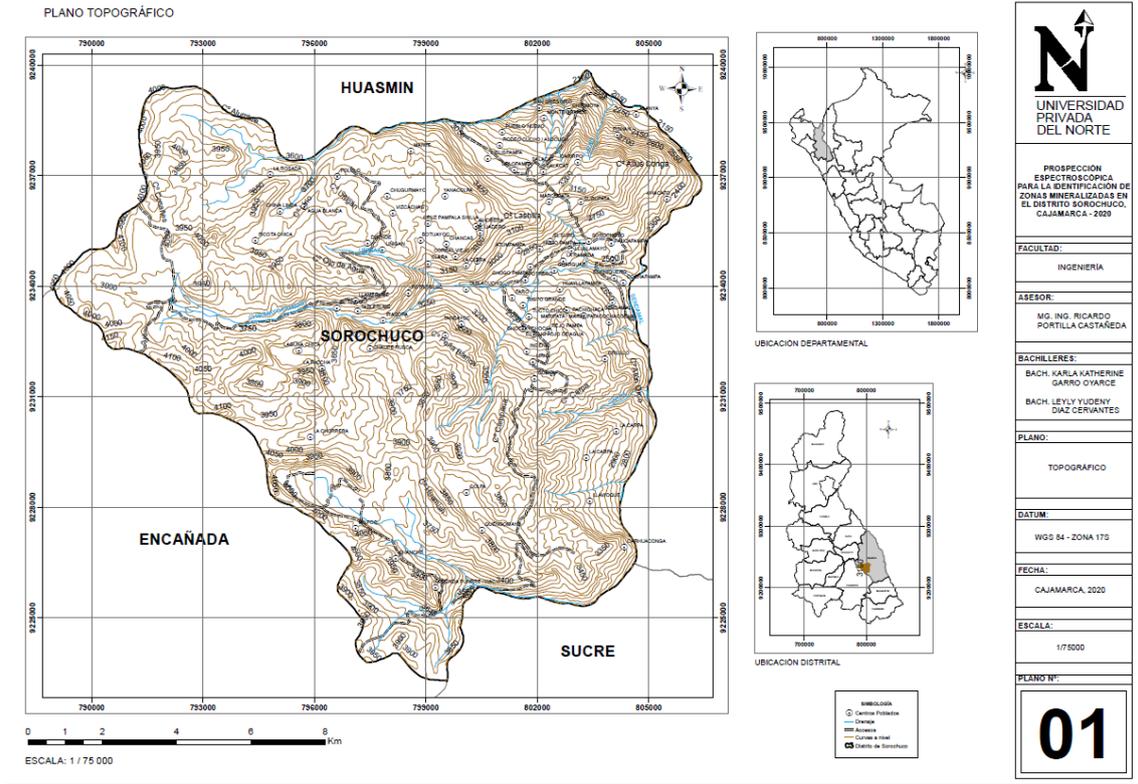
ANEXO N° 4 “Mapa de secciones”



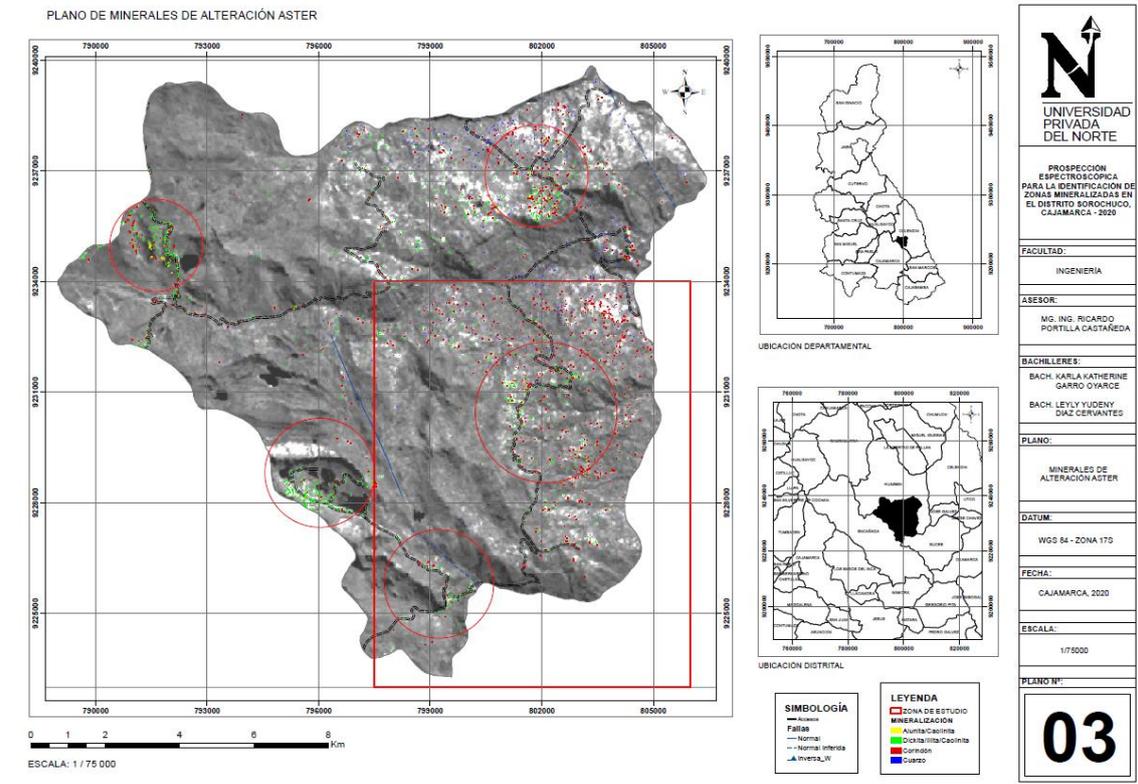
ANEXO N°5 “Mapa Geologico”



ANEXO N°6 “Mapa Topografico”



ANEXO N°7 “Plano de Mineralización mediante imágenes satelitales”



ANEXO N°7 “Mapa de Alteración Superficial”

