

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Nuestra región muestra una importante acumulación de depósitos arcillosos ubicados en el período del Cretácico Inferior. Debido a esto la localización de la investigación se centra en el distrito de Llacanora que presenta una considerable acumulación de depósitos de arcillas, los cuales hasta el momento no han sido objeto de estudio en cuanto a su calidad y concentración.

El planteamiento del problema central radica en que los depósitos de arcilla en el área de investigación no cuentan con ningún estudio relacionado al análisis de laboratorio y al estudio de su génesis que puedan determinar un cálculo de tonelaje y la calidad de la arcilla para ser utilizada industrialmente en un futuro; es por esto que en la presente investigación se realizó la estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del Distrito de Llacanora.

La formulación principal del problema: ¿Cuáles son las reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora?

La justificación radica en que al determinar las reservas probables de depósitos de arcillas, sus zonas de mayor incidencia, su composición mineralógica, su génesis que servirán para futuros estudios de investigación y su concentración mediante el cálculo de su tonelaje nos permitirán caracterizar esta zona para una posible explotación aprovechando sus recursos y beneficiando económicamente tanto a Llacanora como a la región.

El objetivo general es estimar las reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora. La investigación tiene objetivos específicos como: Identificar las zonas con presencia de depósitos de arcillas. Describir las

características geológicas de la zona de estudio. Determinar la génesis de los depósitos de arcillas. Determinar la composición mineralógica de las arcillas. Calcular el tonelaje total de los depósitos de arcillas.

La hipótesis general planteada para esta investigación: Los depósitos de arcillas presentes en el distrito de Llacanora constituyen las reservas probables más importantes para un aprovechamiento industrial a futuro por encontrarse en gran cantidad y sobre todo por ser de buena calidad. Como hipótesis específica referimos que estos depósitos se han originado por meteorización a lo largo del Cretácico Inferior hacia el Paleógeno, Neógeno y período Cuaternario.

El capítulo II, está referido al Marco Teórico donde se observan los antecedentes y trabajos previos relacionados con el tema de investigación. Así mismo las bases teóricas que abordan temas de aspectos generales, proceso de formación de las arcillas, clasificación de las arcillas según su origen y según su clasificación industrial, composición mineralógica de las arcillas, teledetección como método de identificación de depósitos de arcillas, difractorómetro de rayos x en la determinación de la composición mineralógica de arcillas y definición de términos básicos.

El capítulo III, está referido a los Materiales y Métodos donde se observa la ubicación, delimitación, accesibilidad, clima y vegetación de la zona de estudio, así mismo el procedimiento a seguir en la investigación, equipos y materiales, los aspectos geológicos y el tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.

El capítulo IV, está referido al Análisis y Discusión de Resultados donde se observa el análisis de la teledetección para la identificación de depósitos de arcillas, análisis de difracción de rayos x, así mismo se muestran los resultados de la composición mineralógico de las muestras de arcillas, la formación de las arcillas en los depósitos encontrados, la clasificación de los depósitos de arcillas, el cálculo de reservas probables y la contrastación de la hipótesis.

El capítulo V, detalla las conclusiones obtenidas en base a los objetivos planteados, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Strakhov (1967). Diagrama que muestra los distintos mantos de alteración para áreas no tectónicas o tectónicamente inactivas de norte a sur en la zona ecuatorial.

Bosse (1989). Publica un informe técnico, titulado “Reconocimiento y Evaluación Preliminar de Minerales Industriales, Rocas y Tierras en los Departamentos de la Libertad y Cajamarca” quien reconoce depósitos de arcillas caoliníticas en Sulluscocha Baja y menciona que se trata de arcillas mezcladas en las que predomina el mineral caolinítico frente a otros minerales.

Boulangger y Zedano (1993). Publican un informe técnico a cargo del INGEMMET, titulado “Evaluación de Arcillas Caoliníticas en el Norte del Perú”, quienes concluyen que la mayoría de depósitos arcillosos del departamento de Cajamarca pueden ser utilizadas para la industria de sanitarios, vajilla hotelera y vajilla de loza ya que poseen una característica denominada comúnmente, “arcillas cerámicas”.

Díaz y Zedano (2006). Publican un informe a cargo del INGEMMET, titulado “Caracterización de las Arcillas en el Perú: Mercados y perspectivas”, quienes concluyen que los materiales arcillosos tienen distintos usos y aplicaciones, además indican que la mayor parte de yacimientos de arcilla en el Perú se originaron durante el Mesozoico y Cenozoico.

Díaz y Ramírez (2009). Publican un informe a cargo del INGEMMET, titulado “Compendio de Rocas y Minerales Industriales del Perú”, lo cual trata de enfocar que los yacimientos no metálicos tienen un valor significativo en la economía del

país y son un soporte para su desarrollo. También proporcionan información de los depósitos de caolín en el departamento de Cajamarca.

Aliaga (2011). Realiza un informe técnico para determinar un sub modelo de valor productivo de los recursos no metálicos para el departamento de Cajamarca en el cual indica que en dicho departamento se explota carbón, arcillas, caolín, feldespatos, para la industria de cerámica y pinturas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Definición de arcilla:

Díaz y Torrecillas (2002), sostienen que las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años debido a que los agentes de meteorización físico-químicos actuaron sobre la roca madre original es por eso que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la Tierra.

Díaz y Zedano (2006), manifiestan que el término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (petrología, mineralogía, tamaño de partícula, propiedades físicas e industriales).

Petroológico: La arcilla es una roca pelítica blanda, que se hace plástica al contacto con el agua (impermeable), siendo frágil en seco, y con gran capacidad de absorción. (Díaz y Zedano, 2006).

Mineralógico: Díaz y Zedano (2006), sostienen que las arcillas son silicatos aluminicos hidratados (minerales secundarios) que se presentan en cristales muy pequeños.

Casanova (1996), manifiesta que los minerales de arcilla poseen dos componentes estructurales básicos: uno es el tetraedro de Silicio – Oxígeno y el otro es el octaedro, en el cual un átomo de aluminio, magnesio y/o hierro es rodeado por seis aniones (2 ó 4 oxígenos y 4 ó 2 hidróxidos).

Granulométrico: Díaz y Zedano (2006), manifiestan que las arcillas son los fragmentos naturales más finos (< 2 micras ó 1/256 mm).

Cuadro N° 01: Clasificación granulométrica geológica.

Partículas	Tamaño
Arcillas	< 0.002 mm
Limos	0.002 – 0.06 mm
Arenas	0.06 – 2 mm
Gravas	2 – 60 mm
Cantos rodados	60 – 250 mm
Bloques	> 250 mm

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Económico: Casanova (1996), sostiene que las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas además presentan distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Díaz y Zedano (2006), manifiestan que la arcilla puede estar formada por un único mineral de arcilla, pero por lo general hay varios minerales mezclados como los feldespatos, cuarzo, carbonatos y micas.

2.2.2. Proceso de formación de las arcillas:

Strakhov (1967), manifiesta que las arcillas pueden originarse por neoformación o por transformación de otros minerales ya existentes. Ambos mecanismos están condicionados por la influencia del clima, la existencia de actividad geotérmica y los procesos de diagénesis.

La formación de arcillas por efecto del clima en las rocas y los suelos es el principal proceso de formación de arcillas en la superficie terrestre, e incluye la disgregación física de la roca madre y la descomposición química de sus minerales. Está determinada por la naturaleza de la roca madre, los parámetros climáticos (principalmente temperatura y pluviosidad), la topografía, la vegetación, la existencia de actividad biológica y el periodo de tiempo durante el cual estos factores operen.

La génesis de las arcillas es un proceso clave en la formación de suelos, por ser minerales característicos del mismo. Está íntimamente ligada a reacciones de hidrólisis de rocas que contengan en su composición silicio y aluminio. Estas reacciones pueden desarrollarse en el medio hidrotermal (durante la formación de un depósito mineral), o como procesos exógenos (bajo condiciones atmosféricas), una vez que las rocas por erosión se encuentran en la superficie o su proximidad. El CO_2 disuelto en el agua de lluvia o de los ríos forma ácido carbónico, que reacciona con los feldespatos, induciendo la formación de minerales del grupo de la arcilla.

Como se ha mencionado anteriormente, el clima, a través de los parámetros de humedad y temperatura, controla fuertemente el proceso formador de arcillas a partir de los silicatos. Así, en condiciones de humedad y calor la hidrólisis dará lugar a arcillas caoliníticas, e incluso a un residuo final de gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Por el contrario, en climas áridos la arcilla predominante resulta ser del tipo illita – esmectita. Debido a la influencia del clima y de la composición de la roca madre, los procesos formadores de arcillas son extraordinariamente complejos.

En la Figura N° 01, se muestra los distintos mantos de alteración para áreas no tectónicas o tectónicamente inactivas, de norte a sur en la zona ecuatorial. La precipitación abundante facilita lixiviación (lavado del bedrock o roca madre). En estas condiciones la meteorización química actúa por pérdida de constituyentes solubles y el residuo se enriquece en minerales ricos en alúmina (caolinita, illita). Los residuos ricos en óxidos férricos (hematita, goethita) dependerán de la destrucción de materia orgánica.

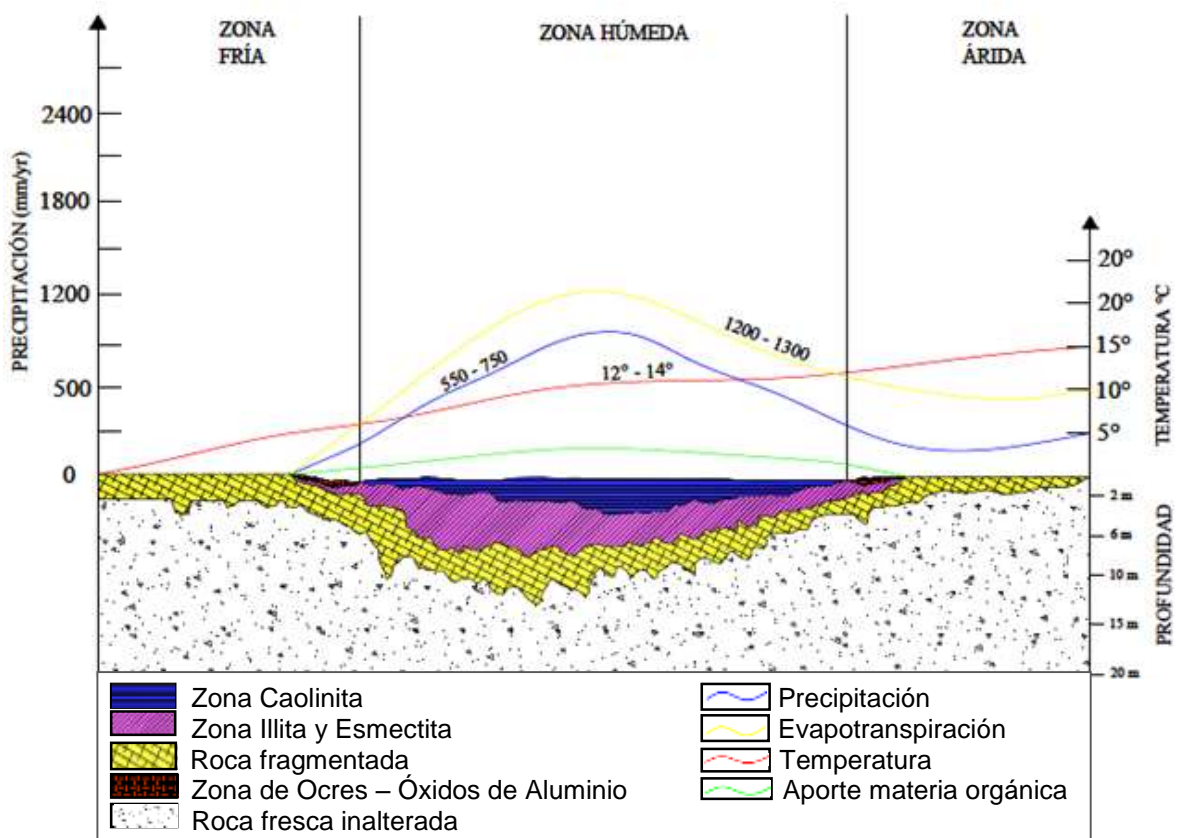


Figura N° 01: Tipos y espesores característicos de suelos formados en las distintas zonas climáticas. (Strakhov, 1967)

Strakhov (1967), sostiene que otra vía posible de formación de arcillas es el transporte y posterior sedimentación de las partículas originadas tras la erosión de la roca madre por alguno de los mecanismos anteriormente mencionados. Cuando un medio que transporta partículas pierde energía, estas tienden a depositarse, lo que se conoce como sedimentación detrítica. Los minerales de la arcilla, por su pequeño tamaño, son transportados en forma de suspensión coloidal, lo que hace que puedan seguir siendo trasladadas incluso mediante aguas no agitadas.

Zea (2005), sostiene que las arcillas pueden producirse por diferentes procedimientos:

- Hidrólisis e hidratación de un silicato – silicato alcalino + agua = silicato aluminico hidratado + hidróxido alcalino.
- Disolución de una caliza u otra roca que contenga impurezas arcillosas relativamente insolubles que quedan como residuo.

- Acción de los agentes atmosféricos sobre las lutitas – rocas sedimentarias ricas en arcillas.
- Sustitución de una roca por arcilla invasora y arrastre de los componentes de aquella en parte o en su totalidad por agua.
- Depósito de arcilla arrastrada por agua en cavidades o venas.

La acción de los agentes atmosféricos y otros procesos afines pueden operar en todos los casos indicados y evidentemente han predominado en la formación de arcillas durante la época geológica.

Alda (2014), sostiene que el proceso general de la meteorización se describe por la expresión que se conoce como "ecuación general de la meteorización": los minerales primarios de las rocas que constituyen la roca madre (cuarzo, feldespatos, micas, anfíboles, piroxenos, olivino...) son modificados por los agentes de meteorización (agua, oxígeno, dióxido de carbono, protones...) dando lugar a un material denominado manto de alteración y que está formado por residuos insolubles como cuarzo o moscovita, minerales secundarios, formados como consecuencia de la meteorización (arcillas, óxidos, carbonatos) e iones disueltos.



Figura N° 02: Ecuación general de la meteorización. (Alda, 2014)

Cuando las rocas de una zona se alteran pero no son transportadas fuera del área en la que se encuentran sus restos se acumulan en la superficie formando un manto de alteración. Se trata de una capa de espesor variable, que llega a alcanzar más

de 100 metros en las zonas ecuatoriales, aunque su profundidad media es de entre uno y dos metros.

2.2.3. Clasificación de las arcillas:

Zea (2005), manifiesta que las arcillas, como su definición, varían según el campo de aplicación o estudio. Se presenta la siguiente clasificación:

2.2.3.1. Según su origen:

Las distintas arcillas se formaron, primero a partir de la descomposición de las formaciones rocosas por la acción de distintos factores como presión tectónica, movimientos sísmicos y distintos tipos de erosión, y segundo por la adquisición durante el viaje hasta su lugar de sedimentación de diferentes impurezas de origen mineral; por lo tanto, dependiendo de las características de la roca de origen, existen innumerables tipos de arcillas, cada una de las cuales poseen unas propiedades particulares.

Zea (2005), clasifica a las arcillas según su origen de la siguiente manera:

Cuadro N° 02: Clasificación de arcillas según su origen.

Arcillas	Arcillas residuales o primarias	Formados muy próximos a la roca madre de la que proceden, es decir no han sufrido transporte alguno.	Productos de meteorización ordinaria	De rocas cristalinas	Arcilla residual Caolín primario
				De rocas sedimentarias	Arcilla residual Arcilla caolinítica
			Productos de meteorización ordinaria más acción química	De rocas cristalinas	Bauxita
				Rocas sedimentarias	Bauxita Diásporo
	Arcillas de sedimentación o secundarias	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en mares, lagos, pantanos, etc.		Productos de meteorización ordinaria	Lutita argilacea Limo argilaceo
				Productos de meteorización ordinaria más intensa acción química adicional	Caolín sedimentario Arcillas sedimentarias Arcilla bola Algunas bauxitas Arcillas bituminosas
		Depositado por aguas de suave movimiento, arroyos, estuarios, etc.		Productos de trituración algo meteorizados	Lutita silícea Limo silíceo
		Depositado por acción glacial		Productos de abrasión más ligera meteorizados	Arcilla glacial o till
		Depositado por vientos		Productos de abrasión más ligera meteorizados	Loess

Fuente: (Zea, 2005)

2.2.3.2. Según su clasificación industrial:

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90% de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10% se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, agricultura, productos químicos y farmacéuticos). (Díaz y Torrecillas, 2002), clasifican a las arcillas industriales de la siguiente manera:

Arcillas comunes: Díaz y Zedano (2006), mencionan que a las arcillas comunes también se les conocen como arcilla cerámica, arcilla para ladrillos ó arcilla para construcción; las cuales consisten en unas mixturas de diferentes minerales arcillosos generalmente illita, esmectita y otros minerales.

Díaz y Torrecillas (2002), manifiestan que la presencia de desgrasantes, como el cuarzo, los carbonatos, etc., y sus diferentes tamaños de grano hace que sus propiedades cerámicas sean muy variadas, tendiendo hacia plasticidades bajas y puntos de vitrificación inferiores a los 1100°C. Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos huecos o caravista, tejas, y azulejos para pavimentos y revestimientos. También se emplean en el sector de la alfarería, en las industrias del cemento y como agregados ligeros. El color del producto acabado lleva una componente roja característica, originada por los altos contenidos en óxidos de hierro que suelen estar por encima del 2 – 2,5 %.

Cuadro N° 03: Composición mineralógica de las arcillas comunes.

Minerales	Para tejas	Para ladrillos
Caolinita	5 – 20 %	0 – 15 %
Sericita + Illita	10 – 25 %	10 – 20 %
Esmectita	0 – 5 %	0 – 5 %
Clorita	0 – 10 %	0 – 5 %
Cuarzo	30 – 50 %	30 – 55 %
Feldespato	0 -10 %	0 – 13 %
Calcita	0 – 5 %	0 – 10 %
Dolomita + Ankerita	0 – 3 %	< 1%
Goethita	< 1%	
Hematita	0 – 3 %	
Siderita, Pirita, Yeso, Hornblenda	< 1%	
Resto, amorfo bajo rayos X	1 – 8 %	1 – 10 %

Fuente: (Díaz y Zedano, 2006)

Clasificación de las arcillas comunes: Dentro de las arcillas comunes tenemos:

- **Illita:** La illita es un filosilicato o silicato laminar, no expansiva y micácea. Estructuralmente la illita es bastante similar a la moscovita o a la sericita con algo más de silicio, magnesio, hierro, y agua; y ligeramente menos aluminio tetraédrico y potasio interlaminar. Esta arcilla es utilizada en la exploración de yacimientos minerales como son los pórfidos cupríferos, en la datación de fallas, en la evaluación del potencial de los reservorios de petróleo en areniscas, en la prospección de campos geotérmicos y en algunos estudios sobre fertilidad de suelos.

Génesis de la illita: Díaz y Ramírez (2009), manifiestan que la illita se origina por la meteorización de esquistos micáceos (moscovíticos), gneis, rocas cuarzo sericíticas y en ciertos casos como resultado de la transformación de feldespatos en caolinitas. Es común en sedimentos, suelos, rocas arcillosas sedimentarias, y en rocas metamórficas.

Arcillas especiales: Díaz y Torrecillas (2002), definen a las arcillas especiales como un conjunto de arcillas comerciales con una mineralogía concreta y unas propiedades físicas determinadas. Sus propiedades físicas compiten mutuamente, destacando, entre otras, sus propiedades reológicas, su alta superficie específica y su alto poder de adsorción.

Clasificación de las arcillas especiales: Dentro de las arcillas especiales tenemos:

- **Esmectitas:** Díaz y Zedano (2006), sostienen que las arcillas expansivas ó esmectitas también se les conoce con el término comercial de “bentonita” este último término fue aplicado por primera vez por Knight. Se define las esmectitas como un mineral arcilloso de grano muy fino cristalino, derivado generalmente por desvitrificación y alteración química de ceniza volcánica o tobas volcánicas.

Génesis de las esmectitas: Díaz y Zedano (2006) manifiestan que las esmectitas se forman como:

- Productos residuales de la meteorización, predominantemente sobre rocas magmáticas básicas en ambientes alcalinos y en presencia de magnesio.
- Por alteración hidrotermal.
- Por la deposición de material transportado de grano fino, en ambientes marinos y no marinos.

Cuadro N° 04: Composición mineralógica de las esmectitas.

Minerales	Concentración General
Montmorillonita	> 85%
Beidellita	< 35%
Illita y Caolinita	20 – 5%
Cristobalita	< 10%
Cuarzo, pirita, feldespato, carbonato, piroxeno, micas, attapulgita, sepiolita y zeolita.	< 25%

Fuente: (Díaz y Zedano, 2006)

- **Hormitas:** Díaz y Zedano (2006), definen a las Hormitas como minerales arcillosos aciculares que presentan una red estereocristalina con espacios vacíos canaliformes, son muy semejantes a las esmectitas. Las hormitas presentan minerales arcillosos como la palygorskita (attapulgita) y la sepiolita (espuma de mar); se utilizan como sorbentes y blanqueadores.

Génesis de las Hormitas: Díaz y Zedano (2006) manifiestan que las Hormitas y sus minerales arcillosos se forman como:

- Las hormitas se forman en ambientes parecidos a los de las esmectitas.
- La palygorskita se forma in situ por la evaporación del agua marina en zonas mareales, si a la sepiolita se le introduce aluminio por alteración de las rocas volcánicas cuando estas se intemperizan.
- La sepiolita se forma por deposición de agua y por alteración de rocas ricas en magnesio (ejm. dunita, serpentinita, magnesita). Por proceso hidrotermales. Se encuentra en la naturaleza en forma de nódulos, como vetas, de modo diseminado en las rocas que procede.

Caolines: Díaz y Zedano (2006), sostienen que los caolines son las arcillas cerámicas por excelencia tanto por su variedad como por sus amplias aplicaciones industriales (Fabricación de papel, cerámica, refractarios, en pinturas, aislantes, caucho y pesticidas). Según su tipo estructural mineralógico, tienen dos capas (filosilicatos dioctaédricos), siendo el mineral principal la caolinita y sus formas polimórficas dickita y nacrita asociado a estos minerales se pueden presentar cuarzo, mica, esmectitas, illitas, feldespatos y sustancias orgánicas. Una de las definiciones más ampliamente aceptadas sobre la palabra caolín es la propuesta por Ross y Kerr: “Se entiende por caolín a toda roca masiva compuesta esencialmente por materiales arcillosos con bajo contenido en hierro y generalmente de color blanco o casi blanco. Los minerales arcillosos del caolín son silicatos hidratados de aluminio de composición $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Siendo la caolinita el mineral principal que caracteriza a la mayor parte de los caolines pero tanto la caolinita como otros minerales del grupo pueden presentarse en mayor o en menor grado dentro de los caolines”.

Características físicas de la caolinita:

- ✓ Es blanda y no abrasiva.
- ✓ Es de color blanco o casi blanco.
- ✓ Es químicamente inerte.
- ✓ Tiene poder cubridor bueno.
- ✓ Tiene menor tamaño de grano.
- ✓ Es plástica y refractaria.
- ✓ Tiene menor capacidad absorbente.
- ✓ Se deja activar por tratamientos con ácidos.

Cuadro N° 05: Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas.

Minerales	Arcillas caoliníticas	Arcillas caoliníticas silíceas
Caolinita	35 – 85 %	> 20 – 35 %
Cuarzo	8 – 35 %	35 – 60 %
Mica / Illita	10 – 30 %	< 20 %
Sustancia orgánica	0 – 16 %	0 – 16 %

Fuente: (Díaz y Zedano, 2006)

Cuadro N° 06: Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas para diversas aplicaciones industriales.

Minerales	Para cerámica	Para relleno	Para impermeabilización básica y superficial de vertederos
Caolinita	74 – 97%	85 – 97%	60 – 65%
Mica/Ililita	2 – 20%	3 – 9%	12 – 15%
Cuarzo	1 – 6%	Trazas – 5%	4 – 5%
Esmectita	-	-	1 – 10%
Otros	Trazas – 1%	Trazas – 1,5%	-

Fuente: (Díaz y Zedano, 2006)

Bartolomé (1997), manifiesta que la composición mineralógica de la arcilla caolinítica consiste en caolinita/haloisita, cuarzo, feldespatos y micas. Además, en función de la roca de procedencia, se presenta una corte de minerales accesorios. Los más frecuentes de estos son: óxidos de hierro y titanio, gibsita, alófana, esmectitas, cloritas, carbonatos y piritita. Tampoco es rara la presencia de materia orgánica.

Génesis de los yacimientos caoliníticos: Díaz y Ramírez (2009), sostienen que el origen de los minerales del caolín en la naturaleza está controlado por una litología favorable y unas condiciones de ambiente que permitan la alteración de minerales ricos en aluminosilicatos (fundamentalmente feldespatos) en filosilicatos del grupo de las kanditas.

Díaz y Torrecillas (2002), manifiestan que los yacimientos caoliníticos se originan de estas maneras:

Yacimientos primarios: Díaz y Torrecillas (2002), manifiestan que en este tipo de yacimientos los caolines han sido generados “in situ”, prácticamente sin transporte físico (depósitos autóctonos), a partir de la roca madre original rica en feldespatos u otros silicatos aluminicos. Entre los principales factores influyentes se pueden citar: El clima, la composición de las rocas primarias, las estructuras geológicas, el relieve del terreno, la hidrogeología del terreno, la Edad Geológica, etc. Pueden ser:

- **Caolines residuales:** Son los depósitos primarios más abundantes. Corresponden a rocas meteorizadas en la superficie topográfica que fueron formadas en antiguos ciclos de erosión y han quedado sellados por formaciones geológicas más recientes. La edad de estos depósitos está más controlada por la paleogeografía y paleoclimatología que por la edad de la propia roca madre.

Díaz y Zedano (2006), manifiesta que los caolines residuales se forman de la siguiente manera:

- En la superficie terrestre por intensa meteorización química de rocas ígneas ácidas o sedimentarias en climas tropicales y subtropicales, húmedos y cálidos, es decir en la descomposición geológica por agentes atmosféricos, la caolinita se forma por la descomposición en medio oxidante y en condiciones ácidas y en medio reductor cuando se eliminan las bases (Mg, alcalisis, FeO). La eliminación de las bases es el factor esencial para la formación del caolín.
- Hacia la profundidad la transición continúa a la roca de origen.
- La profundidad de la meteorización depende de la porosidad, disyunción y fallas. Se presenta con frecuencia minerales inalterados de la roca de origen.

- **Caolines hidrotermales:** Díaz y Torrecillas (2002), sostienen que los caolines hidrotermales suelen encontrarse en rocas ácidas ígneas y metamórficas.

Díaz y Zedano (2006), manifiestan que los caolines hidrotermales se forman de la siguiente manera:

- Por la transformación hidrotermal de la roca de origen, mayormente rocas magmáticas, ácidas e intrusivas; es decir hidrólisis del feldespato y de otros silicatos por la acción de aguas hidrotermales al elevarse hacia la superficie.
- El agua meteórica está siempre involucrada.
- Están frecuentemente asociados a filones, frentes hidrotermales, etc; por eso forman cuerpos filonianos o tubulares con extensiones laterales menores pero más profundas.

Yacimientos secundarios: La diagénesis juega un importante papel en la aparición de algunos caolines secundarios. Además la meteorización, especialmente en los trópicos puede tener un efecto determinante convirtiendo una arcilla de baja calidad en un provechoso depósito de caolín.

Díaz y Zedano (2006), sostienen que los yacimientos secundarios se originan de la siguiente manera:

- Las arcillas caoliníticas son el producto erosivo de la meteorización de cortezas caoliníticas.
- Deposición en ambientes límnicos, salobres y fluviales, con frecuencia bajo condiciones reductoras (lagos pantanosos, deltas y lagunas).
- Deposición en cuencas, frecuentemente relacionado a fallas.
- A menudo con alternancia con arena y limo.
- A menudo incorporan minerales de hierro y materia orgánica.

Los caolines secundarios pueden ser:

- **Caolines sedimentarios:** Díaz y Torrecillas (2002), manifiestan que los caolines sedimentarios constituyen el grupo más abundante dentro de los caolines. Se originan por la erosión y el aporte de materiales de distintos orígenes que son transportados a las cuencas sedimentarias y por diversos mecanismos de precipitación (autigénesis) o alteración por enterramiento o diagénesis.
- **Arenas caoliníticas:** Díaz y Torrecillas (2002), sostienen que las arenas caoliníticas normalmente suelen estar constituidas, en el mejor de los casos, por un 80% de cuarzo y un 20% de minerales caoliníticos (caolinita fundamentalmente), con proporciones muy inferiores de feldespatos y micas. Algunas arenas caoliníticas se forman por la alteración de los feldespatos “in situ” de una arcosa, por la circulación de aguas superficiales. Otros son originalmente depositados como una mezcla de caolín y arena.

2.2.4. Teledetección como método de identificación de depósitos de arcillas:

En la actualidad existen diversos métodos geofísicos de exploración para identificar, interpretar y evaluar posibilidades de localización de recursos naturales, entre ellos se encuentra la percepción remota o teledetección.

2.2.4.1. Teledetección:

Es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material siempre y cuando exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). (Chuvieco, 1990)

2.2.4.2. Componentes del sistema de teledetección:

Castro (1999) sostiene que el primer elemento en el proceso de obtención de imágenes es contar con una fuente de energía que emita radiación electromagnética (sol), esta energía se transmite a través de un medio (atmósfera), a una determinada velocidad (de la luz), luego llega al objeto, el cual responde de acuerdo a sus características externas e internas, reflejando, absorbiendo o transmitiendo la energía incidente y, posteriormente vuelve a través del mismo medio de propagación, para incidir sobre el sensor, quien captura la radiación y la transforma en formato digital.

Springer (1991), manifiesta que cada objeto tiene una respuesta espectral propia que se conoce como "firma espectral". Las características de dicha firma dependen en primer lugar de su estructura atómica y molecular, de las características de su superficie, y de su temperatura.

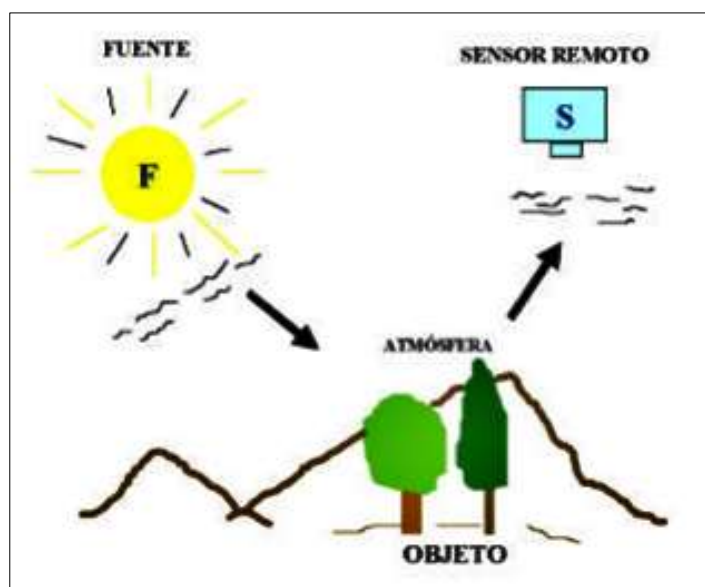


Figura N° 03: Componentes del sistema de teledetección.
(Castro, 1999)

2.2.4.3. Teledetección aplicado a la exploración de recursos minerales:

Vargas (2001), sostiene que las imágenes satelitales han demostrado ser una herramienta importante en la exploración de recursos minerales ya sean metálicos o no metálicos minimizando costos en la etapa exploratoria.

En los últimos años la aparición de una serie de sensores multiespectrales, han permitido discriminar entre distintos tipos de litología como la alunita, illita, clorita, caolinita, epidota, óxidos, entre otros. Las bandas más usadas para el cartografiado de minerales de arcillas son las correspondientes al espectro visible e infrarrojo. Mediante la combinación de bandas se puede resaltar variaciones de color, tonalidad, textura de las rocas, es muy utilizada para el cartografiado de estructuras y detectar zonas de óxidos y arcilla.

Rasgos de absorción en arcillas: Gonzales (2011), sostiene que los diferentes tipos de minerales absorben o dispersan la energía incidente de manera diferente en respuesta a las diferentes longitudes de onda. Estas diferencias en absorción pueden ser usadas para identificar minerales de arcillas. Análisis de máximos y mínimos de curvas, de reflectancia; en el caso de mínimos sucede una absorción molecular (rasgos de absorción, bandas de absorción).

Por ejemplo la arcilla del tipo caolinita presenta dos dobletes de absorción en 1.6 y 2.2 micrómetros debido al contenido de humedad.

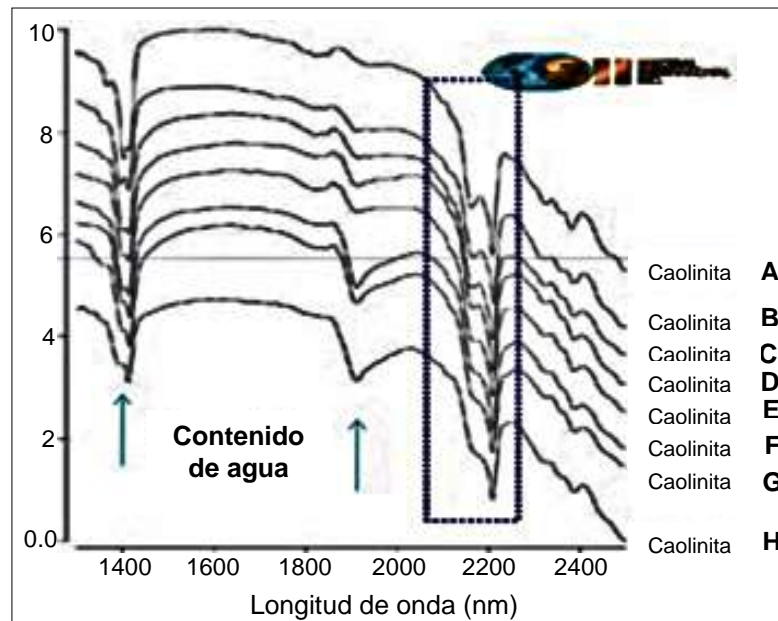


Figura N° 04: Firmas espectrales de la caolinita mostrando dos dobletes de absorción en 1.6 y 2.2 μm . (Gonzales, 2011)

Rasgos de reflexión en arcillas: Springer (1991), manifiesta que los factores que condicionan la reflexión de energía en los suelos son el contenido de humedad, textura, estructura y composición química del suelo. Al aumentar el porcentaje de humedad del suelo ocurre una disminución de la reflectancia para todas las longitudes de onda. Los suelos arcillosos que aún después de secados al aire conservan bastante humedad en su estructura interna y para todas las longitudes de onda, su reflectancia es menor que la vegetación. Los suelos secos se caracterizan por presentar un aumento de su reflectividad a medida que aumenta la longitud de onda. En términos generales, el tamaño de las partículas influye en la proporción de radiación reflejada por los suelos en relación inversa a su tamaño. A mayor diámetro de las partículas menor proporción de reflectancia. En el caso de suelos arcillosos, aun en el caso de poca humedad, su reflectividad está influida por la curva de absorción del agua. En cambio, para los suelos arenosos su reflectividad es independiente de la curva de absorción del agua, siempre que la humedad del suelo no sea alta.

2.2.4.4. El satélite landsat 7 y sus características:

Chuvienco (1990), manifiesta que el Landsat 7 es el satélite operacional más reciente del programa Landsat, fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) . Una imagen Landsat 7 está compuesta por 8 bandas espectrales, que fueron elegidas especialmente para el monitoreo de la vegetación, para aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. Estas bandas pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Landsat 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Índice de pureza del píxel (PPI): Permite identificar en la imagen los píxeles más puros espectralmente y que generalmente no alcanzan el 1% de los píxeles totales de la imagen. El resultado de este análisis es una imagen que corresponde al número de veces en que el píxel se contó como valor extremo y se usa para seleccionar varios centenares de píxeles para el análisis total reduciéndose significativamente el número de píxeles a ser examinados, posteriormente, se calculan los promedios de las firmas espectrales coleccionadas y se compara con la librería espectral de los laboratorios.

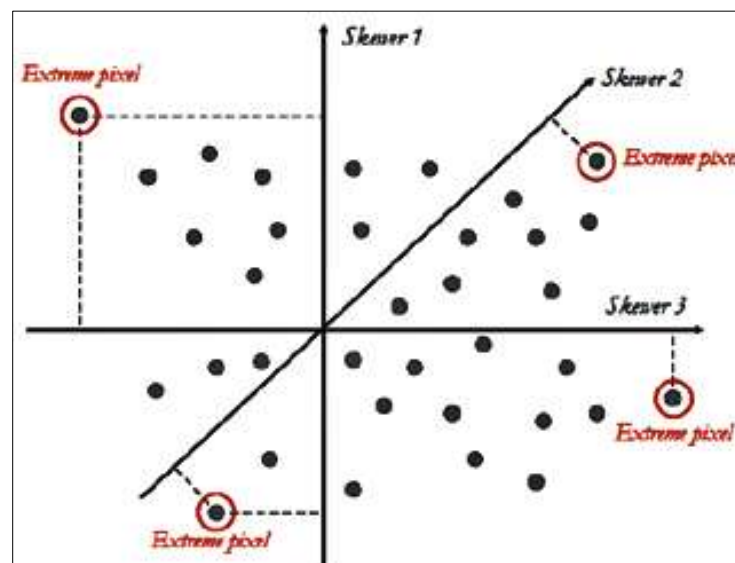


Figura N° 05: Diagrama donde se muestra la selección de píxeles extremos en un sistema de coordenadas de componentes principales. (Ferrero, 2005).

Desmezcla lineal del espectro e identificación de minerales: Los píxeles en una imagen representan áreas de uno a varios metros cuadrados. Estos píxeles, generalmente están compuestos de varios materiales, ya que los píxeles puros son muy raros (Boardman, 1994). El espectro mixto recibido por la mayoría de los sensores es una combinación lineal de los espectros puros y sus pesos en la combinación lineal dependen de la fracción de área que ocupan.

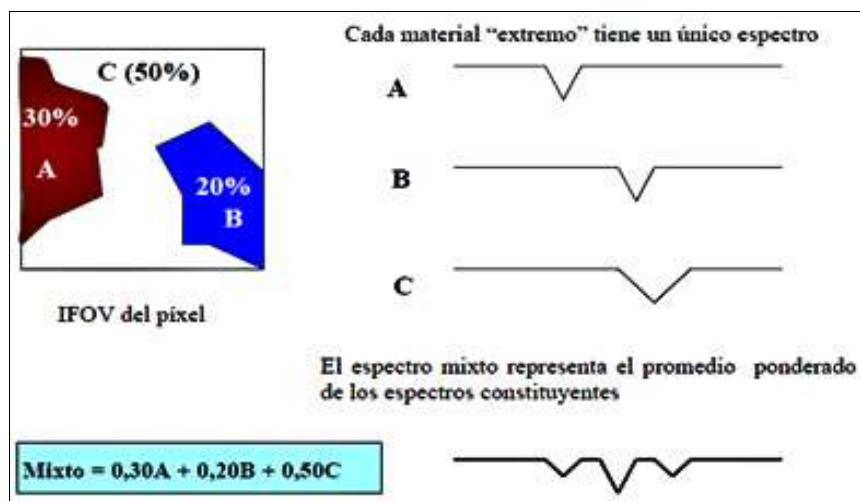


Figura N° 06: Diagrama donde se muestra la desmezcla lineal del espectro en función a un píxel mixto. (Ferrero, 2005).

Los píxeles mixtos, pueden analizarse usando un modelo matemático donde el espectro observado es el resultado de la suma de los productos entre el espectro puro del material extremo por el porcentaje de abundancia correspondiente (Nuñez, 2002).

2.2.5. Difractómetro de rayos x en la determinación de la composición mineralógica de arcillas

2.2.5.1. Difractómetro de rayos x:

Es un instrumento utilizado para medir la difracción de un haz de radiación incidente sobre una muestra de un material. La radiación normalmente empleada en los difractómetros tiene una longitud de onda del orden de 10^{-10} m (1 Å), la cual es aproximadamente el mismo tamaño que un átomo. (Hernández, 2006)

2.2.5.2. Identificación de minerales arcillosos mediante difracción de rayos x:

Este equipo permite la identificación rápida de minerales y revela información detallada acerca de la composición química y la estructura cristalográfica de sus muestras. Es el método preferido para la especiación de arcillas. Se analiza la muestra por medio del difractómetro de rayos X, para identificar a los minerales cristalizados que se encuentran presentes, (excepto los amorfos). En el caso de los materiales arcillosos, los minerales que determina este método que va a ser útil para su caracterización son: caolinita, illita, sericita, esmectita, clorita, cuarzo, alunita, feldespato, calcita, dolomita, goethita, hematita, siderita, piritita, yeso, hornblenda. (Díaz y Zedano, 2006)

Brindley y Brown (1980), manifiestan que la selección del tipo de radiación depende de la composición de la muestra y el objetivo del estudio. Para el análisis de difracción de rayos x normalmente se utilizan radiaciones de Cu, Co, Fe y Cr, cada uno de ellos tiene diferente poder de difracción al poseer longitudes de onda características, donde las de Cu son las más utilizadas en análisis de arcillas.

Hernández (2006), sostiene que la radiación que emite el cobre tiene una longitud de onda característica para la radiación K de $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$. Cuando un haz incidente golpea una muestra en polvo, la difracción ocurre en toda posible orientación de 2θ . El haz difractado puede ser detectado usando un detector móvil como un contador Geiger, el cual es conectado a un grabador gráfico.

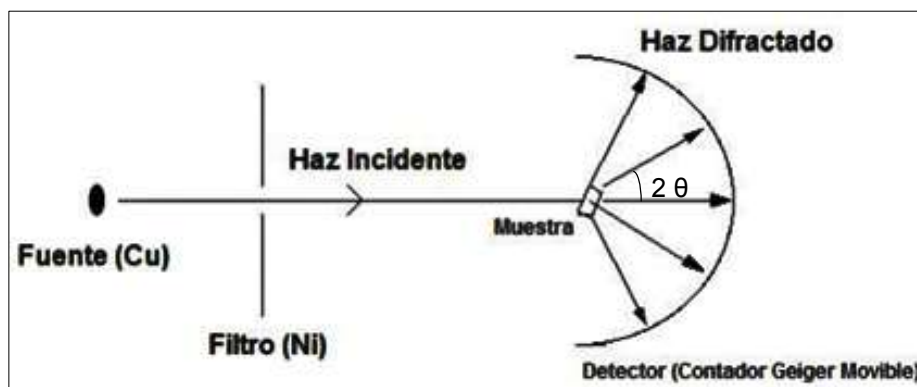


Figura N° 07: Esquema mostrando la radiación que emite el cobre sobre una muestra en polvo. (Hernández, 2006)

2.2.5.3. Ley de Bragg:

Cuando un haz de rayos x choca contra la superficie de un cristal forma un ángulo θ , una parte del haz es dispersada por la capa de átomos de la superficie, esta porción del haz penetra en la segunda capa de átomos y vuelve que dan una fracción dispersada que pasa a la tercera capa y así sucesivamente. Este es un efecto acumulativo de dispersión producida por los centros del cristal. Los rayos X que chocan con los átomos de la capa más interna recorren una mayor distancia que demuestra ser igual a $2d \sin \theta$. Los haces dispersados estarán en fase si y solo si la distancia extra recorrida es igual a un número entero (n) de longitudes de onda (λ).

Por lo tanto, un pico de difracción será visible solamente si:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Donde:

d = distancia entre los paralelos

λ = longitud de onda

n = número entero (1, 2, 3...)

θ = ángulo entre el haz difractado y la dirección original del haz

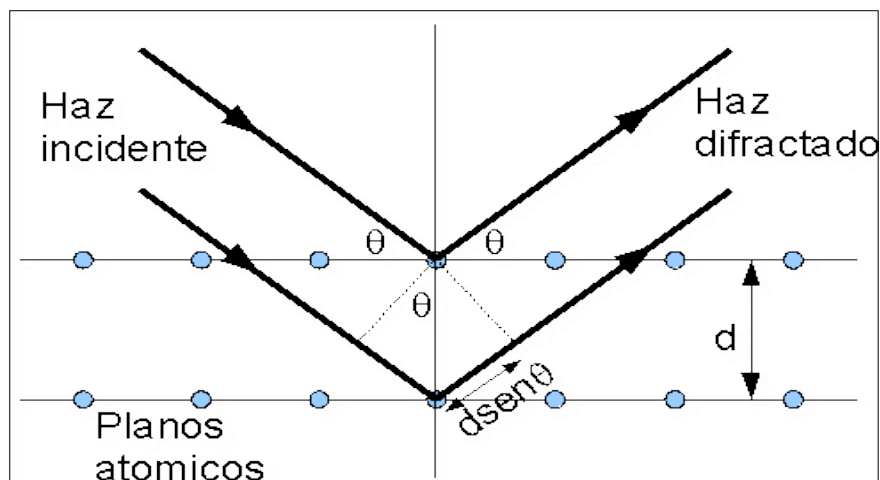


Figura N° 08: Rayos x incidiendo sobre la superficie de un cristal, produciendo una difracción descrita por la Ley de Bragg. (Lorentz, 1990)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

Arcilla: Suelo finamente dividido, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados que proceden de la descomposición de minerales de aluminio. Es de color blanco cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene. (Zea, 2005)

Bandas Espectrales: División en segmentos del espectro electromagnético. (Chuvieco, 1990)

Muestreo: Método sistemático de toma de muestras con el objeto de obtener los mejores resultados para la evaluación de un yacimiento. (Dávila, 2011)

Reserva mineral: Potencial de material económicamente explotable de un determinado yacimiento (minero, petrolero u otro tipo de recurso natural), de una región o de un país. (Dávila, 2011)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Ubicación Política:

Según su ubicación política la zona de estudio se sitúa según las siguientes referencias:

- **Continente** : América
- **País** : Perú
- **Departamento** : Cajamarca
- **Provincia** : Cajamarca
- **Distrito** : Llacanora

3.1.2. Ubicación Geográfica:

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicado en la parte Nor – occidental del territorio peruano al sureste de la ciudad de Cajamarca en el distrito de Llacanora. Centrando la investigación principalmente al oeste del distrito de Llacanora, en el cerro Iscocongá el cual posee la mayor cantidad de reservas de arcilla.

3.2. DELIMITACIÓN

El área de estudio queda delimitado por las siguientes coordenadas del sistema UTM. Datum WGS-84:

Cuadro N° 07: Delimitación de la zona de estudio – coordenadas UTM.

Vértice	Latitud	Longitud
1	9205000	781000
2	9205000	784500
3	9203000	784500
4	9203000	781000

3.3. ACCESIBILIDAD

Debido a que el estudio se realiza en el cerro Iscoconga, existen dos vías de acceso que se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro N° 08: Accesibilidad a la zona de estudio.

Tramo 1	Tipo de vía	Longitud	Tiempo	Observaciones
Cajamarca – Iscoconga	Carretera Asfaltada	9 km	20 min	Servicio público
Iscoconga – zona de estudio	Trocha Carrozable	1 km	6 min	A pie
Total		10 Km	26 min	

Tramo 2	Tipo de vía	Longitud	Tiempo	Observaciones
Cajamarca – Baños de Inca	Carretera Asfaltada	6 km	15 min	Servicio público
Baños del Inca – Huayrapongo	Carretera Asfaltada	3 km	5 min	Servicio público
Huayrapongo – zona de estudio	Trocha	2 Km	10 min	A pie
Total		11 Km	30 min	

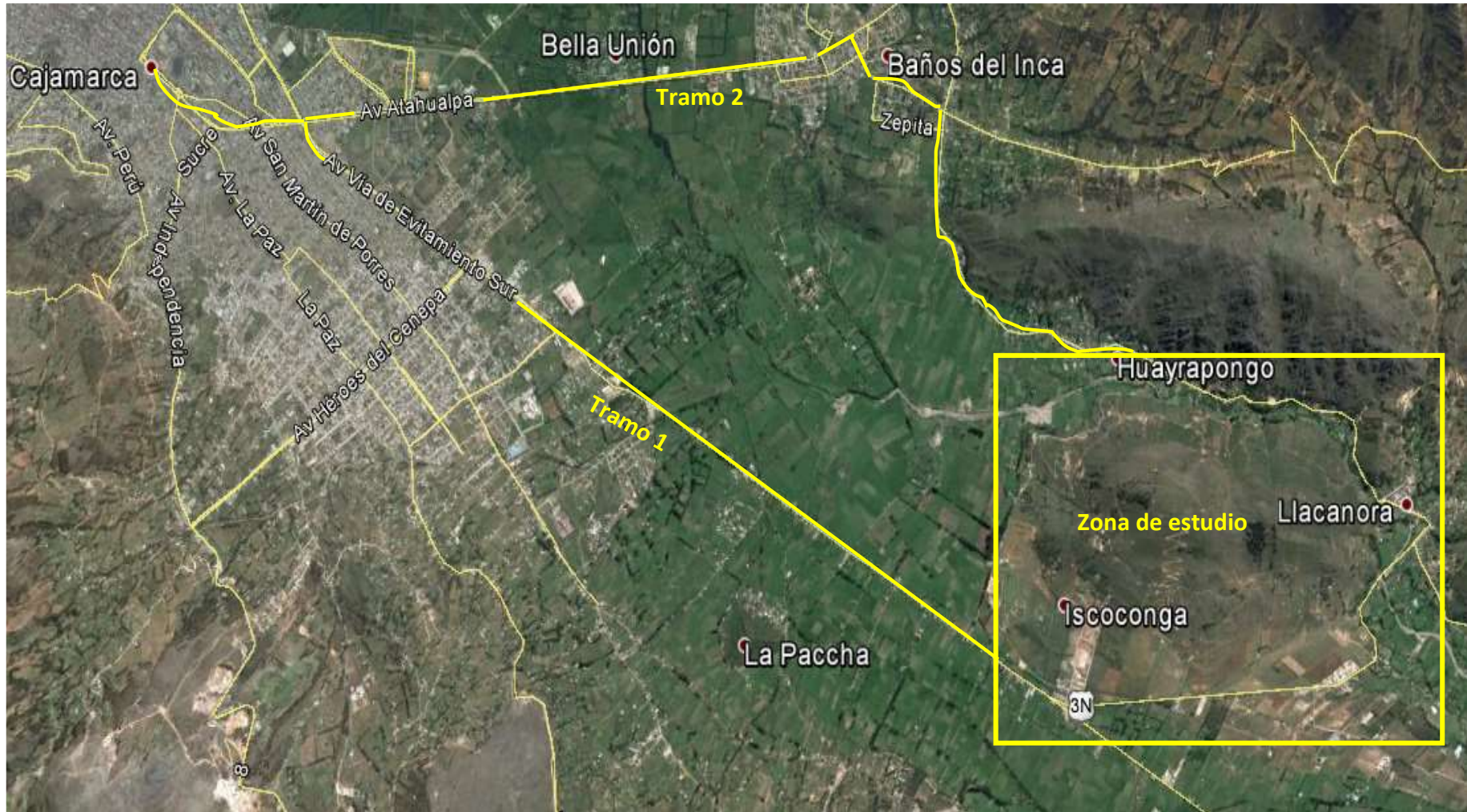


Figura N° 09: Vías de acceso a la zona de estudio. (Google Earth, 2012)

3.4. CLIMA

La zona de estudio se encuentra a unos 2760 m.s.n.m. El clima es generalmente sub húmedo típico de la sierra norte del país; la temperatura promedio anual es de 13.7°C (Temperatura máxima: 21.6°C y temperatura mínima: 5.9°C). Las precipitaciones mínimas se presentan de mayo a setiembre y las máximas entre los meses de enero a marzo, con un promedio anual de 698 mm, el mes más seco es julio con 6 mm. mientras que el mes que tiene las mayores precipitaciones del año es marzo con 117 mm.

Cuadro N° 09: Cuadro climatológico a nivel provincial.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Temperatura min (°C)	Temperatura max (°C)
Enero	86	14.9	8.1	21.8
Febrero	101	14.2	7.4	21.0
Marzo	117	14.2	7.4	21.0
Abril	77	14.1	7.3	20.9
Mayo	34	13.4	5.2	21.7
Junio	11	12.6	3.3	21.9
Julio	6	12.6	3.4	21.8
Agosto	10	12.9	4.2	21.7
Setiembre	34	13.5	5.3	21.7
Octubre	84	14.3	7.0	21.7
Noviembre	62	14.0	6.2	21.9
Diciembre	76	14.1	6.4	21.8

Fuente: (Climate-data.org, 2014)

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. Recopilación de información:

Etapa preliminar en la cual se reunió toda la información existente de la zona de estudio relacionados con el tema de investigación utilizando diversas fuentes: libros, tesis, trabajos anteriores, planos, imágenes satelitales, papers, páginas web, entre otros. Una vez recolectada la información se planeó la salida a campo.

3.5.2. Trabajo de campo:

Consistió en un reconocimiento general del área de trabajo en campo con el fin de identificar características importantes, descripción del medio físico, cartografiado geológico y descripción de las unidades estratigráficas del Cretáceo Inferior. Se

identificaron las zonas con contenido de arcillas previo análisis de la imagen landsat 7 por el método de desmezcla lineal del espectro y cartografiado espectral luego se seleccionaron los diez puntos de muestreo, además se describió cada punto de muestreo teniendo en cuenta sus características geológicas y también se realizó la identificación macroscópica de las arcillas; posteriormente se procedió a recolectar las muestras de arcilla para determinar su composición mineralógica mediante un difractómetro de rayos x y su densidad.

3.5.3. Trabajo de gabinete:

Consistió en la interpretación y procesamiento de datos obtenidos en el campo para realizar los cálculos correspondientes y obtener los resultados finales; se envió las 10 muestras obtenidas del campo al laboratorio del INGECONSULT para que determinen su composición mineralógica mediante un difractómetro de rayos x, con estos datos se pudo corroborar los resultados de la interpretación de las imágenes Landsat 7, además sirvió para determinar el tipo de depósito y ambiente de formación de dichas arcillas así como su clasificación industrial. Finalmente se hizo la cubicación de estos depósitos de arcilla y para eso se tuvo que realizar el cálculo de la densidad en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca el cual fue un dato muy importante así como también el cálculo del volumen mediante el software Autocad Civil 3D 2016.

3.5.4. Control de calidad:

El grado de confiabilidad se ha realizado usando la metodología del software Envi lo cual permitió determinar diferentes tipos de minerales de arcilla que han sido corroborados con los datos obtenidos del laboratorio de INGECONSULT & LAB el cual es una empresa de prestigio y reconocido a nivel local y nacional. Estos datos fueron necesarios para poder identificar que depósitos presentaban altos porcentajes de minerales de arcilla y así realizar la estimación correspondiente.

3.6. EQUIPOS Y MATERIALES

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

3.6.1. Equipos e instrumentos para campo:

En las salidas de campo siempre se debe contar con los siguientes equipos y materiales:

- **Plano topográfico:** Es la representación parcial del relieve de la superficie terrestre a una escala definida, el cual servirá para mapear la geología local de la zona de estudio (Datum WGS -84)
- **Plano geológico:** Es la representación sobre un plano topográfico de los diferentes tipos de rocas que afloran en la superficie terrestre, los tipos de contactos entre ellas y las deformaciones sufridas por las estructuras geológicas tales como fallas, pliegues o foliaciones. Se utilizó un plano geológico a escala (1/100000) de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f) y San Marcos (15-g) publicados por el INGEMMET.
- **Imagen satelital landsat 7:** Nos permitió identificar las zonas con contenido de arcillas para poder seleccionar los puntos de muestreo.
- **GPS Navegador (Global Positional System) tipo Garmin:** Sirvió para ubicar en el plano topográfico los diferentes puntos que delimitan mi zona de estudio a través de coordenadas del sistema UTM (Universal Transversal Mercator), según el elipsoide internacional utilizado para la zona sudamericana Datum WGS-84 (World Global System), franja 17 correspondiente a Perú.
- **Brújula tipo Brunton:** Permite determinar rumbos y buzamientos de las diferentes estructuras presenten en nuestra zona de estudio tales como: estratos, fallas, fracturas, etc.
- **Lupa:** Es un instrumento óptico que sirve para identificar los diferentes componentes minerales de las rocas. Se utilizó la lupa de 10 x (10 aumentos) y 20 x (20 aumentos).
- **Picota de geólogo:** Se utiliza para obtener muestras de rocas frescas para luego analizarlas en gabinete.
- **Rayador:** Instrumento utilizados para el reconocimiento de las propiedades físicas de las muestras.
- **Ácido clorhídrico (HCl):** Diluido al 20%; es utilizado para comprobar la composición química de las muestra observables.

- **Libreta de campo:** Utilizada para la toma de datos y para la realización de los diferentes croquis o dibujos observados en el campo.
- **Cámara fotográfica digital:** Sirvió para tomar las diferentes fotografías en la zona de estudio.
- **Protactor:** Sirve para hacer mediciones a escala.
- Wincha (50m)
- Bolsas de muestreo.



Figura N° 10: Equipos e instrumentos de campo.

3.6.2. Materiales para gabinete:

- **Útiles de escritorio:** Lápices, borradores, colores, corrector y papel Bond
- Lap Top
- Impresora

3.6.3. Soporte técnico, programas de computador utilizados:

- **Office 2013 (Word, Excel, Power Point):** Para la edición, presentación y/o procesamiento de la data recolectada en campo.
- **Arc Gis 10:** Es un conjunto de aplicaciones SIG profesionales, para visualizar, crear, manipular y gestionar información geológica. Permitió la realización y elaboración de los planos.

- **Google Earth:** Su uso es para obtener imágenes aéreas y tener una vista interactiva del área de investigación.
- **Software Envi 4.8:** Es el software de procesamiento y análisis geoespacial, permitió hacer el procesamiento de la imagen satelital de nuestra zona de estudio para poder identificar las áreas con presencia de arcillas.
- **Autocad Civil 3D 2016:** Es una herramienta de diseño y cálculo muy útil para crear proyecciones y planos en 3D, permitió hacer un modelamiento geológico de nuestra zona de estudio y determinó el volumen de nuestras áreas de interés.



Figura N° 11: Programas usados en el procesamiento y presentación de la información recabada en la etapa de campo.

3.6.4. Materiales para laboratorio:

Para el procedimiento previo de las muestras de arcillas antes de pasarlas por el difractómetro de rayos x

- | | |
|------------------------|---------------------|
| • Muestras de arcillas | • Tamiz #200 |
| • Horno (90°C) | • Balanza analítica |
| • Mortero | • Portamuestra |

Para el cálculo de la densidad

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| • Muestras de arcillas. | • Crisoles. |
| • Balanza analítica. | • Vasos de precipitación de 250ml. |
| • Horno (110°C) | • Agua destilada |

3.7. GEOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio afloran formaciones del Cretácico Inferior, iniciando la secuencia con areniscas de la Formación Carhuaz y Formación Farrat pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga, y suprayace a las mismas las areniscas ferruginosas de la Formación Inca.

3.7.1. Grupo Goyllarisquizga:

Formación Carhuaz (Ki-ca): Se presenta infrayaciendo a la Formación Farrat; está conformada por areniscas con tonalidades rojizas intercaladas con lutitas grises y limolitas. En la zona de estudio esta formación se localiza en las laderas del cerro Iscoconga y Callacpuma, presenta depósitos de arcillas.



Figura N° 12: Afloramiento de la Formación Carhuaz, areniscas con tonalidades rojizas intercaladas con lutitas grises y limolitas (Norte: 9204712, Este: 781855)

Formación Farrat (Ki-f): Se presenta suprayaciendo a la Formación Carhuaz e infrayaciendo a la Formación Inca. Está conformada principalmente por areniscas cuarzosas blanquecinas de grano medio a grueso en estratos de gran espesor (Reyes, 1980); constituye una zona positiva, ya que estas rocas son resistentes al proceso erosivo. En la zona de estudio conforma ambos flancos del cerro Iscoconga.



Figura N° 13: Afloramiento de la Formación Farrat areniscas cuarzosas blanquecinas resistentes a la erosión. (Norte: 9204272, Este: 781772)

Formación Inca (Ki-in): Infrayace concordantemente a la Formación Chulec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat, con un aparente paso transicional. Se caracteriza por presentar calizas arenosas, lutitas y areniscas ferruginosas, además se observa la presencia de depósitos de arcillas; en la zona de estudio está formación se evidencia debido a los depósitos de coloraciones rojizas encontrados en una ladera del cerro Iscocongá cerca a la pecuaria así mismo se encontró estratos con numerosos pelecípodos.



Figura N° 14: Afloramiento de la Formación Inca de coloraciones rojizas (Norte: 9203487, Este: 782009)



Figura N° 15: Pelecípodos en estratos de la Formación Inca (Norte: 9203693, Este: 781714)

3.7.2. Depósitos cuaternarios:

Son sedimentos de cobertura, generalmente no consolidados producto de la intensa actividad fluvial o gravedad y se distribuyen en forma irregular en la zona de estudio; entre ellos tenemos:

Depósitos lacustres (Q-la): Se localizan en cuencas lagunares y a veces en las partes bajas de los valles. Están formados por sedimentos de grano fino, predominando los limos y las arcillas. El contenido de materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas. Frecuentemente presentan partes laminadas en niveles muy finos. En la zona de estudio estos depósitos se hallan en las partes bajas del cerro Iscocongá.

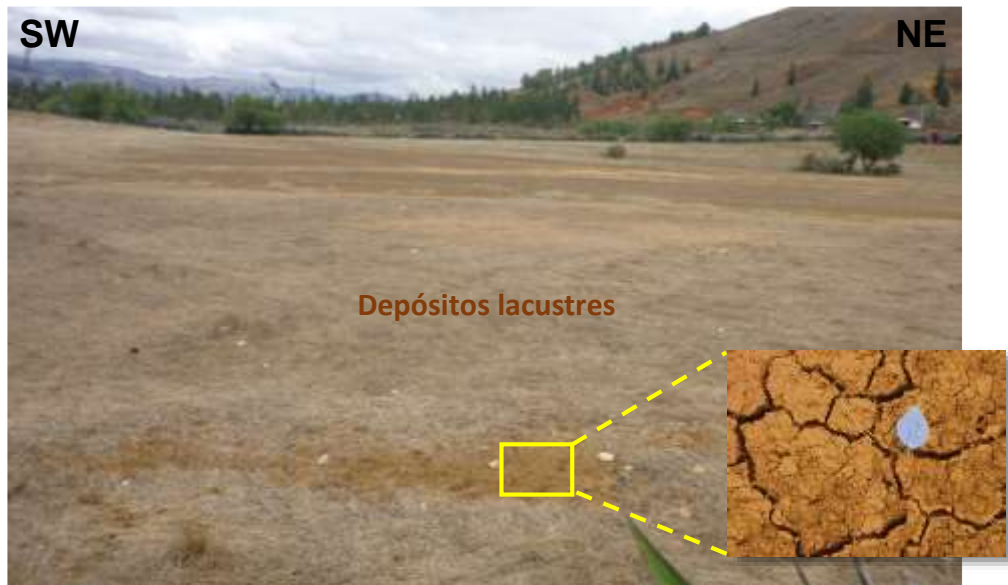


Figura N° 16: Depósitos lacustres formados por sedimentos de grano fino, limos y arcillas. (Norte: 9203002, Este: 782366)

Depósitos fluviales (Q-fl): Son depósitos formados por materiales depositados y acumulados por los ríos cerca a sus cauces, están compuestas por gravas gruesas y finas, arenas sueltas, depósitos limoarcillosos y de mayor cantidad los cantos rodados, los cuales gradan desde semiangulosos a redondeados. En la zona de estudio estos depósitos están distribuidos a lo largo del cauce del río Cajamarquino, compuestos por cantos rodados, gravas subredondeadas y arenas las cuales son aprovechadas por los pobladores para la extracción de material de construcción, gravera, o para sembríos.



Figura N° 17: Depósitos fluviales ubicados a la margen derecha del río Cajamarquino. (Norte: 9204973, Este: 782049)

3.8. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El tratamiento de datos se realizó con los resultados obtenidos del software envi mediante el análisis de la imagen landsat 7 por el método de desmezcla lineal del espectro y el cartografiado espectral el cual nos ha permitido discriminar áreas de interés; es decir aquellas zonas que presentan depósitos de arcillas luego se hizo el muestreo correspondiente y se llevó las muestras ha laboratorio.

También los resultados de la composición mineralógica obtenidos del difractor de rayos x nos permitieron obtener un cuadro de clasificación industrial de aquellos depósitos que presentaron altos porcentajes de arcillas Caolínicas y que son considerados industriales según (Díaz y Zedano, 2006) y finalmente los resultados de la densidad que fueron calculados en el laboratorio y del volumen obtenido mediante el software Autocad Civil 3D 2016 los cuales se utilizaron para el cálculo del tonelaje.

El tipo de análisis fue descriptivo y estadístico presentándose dichos datos en imágenes, cuadros y porcentajes permitiendo estimar las reservas probables de los depósitos de arcillas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE DEPÓSITOS DE ARCILLAS

4.1.1. Obtención de la imagen satelital landsat 7:

Se obtuvo del servidor de la U.S.G.S (Servicio geológico de Estados Unidos), con fecha de adquisición del 24 de agosto del 2011, ortorrectificada y con todos sus parámetros de calibración en un archivo de texto. Posteriormente se recortó una subescena del área de estudio, que se limitó por medio de una máscara poligonal solamente al sector del cerro Iscoconga, el cual presenta una gran cantidad de depósitos de arcillas.

4.1.2. Resultados de la desmezcla lineal del espectro y comparación de firmas espectrales:

Se seleccionaron tres clases como pixeles extremos y se muestran sus firmas espectrales diferenciadas en su forma como se muestra en la figura N° 18:

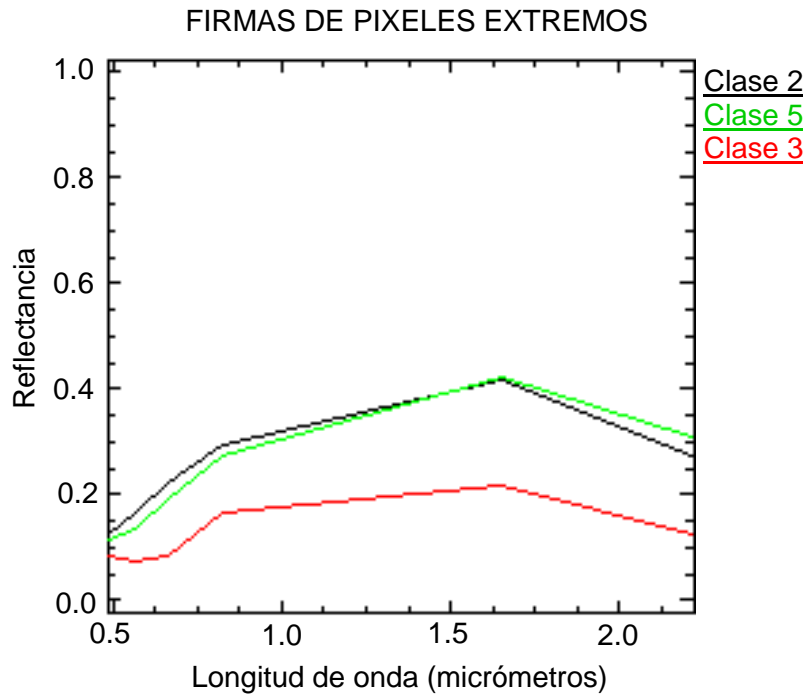


Figura N° 18: Firmas espectrales de las tres clases encontradas como píxeles extremos o puros en el software Envi 4.8.

Posteriormente por cada firma espectral de un píxel puro existe una serie de imágenes donde las zonas con mayor presencia de minerales fueron coloreadas en rojo para una mejor visualización de estos píxeles puros.

Una vez obtenidas las imágenes con las fracciones de mezcla de cada uno de los componentes puros estimados, se procedió a su evaluación estadística y comparación de estas clases, para lo cual se utilizaron como espectros de referencia a los minerales arcillosos más comunes encontrados cerca a la zona de estudio como son caolinita, illita, esmectita y montmorillonita según los datos obtenidos de la investigación realizada en el distrito de Namora específicamente en el Cerro Lamoncera (Gálvez, 2013); el cual es un cerro contiguo al Cerro Iscocongá.

Se utilizaron como espectros de referencia los generados por el U.S. Geological Survey-Spectroscopy Lab (Clark, 1999), para las siguientes especies minerales:

FIRMAS ESPECTRALES DE REFERENCIA

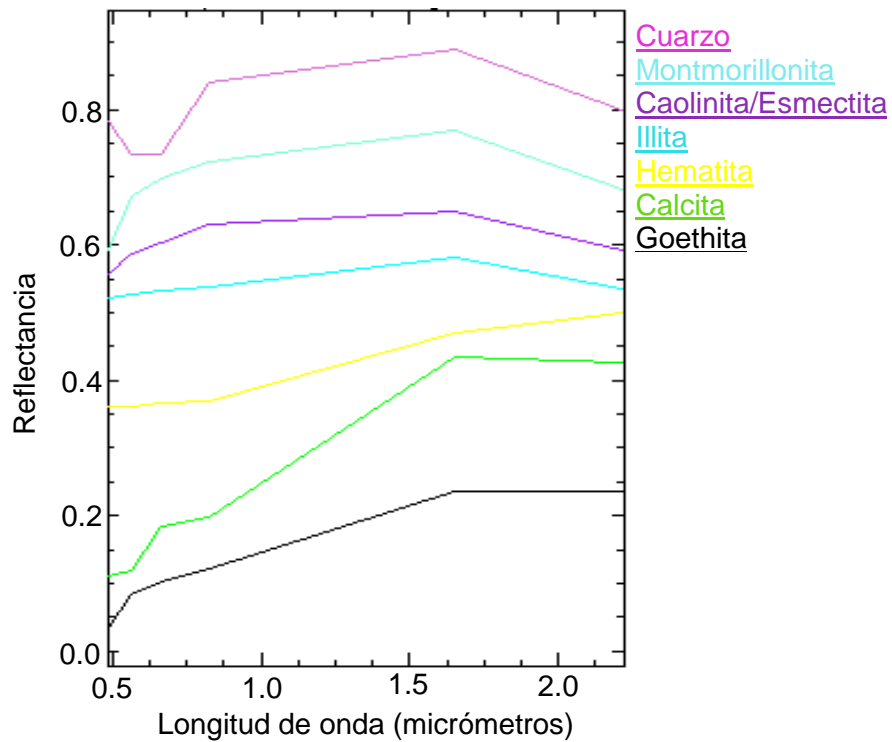


Figura N° 19: Firmas espectrales de las especies minerales referenciales para el estudio.

Para la clase 2: La firma espectral de la clase 2 tiene un incremento de la reflectividad hacia la banda 4 (0.86 μm), y hacia la banda 5 (1.65 μm), para luego tener un descenso por absorción hacia la banda 7 (2.21 μm), por la presencia del ion hidroxilo y carbonatos, típica respuesta espectral de la montmorillonita e illita. (Armenta y Ledesma, 1995)

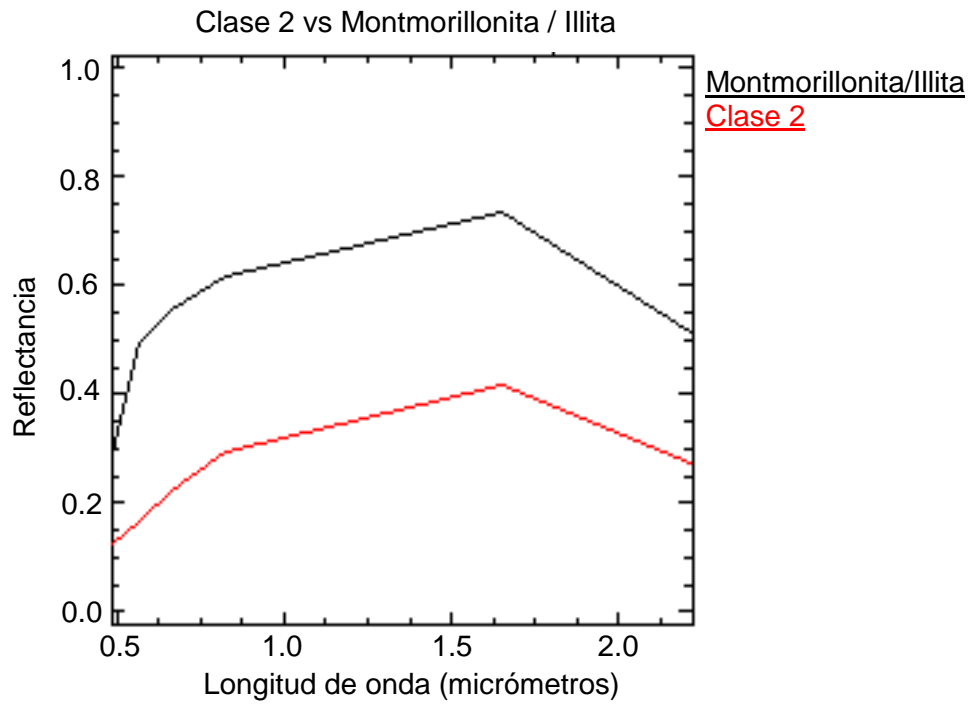


Figura N° 20: Comparación de firmas espectrales de la clase 2 mostrando una alta correspondencia con la Montmorillonita/Illita.

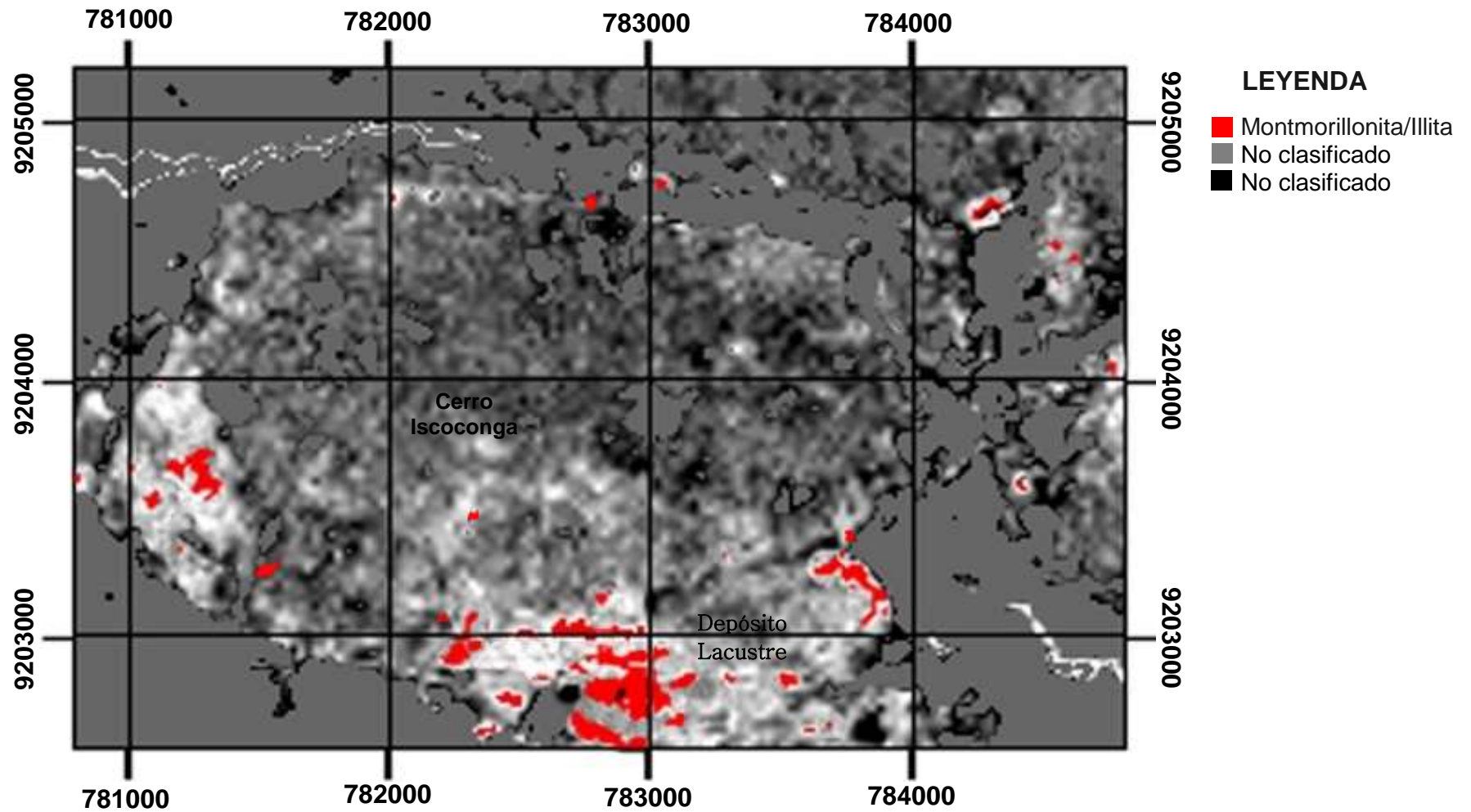


Figura N° 21: Imagen mostrando de color rojo la abundancia de la clase 2 (Montmorillonita/Illita) en el depósito lacustre ubicado en las partes bajas del cerro Iscoconga.

Para la clase 3: La firma espectral de la clase 3 tiene un descenso en la pendiente por rasgos de absorción hacia la banda 2 (0.55 μm), presentando estabilidad hacia la banda 3 (0.66 μm), para luego experimentar un incremento de reflectividad hacia la banda 4 (0.86 μm) y hacia la banda 5 (1.65 μm), para luego tener un descenso por absorción hacia la banda 7 (2.21 μm), típica respuesta espectral del cuarzo en las rocas areniscas. (Armenta y Ledesma, 1995)

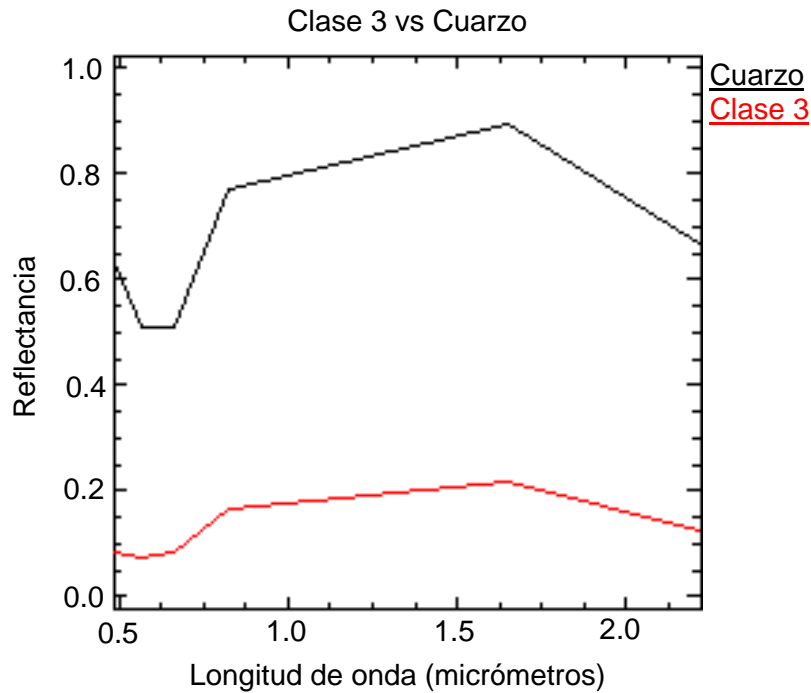


Figura N° 22: Comparación de firmas espectrales de la clase 3 mostrando una alta correspondencia con Cuarzo.

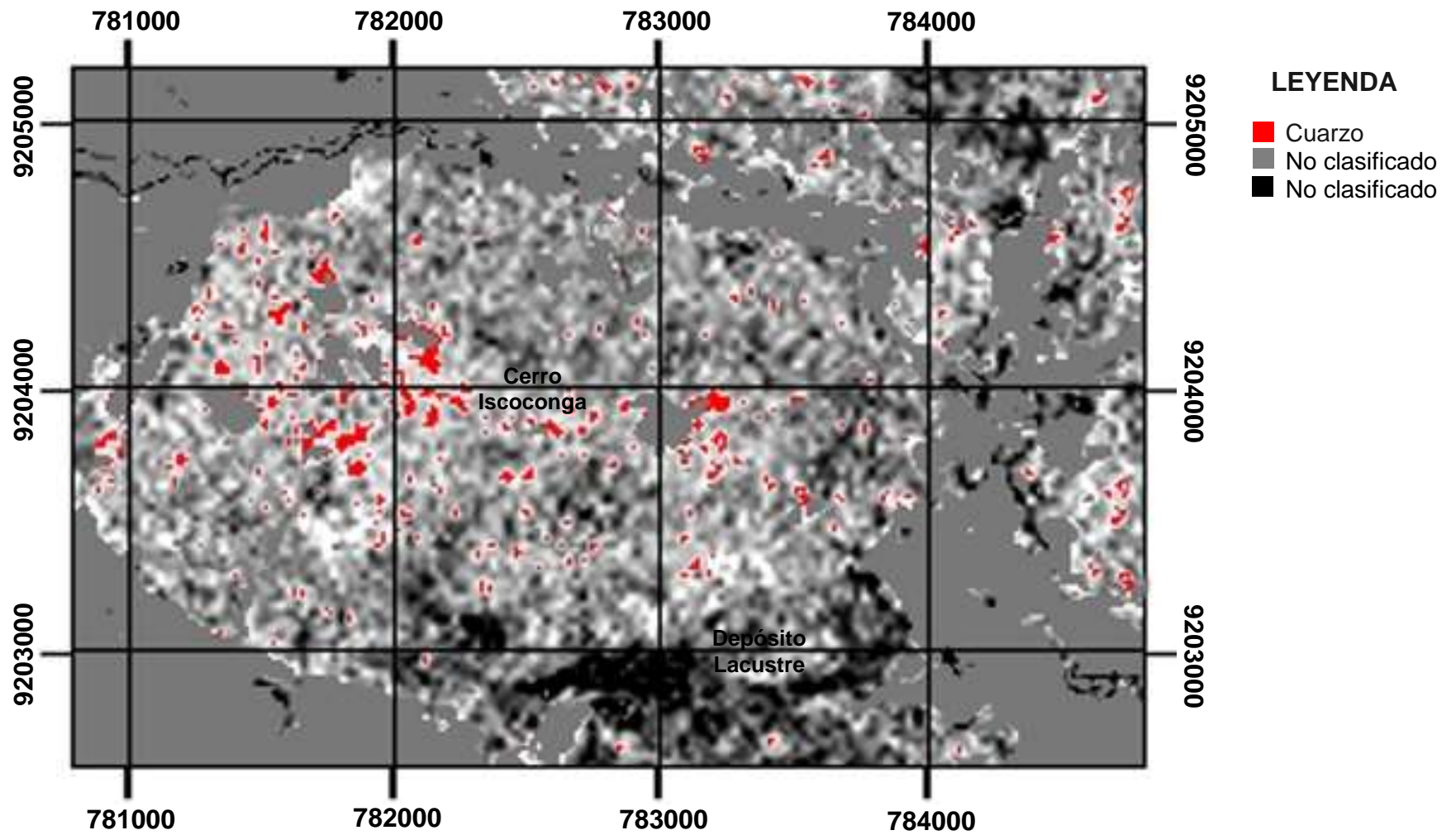


Figura N° 23: Imagen mostrando de color rojo la abundancia de la clase 3 (Cuarzo) en el cerro Iscoconga y pocas cantidades en el depósito Lacustre.

Para la clase 5: La firma espectral de la clase 5 tiene un incremento de la reflectividad hacia la banda 2 (0.55 μm), hacia la banda 4 (0.86 μm), y hacia la banda 5 (1.65 μm), para luego tener un descenso por absorción hacia la banda 7 (2.21 μm), por la presencia del ion hidroxilo, típica respuesta espectral de la caolinita y esmectita. (Armenta y Ledesma, 1995)

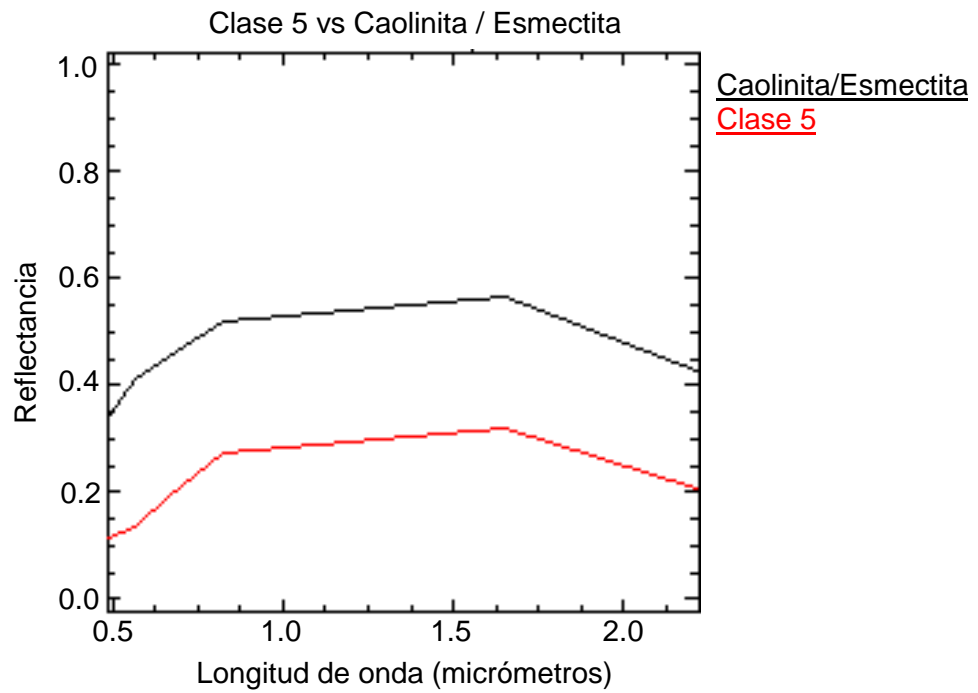


Figura N° 24: Comparación de firmas espectrales de la clase 5 mostrando una alta correspondencia con la Caolinita/Esmectita.

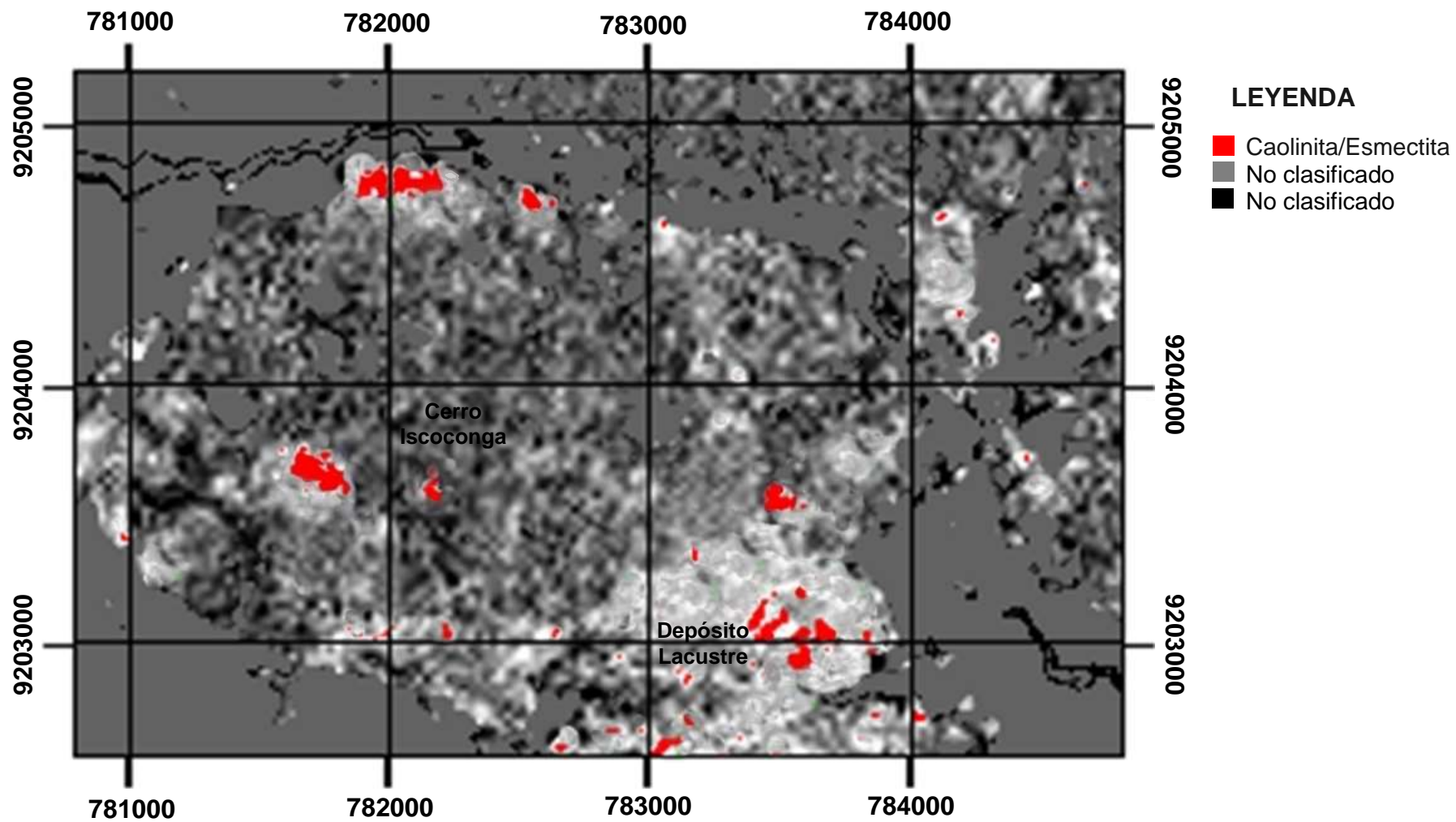


Figura N° 25: Imagen mostrando de color rojo la abundancia de la clase 5 (Caolinita/Esmectita) en el cerro Iscoconga y en el depósito Lacustre.

Cartografiado espectral y distribución de clases: Para cada clase se asignó un color de acuerdo al mineral identificado por su firma espectral, para lo cual el método de cartografiado por máxima probabilidad asigno un color específico (rojo, verde y azul) a cada pixel que tenga la mayor probabilidad de pertenecer a cada clase o pixel puro identificado, como se muestra en la figura N° 26:

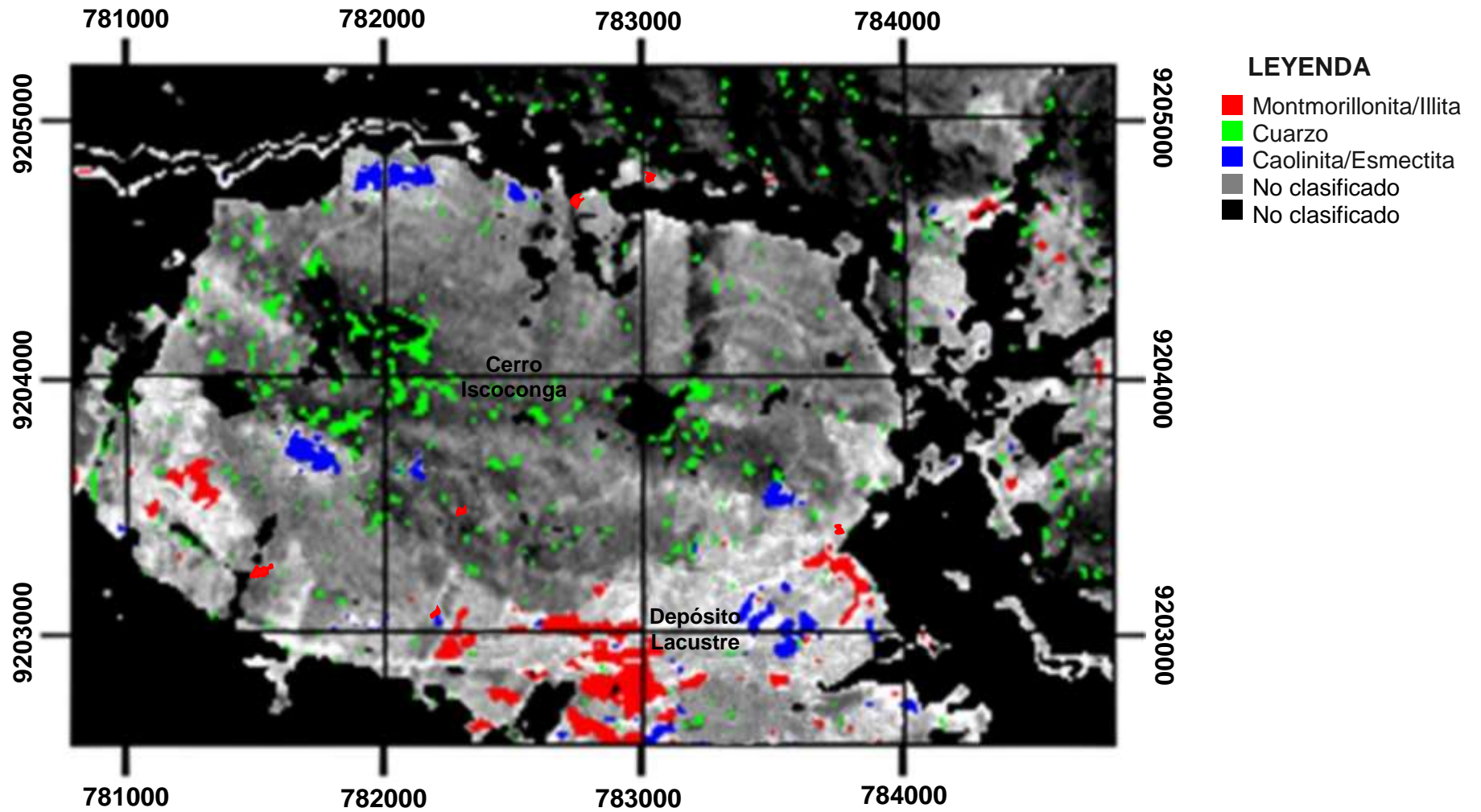


Figura N° 26: Imagen mostrando el cartografiado espectral por cada clase en el cerro Iscoconga y en el depósito lacustre.

4.1.3. Selección de puntos de muestreo:

Tras el procesamiento de las imágenes satelitales sabremos qué sectores tienen potenciales y podemos evaluar cómo llegar a ellos en una visita a terreno eligiendo previamente los puntos de muestreo.

Se seleccionaron diez puntos de muestreo según la distribución de las clases de cada píxel puro, y se contempló los puntos de muestreo para cada clase, así mismo se procedió a recolectar una muestra representativa de cada punto de muestreo y se realizó la descripción macroscópica de las arcillas; las diez muestras fueron llevadas al laboratorio donde se determinó la composición mineralógica de cada arcilla mediante un difractor de rayos x; los resultados obtenidos permitieron corroborar la interpretación de las imágenes Landsat 7 y hacer la estimación correspondiente.

Cuadro N° 10: Ubicación de muestras.

Muestra	Coordenadas UTM		Descripción según clasificación espectral
	N	E	
M – 01	9204771	781958	Caolinita/Esmectita
M – 02	9204688	782542	Caolinita/Esmectita
M – 03	9203604	781292	Montmorillonita/ Illita
M – 04	9203688	781719	Caolinita/Esmectita
M – 05	9203646	782135	Caolinita/Esmectita
M – 06	9202958	782271	Montmorillonita/ Illita
M – 07	9202844	782958	Montmorillonita/ Illita
M – 08	9203042	783598	Caolinita/Esmectita
M – 09	9203271	783763	Montmorillonita/ Illita
M – 10	9203521	783495	Caolinita/Esmectita

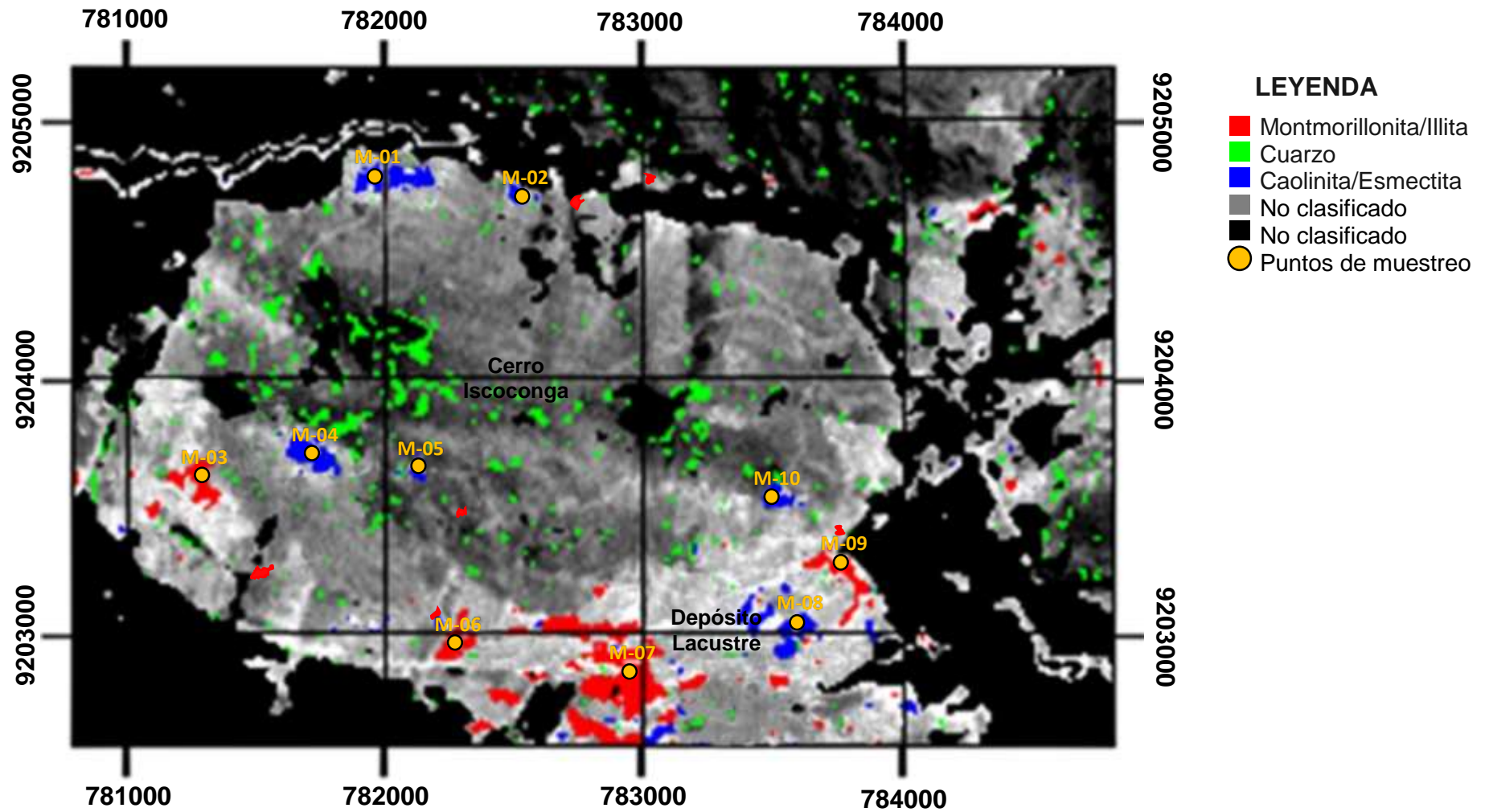


Figura N° 27: Imagen mostrando las diez muestras representativas obtenidas de cada punto de muestreo en el Cerro Iscoconga y en el depósito lacustre según el cartografiado espectral.

A continuación se describirá cada punto de muestreo teniendo en cuenta las características geológicas:

Muestra M – 01 (9204771N, 781958E): Tomada en el flanco derecho del río Cajamarquino en la parte baja del cerro Iscoconga; litoestratigráficamente corresponde a la Formación Carhuaz.

Se trata de arcillas de color blanquecino, untuoso al tacto.



Figura N° 28: Depósito de arcillas en la Formación Carhuaz.



Figura N° 29: Muestra de arcilla de color blanquecino.

Muestra M – 02 (9204688N, 782542E): Tomada en el flanco derecho del río Cajamarquino en la parte baja del cerro Iscoconga, frente al Cerro Callacpuma; litoestratigráficamente corresponde a la Formación Carhuaz.

Se trata de arcillas de color blanquecino con tonalidades amarillentas por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó cuarzo en pequeñas cantidades.



Figura N° 30: Depósito de arcillas en la Formación Carhuaz.



Figura N° 31: Muestra de arcilla de color blanquecino con tonalidades amarillentas.

Muestra M – 03 (9203604N, 781292E): Tomada cerca a la pecuaria Iscoconga; litoestratigráficamente corresponde al depósito lacustre.

Se trata de arcillas de color violáceo con presencia de óxidos de hierro y material orgánico, untuoso al tacto y de aspecto terroso. Presenta alta porosidad y moderada a baja densidad.



Figura N° 32: Arcillas en el depósito Lacustre.



Figura N° 33: Muestra de arcilla de color violáceo, presenta óxidos de hierro y material orgánico.

Muestra M – 04 (9203688N, 781719E): Tomada en la parte baja del cerro Iscoconga cerca a la pecuaria Iscoconga; litoestratigráficamente corresponde a la Formación Inca.

Se trata de arcillas de color blanquecino con tonalidades amarillentas por la presencia de óxidos, untuoso al tacto. Presenta porosidad intermedia.



Figura N° 34: Depósito de arcillas en la Formación Inca.



Figura N° 35: Muestra de arcilla de color blanquecino y tonalidades amarillentas por la presencia de óxidos.

Muestra M – 05 (9203646N, 782135E): Tomada en la parte media del cerro Iscoconga; litoestratigráficamente corresponde a la Formación Inca.

Se trata de arcillas de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó calcita; muestra efervescencia al ácido clorhídrico.



Figura N° 36: Depósito de arcillas en la Formación Inca.



Figura N° 37: Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento.

Muestra M – 06 (9202958N, 782271E): Tomada cerca a la pecuaria Iscoconga y a la margen izquierda de la carretera asfaltada Iscoconga - LLacanora; litoestratigráficamente corresponde al depósito lacustre.

Se trata de arcillas de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto y de aspecto terroso, además se observó cuarzo y material orgánico.



Figura N° 38: Arcillas en el depósito Lacustre.



Figura N° 39: Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento.

Muestra M – 07 (9202844N, 782958E): Tomada a la margen derecha de la carretera asfaltada Iscoconga – Llacanora antes de llegar a la fábrica de concreto Dino; litoestratigráficamente corresponde al depósito lacustre.

Se trata de arcillas de color pardo amarillento con bastante contenido de óxido de hierro y cuarzo, untuoso al tacto y presenta pequeñas laminaciones.

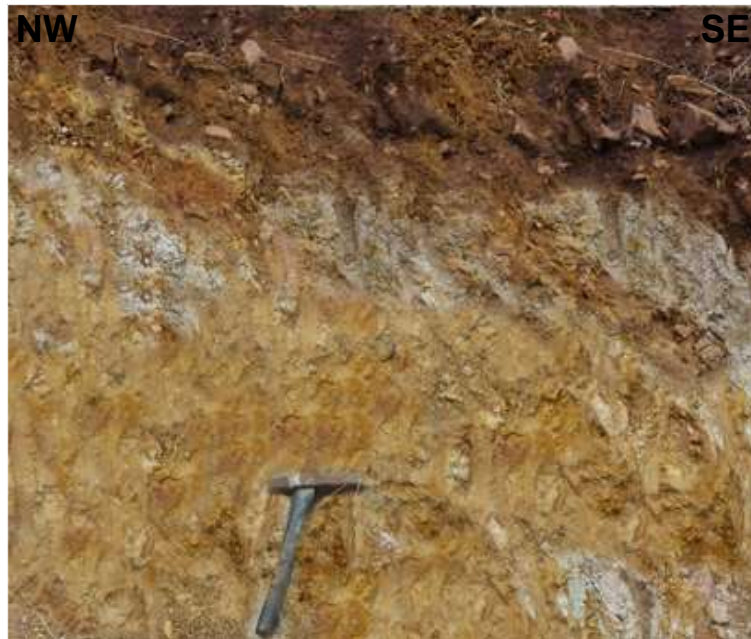


Figura N° 40: Arcillas en el depósito Lacustre.

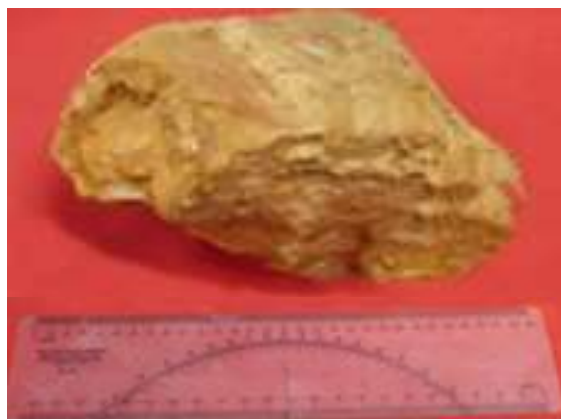


Figura N° 41: Muestra de arcilla de color pardo amarillento con bastante contenido de óxido de hierro.

Muestra M – 08 (9203042N, 783598E): Tomada cerca de la fábrica de concreto Dino, litoestratigráficamente corresponde al depósito lacustre.

Se trata de arcillas de color blanquecino presenta pátinas de oxidación, untuoso al tacto y de aspecto terroso, además se observó cuarzo, calcita y material orgánico, muestra efervescencia al ácido clorhídrico. Presenta porosidad intermedia y moderada a baja densidad.



Figura N° 42: Arcillas en el depósito Lacustre.



Figura N° 43: Muestra de arcilla de color blanquecino con pátinas de oxidación.

Muestra M – 09 (9203271N, 783763E): Tomada a la margen izquierda de la carretera asfaltada Iscoconga – Llacanora pasando la fábrica de concreto Dino; litoestratigráficamente corresponde al depósito lacustre.

Se trata de arcillas de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó calcita, cuarzo y material orgánico, muestra efervescencia al ácido clorhídrico.



Figura N° 44: Arcillas en el depósito Lacustre.



Figura N° 45: Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento.

Muestra M – 10 (9203521N, 783495E): Tomada en la parte baja del cerro Iscocongá frente al cerro Lamoncercá; litoestratigráficamente corresponde a la Formación Inca.

Se trata de arcillas de color blanquecino y con tonalidades amarillentas., untuoso al tacto, además se observó calcita; muestra efervescencia al ácido clorhídrico.



Figura N° 46: Depósito de arcillas en la Formación Inca.



Figura N° 47: Muestra de arcilla de color blanquecino con tonalidades amarillentas.

4.2. ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Las 10 muestras de arcillas obtenidas en campo fueron llevadas al laboratorio de INGECONSULT para que determinen mediante un difractómetro de rayos x Rigaku modelo DMAX 2200 la composición mineralógica de cada arcilla. Este equipo determina el análisis mineralógico cualitativo y semicuantitativo de rocas, arcillas, minerales, sedimentos, arenas, etc. El difractómetro de rayos x recoge los datos de intensidad en función del ángulo de difracción o longitud de onda expresándose como 2θ y obteniendo una serie de picos; cuenta con un software integrado (Software Jade 6.5) el cual realiza la interpretación de los diagramas es decir permite comparar los picos del diagrama de la muestra con los del mineral que se busca, determinando con precisión la mineralogía que posee la muestra. Los minerales encontrados se identifican mediante un código de colores para una mejor visualización.



Figura N° 48: Difractómetro de rayos x Rigaku DMAX 2200.

Antes de colocar las muestras de arcilla en el difractómetro se tuvo que realizar un procedimiento previo:

4.2.1. Preparación de muestras para difracción de rayos X:

- Se secó las 10 muestras en el horno a 90° C por 7 horas.



Figura N° 49: Muestras siendo ingresadas al horno a 90°C.

- Se sacó las muestras del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Las muestras ya secas fueron trituradas y se los pasó por el tamiz # 200 con la finalidad de obtener una granulometría uniforme.



Figura N° 50: Muestra siendo triturada para posteriormente tamizarla.



Figura N° 51: Pasando por el tamiz # 200 a cada una de las muestras.



Figura N° 52: Muestras tamizadas.

- Se pesó las muestras tamizadas en una balanza analítica y se colocó 10 g de cada una de las muestras en el portamuestra.



Figura N° 53: Pesando la muestra tamizada en una balanza analítica.



Figura N° 54: Portamuestra con los 10 g de muestra tamiza.

- Luego el portamuestra se colocó en el difractor para que determine la composición mineralógica de cada una de las muestras de arcilla.

4.2.2. Resultados de Difracción de Rayos X:

Muestra M – 01: Según los resultados del Difractor de Rayos X esta muestra presentó una mayor cantidad de caolinita en un 84.61% observándose en el difractograma de color rojo, así mismo otras arcillas como illita de color fucsia en un 9.03% y en menores proporciones esmectita de color celeste en un 1.67% y montmorillonita de color azul en un 0.54%, además impurezas minerales como el cuarzo de color verde en un 4.15%.

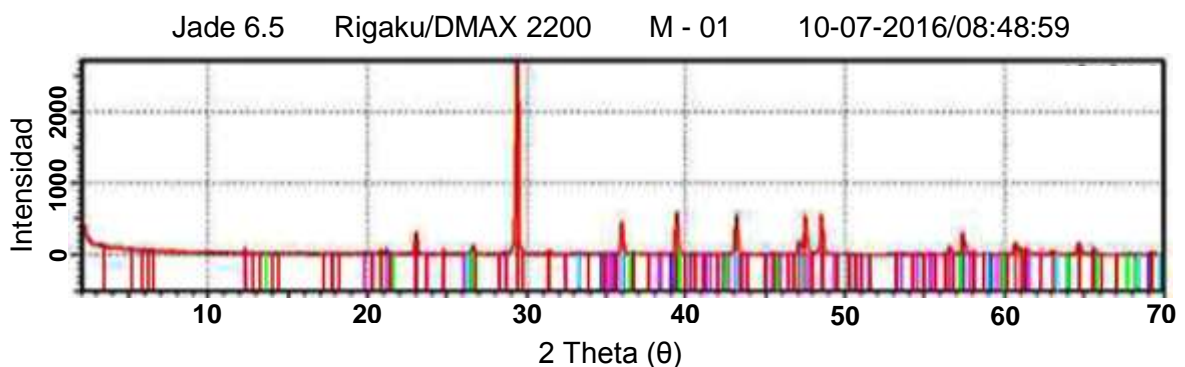


Figura N° 55: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 01.

Cuadro N° 11: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 01.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	84.61
Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	9.03
Cuarzo	SiO_2	4.15
Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	1.67
Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	0.54

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 02: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó caolinita en un 38.26% observándose en el difractograma de color rojo, además impurezas minerales como cuarzo de color verde en un 27.93% y en menor cantidad calcita de color morado en un 0.76%, así como también otras arcillas como esmectita de color celeste en un 16.55%, montmorillonita de color azul en un 9.12% e illita de color fucsia en un 7.38%.

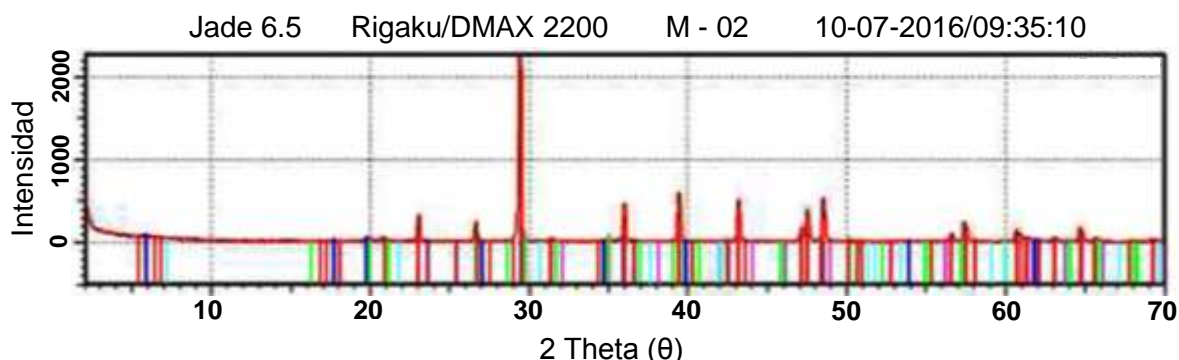


Figura N° 56: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 02.

Cuadro N° 12: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 02.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	38.26
Cuarzo	SiO_2	27.93
Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	16.55
Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	9.12
Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	7.38
Calcita	$CaCO_3$	0.76

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 03: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó montmorillonita en un 31.57% observándose en el difractograma de color azul, además otras arcillas como Illita de color fucsia en un 27.91% y en menor

cantidad caolinita de color rojo en un 0.72%, así como también impurezas minerales como goethita – hematita de color guinda en un 24.09%, cuarzo de color verde en un 13.28% y en menor cantidad calcita de color morado en un 2.43%.

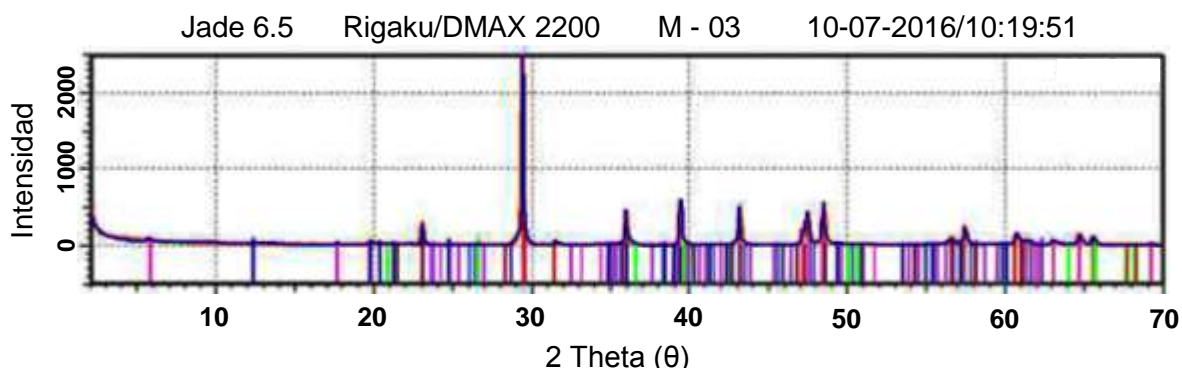


Figura N° 57: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 03.

Cuadro N° 13: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 03.

MINERAL	FÓRMULA	%
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	31.57
Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	27.91
Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	24.09
Cuarzo	SiO_2	13.28
Calcita	CaCO_3	2.43
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0.72

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 04: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó una mayor cantidad de caolinita en un 80.10% observándose en el difractograma de color rojo, illita de color fucsia en un 10.47%, así mismo impurezas minerales como cuarzo de color verde en un 5.29% y calcita de color morado en una 2.83%, y en menor cantidad goethita – hematita de color guinda en un 1.31%.

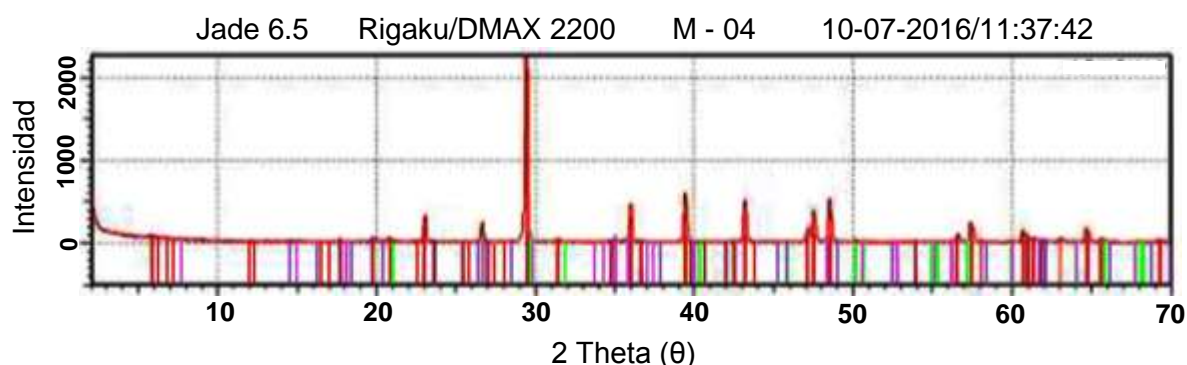


Figura N° 58: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 04.

Cuadro N° 14: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 04.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	80.10
Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_{2,1}(H_2O)]$	10.47
Cuarzo	SiO_2	5.29
Calcita	$CaCO_3$	2.83
Goethita – Hematita	$\alpha-FeO(OH)-Fe_2O_3$	1.31

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 05: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó caolinita en un 47.85% observándose en el difractograma de color rojo, además otras arcillas como montmorillonita de color azul en un 19.62% y en menor cantidad esmectita de color celeste en un 2.55%, así mismo impurezas minerales como calcita de color morado en un 16.11%, goethita – hematita de color guinda en un 10.39% y cuarzo de color verde en un 3.48%.

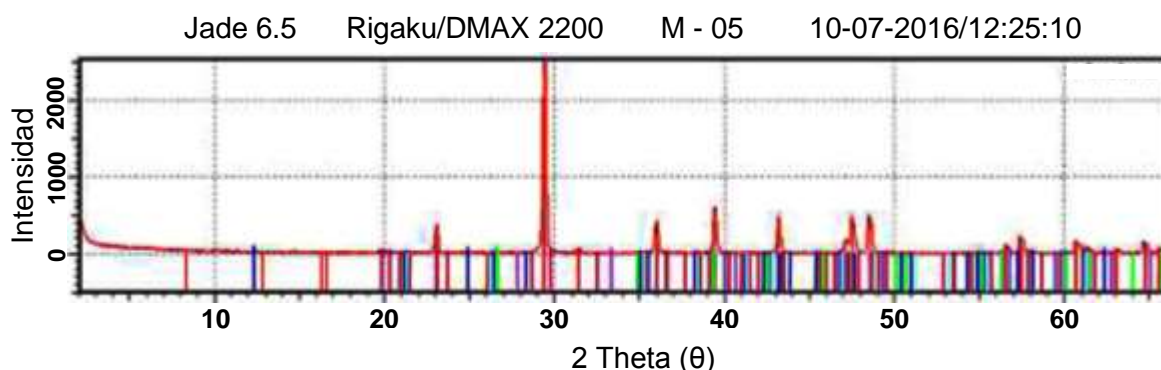


Figura N° 59: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 05.

Cuadro N° 15: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 05.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	47.85
Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_{2,n}H_2O$	19.62
Calcita	$CaCO_3$	16.11
Goethita – Hematita	$\alpha-FeO(OH)-Fe_2O_3$	10.39
Cuarzo	SiO_2	3.48
Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8.12H_2O$	2.55

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 06: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó montmorillonita en un 35.49%, además impurezas minerales como cuarzo de color verde en un 22.12%, goethita – hematita de color guinda en un 17.26% y

en menor cantidad calcita de color morado en un 11.92% y así como también caolinita de color rojo en un 13.21%.

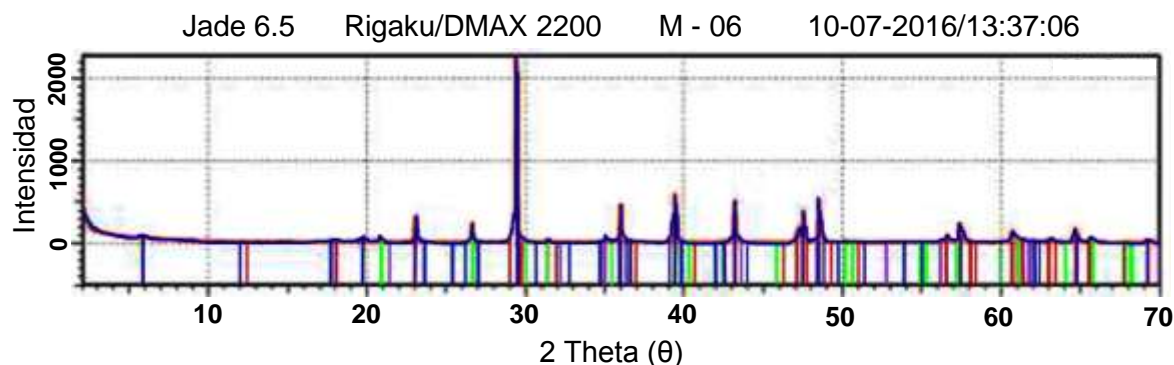


Figura N° 60: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 06.

Cuadro N° 16: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 06.

MINERAL	FÓRMULA	%
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	35.49
Cuarzo	SiO_2	22.12
Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	17.26
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	13.21
Calcita	CaCO_3	11.92

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 07: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó montmorillonita en un 33.91%, además impurezas minerales como goethita – hematita de color guinda en un 31.12%, cuarzo de color verde en un 20.54% y en menor cantidad calcita de color morado en un 4.02% y así como también arcillas como esmectita de color celeste en un 9.18% e illita de color fucsia en un 1.23%.

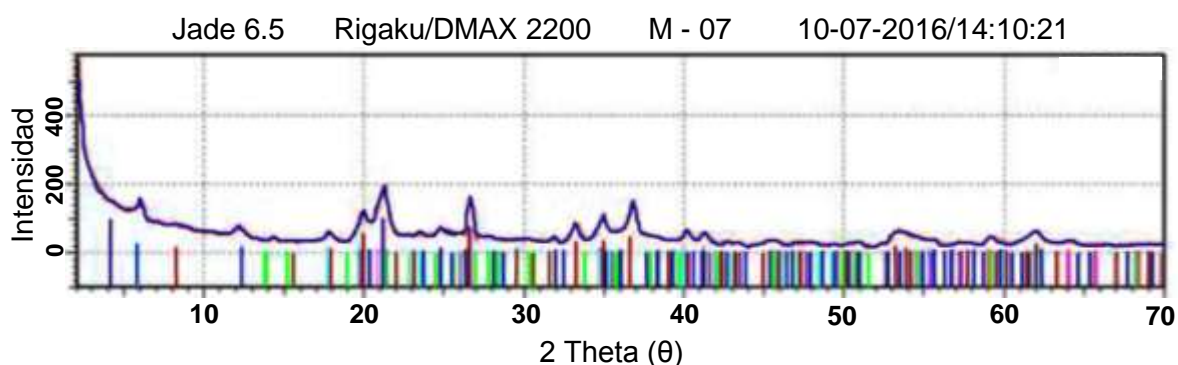


Figura N° 61: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 07.

Cuadro N° 17: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 07.

MINERAL	FÓRMULA	%
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	33.91
Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2\text{O}_3$	31.12
Cuarzo	SiO_2	20.54
Esmectita	$(\text{Al, Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_4(\text{OH})_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	9.18
Calcita	CaCO_3	4.02
Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	1.23

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 08: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó caolinita en un 30.82%, también impurezas minerales como cuarzo de color verde en un 25.10%, calcita de color morado en un 22.54% y goethita – hematita de color guinda en un 13.93%, así como también bajas cantidad de esmectita de color celeste en un 4.47%, illita de color fucsia en un 2.79% y albita de color amarillo en un 0.35%.

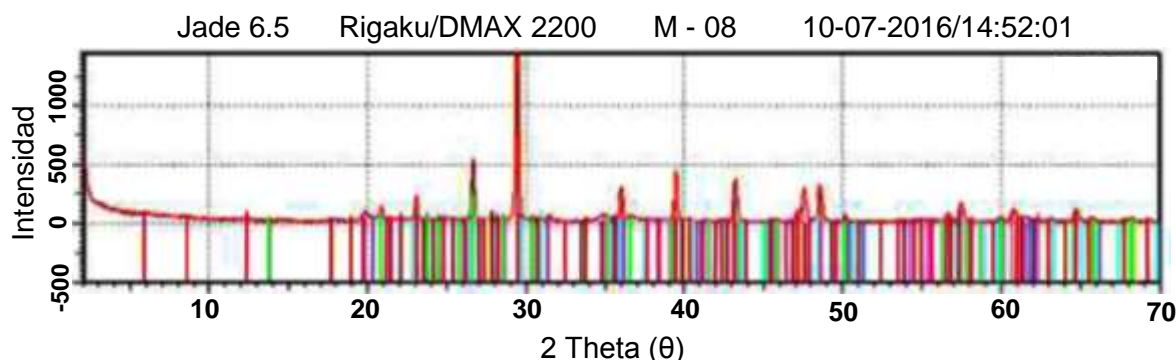


Figura N° 62: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 08.

Cuadro N° 18: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 08.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	30.82
Cuarzo	SiO_2	25.10
Calcita	CaCO_3	22.54
Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2\text{O}_3$	13.93
Esmectita	$(\text{Al, Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_4(\text{OH})_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	4.47
Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	2.79
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0.35

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 09: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó montmorillonita en un 27.47%, además otras arcillas como illita de color

fucsia en un 23.01% y en menor cantidad caolinita de color rojo en un 6.92%, así como también impurezas minerales como cuarzo de color verde en un 19.30%, calcita de color morado en un 14.07% y en bajas cantidades goethita – hematita de color guinda en un 9.23%.

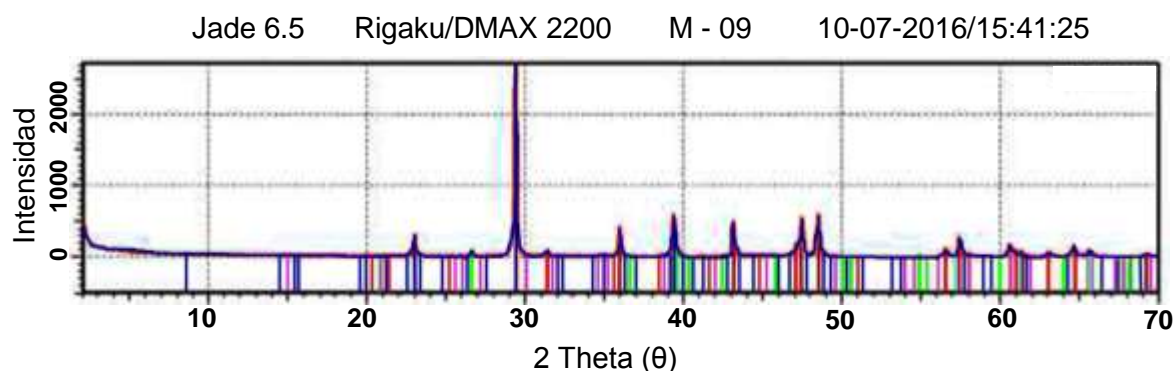


Figura N° 63: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 09.

Cuadro N° 19: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 09.

MINERAL	FÓRMULA	%
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$	27.47
Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	23.01
Cuarzo	SiO_2	19.30
Calcita	CaCO_3	14.07
Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2\text{O}_3$	9.23
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	6.92

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Muestra M – 10: Según los resultados del Difractómetro de Rayos X esta muestra presentó una mayor cantidad de caolinita en un 78.27% observándose en el difractograma de color rojo, también otras arcillas como illita de color fucsia en un 11.56% y en bajas cantidades esmectita de color celeste en un 1.92%, así como también impurezas minerales como calcita de color morado en una 4.07%, cuarzo de color verde en un 3.84% y en menor cantidad goethita – hematita de color guinda en un 0.34%.

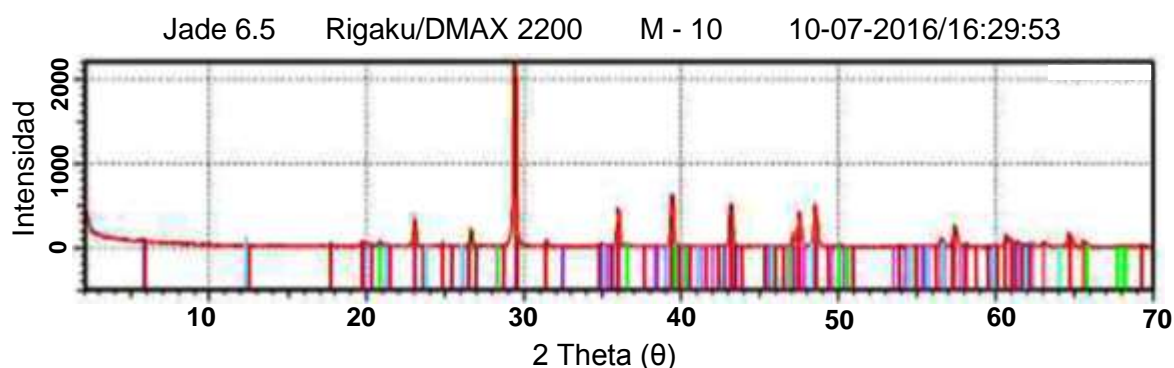


Figura N° 64: Difractograma resultante del análisis por Difracción de Rayos X de la muestra M – 10.

Cuadro N° 20: Porcentajes de difracción semicuantitativo M – 10.

MINERAL	FÓRMULA	%
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	78.27
Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$	11.56
Calcita	CaCO_3	4.07
Cuarzo	SiO_2	3.84
Esmectita	$(\text{Al}, \text{Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_4(\text{OH})_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	1.92
Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	0.34

INGECONSULT & LAB S.R.L., 2016. (A pedido del Tesista)

4.3. FORMACIÓN DE LAS ARCILLAS EN LOS DEPÓSITOS ENCONTRADOS

En la zona de estudio se han encontrado arcillas en las Formaciones Carhuaz e Inca las cuales se originaron debido a que las condiciones climáticas (precipitación y temperatura) conocidas y citadas por Strakhov y el tipo de roca (Lutitas, limolitas y calizas arenosas) fueron favorables para su formación (Zea, 2005).

Esta zona presenta un clima sub húmedo con una temperatura promedio anual de 13.7 °C y la precipitación promedio anual de 698 mm (Climate-data.org, 2014), la precipitación abundante facilitó la lixiviación (lavado del bedrock o roca madre); por lo tanto, en condiciones de humedad y calor la hidrólisis de los minerales silicatados dio lugar a la caolinita, mineral predominante en los depósitos de arcilla investigado. En este caso se formó un manto de alteración debido a que las rocas de esta zona se alteraron y no sufrieron ningún transporte lo cual les otorga mayor pureza, es decir poseen menos óxidos de hierro y residuos orgánicos por lo tanto son de color más claro.

Así mismo se ha encontrado arcillas en los depósitos lacustres las cuales se originaron debido al transporte y la posterior sedimentación de las arcillas primarias. Estas arcillas son las más comunes y presentan una composición más compleja ya que durante el transporte van recogiendo impurezas que les proporcionan un color más oscuro, además también presentan un mayor contenido en materia orgánica.

4.4. CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLAS

4.4.1. Según su origen:

En la zona de estudio existen dos tipos de arcillas según el proceso geológico que las originó y la ubicación del yacimiento en la que se encuentran (Zea, 2005).

Cuadro N° 21: Génesis de las arcillas encontradas.

Génesis	Zonas	Ambiente de Formación	Tipo
Hidrólisis Lixiviación	Húmedas	Formados muy próximos a la roca madre de la que proceden por meteorización ordinaria de rocas sedimentarias.	Arcillas residuales o primarias
		Formados en ambientes de sedimentación muy diferentes: aluviales, glaciares, estuarios, lacustres o marinos debido al transporte que han sufrido después de su formación.	Arcillas de sedimentación o secundarias

4.4.2. Según su clasificación industrial:

La clasificación industrial de los depósitos de arcillas se basa en el análisis de minerales de arcillas presentes en cada depósito. Pero no solo los minerales relacionados a las arcillas como son las caolinitas, illitas, esmectitas o montmorillonitas, sino también a los distintos minerales que acompañan a dicho depósito y que en combinación con los minerales de arcillas se le puede dar una utilización industrial adecuada. Es por ello que la clasificación industrial es la más idónea para ordenar, separar y describir los distintos depósitos encontrados.

Según los análisis de Difracción de Rayos X solo tres muestras fueron óptimas para su clasificación industrial, clasificándolas como arcillas caoliníticas de acuerdo al mayor porcentaje de caolinita y bajos porcentajes de illita y cuarzo además de calcita, esmectita y montmorillonita, minerales que están presentes en la zona de investigación. Los minerales como la caolinita, illita y cuarzo son proporcionales a los rangos establecidos por (Díaz y Zedano, 2006) para que sean aptas para un aprovechamiento industrial.

Por lo tanto mediante el análisis de Difracción de Rayos X y según lo establecido por (Díaz y Zedano, 2006) se hizo la clasificación industrial de los depósitos de arcillas.

Cuadro N° 22: Clasificación Industrial de los Depósitos de Arcillas.

CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL				
ZONA	MUESTRA	ARCILLAS PRINCIPALES	MINERALES SECUNDARIOS	CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL
Zona I	M – 01	Caolinita	Cuarzo	Arcillas Caoliníticas
		Illita	Montmorillonita	
		Esmectita	-----	
Zona II	M – 04	Caolinita	Calcita	Arcillas Caoliníticas
		Illita	Cuarzo	
		-----	Goethita - Hematita	
Zona III	M – 10	Caolinita	Cuarzo	Arcillas Caoliníticas
		Illita	Calcita	
		Esmectita	Goethita – Hematita	

Estas arcillas caoliníticas por su composición mineralógica y sus propiedades específicas son óptimas para elaborar porcelana, y como carga industrial en papel, pinturas, barnices, plásticos, caucho (Díaz y Zedano, 2006).

4.5. CÁLCULO DE RESERVAS PROBABLES

Para el cálculo de reservas se ha utilizado el software Autocad Civil 3D 2016, el cual ha permitido hacer un modelamiento geológico superficial, basado en la interpolación o triangulación de puntos tomados en campo, que contengan una Latitud, Longitud y altura sobre el nivel del mar.

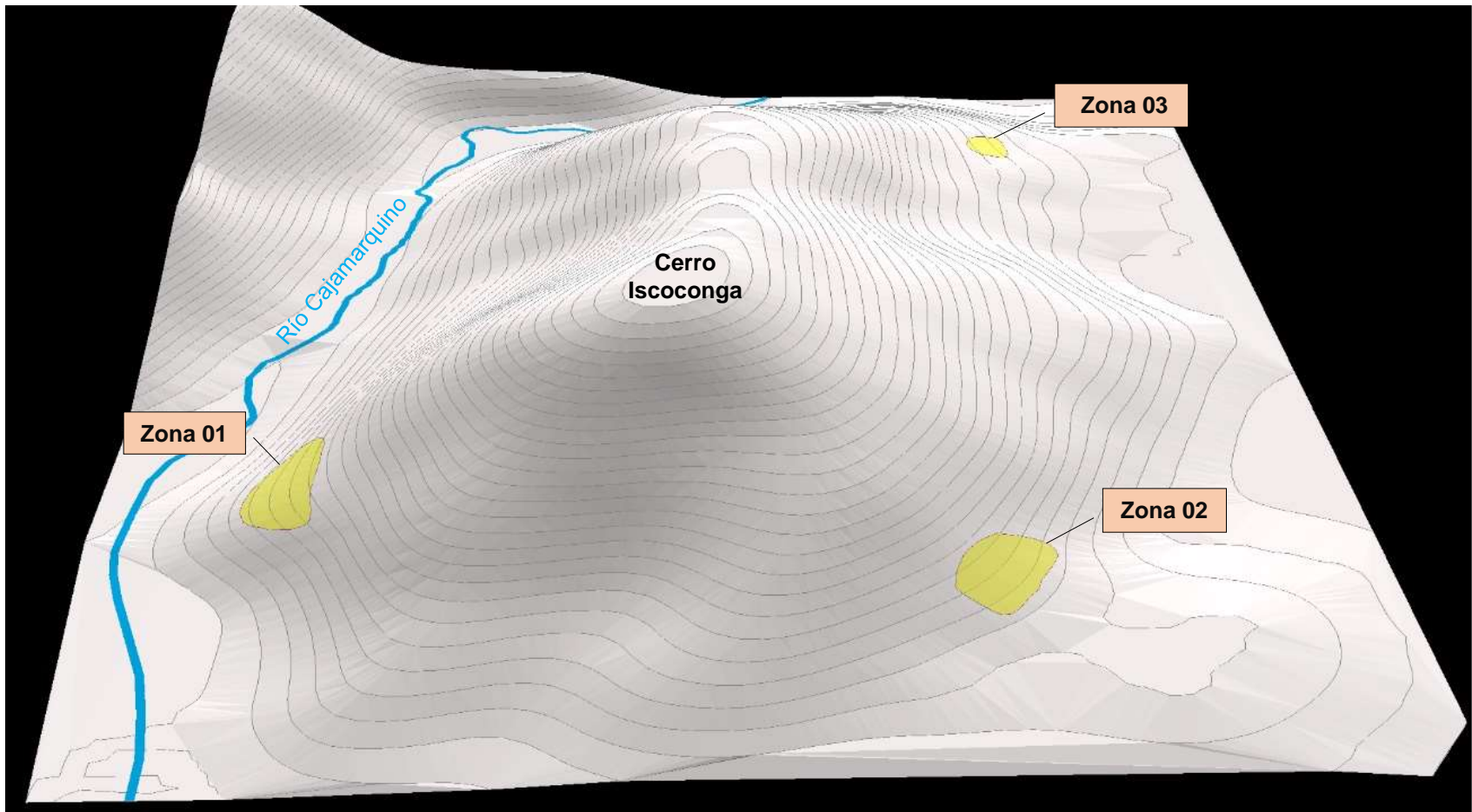


Figura N° 65: Imagen mostrando el modelamiento superficial de las tres zonas de interés en el Cerro Iscoconga de acuerdo a los análisis de Teledetección y Difracción de Rayos X.

Después de realizar el modelamiento superficial el software calculó el volumen de las tres zonas de interés identificadas por los análisis de Teledetección y en donde la calidad de los depósitos de arcillas ha sido buena (según los resultados de Difracción de Rayos X), luego se determinó la densidad y después mediante un cálculo matemático se ha determinado el tonelaje de reservas probables de estas arcillas. A continuación se muestra el método matemático a utilizar:

$$T = (V \times \rho)$$

Donde:

T : Toneladas métricas de reservas. (TM)

V : Volumen del depósito. (Cubicación en Autocad Civil 3D 2016). (m³)

ρ : Densidad del mineral (T/m³)

4.5.1. Cálculo del volumen:

Mediante el software Autocad Civil 3D 2016, se realizó el cálculo del volumen de las tres zonas de interés (M - 01, M - 04 y M - 10) las cuales fueron favorables en cuanto a una óptima concentración de arcillas (caolinita e illita) y minerales accesorios pero necesarios (cuarzo, calcita). El software mencionado necesitó de coordenadas además de altitudes con respecto al nivel del mar. De acuerdo a ello se tomó distintos puntos en las zonas donde se hizo el muestreo. Estos puntos permitieron saber las altitudes de corte (puntos límites de cada depósito) requeridas para el cálculo del volumen (cubicación).

Cuadro N° 23: Volumen de los depósitos de Arcillas.

ZONA I	MUESTRA	M – 01		ELEV. MÁX.	2695 msnm
	COORDENADAS	N	9204771	ELEV. MÍN.	2686 msnm
		E	781958	ELEV. CUT	2692 msnm
	VOLUMEN				74,605.02 m³
ZONA II	MUESTRA	M – 04		ELEV. MÁX.	2708 msnm
	COORDENADAS	N	9203688	ELEV. MÍN.	2700 msnm
		E	781719	ELEV. CUT	2705 msnm
	VOLUMEN				62,639.42 m³
ZONA III	MUESTRA	M – 10		ELEV. MÁX.	2683 msnm
	COORDENADAS	N	9203521	ELEV. MÍN.	2674 msnm
		E	783495	ELEV. CUT	2680 msnm
	VOLUMEN				26,362.39 m³

4.5.2. Cálculo de la densidad:

Se determinó la densidad de tres muestras representativas (M - 01, M - 04 y M - 10) las cuales presentaron un alto porcentaje de arcillas caoliníticas. En el Laboratorio de Física, Química y Biología de la Universidad Nacional de Cajamarca se calculó la densidad de estas arcillas de la siguiente manera:

- Se tomó 45g. de cada muestra de arcilla y se colocó en el horno a una temperatura de 110°C por 5 horas.



Figura N° 66: Colocando las muestras en el horno a 110°C para obtener muestras secas.

- Se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente y luego se pesó cada muestra en una balanza analítica.



Figura N° 67: Pesando cada una de las muestras de arcilla en una balanza analítica. Se observa que los pesos son diferentes debido al contenido de humedad que presenta cada muestra.

$$m_1 = 25.474g$$

$$m_4 = 35.215g$$

$$m_{10} = 41.899g$$

- Se llenó cada vaso de precipitación con agua destilada (unos 100ml) y se anotó el volumen. (V1)

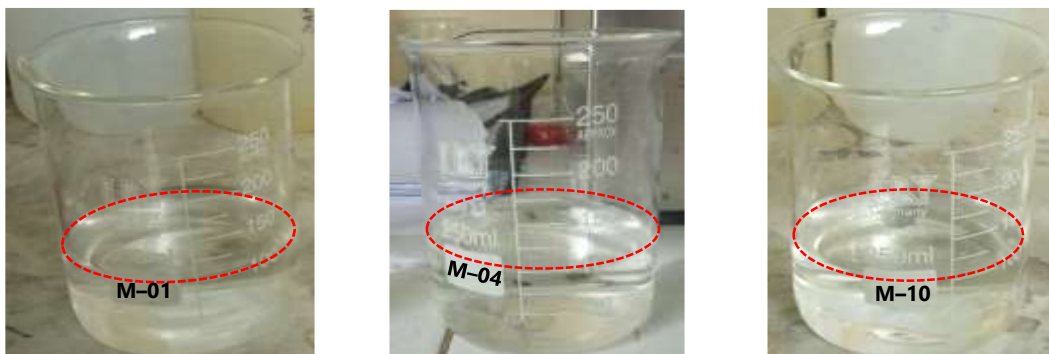


Figura N° 68: Vasos de precipitación con 100 ml de agua destilada.

Anotamos el volumen el cual va ser el mismo para todas las muestras.

$$V1 = 100ml (cm^3)$$

- Se agregó las tres muestras de arcilla a cada vaso de precipitación y se anotó el nuevo volumen (V_2); luego se observó que el nivel de agua aumenta al agregar estas muestras por lo tanto esa diferencia de niveles será el volumen de las arcillas el cual necesitamos para calcular la densidad. Este método de inmersión se utiliza generalmente para determinar el volumen de objetos con forma irregular.

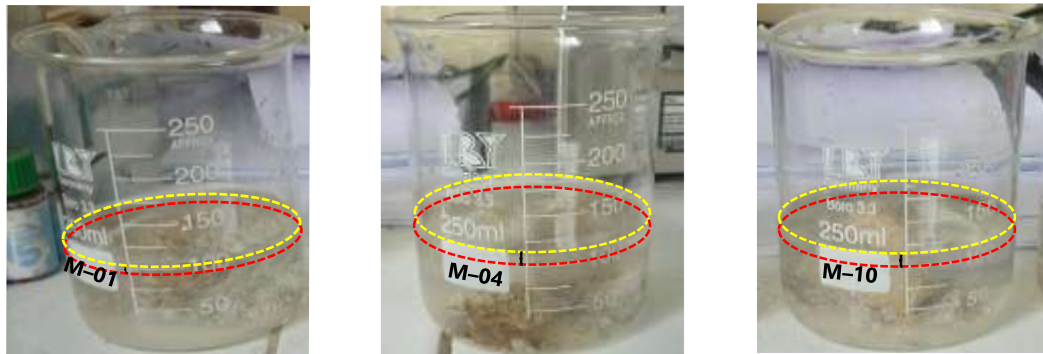


Figura N° 69: El nivel de agua aumenta en cada vaso de precipitación al agregar las muestras de arcilla.

- Se calculó el volumen de cada muestra de arcilla con la siguiente fórmula:

$$V = V_2 - V_1$$

Muestra 01:

$$V_1 = 100\text{ml}$$

$$V_2 = 110\text{ml}$$

$$V_{m1} = ?$$

$$V_{m1} = V_2 - V_1$$

$$V_{m1} = 110\text{ml} - 100\text{ml}$$

$$V_{m1} = 10\text{ml}(\text{cm}^3)$$

Muestra 04:

$$V_1 = 100\text{ml}$$

$$V_2 = 115\text{ml}$$

$$V_{m4} = ?$$

$$V_{m4} = V_2 - V_1$$

$$V_{m4} = 115\text{ml} - 100\text{ml}$$

$$V_{m4} = 15\text{ml}(\text{cm}^3)$$

Muestra 10:

$$V_1 = 100\text{ml}$$

$$V_2 = 117\text{ml}$$

$$V_{m10} = ?$$

$$V_{m10} = V_2 - V_1$$

$$V_{m10} = 117\text{ml} - 100\text{ml}$$

$$V_{m10} = 17\text{ml}(\text{cm}^3)$$

- Finalmente se calculó la densidad de cada muestra de arcilla con la siguiente fórmula:

$$\rho = m/V$$

Muestra 01:

$$m_1 = 25.474g$$

$$V_{m1} = 10ml(cm^3)$$

$$\rho_{m1} = ?$$

$$\rho_{m1} = m_1/V_{m1}$$

$$\rho_{m1} = 25.474g/10cm^3$$

$$\rho_{m1} = 2.547g/cm^3(T/m^3)$$

Muestra 04:

$$m_4 = 35.215g$$

$$V_{m4} = 15ml(cm^3)$$

$$\rho_{m4} = ?$$

$$\rho_{m4} = m_4/V_{m4}$$

$$\rho_{m4} = 35.215g/15cm^3$$

$$\rho_{m4} = 2.348g/cm^3(T/m^3)$$

Muestra 10:

$$m_{10} = 41.899g$$

$$V_{m10} = 17ml(cm^3)$$

$$\rho_{m10} = ?$$

$$\rho_{m10} = m_{10}/V_{m10}$$

$$\rho_{m10} = 41.899g/17cm^3$$

$$\rho_{m10} = 2.465g/cm^3(T/m^3)$$

Cuadro N° 24: Densidad de los depósitos de Arcillas.

ZONA	MUESTRA	DENSIDAD (T/m ³)
Zona I	M – 01	2.547
Zona II	M – 04	2.348
Zona III	M – 10	2.465

4.5.3. Cálculo del Tonelaje:

Se determinó el tonelaje de las tres zonas de interés y se utilizó el siguiente cálculo matemático:

$$T = (V \times \rho)$$

Se obtiene el siguiente cuadro:

Cuadro N° 25: Tonelaje de los depósitos de Arcillas.

ZONA	VOLUMEN (m³)	DENSIDAD (T/m³)	TONELAJE (T.M.)
Zona I	74,605.02	2.547	190,018.986
Zona II	62,639.42	2.348	147,077.358
Zona III	26,362.39	2.465	64,983.291
	VOLUMEN TOTAL (m³)	DENSIDAD MEDIA (T/m³)	TONELAJE TOTAL (T.M.)
	163,606.83	2.453	401,327.554

Finalmente se obtuvo un tonelaje total de 401,327.554 T.M. de arcillas caoliníticas en nuestra zona de investigación lo que cubriría un alto índice de porcentaje para la producción regional y nacional. Se debe tener en cuenta que este tonelaje se hallado en base a potencias inferidas en el campo. Estas potencias pueden aumentar según se vaya explotando y de esta manera aumentar la producción, pero dependerá de la extracción viable económica.

Hasta el año 2005, según la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas la evolución del consumo de Arcillas Caoliníticas en el Perú fue de 19, 404 toneladas métricas por lo tanto si nos referimos a que esta estimación está en base a datos de mercado de todo el Perú podríamos decir que los depósitos investigados aumentarían la demanda del consumo de Arcillas Caoliníticas del mercado actual.

4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.6.1. General:

Las arcillas presentes en el distrito de Llacanora se encuentran en gran cantidad ya que el tonelaje total es de 401,327.554 T.M. lo que cubriría un alto índice de porcentaje para la producción regional además se pudo comprobar que la calidad de las arcillas en los depósitos son óptimas debido a que su composición mineralógica halladas con el Difractometro de rayos X cumplen con los porcentajes establecidos por (Díaz y Zedano, 2006) para ser consideradas arcillas industriales. Por lo tanto estas arcillas constituyen las reservas probables más importantes para un aprovechamiento industrial a futuro.

4.6.2. Específica:

Se corrobora que las arcillas presentes en el distrito de Llacanora se han originado por meteorización, específicamente hidrólisis y lixiviación de rocas preexistentes, las cuales afloran en las Formaciones Carhuaz e Inca perteneciente al período Cretácico Inferior además también se encontró arcillas en los depósitos lacustres pertenecientes al período cuaternario.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El análisis de la imagen landsat 7 por el método de desmezcla lineal del espectro y el cartografiado espectral me ha permitido identificar aquellas zonas con presencia de depósitos de arcillas.

Según las características geológicas los depósitos de arcillas se encuentran en las Formaciones Carhuaz e Inca pertenecientes al período Cretácico Inferior, así mismo en los depósitos lacustres pertenecientes al período cuaternario reciente.

Las arcillas se originaron por meteorización, específicamente hidrólisis y lixiviación debido a que las condiciones climáticas (precipitación y temperatura) y el tipo de roca (Lutitas, limolitas y calizas arenosas) fueron favorables para su formación.

La composición mineralógica de las diez muestras de arcillas fueron analizados por Difracción de Rayos X y solo tres muestras (M-01, M-04 y M-10) tuvieron el mejor rango de porcentaje para su clasificación industrial, clasificándolas como arcillas caoliníticas según (Díaz y Zedano, 2006).

El tonelaje total calculado fue de 401,327.554 T.M. y representa la estimación de reservas probables.

5.2. RECOMENDACIONES

Continuar con estudios de cálculo de reservas mediante otros métodos, con la finalidad de ampliar y prolongar el tiempo de explotación de canteras de arcillas.

Realizar una evaluación económica de los depósitos de arcillas.

Hacer estudios de geología ambiental para determinar el grado de impacto que puede producir una futura explotación de canteras de arcillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara G. (2011). Geomorfología Departamento de Cajamarca. ES 47p.
- Alda F. (2014). Meteorización y Edafogénesis, Febrero 2014.
- Aliaga S. (2011). Sub modelo de valor productivo de los recursos no metálicos para el departamento de Cajamarca.
- Armenta y Ledezma (1995). Técnicas de Procesamiento e Imágenes en la Exploración de Yacimientos Minerales. Instituto de Geofísica y Posgrado en Geofísica UACP y P, UNAM. Servicio de Publicaciones. Universidad México.
- Bosse. H (1989). Reconocimiento y Evaluación Preliminar de Minerales Industriales, Rocas y Tierras en los Departamentos de la Libertad y Cajamarca.
- Boulangger E. y Zedano J. (1993). Evaluación de Arcillas Caoliníticas en el Norte del Perú.
- Brindley y Brown (1980). Crystal Structures of Clay Minerals and their X – Ray Identification. Mineralogical Society, London, cap.5.
- Casanova E. (1996). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, p 380.
- Castro R. (1999). Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección (TeleSAT). Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Chuvieco E. (1990). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, Abril 1990.
- Díaz A. y Ramírez J. (2009). Compendio de Rocas y Minerales Industriales del Perú.

- Díaz A. y Zedano J. (2006). Caracterización de las Arcillas en el Perú: Mercados y perspectivas.
- Díaz L. y Torrecillas R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 41, Núm. 5, Septiembre – Octubre 2002, p. 459 - 470.
- Gálvez, E. (2013), Tesis: “Estimación del Potencial de Reservas de Yacimientos no Metálicos en Arcillas del Distrito de Namora, Cajamarca- Perú”
- Gonzales K. (2011). Aplicación de la teledetección en la exploración geológica y de recursos minerales. INGEMMET, IS-GEO KIGAM, Diciembre 2011.
- Strakhov (1967). Diagrama de los distintos mantos de alteración para áreas no tectónicas o tectónicamente inactivas de norte a sur en la zona ecuatorial.
- Zea N. (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, noviembre 2005, p. 15 – 47.

ANEXOS

A. FOTOS



Figura N° 70: Areniscas con tonalidades rojizas intercaladas con lutita grises y limolitas además se observa la presencia de depósitos de arcillas en la Formación Carhuaz. (Norte: 9204694, Este: 781415)



Figura N° 71: Depósitos de arcillas en la Formación Inca ubicados en el cerro Isoconga cerca a la pecuaria Isoconga. (Norte: 9203614, Este: 781770)



Figura N° 72: Calizas arenosas muestran efervescencia con ácido clorhídrico en la Formación Inca. (Norte: 9203819, Este: 781617)





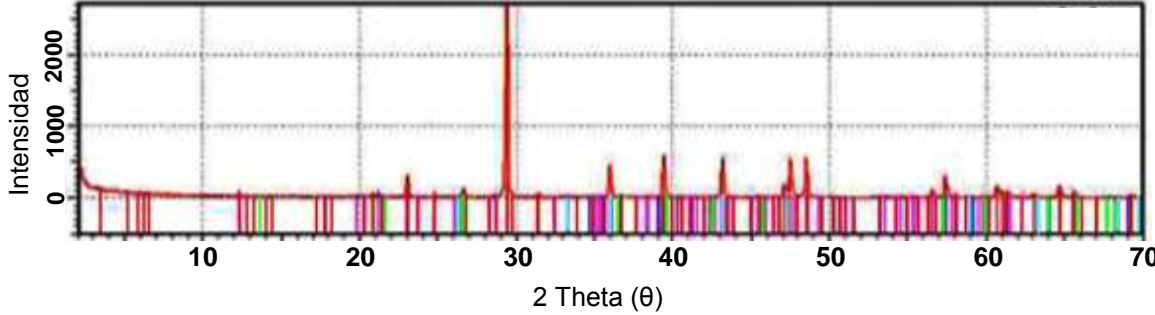
Figura N° 73: Pelecípodos en estratos de la Formación Inca. (Norte: 9203693, Este: 781714)



Figura N° 74: Imagen del Google Earth mostrando las tres zonas de interés en el Cerro Iscoconga.

**B. RESULTADOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X –
INGECONSULT & LAB**

Cuadro N° 26: Análisis de difracción de rayos x M – 01

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 01		N	E
	15 – g	9204771	781958
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino, untuoso al tacto.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p>Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 01 10-07-2016/08:48:59</p> 			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	84.61
COD 9001030 —	Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	9.03
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	4.15
COD 9003882 —	Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	1.67
COD 9002779 —	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	0.54

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 27: Análisis de difracción de rayos x M – 02

	DIFRACCIÓN DE RAYOS X		
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 02			N
	15 – g	9204688	782542
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino con tonalidades amarillentas por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó cuarzo en pequeñas cantidades.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p>Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 02 10-07-2016/09:35:10</p>			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	38.26
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	27.93
COD 9003882 —	Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	16.55
COD 9002779 —	Montmorillonita	$(Na, Ca)_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	9.12
COD 9001030 —	Illita	$(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2, (H_2O)]$	7.38
COD 9000775 —	Calcita	$CaCO_3$	0.76



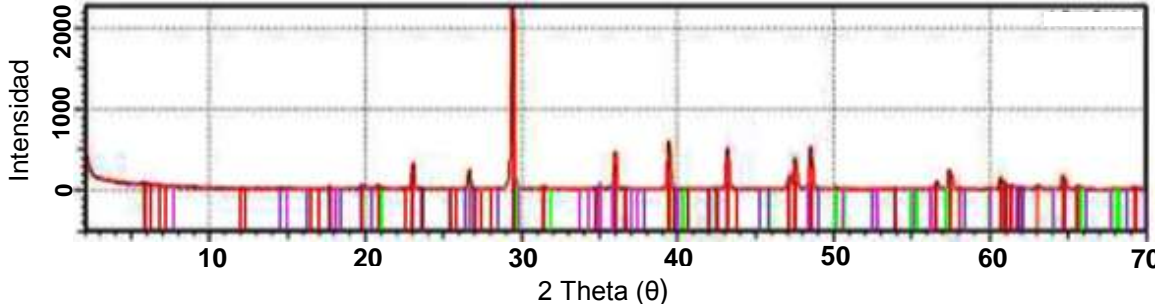
INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 28: Análisis de difracción de rayos x M – 03

	DIFRACCIÓN DE RAYOS X		
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 03		15 – g	N 9203604
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color violáceo con presencia de óxidos de hierro y material orgánico, untuoso al tacto y de aspecto terroso. Presenta alta porosidad y moderada a baja densidad.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 03 10-07-2016/10:19:51			
			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 9002779 —	Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	31.57
COD 9001030 —	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	27.91
COD 1101192 —	Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2\text{O}_3$	24.09
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	13.28
COD 9000775 —	Calcita	CaCO_3	2.43
COD 1101029 —	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0.72



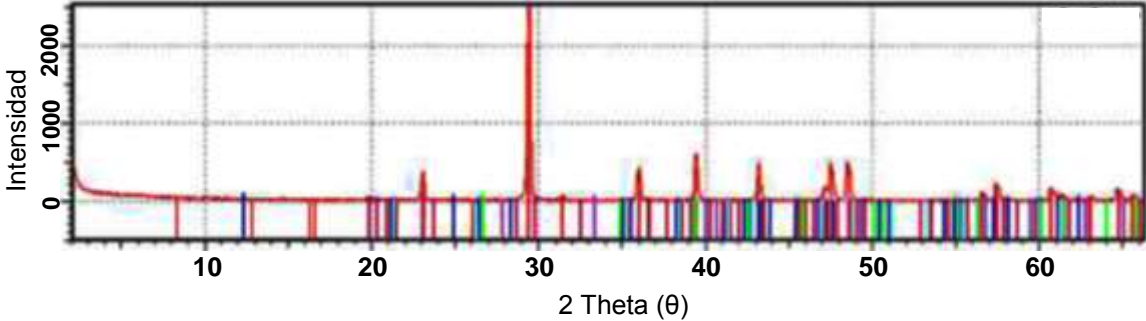
INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 29: Análisis de difracción de rayos x M – 04

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 04		15 – g	N 9203688
Descripción de la muestra		Fotografía	
Muestra de arcilla de color blanquecino con tonalidades amarillentas por la presencia de óxidos, untuoso al tacto. Presenta porosidad intermedia.			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p style="text-align: center;">Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 04 10-07-2016/11:37:42</p>  <p style="text-align: center;">Intensidad</p> <p style="text-align: center;">2 Theta (θ)</p>			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	80.10
COD 9001030 —	Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	10.47
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	5.29
COD 9000775 —	Calcita	$CaCO_3$	2.83
COD 1101192 —	Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2O_3$	1.31



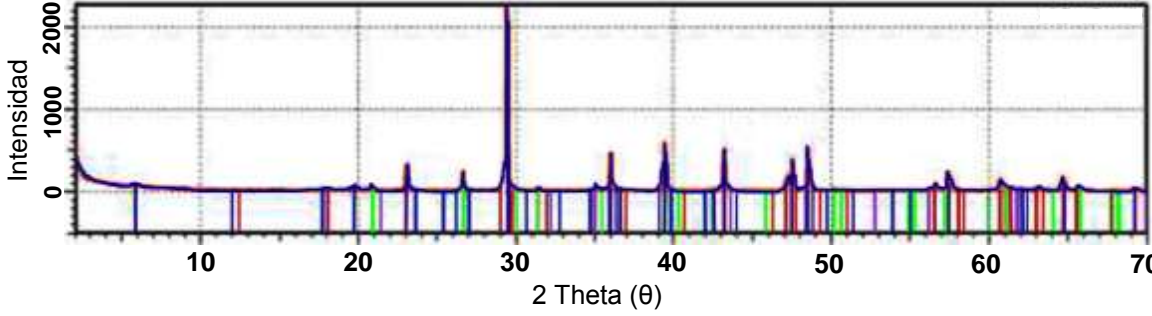
INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 30: Análisis de difracción de rayos x M – 05

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 05	15 – g	N 9203646	E 782135
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó calcita; muestra efervescencia al ácido clorhídrico.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p>Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 05 10-07-2016/12:25:10</p> 			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	47.85
COD 9002779 —	Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	19.62
COD 9000775 —	Calcita	$CaCO_3$	16.11
COD 1101192 —	Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2O_3$	10.39
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	3.48
COD 9003882 —	Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	2.55



INGECONSULT & LAB S.R.L., 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 31: Análisis de difracción de rayos x M – 06

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 06	15 – g	N 9202958	E 782271
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto y de aspecto terroso, además se observó cuarzo y material orgánico.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 06 10-07-2016/13:37:06			
			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 9002779 —	Montmorillonita	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	35.49
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	22.12
COD 1101192 —	Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	17.26
COD 1101029 —	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	13.21
COD 9000775 —	Calcita	CaCO_3	11.92

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 32: Análisis de difracción de rayos x M – 07

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 07		15 – g	N 9202844
Descripción de la muestra		Fotografía	
Muestra de arcilla de color pardo amarillento con bastante contenido de óxidos de hierro y cuarzo, untuoso al tacto y presenta pequeñas laminaciones.			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 07 10-07-2016/14:10:21			
			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 9002779 ———	Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	33.91
COD 1101192 ———	Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	31.12
COD 9009685 ———	Cuarzo	SiO_2	20.54
COD 9003882 ———	Esmectita	$(\text{Al, Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_4(\text{OH})_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	9.18
COD 9000775 ———	Calcita	CaCO_3	4.02
COD 9001030 ———	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	1.23



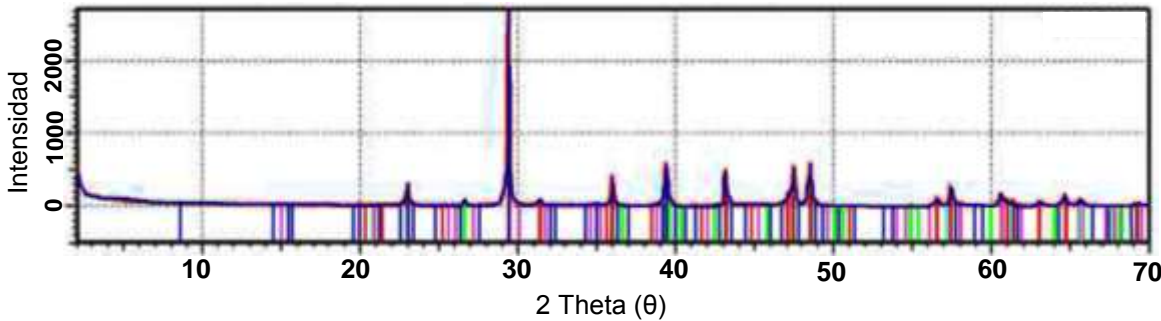
INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 33: Análisis de difracción de rayos x M – 08

	DIFRACCIÓN DE RAYOS X		
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 08		15 – g	N 9203042
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino presenta pátinas de oxidación, untuoso al tacto y de aspecto terroso, además se observó cuarzo, calcita y material orgánico, muestra efervescencia al ácido clorhídrico. Presenta porosidad intermedia y moderada a baja densidad.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p>Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 08 10-07-2016/14:52:01</p>			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	30.82
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	25.10
COD 9000775 —	Calcita	$CaCO_3$	22.54
COD 1101192 —	Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2O_3$	13.93
COD 9003882 —	Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	4.47
COD 9001030 —	Illita	$(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2, (H_2O)]$	2.79
COD 1011045 —	Albita	$NaAlSi_3O_8$	0.35



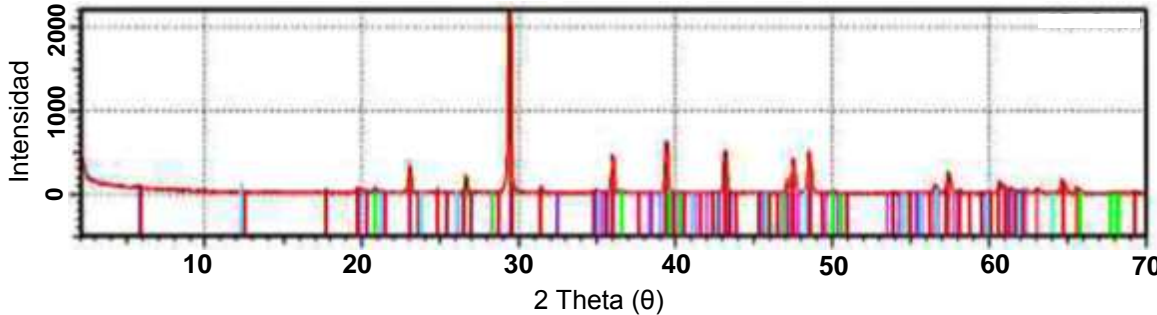
INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 34: Análisis de difracción de rayos x M – 09

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 09		15 – g	N 9203271
Descripción de la muestra		Fotografía	
Muestra de arcilla de color blanquecino y pardo amarillento por la presencia de óxidos, untuoso al tacto, además se observó calcita, cuarzo y material orgánico, muestra efervescencia al ácido clorhídrico.			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p style="text-align: center;">Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 09 10-07-2016/15:41:25</p> 			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
—	Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	27.47
—	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	23.01
—	Cuarzo	SiO_2	19.30
—	Calcita	CaCO_3	14.07
—	Goethita – Hematita	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})\text{-Fe}_2\text{O}_3$	9.23
—	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	6.92

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

Cuadro N° 35: Análisis de difracción de rayos x M – 10

		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	
MUESTRA	UBICACIÓN		
	CUADRÁNGULO	COORDENADAS	
M – 10		15 – g	N 9203521
Descripción de la muestra		Fotografía	
<p>Muestra de arcilla de color blanquecino con tonalidades amarillentas, untuoso al tacto, además se observó calcita; muestra efervescencia al ácido clorhídrico.</p>			
DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de minerales por código de colores			
<p>Jade 6.5 Rigaku/DMAX 2200 M - 10 10-07-2016/16:29:53</p> 			
PORCENTAJE DE DIFRACCIÓN SEMICUANTITATIVO			
CÓDIGO DE COLORES	MINERAL	FÓRMULA	%
COD 1101029 —	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	78.27
COD 9001030 —	Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	11.56
COD 9000775 —	Calcita	$CaCO_3$	4.07
COD 9009685 —	Cuarzo	SiO_2	3.84
COD 9003882 —	Esmectita	$(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_4(OH)_8 \cdot 12H_2O$	1.92
COD 1101192 —	Goethita - Hematita	$\alpha\text{-FeO(OH)-Fe}_2O_3$	0.34

INGECONSULT & LAB S.R.L, 2016. (A pedido del Tesista)

C. PLANOS