

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE
ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. Carmona Cusquisibán José David

ASESOR:

MCs-Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

CAJAMARCA - PERÚ

2023

AGRADECIMIENTO

Primero y, antes que nada, dar gracias a las personas que están conmigo en cada paso que doy y por consiguiente dar gracias a los docentes de la EAPIG de mi Alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca, por fortalecer mis conocimientos y así formarme un buen profesional y lograr mis objetivos. También a mi asesor MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana que, con su constante apoyo, atendiendo mis inquietudes y guiándome; hicieron posible la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicado a mis padres: Marcelino Carmona y Juana Cusquisibán; a mi hermana Betty; que constituyen la fuerza y razón que me impulsan a seguir adelante para hacer realidad mis objetivos trazados, y con sus consejos me han hecho crecer como persona. También a todos mis docentes que son los que me han brindado sus conocimientos hasta ahora y me han hecho llegar hasta donde estoy.

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes Teóricos.....	4
2.1 Antecedente Internacionales.....	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.3 Antecedentes Locales.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	6
2.2.1 Definición de Arcillas.....	6
2.2.2 Origen de las Arcillas.....	7
2.2.3 Estructura de las Arcillas.....	9
2.2.4 Propiedades de las Arcillas.....	12
2.2.4.1 Acción del calor sobre las arcillas.....	12
2.2.4.2 Color de las arcillas.....	13
2.2.4.3 Cambios termoquímicos.....	14
2.2.5 Clasificación de las Arcillas.....	15
2.2.5.1 Según su Origen.....	15
2.2.5.2 Según su clasificación Industrial.....	19
2.2.6 Uso Industrial de las Arcillas.....	22
2.2.7 Ensayos de Fluorescencia de Rayos X para las Arcillas.....	24
2.2.8 Ensayos de Difracción de Rayos X para las Arcillas.....	27
2.2.9 Evaluación Geológica.....	28
2.2.10 Minería no Metálica.....	28
2.2.11 Métodos para la estimación de Reservas.....	29
2.2.11.1 Método de los Perfiles o Cortes.....	30

	Pág.
2.2.11.2 Cálculo de Área por el Método de Perfiles	31
2.2.11.3 Cálculo de Volumen por el Método de Perfiles	33
2.3 Definición de Términos Básicos	35
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Ubicación De La Investigación	36
3.1.1 Geográfica	36
3.1.2 Política.....	38
3.1.3 Accesibilidad.....	38
3.1.4 Clima	40
3.1.5 Vegetación.....	41
3.2 Metodología de la Investigación	42
3.2.1 Tipo, nivel, diseño y método de la Investigación.....	42
3.2.2 Población de Estudio	43
3.2.3 Muestra.....	43
3.2.4 Unidad de Análisis	43
3.3 Procedimientos.....	43
3.3.1 Pre Campo	43
3.3.2 Campo (In Situ)	43
3.3.3 Post Campo.....	44
3.4 Instrumento y Equipos	44
3.5 Geomorfología.....	45
3.5.1 Unidades Geomorfológicas	45
3.5.1.1 Lomadas.....	45
3.5.1.2 Escarpes.....	46
3.5.2 Remociones en Masa.....	46
3.5.2.1 Deslizamiento	46
3.6 Geología Local	47
3.6.1 Grupo Goyllarisquizga	47
3.6.1 Formación Chimú	47

	Pág.
3.6.2 Cuaternario Coluvial-Aluvial	48
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.1 Muestreo Geológico	51
4.1.1 Método de Muestreo.....	53
4.1.2 Tipos de Muestreo	54
4.1.3 Tipos de Muestra	54
4.1.4 Muestra Representativa.....	54
4.1.5 Muestreo.....	55
4.1.6 Muestra.....	55
4.1.7 Tamaño de la Muestra	55
4.2 Perfil de la Calicata.....	62
4.3 Perfil Geológico	63
4.4 Columna Estratigráfica	64
4.5 Análisis por Fluorescencia de Rayos X	65
4.5.1 Preparación de Muestras para Fluorescencia de Rayos X.....	66
4.5.2 Resultados por parte del laboratorio Slab	68
4.5.3 Comparación de muestras de acuerdo a sus Parámetros Analizados.	71
4.6 Análisis por Difracción de Rayos X.....	73
4.6.1 Resultados por parte del Laboratorio Slab	73
4.7 Proceso de formación de las arcillas y tipo de depósito	77
4.7.1 Proceso de formación.....	77
4.7.2 Clasificación de las Arcillas.....	78
4.7.2.1 Según su Origen (tipos de depósitos de arcillas)	78
4.7.2.2 Según su clasificación Industrial.....	84
4.8 Reserva de Mineral no metálico (Arcillas)	86
4.8.1 Reserva Probable de Mineral no metálico	86
4.9 Método de Cálculo.....	86

	Pág.
4.10	Cálculo de Área de cada Perfil 88
4.10.1	Perfiles de la zona 1 de depósitos de arcillas 89
4.10.1.	Área del Perfil H – I 89
4.10.1.	Área del Perfil J – K..... 90
4.10.1.	Área del Perfil L – M 91
4.10.2	Perfiles de la zona 2 de depósitos de arcillas 92
4.10.2.	Área del Perfil B – C 92
4.10.2.	Área del Perfil D – E 93
4.10.2	Área del Perfil F-G 94
4.11	Cálculo de volumen de los depósitos de arcillas 95
4.11.1	Cálculo de volumen de la zona 1 de depósitos de arcillas 96
4.11.2	Cálculo de volumen de la zona 2 de depósitos de arcillas 98
4.11.3	Volumen total de los depósitos de arcillas 99
4.12	Densidad de las arcillas 100
4.13	Cálculo del Peso específico de las arcillas 101
4.14	Cálculo del Tonelaje de los depósitos de arcillas 102
4.15	Resultados de la Investigación 103
4.16	Análisis de los Resultados 104
4.17	Contrastación de la Hipótesis 106
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 107	
5.1	Conclusiones 107
5.2	Recomendaciones 108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109	
ANEXOS 113	

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1	Contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común	10
Tabla 2	Tipos de Silicatos	11
Tabla 3	Clasificación Granulométrica	12
Tabla 4	Periodos de cocción	14
Tabla 5	Clasificación de arcillas según su origen	18
Tabla 6	Composición mineralógica de las arcillas comunes	20
Tabla 7	Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas	21
Tabla 8	Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas para diversas aplicaciones industriales	21
Tabla 9	Ubicación Geográfica	36
Tabla 10	Accesibilidad al área de estudio	38
Tabla 11	Climatología de Cajamarca a nivel Provincial	40
Tabla 12	Muestreo en el área de estudio	56
Tabla 13	Descripción de muestra de arcilla MS-1	56
Tabla 14	Descripción de muestra de arcilla MS-2	57
Tabla 15	Descripción de muestra de arcilla MS-3	57
Tabla 16	Descripción de muestra de arcilla MS-4	58
Tabla 17	Descripción de muestra de arcilla MS-5	58
Tabla 18	Resultados FRX para la muestra MS-1	68
Tabla 19	Resultados FRX para la muestra MS-2	69
Tabla 20	Resultados FRX para la muestra MS-3	69
Tabla 21	Resultados FRX para la muestra MS-4	70
Tabla 22	Resultados FRX para la muestra MS-5	71
Tabla 23	Comparación de resultados por FRX de las muestras	72
Tabla 24	Resultados DRX para la muestra MS-1	73
Tabla 25	Resultados DRX para la muestra MS-2	74
Tabla 26	Resultados DRX para la muestra MS-3	75
Tabla 27	Resultados DRX para la muestra MS-4	76

	Pág.
Tabla 28 Clasificación de las arcillas según su origen	78
Tabla 29 Resultados de la cocción de la muestra MS-1	80
Tabla 30 Resultados de la cocción de la muestra MS-2	81
Tabla 31 Resultados de la cocción de la muestra MS-3	82
Tabla 32 Resultados de la cocción de la muestra MS-4	83
Tabla 33 Resultados de la cocción de la muestra MS-5	84
Tabla 34 Composición mineralógica de las arcillas comunes	85
Tabla 35 Composición mineralógica de las arcillas caolinífticas	85
Tabla 36 Densidad de las muestras de arcillas	101
Tabla 37 Volumen y tonelaje de los depósitos de arcillas	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1	Ecuación general de la meteorización.....	8
Figura 2	Estructura de las Arcillas	11
Figura 3	Fluorescencia de Rayos X.....	24
Figura 4	Secuencia de la producción de rayos X característico en un átomo	25
Figura 5	Esquema de la fluorescencia de rayos X en un átomo.....	26
Figura 6	Difracción de Rayos X.....	27
Figura 7	Relieve a Cubicar con perfiles	31
Figura 8	Área de un perfil mediante el método de Simpson	32
Figura 9	Cálculo de volumen por método de perfiles	33
Figura 10	Plano de Ubicación del área de estudio	37
Figura 11	Plano de Accesibilidad hacia el área de estudio.....	39
Figura 12	Perfil de la calicata	62
Figura 13	Perfil Geológico	63
Figura 14	Columna estratigráfica.....	64
Figura 15	Equipo para el análisis de Fluorescencia de Rayos X.....	65
Figura 16	Muestras en laboratorio Slab para analizar	66
Figura 17	Horno Mufla.....	67
Figura 18	Balanza analítica.	67
Figura 19	Curvas de nivel de los 2 depósitos de arcillas	87
Figura 20	Perfil H-I	89
Figura 21	Perfil J-K.....	90
Figura 22	Perfil L-M	91
Figura 23	Perfil B-C	92
Figura 24	Perfil D-E	93
Figura 25	Perfil F-G	94
Figura 26	Líneas de corte para generar los perfiles y calcular su área y volumen de los depósitos de arcillas.	95

ÍNDICE DE FOTOS.....		Pág.
Foto 1	Vegetación.....	42
Foto 2	Lomadas.....	45
Foto 3	Escarpes	46
Foto 4	Deslizamientos	47
Foto 5	Material característico de la Formación Chimú	48
Foto 6	Material característico de Cuaternario Coluvial-Aluvial	49
Foto 7	Materiales predominantes que se observa en la zona de estudio	49
Foto 8	Socavón en la cual facilita la extracción de muestras	52
Foto 9	Arcilla que aflora en superficie	52
Foto 10	Calicatas para obtener muestra de Arcilla	53
Foto 11	Punto de donde se obtuvo la muestra MS-1	59
Foto 12	Punto de donde se obtuvo la muestra MS-2	59
Foto 13	Punto de donde se obtuvo la muestra MS-3	60
Foto 14	Punto de donde se obtuvo la muestra MS-4	60
Foto 15	Punto de donde se obtuvo la muestra MS-5	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS	Pág.
Gráfico 1 Clima de Cajamarca	41
Gráfico 2 Difractograma de la muestra MS-1	74
Gráfico 3 Difractograma de la muestra MS-2	75
Gráfico 4 Difractograma de la muestra MS-3	76
Gráfico 5 Difractograma de la muestra MS-4	77

LISTA DE ABREVIATURAS

Al:	Aluminio
Al ₂ O ₃ :	Óxido de aluminio
Ca:	Calcio
CaO:	Óxido de calcio
C:	Cota (altitud)
E:	Este
Fe:	Hierro
Fe ₂ O ₃ :	Óxido de hierro (III)
g:	Gramos
H ₂ O:	Óxido de hidrógeno
HCl:	Ácido clorhídrico
K:	Potasio
K ₂ O:	Óxido de potasio
m:	Metros
m ² :	Metros cuadrados
m ³ :	Metros cúbicos
mm:	Milímetros
Mg:	Magnesio
MgO:	Óxido de magnesio
M.L:	Limo inorgánico de baja compresibilidad
Mpx:	Megapíxeles
MS:	Muestra
Msnm:	Metros sobre el nivel del mar
MEM:	Ministerio de Energía y Minas

N:	Norte
Na:	Sodio
Na ₂ O:	Óxido de sodio
O:	Oxígeno
P ₂ O ₅ :	Óxido de fósforo
Si:	Silicio
SiO ₂ :	Óxido de silicio
SUCS:	Sistema unificado de clasificación de suelos
TiO ₂ :	Óxido de titanio (IV)
TM:	Toneladas métricas
UTM:	Universal Transversal Mercator
V:	Volumen
V _{ex.inicial} :	Volumen extremo inicial
V _{ex.final} :	Volumen extremo final

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el caserío de Shudal, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, la cual se ubica a una altitud de 2760 msnm. El propósito de la investigación se basa en aprovechar en el presente y futuro el yacimiento no metálico de arcillas ubicados en dicho caserío, identificar su calidad y determinar sus reservas probables en toneladas métricas; cuya evaluación geológica del yacimiento no metálico de arcillas es objeto de estudio. Se determina su composición química y mineralógica y sus reservas probables. En su geología local está presente la Formación Chimú del Grupo Goyllarisquizga y Depósitos Cuaternarios Coluvial - Aluvial. Se identificó dos zonas con mayor afloramiento de arcillas, luego se realizó la recolección de muestras, para tal hecho fue de ayuda dos socavones de profundidades de 7 metros. y una calicata con profundidad de 1 metro. Se recolectaron 5 muestras representativas y enviadas al laboratorio SLab (laboratorios de ensayos e investigación). Según los resultados de análisis de Fluorescencia de Rayos X y Difracción de Rayos X, los depósitos estudiados tienen mayor composición química de SiO_2 y caolinita en su composición mineralógica llegando a clasificarlas según su origen como arcillas coluviales y de acuerdo a su uso industrial arcillas comunes. Se determinó numéricamente las reservas probables en toneladas métricas mediante el método de perfiles, que para hallar su área y volumen generado entre estos se usa la regla de Simpson, en la que se obtuvo como resultado un total de 147,443 TM.

Palabras claves: Difracción de Rayos x, Arcillas coluviales, Arcillas comunes, mineralogía de las arcillas, reservas de arcillas.

ABSTRACT

The research was carried out in the village of Shudal, District, Province and Department of Cajamarca, which is located at an altitude of 2760 meters above sea level. The purpose of the research is based on the present and future exploitation of the non-metallic clay deposit located in said hamlet, to identify its quality and determine its probable reserves in metric tons; the geological evaluation of the non-metallic clay deposit is the object of the study. Its chemical and mineralogical composition and probable reserves are determined. The local geology includes the Chimú Formation of the Goyllarisquizga Group and Quaternary Coluvial-Alluvial Deposits. Two areas were identified with greater outcrop of clays, The collection of samples was then carried out, for which two 7-meter deep pits and a 1-meter deep test pit were helpful. Five representative samples were collected and sent to the SLab laboratory (testing and research laboratories). According to the results of X-Ray Fluorescence and X-Ray Diffraction analysis, the deposits studied have a higher chemical composition of SiO₂ and kaolinite in their mineralogical composition and are classified according to their origin as colluvial clays and according to their industrial use as common clays. Probable reserves were determined numerically in metric tons by the profile method, using Simpson's rule to find the area and volume generated between them, resulting in a total of 147,443 MT.

Keywords: X-ray diffraction, colluvial clays, common clays, clay mineralogy, clay reserves.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las arcillas son materiales abundantes en la naturaleza que poseen excelentes propiedades físicas y químicas dando lugar a sus diferentes usos, hoy en día a medida en que el hombre ha profundizado más en el conocimiento de las arcillas, sus usos se han multiplicado en manos del artesano como del industrial. Las arcillas, debido a sus propiedades, ha despertado un gran interés para desarrollar investigación orientada hacia el uso de arcillas, generalmente para la fabricación de diversos objetos como ladrillos, artesanías, tuberías de saneamiento, alfarería, lodos de perforación y otros.

En nuestra región se ha visto una importante acumulación de depósitos arcillosos ubicados en el periodo del Cretácico Inferior, por tal motivo la investigación se centra en el Caserío de Shudal la que presenta depósitos de arcillas, los cuales hasta el momento no han contado con un estudio geológico, es decir a su cálculo de tonelaje y propiedades físicas y químicas como su composición mineralógica de las arcillas presentes en dicho lugar.

En el Caserío Shudal, el planteamiento del problema radica en que las arcillas presentes en el área de investigación no cuentan con alguna investigación que se basen en el estudio de su composición mineralógica y a su estimación de reservas probables que puedan determinar el tonelaje y la calidad de arcilla que pueda ser utilizada en un futuro en las industrias, por lo cual se realiza la evaluación geológica del yacimiento no metálico de arcillas en el caserío Shudal.

La formulación del problema será: ¿Cuál es la evaluación geológica del yacimiento no metálico de arcillas en el caserío Shudal – distrito de Cajamarca?

La justificación de la investigación radica que actualmente se está dando una gran importancia a los yacimientos no metálicos debido al uso directo que se le da. en el Caserío de Shudal – distrito de Cajamarca existe una gran demanda del uso de arcillas para fabricación de artesanías, por todo ello es necesario realizar una evaluación geológica del yacimiento no metálico de arcillas, es decir calcular su tonelaje, propiedades físicoquímicas como su composición mineralógica para

determinar los tipos de arcillas presentes; y así concluir si son aptas para algún uso industrial.

El objetivo general es realizar la evaluación geológica en el yacimiento no metálico de arcillas en el caserío Shudal – distrito de Cajamarca. Los objetivos específicos son: Determinar su composición química y mineralógica de los depósitos de arcillas. Estimar el tonelaje de arcillas y ver si estas reservas cumplen para la producción a nivel regional y nacional. Proponer en que uso industrial pueden ser aprovechadas los depósitos de arcillas.

La hipótesis de la investigación es: la evaluación geológica del yacimiento no metálico de las arcillas en el caserío de Shudal-distrito de Cajamarca, es decir la estimación del tonelaje de los depósitos de arcillas por el método convencional y la determinación de su composición química y mineralógica, se demuestra que son aptas para el aprovechamiento presente y futuro.

DESCRIPCION DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS

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 y propiedades físico-químicas de las arcillas mediante difracción de rayos x y fluorescencia de rayos x, así también se realizará la definición de términos básicos. El capítulo III, está referido a los Materiales y Métodos donde se conoce la ubicación, delimitación, accesibilidad, clima y vegetación de la zona de estudio; también los instrumentos y equipos que se van a utilizar para la evaluación geológica, así mismo el procedimiento a seguir en dicha investigación según el planteamiento del problema y según el propósito de la investigación, además los aspectos geológicos como Geomorfología y Geología Local, así mismo el tratamiento, análisis de datos obtenidos en campo y la presentación de resultados.

El capítulo IV, está referido al Análisis y Discusión de Resultados, donde se observa los resultados de las 5 muestras enviadas al laboratorio SLab para ser analizadas por difracción de rayos x y fluorescencia de rayos x, así se obtiene los resultados

de la composición mineralógica, y composición química de las muestras de arcillas; con todo estos resultados se deduce la clasificación de las arcillas; por otro lado se realiza el cálculo de reservas probables mediante el método de perfiles y la contrastación de la hipótesis.

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

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Flores (2012), Caracterización de Arcillas y Preparación de Pastas Cerámicas para la Fabricación de Ladrillos en la Ladrillera Mariscal Robledo S.A – Bogotá, Colombia; concluye que la arcilla que presenta mejores características para la elaboración de ladrillos, es la arcilla roja, debido a su composición química, donde el contenido de alúmina es el mayor entre las demás arcillas, y esta aporta a la resistencia de las fases cristalinas que se forman al sinterizar las piezas

Cadena (2014), En el estudio químico de la presencia de montmorillonita en arcillas de la cuenca sedimentaria miocénica de Loja mediante técnicas de espectroscopia molecular, Riobamba-Ecuador. El método empleado para la identificación de las muestras de arcillas fue difracción de rayos X, valiéndose también de los datos obtenidos mediante los estudios químicos realizados (capacidad de intercambio catiónico, fluorescencia de rayos X). Las muestras analizadas presentaron mayor superficie específica resultando ser montmorilloníticas, por el mismo motivo ser utilizada para purificación de agua, se la puede modificar llevandola a ser “nanoarcilla” potencializando así sus propiedades.

Arroyo (2018), En su Monografía para Optar el Título de Ingeniero de Minas; Titulada Programa de Trabajos y Obras para la Cantera de Arcilla Berak Ubicada en Villanueva, La Guajira-Venezuela identifica con los resultados de laboratorio de las muestras obtenidas, que el suelo es apto para la explotación y fabricación del ladrillo, mediante el sistema de clasificación unificada de suelos (U.S.C.S), los materiales encontrados pertenecen a la clasificación C.L (Arcilla inorgánica de baja compresibilidad) y M.L (Limo inorgánico de baja compresibilidad); en la en la clasificación AASHTO pertenece al grupo A-6 que son suelos limo arcillosos plásticos, A-4 que son suelos limosos inorgánicos, A-7-6 que son suelos arcillosos plásticos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Arriola y Rojas (2017), En su investigación titulada Síntesis y Caracterización de Nanoarcillas a partir de Montmorillonita utilizando sales de amonio. observan mediante el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X (DRX) de la bentonita natural de Chongos Bajo se identifica el pico característico de la montmorillonita en $2\theta = 5,84^\circ$ y su caracterización morfológica mediante análisis MEB–EDS Microscopia electrónica de barrido y microanálisis elemental por espectroscopia por dispersión de energía de rayos X, muestra la estructura laminar característica de la montmorillonita.

Díaz y Ramírez (2009), En el 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.

Díaz y Carpio (2011), En el estudio Geológico Económico de las Rocas y Minerales Industriales en las Regiones de Moquegua y Tacna a cargo del INGEMMET, identifican que existe un panorama favorable para la explotación de arcillas debido a su relación con el subsector construcción que es el principal consumidor de estos, aunque las arcillas ubicadas en la zona costera, especialmente en la provincia de Tacna, no son de óptima calidad por el contenido de sales, las que se encuentran en la provincia de Omate presentan características y propiedades adecuadas para la fabricación de ladrillos y cerámicas.

Garay (2021), En su estudio sobre la Caracterización Petrográfica para el uso de Arcillas en Ladrillos Artesanales en el Caserío Chilcapampa- Bambamarca. Identifica 3 muestras de arcillas caolinitas, 2 montmorillonitas y 2 illitas, dichas arcillas están depositadas en el Volcánico Huambos.

2.1.3 Antecedentes Locales

Gálvez (2014), En su estudio titulado Estimación del potencial de reservas de yacimientos no metálicos en arcillas del Distrito de Namora. Señala que los minerales que más porcentaje presentan los depósitos, son: Caolinita,

Montmorillonita, además de sílice y otros componentes y un tonelaje de 996656.62 T.M. el cual representa el potencial de reservas.

Vergara (2015), En su estudio titulado Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora. 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, y El tonelaje total calculado fue de 401,327.554 T.M. y representa la estimación de reservas probables.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1 Definición de Arcilla

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).

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 fisicoquímicos actuaron sobre la roca madre original es por eso que reúnen las características peculiares de composición.

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).

Zea (2005), La arcilla se compone de un grupo de minerales alumino-silicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito. El grano es de tamaño microscópico y con forma de escamas, esto hace que la superficie de agregación sea mucho mayor que su espesor, lo que permite un gran almacenamiento de agua por adherencia, dando plasticidad a la arcilla y provocando la hinchazón de algunas variedades.

2.2.2 Origen de las Arcillas

Zea (2005), manifiesta que las arcillas son, una rama de los silicatos y su formación obedece a tres mecanismos principales:

Por herencia. -

Por neo-formación.

Por transformación.

El primer mecanismo indica que el material arcilloso fue derivado directamente de una roca madre, este tipo de arcillas es el que predomina en los sedimentos de lagos y mares.

Los otros dos mecanismos implicaron una reacción química entre varios componentes a partir de la arcilla original, por lo que este tipo de formación requirió de mayor energía y de ciertas condiciones hidrotérmicas. Estos mecanismos están relacionados con la latitud de la tierra, de modo que encontramos que el primer mecanismo fue más común en las regiones árticas, mientras que la neo-formación y la transformación resultaron dominantes en los trópicos húmedos.

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), manifiesta 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.

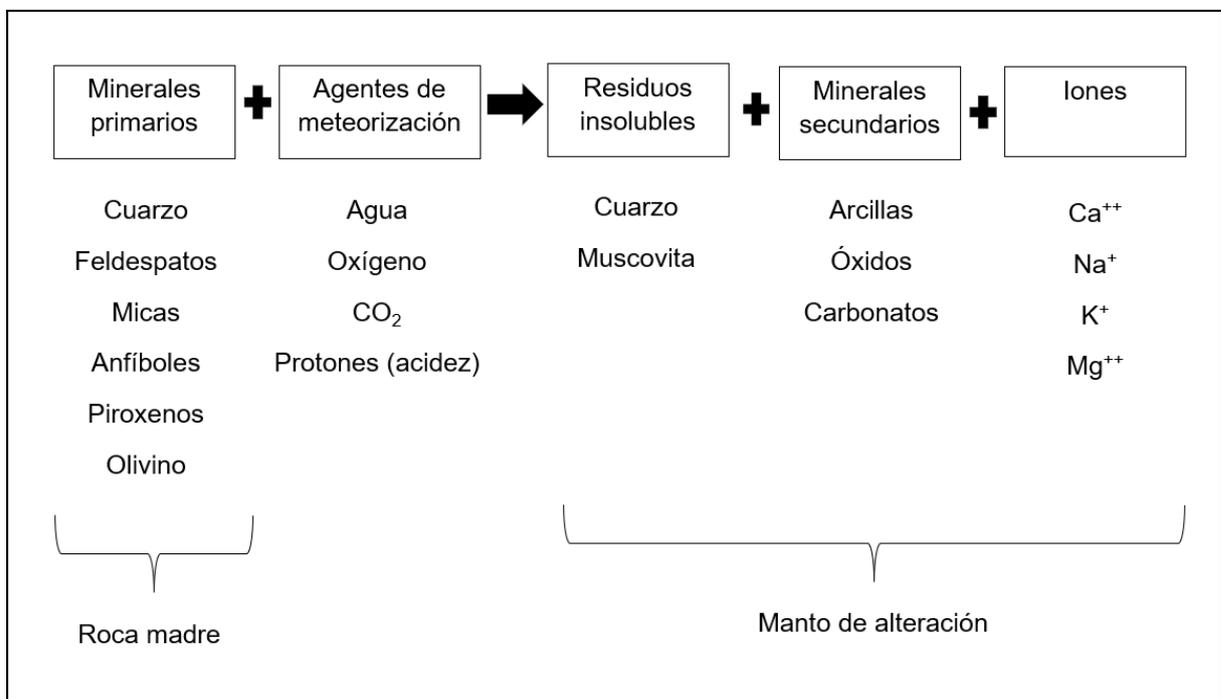


Figura 1. Ecuación general de la meteorización de la roca.

Fuente: Alda, (2014)

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.

García (1985), sustenta que las arcillas son los aluminosilicatos. Están constituidos básicamente por Si, Al y O, además de otros elementos, como Na, K, Ca, Mg, Fe, etc.

Desde la antigüedad se sabía que algunos componentes del suelo son capaces de intercambiar bases. Si sometemos una muestra de arcilla a electrolisis, en el ánodo se acumulan sílice, alúmina y óxidos de hierro. En el cátodo se depositan K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , entre otros cationes

En 1929, mediante la aplicación de técnicas de rayos X, Grim y Holding determinaron la naturaleza cristalina de las arcillas.

Las arcillas son un conjunto de minerales de origen secundario, formado en el proceso de alteración química de las rocas, poseen un tamaño coloidal, con estructura cristalina bien definida y un gran desarrollo superficial, con propiedades físico-químicas responsables en gran parte de la actividad físico-química del suelo.

2.2.3 Estructura de las Arcillas

En esencia las arcillas son silicatos de aluminio, pero también hay presente productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, y otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados, álcalis y materiales coloidales. Flores (2012).

Como ya se ha mencionado anteriormente, las arcillas se presentan en la naturaleza, derivadas directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldspatos o en depósitos aluviales o eólicos. Es por eso que la composición química de la corteza terrestre y la de la mayoría de las arcillas es muy similar como se muestra en la Tabla, donde los contenidos de sílice y de alúmina son los más altos dentro de la composición de los minerales. (Rhodes, 1990).

Tabla 1. Contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común.

Componente	Corteza Terrestre (%)	Arcilla Roja Común (%)
SiO₂	59.14	57.02
Al₂O₃	15.34	19.15
Fe₂O₃	6.88	6.7
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na₂O	3.84	2.38
K₂O	3.13	2.03
H₂O	1.15	3.45
TiO₂	1.05	0.91

Fuente: Rhodes, (1990).

Jordan (2005), todos los silicatos están constituidos por una unidad estructural común, un tetraedro de coordinación Si-O. El silicio situado en el centro del tetraedro de coordinación y rodeado de 4 oxígenos situados en los vértices. Este grupo tetraédrico se encuentra descompensado eléctricamente (SiO₄)⁴⁻, por lo que los oxígenos se coordinan a otros cationes para compensar sus cargas. Dependiendo del número de oxígenos que se coordinen a otros silicios se originan los grandes grupos de silicatos (es decir, según el número de vértices compartidos por tetraedros, que pueden ser 0, 1, 2, 3, y 4;(ver tabla 2). Los tetraedros pueden unirse por la base para formar hexaedros. De este modo, la fórmula general de las arcillas podría ser la siguiente:

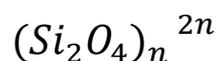


Tabla 2. Tipo de Silicatos.

Número de átomos de oxígeno compartidos por cada tetraedro	Tipo de agrupamiento de los tetraedros	Nombre del gran grupo de silicato
0	aislados	Nesosilicatos
1	parejas	Sorosilicatos
2	anillos	Ciclosilicatos
2 y 3	cadena	Inosilicatos
3	planos	Filosilicatos
4	tridimensional	Tectosilicatos

Fuente: Jordan, (2005)

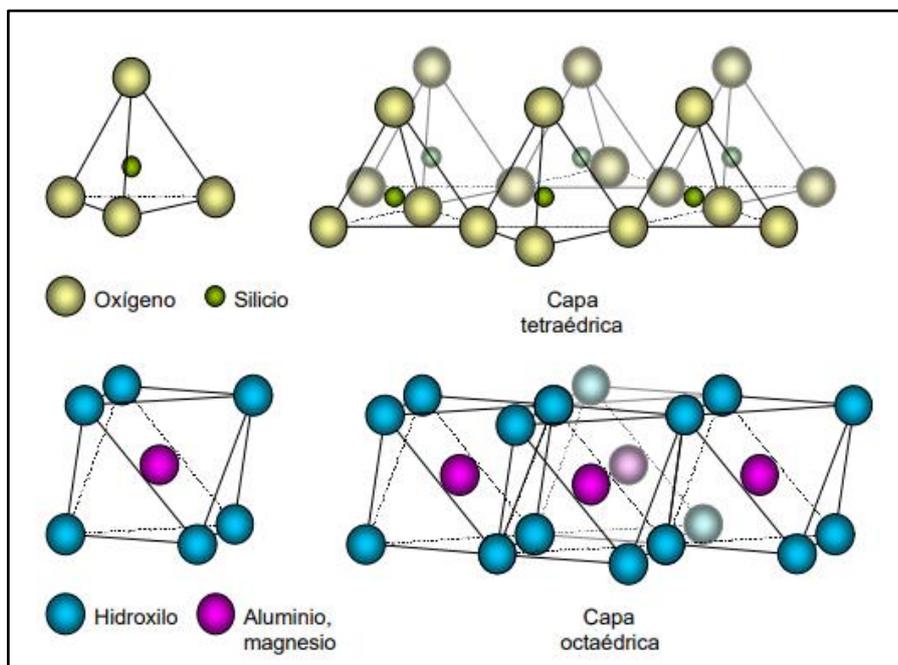


Figura 2. Estructura de las Arcillas.

Fuente: Jordan, (2005)

De esta manera la estructura de estos minerales está formada por un apilamiento de capas de tetraedros y octaedros, formando estructuras laminares. Las capas se unen mediante oxígenos compartidos. Se trata, por lo tanto, de capas íntimamente unidas y difíciles de separar.

2.2.4 Propiedades de las Arcillas

Zea (2005). Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas, dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 0.002 mm)

Tabla 3. Clasificación Granulométrica.

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

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

2.2.4.1 Acción del calor sobre las arcillas

- Primera eliminación parcial del agua se da a una temperatura de aproximadamente 100 C, aún no pierde su agua de composición y conserva la propiedad de dar masas plásticas.
- Con una temperatura entre 300 y 400° C el agua llamada de combinación es liberada, perdiendo la propiedad de dar masas plásticas, aunque se le reduzca a polvo y se le añada suficiente agua.

- Entre 600 y 700° C el agua en la arcilla es totalmente eliminada.
- Por la acción del calor entre 700 y 800° C adquiere propiedades tales como dureza, contracción y sonoridad, la sílice y la alúmina comienzan a formar un silicato anhidro (Mullita: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$).
- Esta combinación se completa al parecer entre 1100 y 1200° C.
- Hacia los 1500° C aparecen los primeros síntomas de vitrificación. (Zea, 2005)

2.2.4.2 Color de las Arcillas

Esta se debe a la presencia de óxidos metálicos, principalmente el de hierro (por su actividad y abundancia).

- **Color Natural.** El hierro es el agente colorante más común en las arcillas en bruto y rocas relacionadas. La diferencia de color refleja solamente el estado de oxidación del hierro, en medios reductores se presentan colores oscuros, verdosos, grises o negros; medios oxidantes si son rojizos, amarillos o pardos. La presencia de material orgánico transmite colores grises o negros. Las arcillas blancas, están exentas de impurezas colorantes.
- **Color de Quemado.** En las arcillas cocidas, el hierro es también el principal agente que da color: marfil, pardo, rojo o negro; pero en este caso, hay cuatro factores que lo determinan:
 - Cantidad de hierro presente
 - La presencia de otra sustancia como Titanio y CaO
 - Carácter de la atmósfera que rodea a la arcilla durante el cocimiento y enfriamiento.
 - La temperatura que alcance el conocimiento.

Las arcillas que después de la cocción quedan blancas, contienen menos de 1% de óxido de hierro. Las pardas suelen contener 3-4% y las rojas contienen 5% o más de óxido de hierro. Los cambios de color en las arcillas cocidas, indican destrucción o formación de nuevos minerales.

Hasta los 700 grados centígrados el contenido de FeO disminuye, aumentando el Fe₂O₃, la descomposición del FeO y del Al₂O₃ a temperaturas más elevadas da lugar a la desaparición de la coloración rojiza, el color debido a la materia orgánica desaparece al calcinarse. (Zea, 2005)

2.2.4.3 Cambios termoquímicos

Los cambios que tienen lugar en los ladrillos en el proceso de cocción y calcinación son de vital importancia para entender la operación de quemado, y para la interpretación del análisis térmico diferencial en el proceso industrial y el estudio de arcillas respectivamente.

Tabla 4. Períodos de cocción.

PERÍODOS DE COCCIÓN	
	Evaporación desde 20 - 110grados centígrados
Deshidratación	Deshidratación química desde 110 - 600 grados centígrados
Oxidación	Desde 300 - 600grados centígrados
Verificación	Desde 800 grados centígrados

Fuente: Zea, (2005)

2.2.5 Clasificación de las Arcillas

2.2.5.1 Según su origen

La clasificación de las arcillas según (García, 1985), que abreviadamente exponemos a continuación, responde a unos criterios esencialmente geológicos.

A. Arcillas Residuales.

Las arcillas residuales están situadas en el lugar en que se formaron por meteorización y alteración de la roca madre. Por esta razón suelen estar contaminadas por gran cantidad de roca inalterada, de granos de sílice y de otros minerales más resistentes a la meteorización. Estos granos resistentes, inalterados, suelen poseer formas angulares muy acusadas debido a que no han tenido ocasión de desgastarse o redondearse durante ningún tipo de transporte. El contenido en fracción arcillosa es muy variable, según los casos, y oscila entre el 10% y el 90%. Debajo de las capas de arcillas residuales es muy probable encontrar la roca madre inalterada que les dio origen.

Las arcillas residuales más valiosas son los caolines y las arcillas caoliníticas, ya que suelen encontrarse contaminadas únicamente por sus minerales primarios, que son fácilmente separables por lavado. Estos tipos de arcillas cuecen de color blanco y constituyen la base de la fabricación de porcelanas y lozas. Algunos depósitos de caolines corresponden a la alteración de filones de pegmatitas, y otros a la alteración de amplias capas de rocas ígneas. Existen otras arcillas residuales más impuras, que tienen menos valor que los caolines, y que se emplean para la fabricación de ladrillos y de otros productos de tierra cocida. (García, 1985)

B. Arcillas Coluviales

Las arcillas coluviales son de naturaleza análoga a la de las arcillas residuales, y se diferencian de ellas en que han sufrido desplazamientos cortos por deslizamiento o por lluvias. Las arcillas coluviales están, por tanto, relacionadas con rocas existentes en las proximidades.

Arcillas coluviales, acumuladas por lavado de arcillas residuales. Pueden ser refractarias y no refractarias.

- Arcillas refractarias. Arcillas con alta resistencia, estabilidad mecánica e inertes químicamente a temperaturas del orden de 1400°C y superiores.

- Soportan altas temperaturas sin fundir o descomponerse (elevada estabilidad térmica)
- Elevada Resistencia a fluencia
- Químicamente inertes bajo medios agresivos -Baja conductividad térmica (Aislantes térmicos)

El punto de fusión de cada arcilla refractaria determina su aplicación particular en la industria de materiales refractarios. Las materias primas cerámicas no tienen un punto de fusión definido, se funden dentro de un margen de temperaturas.

Las “fireclays” o arcillas refractarias propiamente dichas, consisten esencialmente en caolinita desordenada y además halloysita, illita; suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no quemen de color blanco. Se distinguen estas arcillas por sus altos contenidos de cuarzo.

Se llaman arcillas refractarias a aquellas que pueden resistir a temperaturas de 1400°C; arcillas con un punto de reblandecimiento de más de 1790°C se designan arcillas altamente resistentes al fuego. La resistencia al fuego aumenta con crecientes contenidos de Al_2O_3 , así arcillas altamente refractarias contienen 38-42% de Al_2O_3 , < 2-3% Fe_2O_3 , y deben presentar menores pérdidas por calcinación. (García, 1985)

C. Arcillas transportadas.

Las arcillas transportadas o sedimentarias son, sin lugar a dudas, las más numerosas y las más abundantes, y presentan rasgos granulométricos distintos a los de las arcillas residuales. Durante su transporte en agua o en aire se producen unas acciones de segregación, según las cuales las gruesas partículas de cuarzo, feldespato, etc., van siendo depositadas en distintos lugares, y las finas partículas arcillosas siguen siendo arrastradas a mayores distancias hasta que por fin se sedimentan en lugares más tranquilos, y forman extensos depósitos sedimentarios.

Cuando discurre un río sobre un lecho de arcillas residuales, arrastra consigo partículas de muy diversos tamaños, que luego sedimentan en lugares distintos, de acuerdo con su velocidad. Cuando desemboca el río en el mar, las finísimas partículas de minerales de la arcilla son arrastradas por las corrientes marinas, y depositadas después en amplias áreas. Como es natural, las partículas más finas suelen depositarse a distancias mayores de la desembocadura de los ríos. Algunos caolines, algunas arcillas refractarias y la mayoría de las arcillas de bola, pueden encontrarse en depósitos de origen marino. Algunos depósitos marinos, sin embargo, aparecen contaminados por caliza, proveniente de la deposición de conchas o esqueletos de seres marinos. También suelen impurificarse por compuestos de hierro y otros. Estas arcillas que, debido a sus impurezas, no pueden usarse en las industrias de refractarios o de porcelanas, pueden hallar una buena aplicación en las industrias ladrilleras. (García, 1985)

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

Tabla 5. 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 Bauxita
			Productos de meteorización ordinaria más acción	De rocas cristalinas	Bauxita Diáspor
				Rocas sedimentarias	Bauxita Diáspor
				Productos de meteorización ordinaria	Lutita argilacea Limo argilaceo
	Arcillas de sedimentación o secundarias	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en mares, lagos, pantanos, etc.		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)

2.2.5.2 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:

A. 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 %.

Tabla 6. 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 %	
Goethita	< 1%	
Hematita	0 – 5%	
Siderita, Pirita, Yeso, Hornblenda	< 1%	
Resto, amorfo bajo rayos X	1 – 8 %	1 – 10 %

Fuente: Díaz y Zedano, (2006)

B. 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.

B.1. Clasificación de las arcillas especiales: Dentro de las arcillas especiales tenemos:

B.1.1. 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).

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 $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. (Díaz y Zedano, 2006)

Tabla 7. Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas.

Minerales	Arcillas caoliníticas	Arcillas caoliníticas silíceas
Caolinita	35 – 85 %	> 20 – 35 %
Cuarzo	8 – 35 %	35 – 55 %
Mica / Illita	10 – 30 %	< 20 %
Sustancia orgánica	0 – 16 %	0 – 16 %

Fuente: Díaz y Zedano, (2006)

Tabla 8. Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas para diversas aplicaciones industriales.

Minerales	Para		
	Para cerámica	Para relleno	impermeabilización básica y superficial
Caolinita	74 – 97%	85 – 97%	60 – 65%
Mica/Illita	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 Zedan, (2006)

Génesis de los yacimientos caoliníticos: 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 Ramírez, 2009)

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

Yacimientos primarios: 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. 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.

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.

2.2.6 Uso Industrial de las Arcillas

Según (Zea, 2005), el principal uso de las arcillas se da en el campo de la construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, alfarería tradicional, azulejos.). Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. La mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química.

Hoy en día las arcillas comerciales, 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 destina a la fabricación de materiales para la construcción y agregados. Se les denomina arcillas para la construcción, arcillas cerámicas o arcillas comunes, están compuestas por dos o más minerales, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo).

El otro 10% se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura.). Se les denomina arcillas especiales; son arcillas constituidas

fundamentalmente por un sólo tipo de mineral, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral.

Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70% del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

Para (García, 2007), las arcillas 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, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura.)

En general al primer tipo (las que se utilizan en construcción) se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo.). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados.

Al segundo tipo se las denomina arcillas especiales, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

2.2.7 Ensayos de Fluorescencia de Rayos X para las Arcillas.

La espectrometría de fluorescencia de rayos-X es un método de análisis cualitativo y cuantitativo para elementos químicos basado sobre la medición de las longitudes de onda y las intensidades de las líneas espectrales emitidas por excitación secundaria. El rayo primario procedente de un tubo de rayos-X irradia la muestra, excitando cada elemento para emitir líneas espectrales secundarias, teniendo longitudes de onda características de cada elemento e intensidades relacionadas a su concentración. (Cabriales, 2002)

La técnica de fluorescencia de rayos-X (FRX), se utiliza en diferentes muestras sólidas. La FRX es una técnica de análisis, no destructiva, se utilizan rayos-X que inciden sobre toda la muestra, y está a su vez rota para dar mayor información de la muestra analizada. Se ha venido implementado en diferentes industrias, para el análisis de sus productos y para el control de calidad. (Romero, 2016)

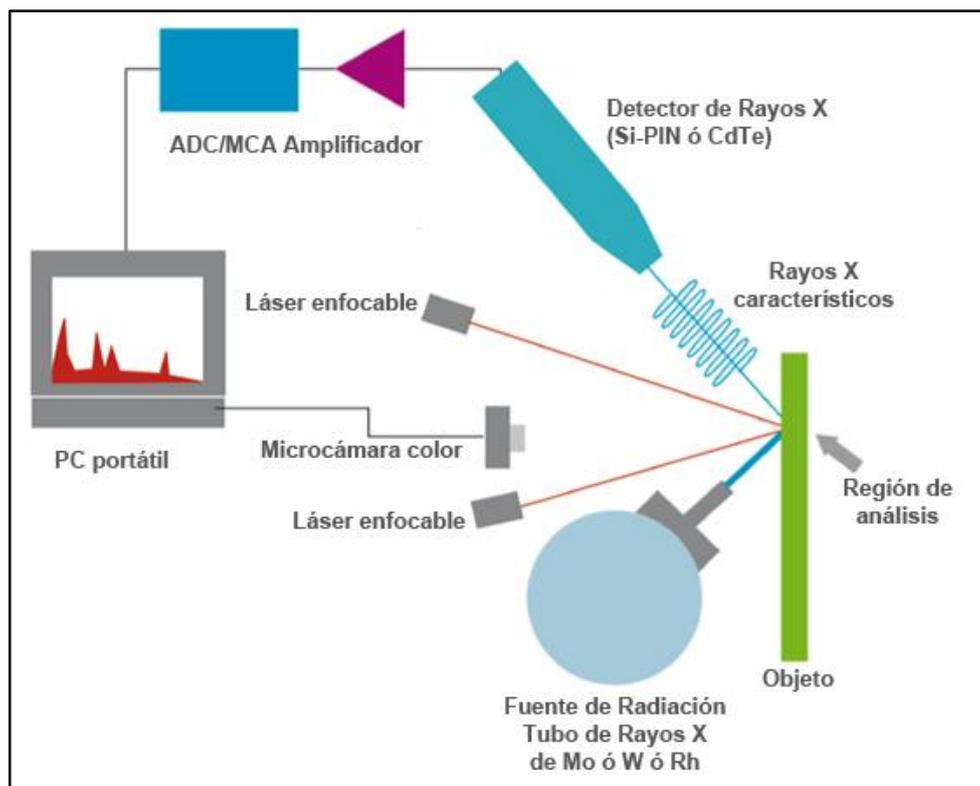


Figura 3. Fluorescencia de Rayos X.
Fuente: Romero, (2016)

La espectroscopía de fluorescencia de Rayos X es una técnica que permite la identificación de elementos en una muestra a partir de la lectura de la emisión de rayos X secundarios o fluorescentes que son emitidos desde la muestra luego de que ésta haya sido expuesta a la irradiación de rayos X primarios.

El análisis por fluorescencia de rayos X, que consiste en tres etapas:

- excitación de los átomos que constituye la muestra.
- emisión de los rayos X característicos de la muestra.
- detección de los rayos X característicos emitidos.

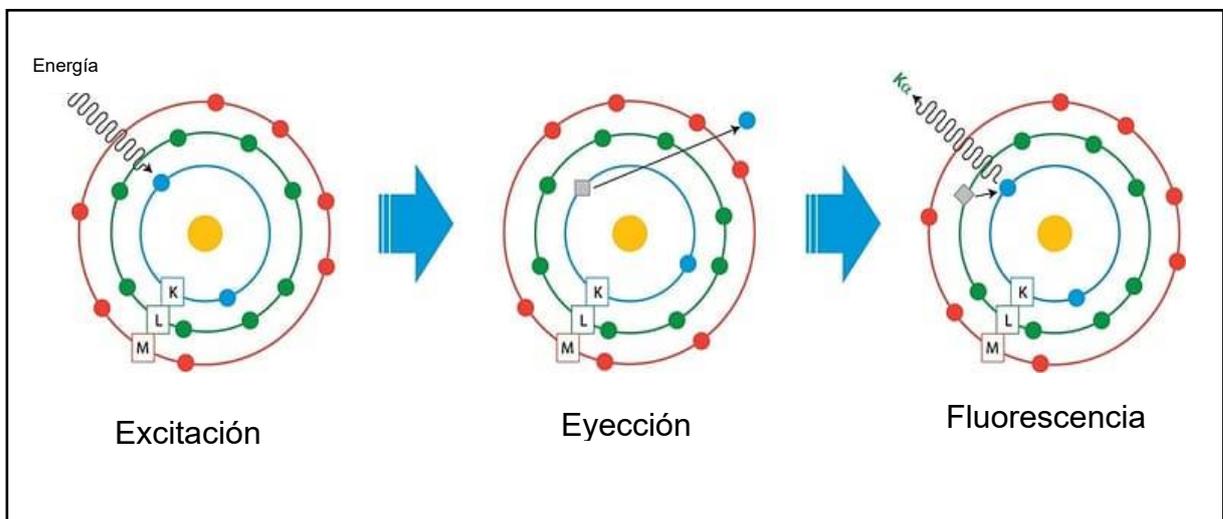


Figura 4. Secuencia de la producción de rayos X característico en un átomo

Fuente: De La Cruz, (2018)

Tipos de XRF

- Fluorescencia de rayos X de dispersión de energía (EDXRF)
- Fluorescencia de rayos X de dispersión de longitud de onda (WDXRF)

Pero como toda técnica analítica tiene sus limitaciones, ya que la XRF solo permite determinar los elementos presentes en una muestra más no su estado químico; por lo que es necesario recurrir a técnicas complementarias como la Difracción de Rayos X, la Microscopía Electrónica para obtener un mayor conocimiento de la pieza en estudio. (De La Cruz, 2018)

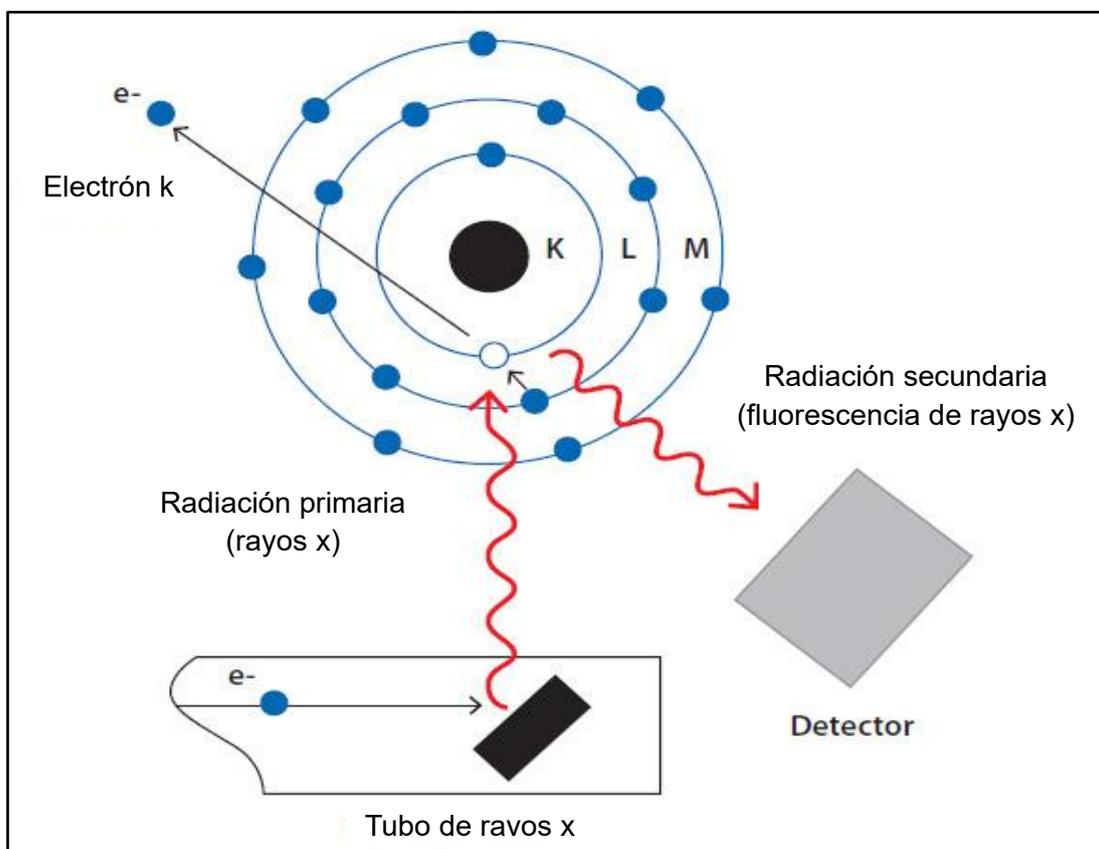


Figura 5. Esquema de la fluorescencia de rayos X en un átomo.

Fuente: De la Cruz, (2008)

2.2.8 Ensayos de Difracción de Rayos X para las Arcillas.

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, pirita, 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 los 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.

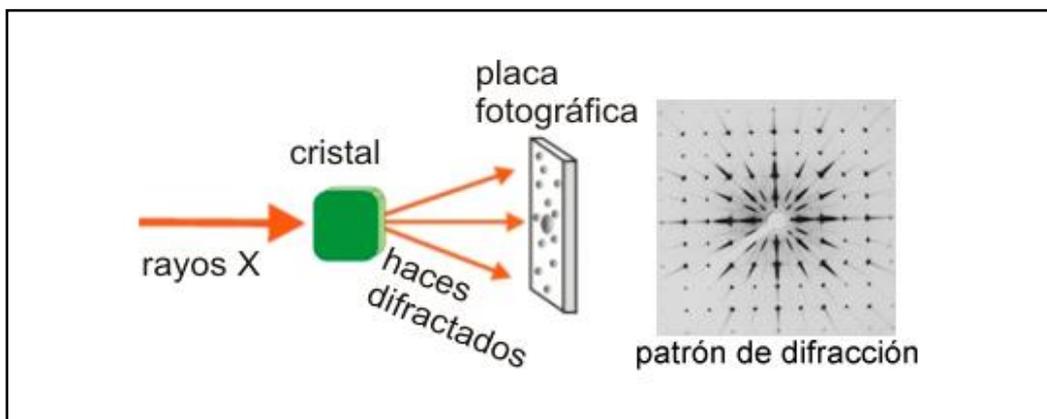


Figura 6. Difracción de Rayos X.

Fuente: Hernández, (2006)

La XRD (difracción de rayos X) permite la identificación rápida de minerales y revela información detallada acerca de la composición química y la estructura cristalográfica de sus muestras. Es útil para la identificación de fases de grano fino que son difíciles de identificar ópticamente mediante la microscopía electrónica de barrido/espectrometría de dispersión de energía (SEM/EDS) o la evaluación cuantitativa de materiales mediante la microscopía electrónica de barrido

Los minerales identificados por análisis de difracción de rayos X se reportarán y se agruparán en cantidades grandes (>30%), moderadas (10-30%), pequeñas (2-10%) y mínimas (<2%). Debido a la deficiente cristalinidad de minerales de arcillas, las muestras se separan mediante centrifugación, seguida de una serie de procedimientos (p. ej., la adición de etilenglicol y calentamiento a altas temperaturas). Esta preparación es necesaria para diferenciar entre especies de arcillas. (SGS del Perú, 2015)

2.2.9 Evaluación Geológica

La evaluación geológica significa valorar su ubicación, accesibilidad, topografía, condiciones geológicas, climáticas, hidrológicas superficiales y subterráneas, es evaluar el tipo de yacimiento, tipo de rocas, alteraciones, tipos de mineral, dimensiones del mineral, leyes, se evalúa los afloramientos como influye en el cálculo de reservas. (Valenzuela y Buendía, 2020).

2.2.10. Minería no metálica

La minería no metálica comprende las actividades de extracción de recursos minerales que, luego de un adecuado tratamiento, se transforman en productos aplicables en diversos usos industriales, gracias a sus propiedades físicas y químicas. De allí que el interés público y privado por su desarrollo se orienta tanto a su fase productiva como en el uso final de sus productos.

Extracción de rocas y minerales en las que el propio mineral o roca o un compuesto derivado de él tiene una utilidad o una aplicación industrial (áridos, rocas ornamentales, minerales refractarios, abrasivos, absorbentes, lubricantes, entre muchos otros) (Servicio geológico mexicano, 2017)

2.2.11 Métodos para la estimación de reservas

La estimación de las reservas de un yacimiento o de un bloque de explotación permite tener un mayor conocimiento de la zona de estudio, ya que define las toneladas de mineral útil presentes, así como también la morfología del yacimiento lo que posteriormente facilitará la elección de un método de explotación idóneo. Existen dos métodos, de manera general, para estimar las reservas de un yacimiento los cuales son: métodos clásicos o geométricos y los métodos geoestadísticos. Los primeros se basan en un proceso de cubicación, es decir, que se van a construir una o varias figuras geométricas en las que se va a estimar la cantidad de mineralización que existe dentro de ellas.

Los métodos clásicos más utilizados en la estimación de reservas de un yacimiento mineral son los siguientes:(Velarde, 2016)

- Método de perfiles o cortes.
- Método de los polígonos.
- Método de los triángulos.
- Método de las matrices de bloques.
- Método de los contornos.
- Método del inverso a la distancia

2.2.11.1 Método de los perfiles o cortes

Es el método más utilizado dentro del grupo de los métodos clásicos, junto con el de polígonos. Comúnmente se los emplea para cuerpos minerales irregulares evaluados a partir de campañas de sondeos, que facilitan la interpretación de los cuerpos geológicos estableciendo cortes, secciones o perfiles.

Básicamente, este método emplea la siguiente metodología:

- a) Cálculo del área mineralizada de cada sección
- b) Determinación de los volúmenes de los bloques
- c) Obtención de las reservas por bloques
- d) Determinación de las Reservas Totales

Sin embargo, una de las desventajas que presenta este método es que muchas veces los sondeos se encuentran en direcciones que no permiten establecer cortes, lo cual es un impedimento para realizar el cálculo del área mineralizada.

La cubicación por el método de los perfiles transversales, consiste en formar bloques individualizados limitados por dos perfiles o cortes adyacentes de forma que se pueda hallar el volumen mineralizado situado entre ambos, calcular la ley media, delimitar las zonas marginales del yacimiento, esterilidades, situación de las fallas, profundidad máxima del yacimiento con vistas al proyecto de explotación, extrapolación del contorno externo, llevando a continuación los datos obtenidos en los cortes a los planos de planta y perfil longitudinal. (Caparrini, 2018)

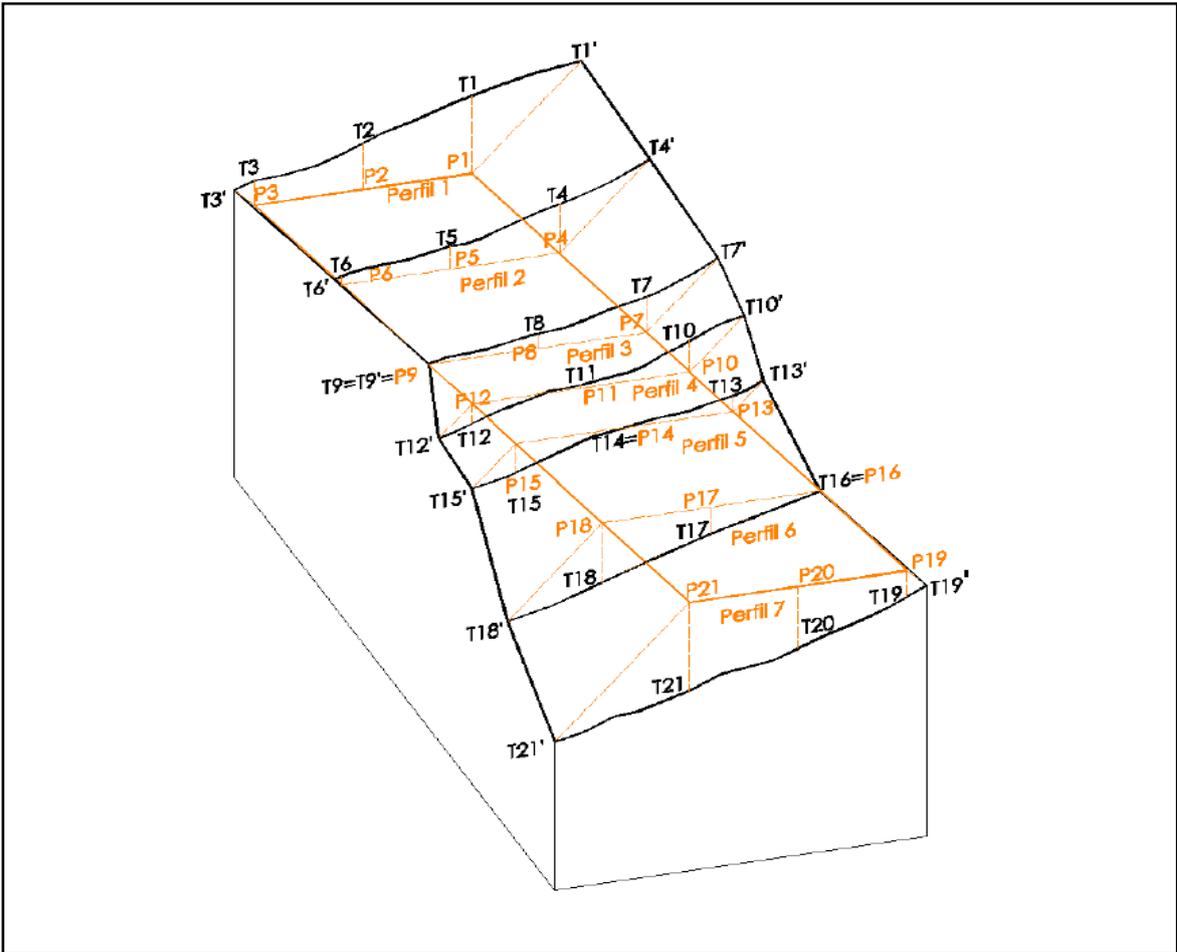


Figura 7. Relieve a cubicar con perfiles.

Fuente: Cisneros y Morillas, (2012)

2.2.11.2 Cálculo de área por el método de perfiles.

El método de Simpson generalmente se conoce como la fórmula de 1/3 y se limita solo al cálculo del área de una superficie dividida en un numero par de intervalos iguales. (Casanova, 2002)

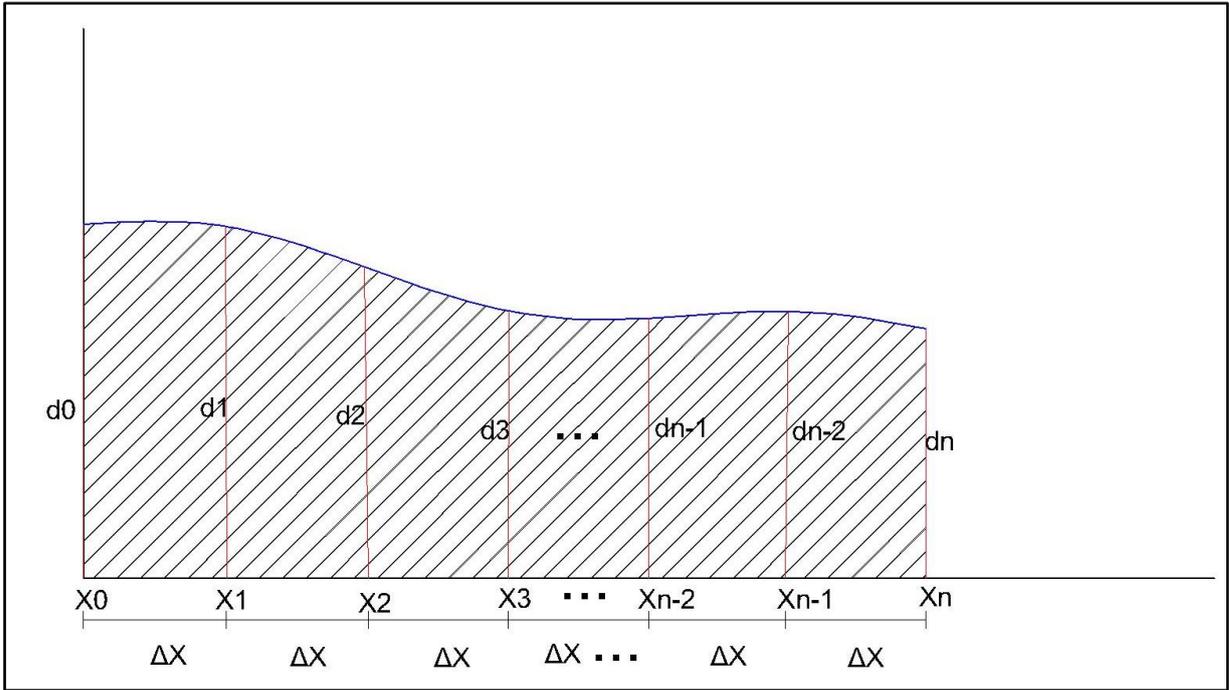


Figura 8. Área de un perfil mediante el método de Simpson.

Fuente: Casanova, (2002)

Se calcula el área de la siguiente manera:

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (f_{(x_0)} + 4f_{(x_1)} + 2f_{(x_2)} + 4f_{(x_3)} + \dots + f_{(x_n)})$$

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{\text{n}^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

2.2.11.3 Cálculo de Volumen por el método de perfiles.

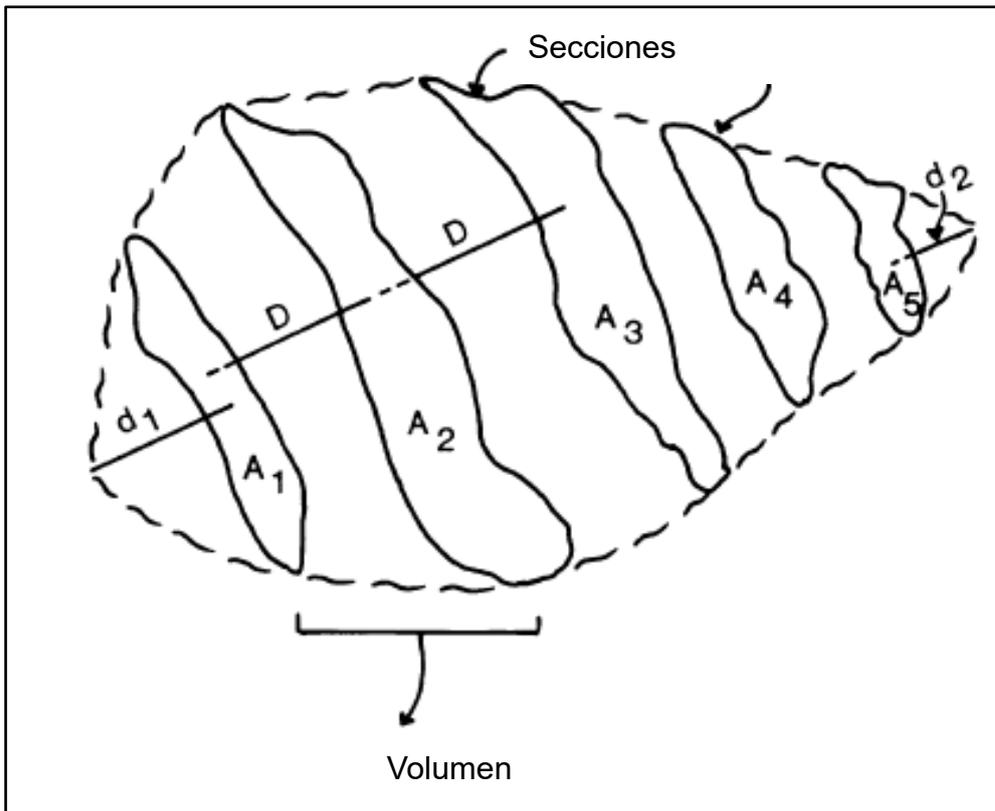


Figura 9. Cálculo de volumen por método de perfiles.

Fuente: Velarde, (2016)

El volumen del bloque comprendido entre perfiles se puede obtener: (Caparrini, 2018)

- Multiplicando el área de cada sección por la mitad de la distancia al perfil contiguo a cada lado (cada perfil genera un bloque):

$$V_1 = (A_1 + A_2) \times \frac{D}{2}$$

$$V_2 = (A_2 + A_3) \times \frac{D}{2}$$

$$V_3 = (A_3 + A_4) \times \frac{D}{2}$$

$$V_4 = (A_4 + A_5) \times \frac{D}{2}$$

Donde:

V_1 : Volumen 1l

A_1 : Área del perfil 1

D: Distancia entre perfiles.

- Hallando el área media de dos perfiles consecutivos y multiplicando ésta por la distancia entre dichos perfiles. En este caso, los volúmenes de los extremos se calculan:

$$V_{\text{ex.inicial}} = \frac{(A_1 \times d_1)}{2}$$

$$V_{\text{ex.final}} = \frac{(A_5 \times d_2)}{2}$$

Donde:

$V_{\text{ex.inicial}}$: Volumen extremo inicial

$V_{\text{ex.final}}$: Volumen extremo final

A_1 : Área del perfil 1

A_5 : Área del perfil 5

d_1 : Distancia 1

d_2 : Distancia 2

- El Volumen total se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{total}} = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_{\text{ex.inicial}} + V_{\text{ex.final}})$$

2.3 Definición de Términos Básicos:

Alfarería. Arte de fabricar piezas de suelo arcilloso, que son sometidas a la cocción. (Zea, 2005).

Cubicación de un yacimiento. La Cubicación de un Yacimiento consiste en determinar el volumen, tonelaje, partiendo para ello de los datos obtenidos en la investigación y con el fin de conocer sus posibles reservas. (Rojas, 2021)

Meteorización. La meteorización o alteración de una roca preexistente conlleva la desintegración y descomposición fisico-química de las rocas que se hallan en contacto con los agentes externos principales, es decir, la atmosfera y la hidrosfera. (Barrientos 2012).

Mineralogía. Ciencia de la Geología dedicada al estudio de la estructura cristalina y las propiedades intrínsecas de los minerales. (Ovejero, 2015).

Peso específico de un suelo. Relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. (Yepes, 2021)

Petrografía. Campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. (Servicio geológico mexicano, 2017).

Recurso mineral: Cantidad total de mineral existente en la zona, incluyendo el que no podrá ser explotado por su baja concentración. (Servicio geológico mexicano, 2017)

Reservas de mineral no metálicos: Potencial de material económicamente explotable de un determinado yacimiento en este caso no metálico. (Dávila, 2011)

Reserva Probable: Aquellas delimitadas o conocidas en dos dimensiones, pero con una malla demasiado amplia como para no permitir garantizar la continuidad del yacimiento (Acosta et al, 2016).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la Investigación

3.1.1 Geográfica.

Se ubica dentro de las siguientes coordenadas geográficas.

Sistema de coordenadas en unidad técnica de Medida. (UTM). Datum: WGS-84.

Tabla 9. Ubicación Geográfica

Coordenadas		
Vértices	LONGITUD	LATITUD
1	775420	9204010
2	775770	9204230
3	775800	9204010
4	775450	9203790

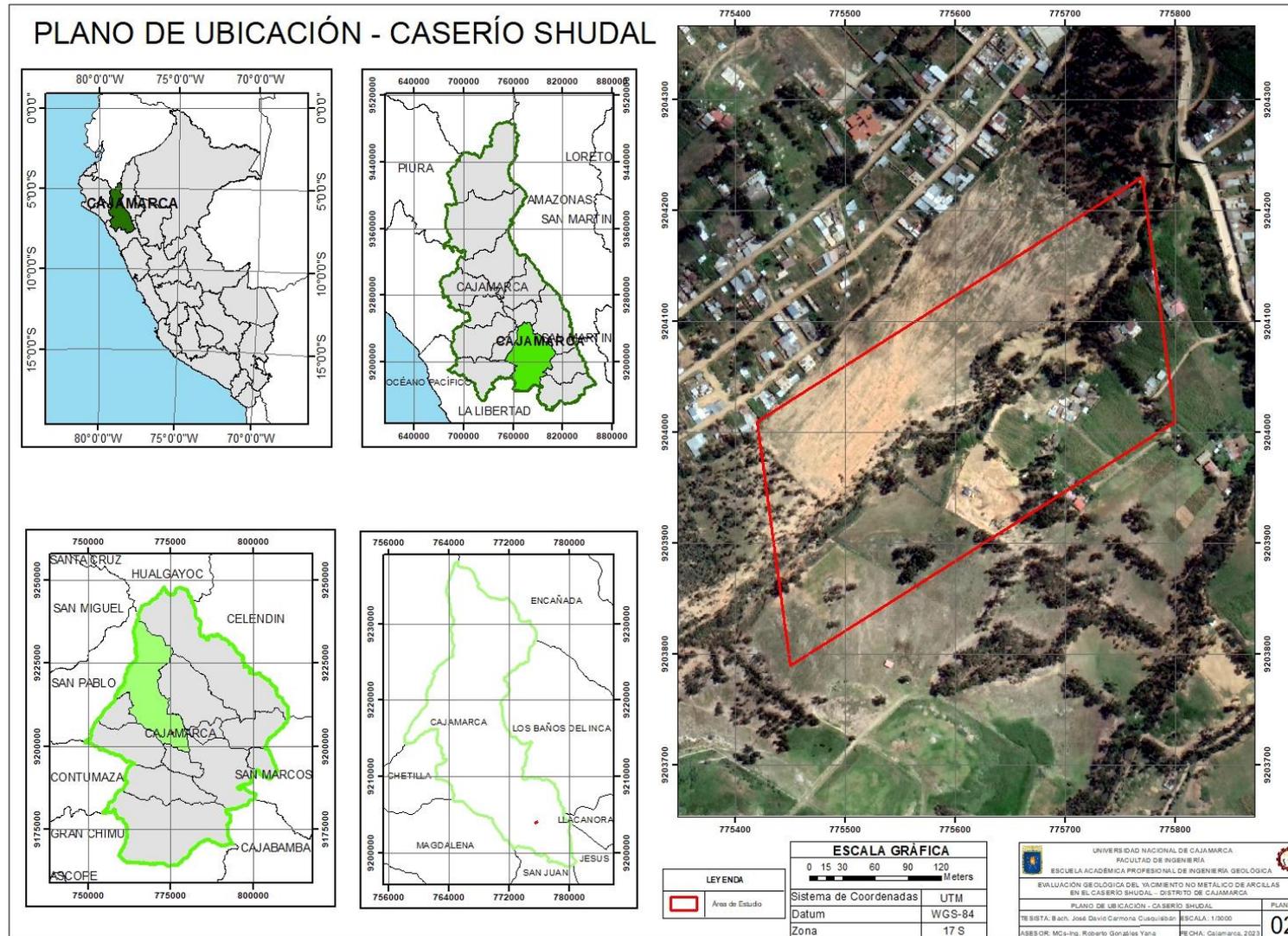


Figura 10. Plano de Ubicación del área de estudio. Referencia (Anexos: Plano N° 02)

3.1.2 Política

Políticamente el área de investigación se ubica en la región, departamento, provincia y distrito de Cajamarca, exactamente en el Caserío Shudal.

3.1.3 Accesibilidad.

El acceso para la investigación es en primer lugar por la carretera Cajamarca-Salida a la Costa, hasta la Intersección de Av. Heroes de Cenepa y Av. Alfonso Ugarte, luego se ingresa a la izquierda a una trocha que conduce directamente al Caserío Shudal, llegando al puente denominado Shudal, de ahí se ingresa a la quebrada unos 100 metros aproximadamente; donde se encuentra las arcillas, de la cual se realizan los estudios.

Tabla 10. Accesibilidad

Ruta Terrestre	Distancia (Km)	Tiempo (min)	Vía
Plaza de Armas (Cajamarca)-Av Heroes de Cenepa y Av.Alfonso Ugarte	4.5	15	Asfaltada
Av Heroes de Cenepa y Alfonso Ugarte – Puente Shudal	2 aprox	10	Afirmada
Puente Shudal – Caserío Shudal	0.1 aprox	5	Quebrada

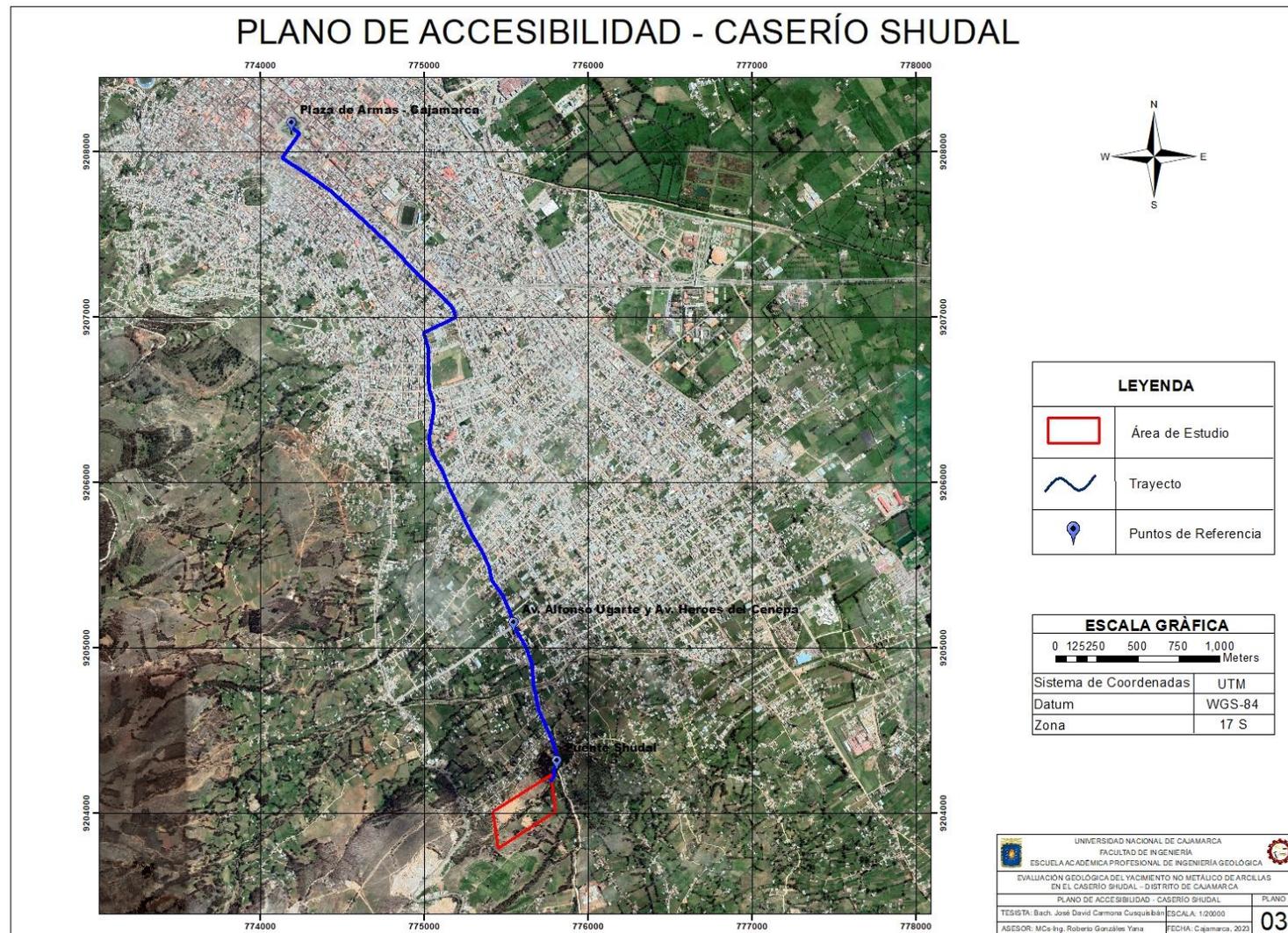


Figura 11. Plano de Accesibilidad hacia el área de estudio. Referencia (Anexos: Plano N° 03)

3.1.4 Clima

El área de estudio se encuentra comprendida entre los 2780 y 2830 m.s.n.m., presentando características climáticas. Durante el día seco, templado - soleado y frío y durante las noches con precipitación pluvial promedio anual que varía entre los 6 mm. y 119 mm.

Cajamarca presenta temperaturas que fluctúan entre los 7 y 22° C, durante los meses de lluvias comprendidos entre diciembre y marzo. Durante los meses de abril a noviembre la temperatura varía entre los 3° y 22 °C, presentándose templado durante el día y frío durante la noche. La temperatura máxima media anual es de 22.2 °C y la temperatura mínima anual es de 4.9 °C.

Tabla 11. Climatología de Cajamarca a nivel Provincial

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Precipitación (Lluvia) mm.
Enero	21.5	9.3	79
Febrero	21.2	9.7	106
Marzo	21.2	9.6	119
Abril	21.5	9	73
Mayo	21.9	7	28
Junio	21.9	5.6	10
Julio	21.7	4.9	6
Agosto	22.1	5.6	8
Setiembre	22.2	7.1	29
Octubre	22	8.2	66
Noviembre	22.1	8	67
Diciembre	21.9	8.9	78

Fuente: SENAMHI, (2019)

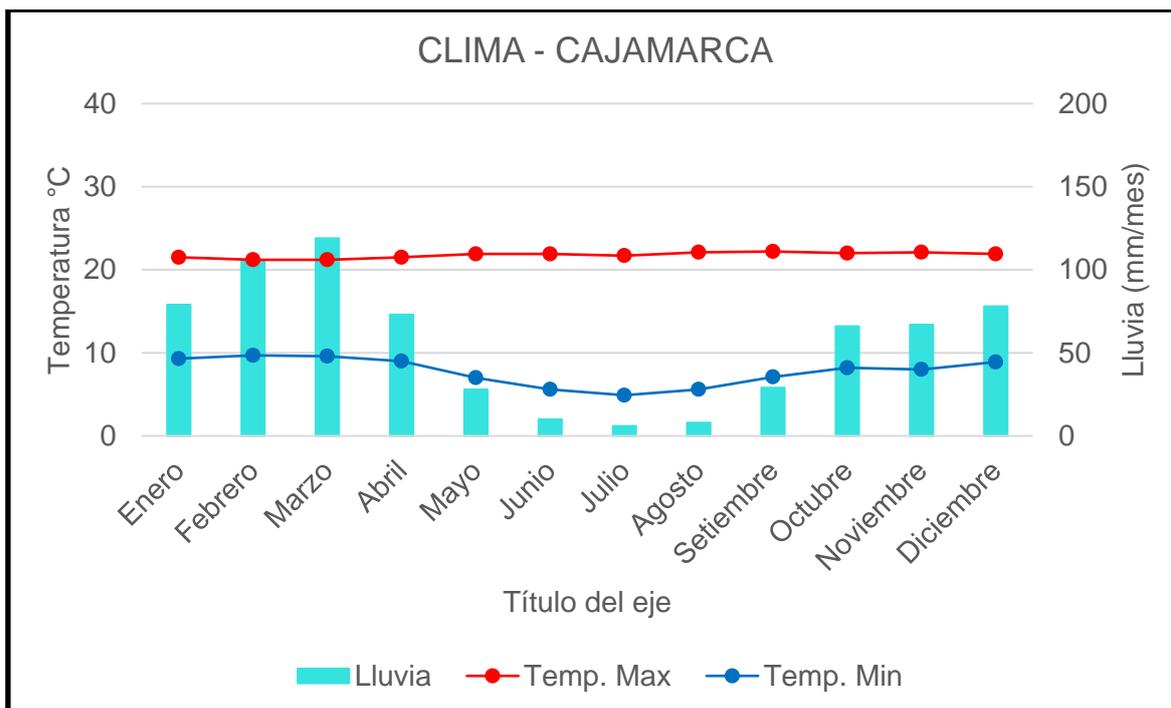


Gráfico 1. Clima de Cajamarca
Fuente: SENAMHI, (2021)

3.1.5 Vegetación

La vegetación esta expresada por aboles altos y bajos.

El área de estudio presenta una vegetación con árboles de eucaliptos, pencas, además se observa una vegetación de cultivo del maíz. Los árboles de eucaliptos son talados y usados por los pobladores aledaños al área de estudio, lo usan principalmente para leña y construcción de casas.



Foto 1. Vegetación (árboles de eucalipto, pencas). Ubicación: (E: 775705, N: 9204086 y C: 2798 msnm)

3.2 Metodología de la Investigación

3.2.1 Tipo, nivel, diseño y método de la Investigación

El tipo y método de investigación es descriptivo porque se realiza una observación cuantitativa y cualitativa en campo al momento de hacer la recolección de datos e información de las arcillas, cartografiado geológico; y explicativo porque se determina el ambiente de formación de las arcillas en el lugar, que tipo de arcillas son, el cálculo de reservas probables de arcillas presentes y que uso industrial se puede dar en el presente y a futuro. Además, será un diseño no experimental ya que los sucesos para la formación de arcillas en la zona de estudio ya ocurrieron en mucho tiempo atrás y ahora solo se analiza para determinar cómo ocurrieron.

3.2.2 Población de estudio

La población de estudio está conformada por las reservas de arcillas en el Caserío Shudal- distrito de Cajamarca

3.2.3 Muestra

Se tiene como muestra los afloramientos de arcillas dentro de la zona de estudio, de los cuales se recolecta 5 muestras de arcillas para su respectivo análisis.

3.2.4 Unidad de análisis

La unidad de análisis será los tipos de arcillas, textura, estructura, reservas (TM) y propiedades físico-químicas.

3.3 Procedimientos

3.3.1 Pre Campo

Etapa en la que se recopilará información de la zona, se analizará imágenes satelitales para ubicarse con facilidad cuando ya estemos en el campo, se elaborará planos a una determinada escala, determinación del equipo a utilizar y realización del cronograma de actividades.

3.3.2 Campo (In Situ)

Se realizará la observación directa en campo con el fin de realizar la descripción del medio físico, el cartografiado geológico y descripción de las unidades estratigráficas. Se seleccionaron los puntos de muestreo, describiendo cada muestra de arcilla de manera macroscópica es decir lo que se observa a simple vista sin ayuda del microscopio, así también algunas características físicas; posteriormente se procedió a recolectar las 5 muestras de arcilla para determinar su composición mineralógica mediante fluorescencia de rayos x y un difractor de rayos x.

3.3.3 Post Campo

En esta última etapa se procesará e interpretará todos los datos obtenidos en campo para realizar los cálculos correspondientes y así obtener los resultados finales. Se envió las muestras recolectadas del campo al laboratorio SLab para que determinen su composición mineralógica mediante fluorescencia de rayos x y difractor de rayos x.; luego se determina el tonelaje de arcillas para así hallar las reservas de los depósitos de arcillas tomando en cuenta su peso específico.

3.4 Instrumentos y Equipos

Planos. Topográfico, Satelital, Geológico; (Escala: 1/2,500), Sistema de coordenadas transversal de Mercator (UTM) WGS. – 84. Sirve para determinar la formación en la que se está trabajando y por ende el tipo de litología.

GPS Garmin Mal 60 Cx. Para ubicar en el plano topográfico los diferentes puntos que delimitan el área de estudio a través de coordenadas del sistema UTM (Universal Transversal Mercator), además sirvió para obtener datos de los puntos de muestreo en el espacio geográfico dando datos de coordenadas UTM. y cota absoluta.

Brújula Geotécnica – BRUNTON. Sirvió para determinar rumbos y buzamientos de las diferentes capas que presentan las arcillas en el área de estudio.

Picota o Martillo de Geólogo. Para la extracción de las muestras.

Protactor. Permite hacer mediciones a determinadas escalas.

Lápiz de dureza Cabido (Rayador). Para determinar la dureza de la roca.

Ácido clorhídrico. Para determinar si la roca es carbonatada.

Flexómetro 5 m. Se utilizará para medir el espesor de las capas.

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 (48 Mpx). Para tener un registro visual de los hechos realizado en campo.

Computadora – Laptop. Para la realización de la tesis, búsqueda de bibliografía y para procesar los datos obtenidos de campo.

Bolsas de Muestreo. Sirve para recolectar las muestras obtenidas en campo.

Útiles de escritorio. Lápices, borradores, colores, corrector y papel Bond.

3.5 Geomorfología

Lo predominante del área de estudio son sus pendientes leves y pronunciados, además de presentar deslizamientos.

3.5.1 Unidades Geomorfológicas

3.5.1.1 Lomadas (8° a 20°)

Estas unidades geomorfológicas se localizan en áreas que no han sido afectadas a gran escala por la erosión. Estas unidades son de pequeña escala en comparación a los escarpes del área de investigación. Las lomadas identificadas oscilan entre 10° y 15°.



Foto 2. Se logra identificar lomadas. Ubicación: (E: 775680, N: 9204046 y C: 2803 msnm)

3.5.1.2 Escarpes (50° a más)

Estas geoformas que se presencian en el área de estudio por sus pendientes que son muy pronunciadas. Las pendientes observadas oscilan entre 80° a 85°.

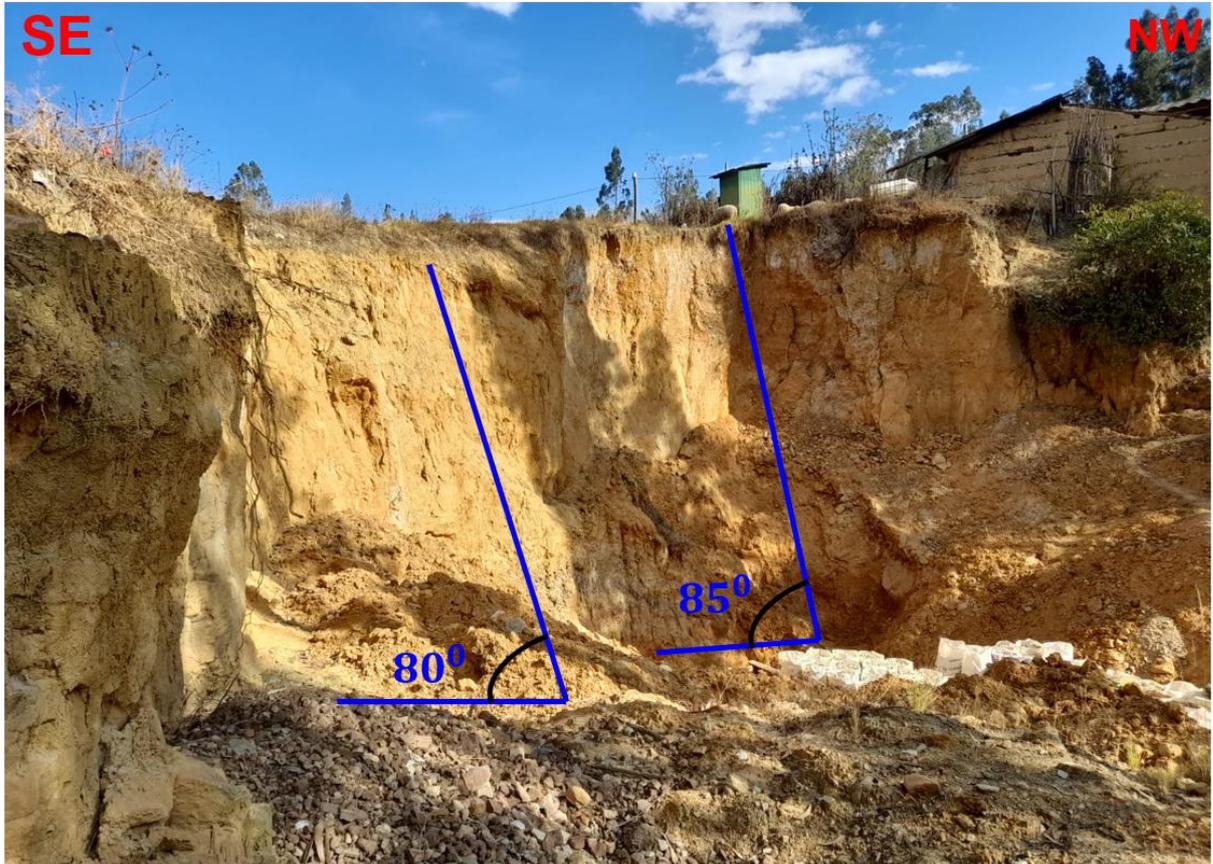


Foto 3. Se observa pendientes muy pronunciadas entre 80° y 85° las cuales se clasifican como escarpes. Ubicación: (E: 775732, N: 9204054 y C: 2807 msnm)

3.5.2 Remociones en masa.

3.5.2.1 Deslizamientos

Observamos movimiento de detritos y masa de suelos a lo largo de la superficie a favor de la pendiente. Para esto influye los agentes atmosféricos (lluvia) donde el agua se infiltra por la zona de debilidad provocando una inestabilidad. La falta de vegetación y las pendientes de 76°, 80° y 85° que identificamos en el caserío Shudal, favorecen para que ocurran estos deslizamientos.



Foto 4. Se identifica deslizamientos en pendientes muy pronunciadas de 76°, 80° y 85°. Ubicación: (E: 775645, N: 9204072 y C: 2810 msnm)

3.6 Geología Local

En el cartografiado geológico del área de estudio, aflora la Formación Chimú del Sistema Cretácico Inferior y Depósitos Cuaternarios Coluvial - Aluvial.

3.6.1 Grupo Goyllarisquizga

3.6.1.1 Formación Chimú

El afloramiento de esta Formación consiste en la intercalación de areniscas y limolitas, areniscas intemperizadas de un color amarillo pardo en un estado de oxidación y las no intemperizadas son de color blanquecino, demás está compuesto por 85 % de cuarzo, 5% de Feld. Na-Ca, muscovita 5%, matriz 3%, óxidos de Fe 2%; con un espesor de estrato de 40 cm en promedio y un azimut de N302° con un buzamiento de 50°NW. Las limolitas están conformadas por capas arcillosas de color blanco grisáceo, con espesor de estrato de 5 a 25 cm, presentan fracturas laminares a favor de la estratificación.

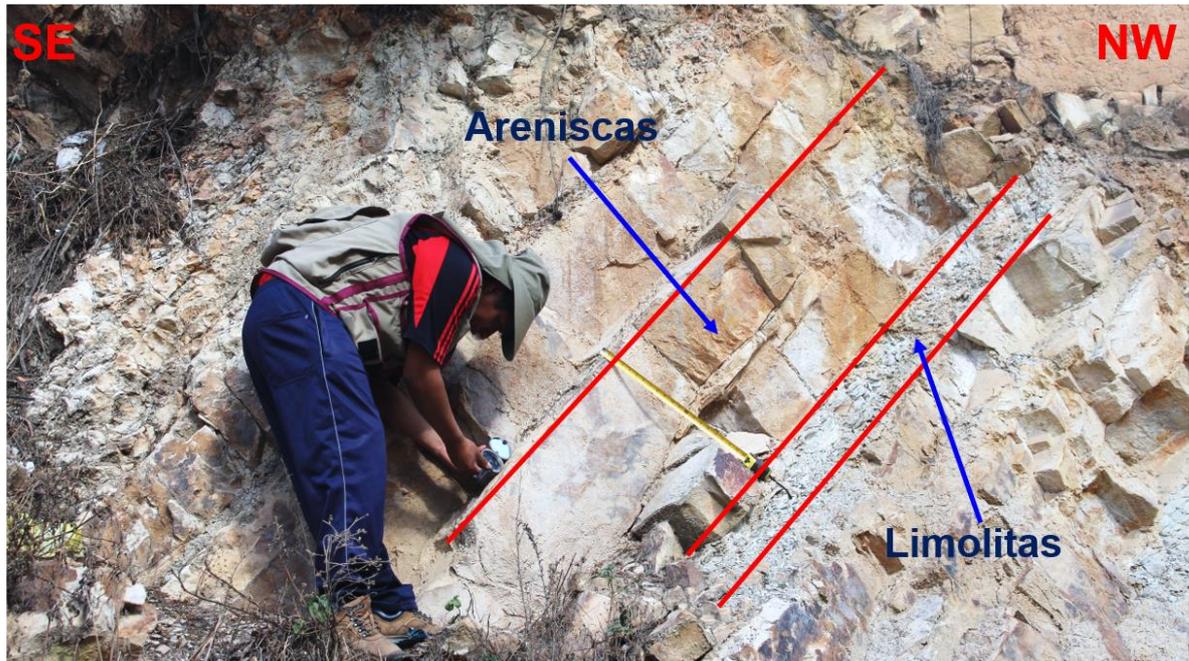


Foto 5. Se observa la intercalación de areniscas y limolitas de la Formación Chimú con A: N302 Y B: 52° NE. Ubicación: (E: 775826, N: 9203923 y C: 2801 msnm)

3.6.2 Cuaternario Coluvial - Aluvial

Los sedimentos se encuentran compuestos por cantos, gravas de formas subredondeadas a redondeadas, con matriz de arenas y limos, los depósitos están distribuidos en forma estratiforme (estratificados), con una cierta clasificación granulométrica, lo cual se debe al tamaño de los granos, desde los fragmentos más gruesos hasta los más finos como son: arenas, arcillas y limos con coloraciones rojizas y amarillentas debido a la contaminación de sustancias con minerales Fe-Mg disueltos por los flujos de agua, así como por la meteorización de las rocas existentes al NW del área de estudio.

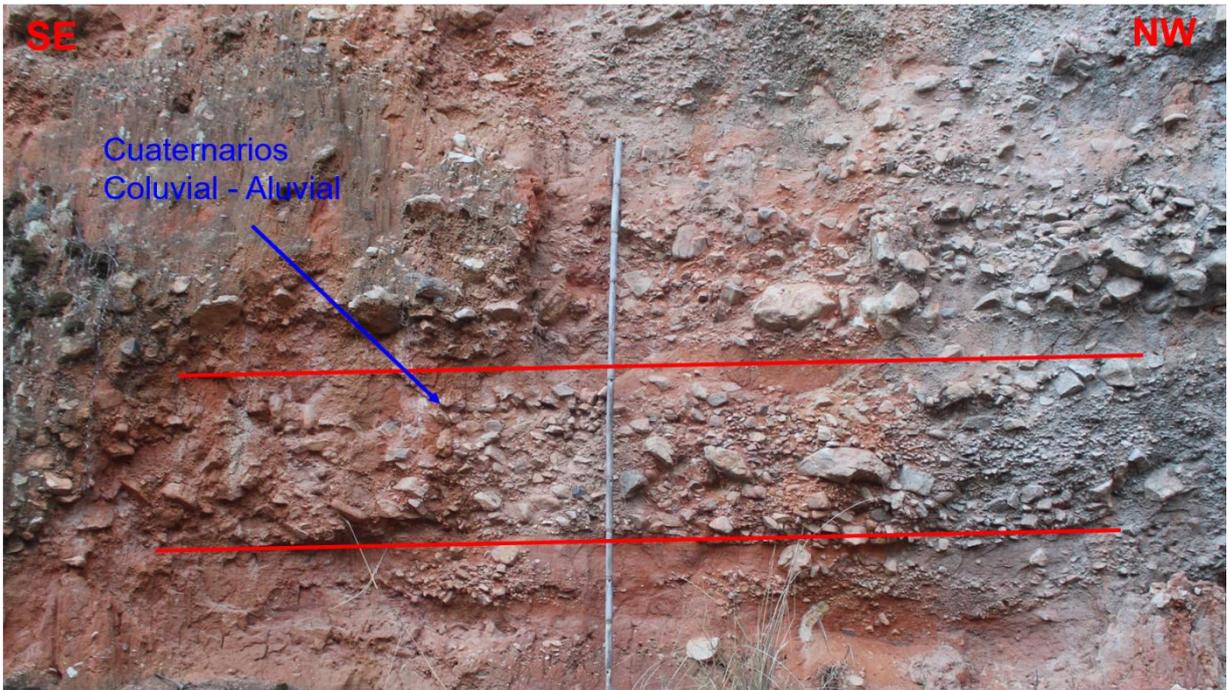


Foto 6. Cantos y Gravas angulosos y subangulosos de Cuaternario Coluvial – Aluvial. Ubicación (E: 775769, N: 9204191 y C: 2805 msnm).

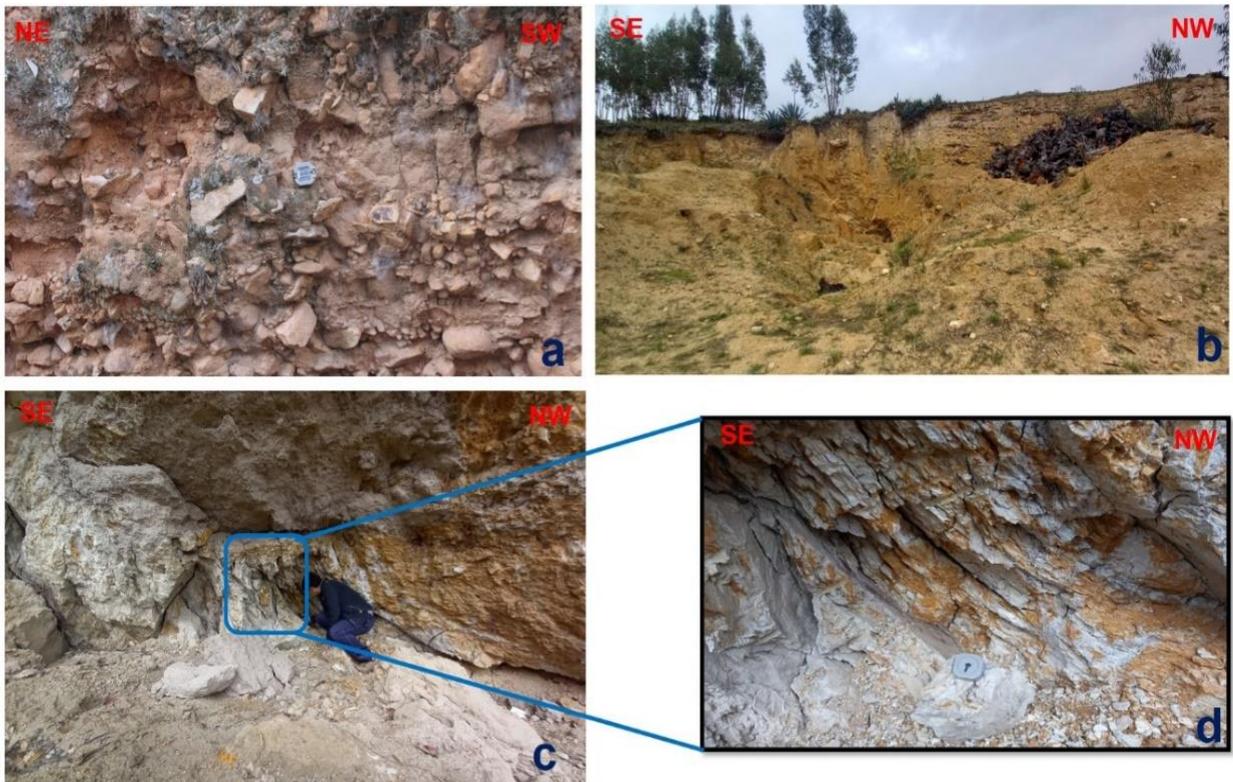


Foto 7. Se observa Cantos, Gravas, arenas y arcillas coluviales.

- a) Foto en la que se observa Cantos y Gravas angulosos a subangulosos. Ubicación (E: 775750, N: 9204152 y C: 2789 msnm)
- b) Presencia de arena, material que cubre en gran parte los depósitos de arcillas comunes Ubicación (E: 775648, N: 9204053 y C: 2803 msnm).
- c) Se observa las arcillas comunes en un corte de talud. Ubicación (E: 775645, N: 9204070 y C: 2805 msnm)
- d) Ampliación de la foto (c), en la cual se observa las arcillas coluviales con presencia de óxidos Fe-Mg. Ubicación (E: 775645, N: 9204070 y C: 2805 msnm)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Muestreo Geológico

El muestreo es generalizar todo lo observado en una parte representativa basándose en una idea de la similitud entre la composición de la muestra y el universo del cual se extrajo, es decir es un proceso selectivo en la que se realiza una separación de una porción dada de material (yacimiento), con el objeto de reducir su volumen, pero seguir manteniendo sus características generales como físicas, químicas o mineralógicas con el único fin de determinar sus propiedades o composición del material original. El muestreo geológico es de suma importancia ya que las muestras sirven para analizar y determinar los tipos, calidad y cantidad de minerales que se encuentran en la zona, para luego esto pueda permitir definir una evaluación. Es una labor en la cual hay que tener mucho cuidado al realizar la toma de muestras, porque un incorrecto muestreo puede llevar a cometer errores que influirán para la toma de decisiones en la investigación.

En las zonas donde hay presencia de arcillas, en este caso arcillas coluviales de acuerdo a su origen y comunes de acuerdo a su clasificación industrial, se observa que todo el yacimiento está cubierto por arena, pero existen algunos socavones que son realizados para la extracción de arcillas, las cuales nos facilita para realizar el muestreo geológico, en otro punto se hizo una calicata por el mismo hecho que las arcillas no aflora en superficie.



Foto 8. Socavón en la cual facilita la extracción de muestras. Ubicación: (E: 775708, N: 9204076 y C: 2796 msnm)



Foto 9. Arcilla que aflora en superficie. Ubicación: (E: 775645, N: 9204070 y C: 2805 msnm)



Foto 10. Calicatas para obtener muestra de Arcilla. Ubicación: (E: 775518, N: 9203953 y C: 2818 msnm)

4.1.1 Método de Muestreo

Muestreo Aleatorio (No Sistemático)

Para el muestreo se usó este método ya que la muestra seleccionada y extraída tiene igual probabilidad con otra muestra de ser seleccionada debido a que cualquier sea la muestra representaría a la población.

4.1.2 Tipos de Muestreo

Muestreo por Puntos.

Se realizó este tipo de muestreo con el fin de obtener una muestra homogénea de toda la población, de esta manera poder obtener una muestra representativa.

Muestreo por Pozos (Calicatas)

En zonas donde las arcillas no afloran en superficie, para obtener una muestra se optó por realizar una calicata la cual facilitó poder extraer una muestra de arcilla.

4.1.3 Tipos de Muestra

Muestra Cruda

Las muestras obtenidas se clasifican como muestras crudas ya que aún no son sometidas a un tratamiento para su respectivo análisis.

4.1.4 Muestra Representativa

Es la obtención de una porción de material rocoso con la finalidad de ser analizado y se defina la principal sustancia mineral mediante análisis o pruebas cuyos resultados permitirán juzgar la calidad y eventualmente la cantidad de sustancia mineral útil. Es un conjunto de eventos, casos o unidades que son tomadas o extraídas de una población, que, de acuerdo a nuestro conocimiento de dicha población, posee algunas características similares al resto de conjunto del cual se extrae. Se define también como la porción de material tomado de una gran cantidad, con el propósito de estimar sus propiedades o su composición mediante análisis de laboratorio. Esta distinción está en la base de la propia identificación del universo. Y será un principio fundamental en todo diseño muestral posible. La exactitud del muestreo dependerá del número de muestras, de la manera de su obtención y de la distribución correcta de las muestras en relación al volumen y forma del yacimiento o área estudiada. Es un requisito indispensable efectuar la limpieza de la superficie de muestreo antes de extraer la muestra.

4.1.5 Muestreo.

El muestreo se realiza con el fin de obtener sus características globales, con el fin de determinar las propiedades físicas y composición de las arcillas presentes.

El muestreo será fundamental para nuestra investigación para obtener los valores que requerimos, para esto se tiene que tener mucho cuidado al realizarlas, para que al final de la investigación no tomemos malas decisiones, como por ejemplo tomar muestras contaminadas, el resultado de su análisis mineralógico sería erróneo y por ende estaremos clasificando como otro tipo de arcillas.

Para poder elegir el mejor método de muestreo es de suma importancia conocer las características geológicas del yacimiento. De acuerdo a su geología y el cómo se depositaron las arcillas se determinó el método de muestreo a realizar: método por puntos y calicatas.

El muestreo empieza con la identificación de áreas o puntos exactos donde muestrear, usando el método aleatorio; luego se determina la extensión (área) a muestrear, su ubicación, extracción, preparación, cuarteo y análisis respectivo.

4.1.6 Muestra

Podemos decir que la muestra obtenida es la porción que se ha logrado extraer de un todo, de tal modo que esta sea considerada lo más representativa posible del mismo.

Una vez que se hayan tomado las muestras, se codifica y se procede su envío al laboratorio SLab para que se procede a su análisis ya que los resultados de estas nos servirán para determinar el tipo de arcillas que se tiene en cada punto de muestreo (1 – 5). Las muestras se detallan en las tablas del 15 al 19.

4.1.7 Tamaño de la Muestra

Las muestras que se recogieron contienen un mínimo de 1kg del material muestreado, de la cual solo se usa una porción para su análisis y el resto queda como una contra muestra que puede servir para un nuevo análisis.

Tabla 12. Muestreo en el área de estudio

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	
MÉTODO DE MUESTREO	Muestreo Aleatorio (no sistemático)
TIPO DE MUESTREO	Muestreo por puntos y muestreo por calicatas
TIPO DE MUESTRA	Muestra Cruda
TOTAL DE MUESTRAS	5

Una vez identificado el método, tipo de muestreo se procede a tomar muestras, describirlas y luego etiquetarlas para realizar su análisis correspondiente y así determinar su composición química, lo cual ayudará con los objetivos de la investigación.

Tabla 13. Descripción de muestras de Arcillas MS-1

FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS		
Fecha: 15-01-2021		N: 9204063
N° Muestra: MS-1	Coordenadas	E: 775727
N° carta: 15 f		C: 2798 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de Cajamarca	DATUM: WGS-84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	
ASPECTOS GENERALES		
Color: Gis verdoso		
Brillo: Mate		
Dureza: 2		
Porosidad: sí		
Raya: Gris verdoso		
Fractura: Irregular		
Reacción con HCl: no		
Nombre de la Roca	Según su Origen	Arcillas Coluviales
	Según su clasificación Industrial	Arcillas Comunes

Fuente: Modificado del formato de clasificación de rocas detríticas. Arapa, (2016).

Tabla 14. Descripción de muestra de Arcilla MS-2

FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS		
Fecha: 15-01-2021		N: 9204076
N° Muestra: MS-2	Coordenadas	E: 775708
N° carta: 15 f		C: 2796 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de Cajamarca	DATUM: WGS-84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	
ASPECTOS GENERALES		
Color: Blanco		
Brillo: Mate		
Dureza: 2		
Porosidad: sí		
Raya: Blanca		
Fractura: Irregular		
Reacción con HCl: no		
Nombre de la Roca	Según su Origen	Arcillas Coluviales
	Según su clasificación Industrial	Arcillas Comunes

Fuente: Modificado del formato de clasificación de rocas detríticas. Arapa, (2016).

Tabla 15. Descripción de muestra de arcilla MS-3

FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS		
Fecha: 15-01-2021		N: 9204067
N° Muestra: MS-3	Coordenadas	E: 775685
N° carta: 15 f		C: 2795 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de Cajamarca	DATUM: WGS-84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	
ASPECTOS GENERALES		
Color: Amarillo blanquecino		
Brillo: Mate		
Dureza: 1		
Porosidad: sí		
Raya: Amarillo blanquecino		
Fractura: Irregular		
Reacción con HCl: no		
Nombre de la Roca	Según su Origen	Arcillas Coluviales
	Según su clasificación Industrial	Arcillas Comunes

Fuente: Modificado del formato de clasificación de rocas detríticas. Arapa, (2016).

Tabla 16. Descripción de muestra de arcilla MS-4

FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS		
Fecha: 15-01-2021		N: 9204070
N° Muestra: MS-4	Coordenadas	E: 775645
N° carta: 15 f		C: 2805 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de Cajamarca	DATUM: WGS-84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	
ASPECTOS GENERALES		
Color: Amarillo pardo		
Brillo: Mate		
Dureza: 3		
Porosidad: sí		
Raya: Amarillo pardo		
Fractura: Irregular		
Reacción con HCl: no		
Nombre de la roca	Según su Origen	Arcillas Coluviales
	Según su clasificación Industrial	Arcillas Comunes

Fuente: Modificado del formato de clasificación de rocas detríticas. Arapa, (2016).

Tabla 17. Descripción de muestra de arcilla MS-5

FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLAS		
Fecha: 15-01-2021		N: 9203953
N° Muestra: MS-5	Coordenadas	E: 775518
N° carta: 15f		C: 2818 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de Cajamarca	DATUM: WGS-84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	
ASPECTOS GENERALES		
Color: Blanco		
Brillo: Mate		
Dureza: 4		
Porosidad: sí		
Raya: Blanca		
Fractura: Irregular		
Reacción con HCl: sí		
Nombre de la roca	Según su Origen	Arcillas Coluviales
	Según su clasificación Industrial	Arcillas Comunes

Fuente: Modificado del formato de clasificación de rocas detríticas. Arapa, (2016).

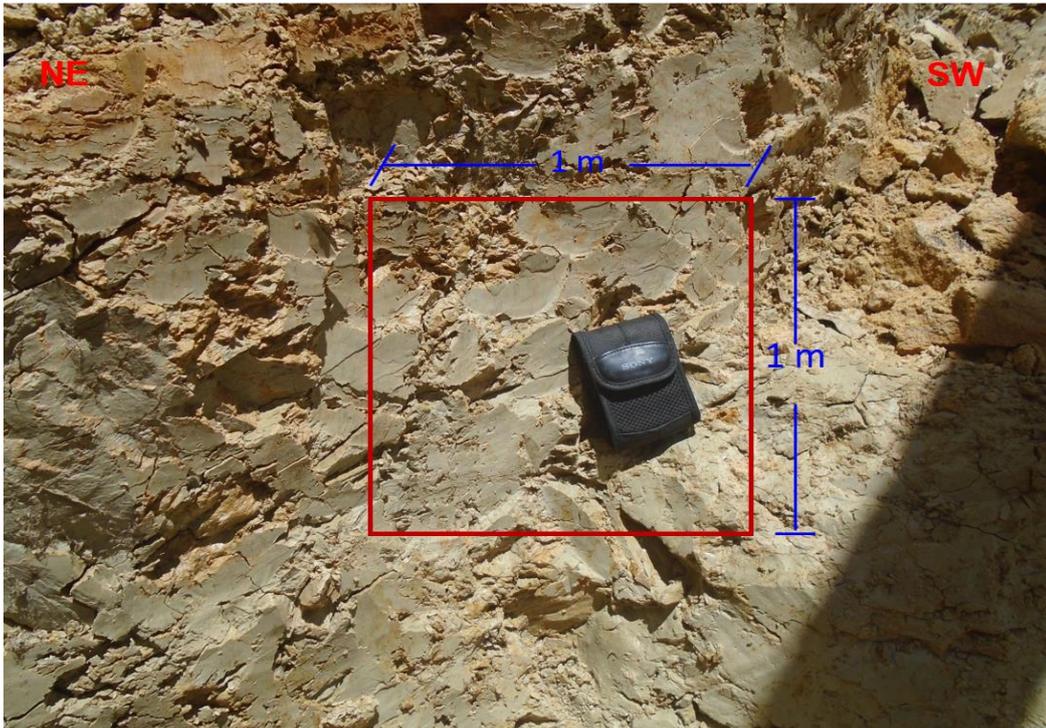


Foto 11. Punto de donde se obtuvo la muestra 1 (MS-1), ubicación (E: 775727, N: 9204063 y C: 2798 msnm) Azimut: N 254°, Buzamiento: 50° SW

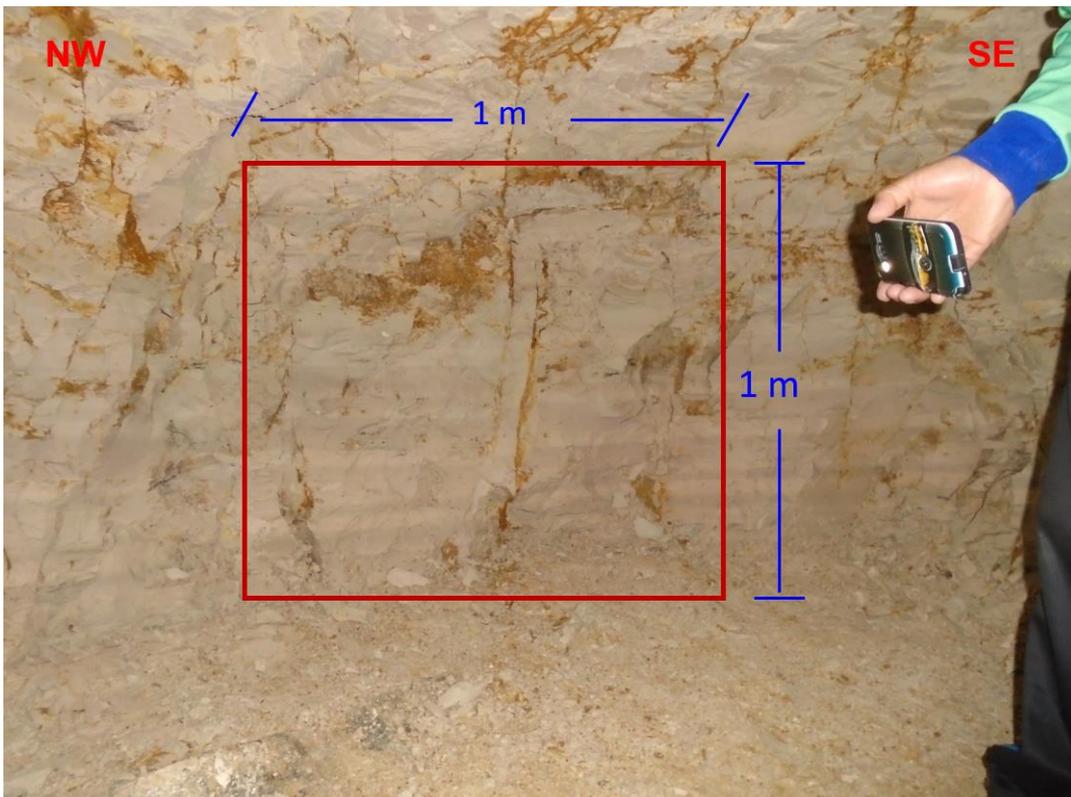


Foto 12. Punto donde se obtuvo la muestra 2 (MS-2), ubicación (E: 775708, N: 9204076 y C: 2796 msnm) Azimut: N 267°, Buzamiento: 40° SW

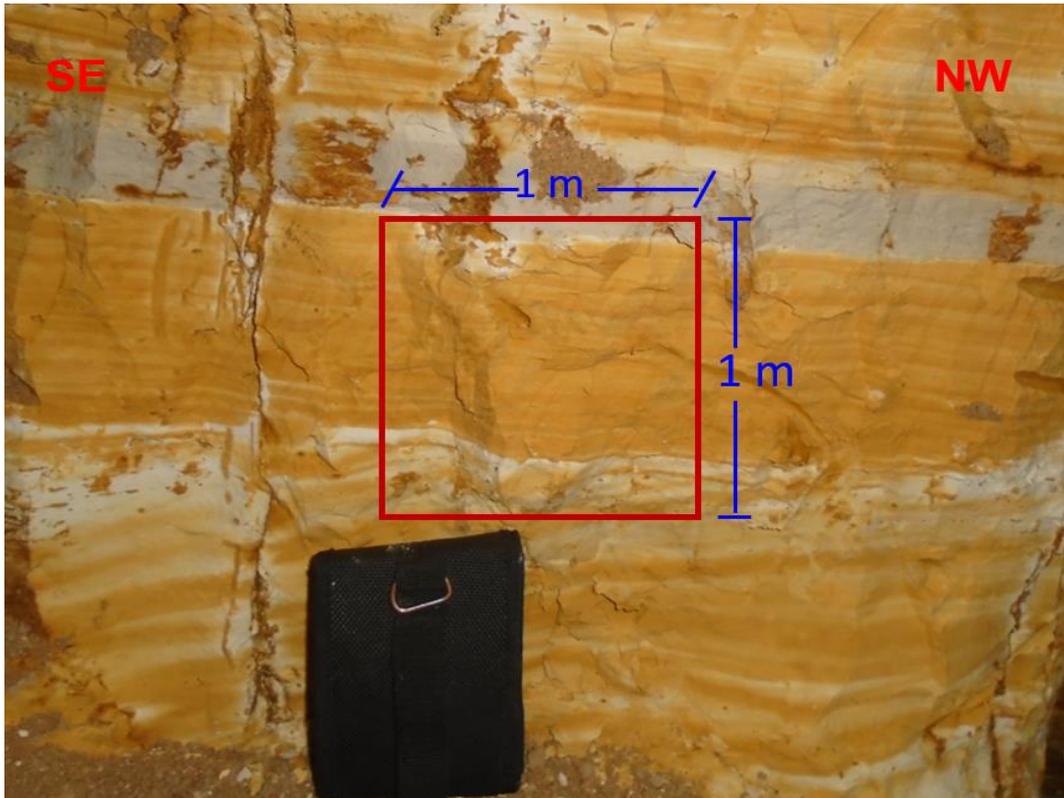


Foto 13 Punto donde se obtuvo la muestra 3 (MS-3), ubicación (E:775685, N:9204067 y C: 2795 msnm) Azimut: N 275°, Buzamiento: 15° NW

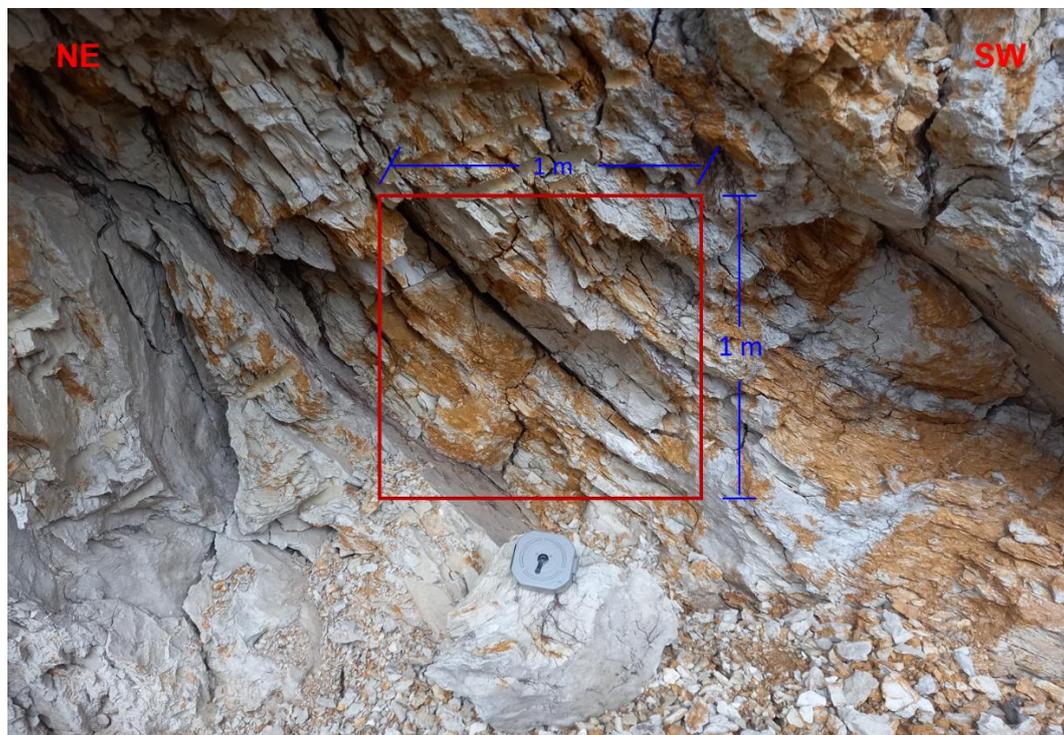


Foto 14. Punto donde se obtuvo la muestra 4 (MS-4), Ubicación (E: 775645, N: 9204070 y C: 2805 msnm) Azimut: N 260°, Buzamiento: 45° SW

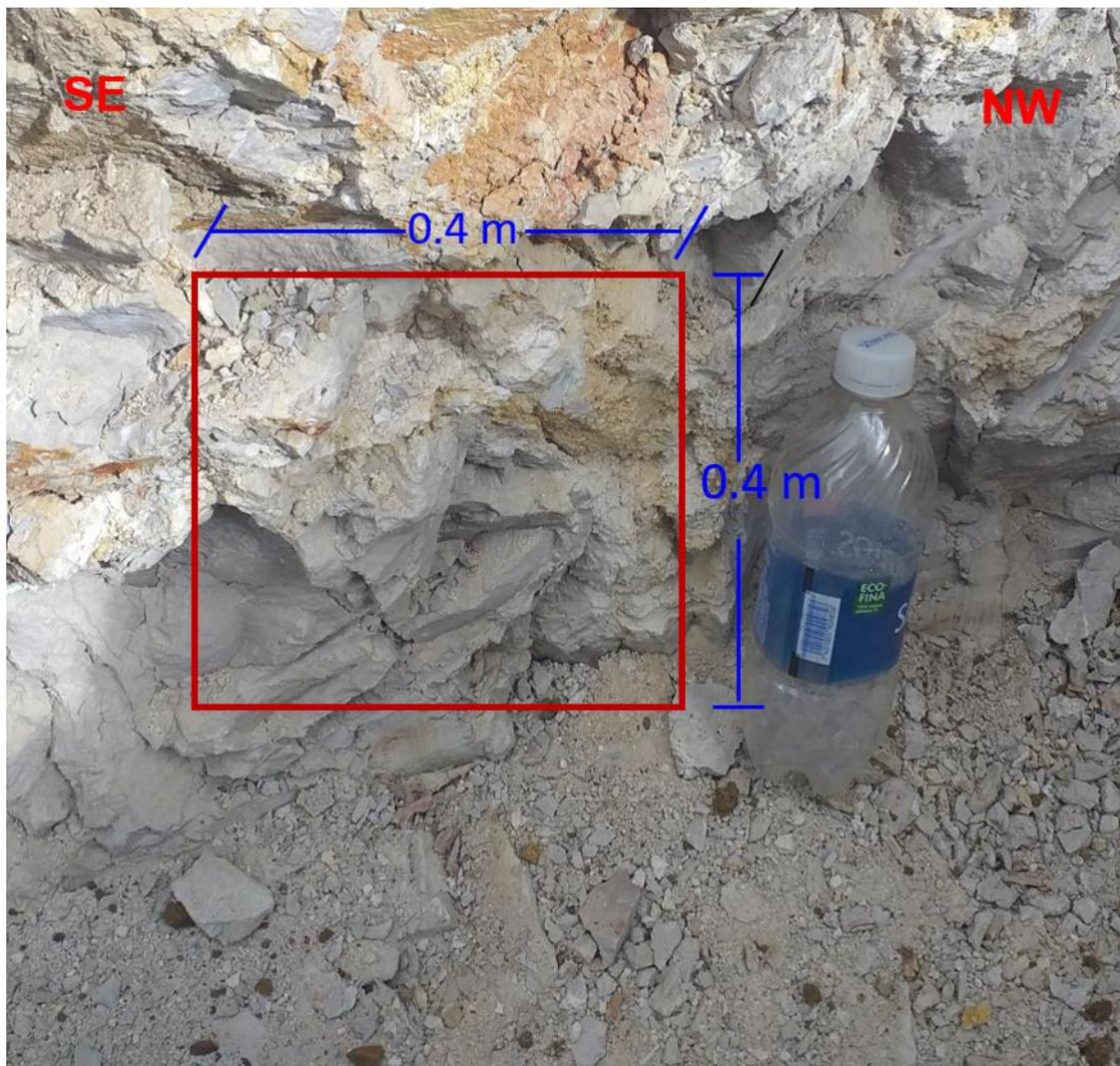


Foto 15. Punto donde se obtuvo la muestra 5 (MS-5), ubicación (E: 775518, N: 9203953 y C: 2818 msnm)

4.2 Perfil de la Calicata

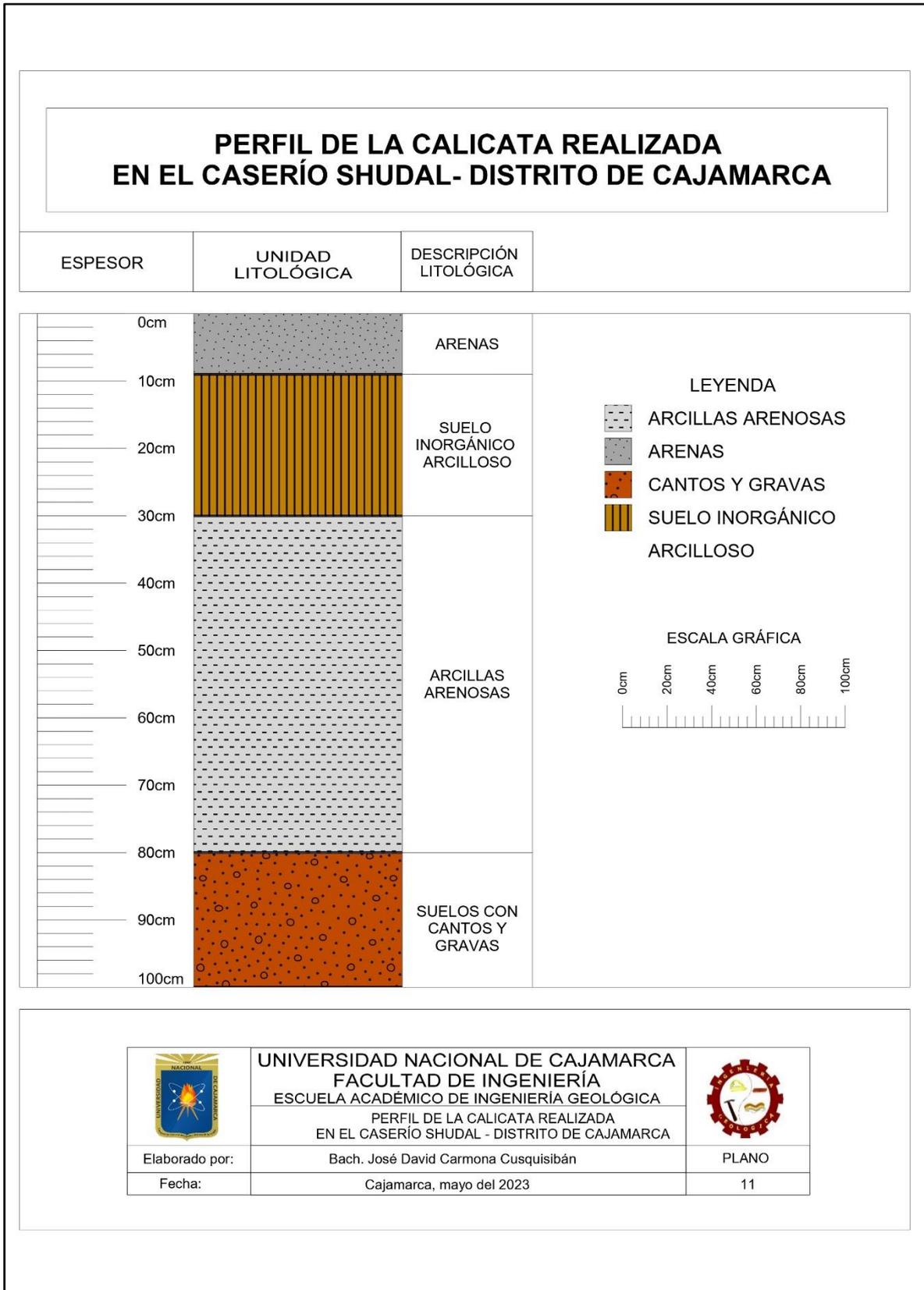


Figura 12. Perfil de la calicata en la que se identifica los materiales: suelos arcillosos, gravas, arenas y arcillas Residuales arenosas. Referencia (Anexo: Plano N° 11)

4.4 Columna Estratigráfica

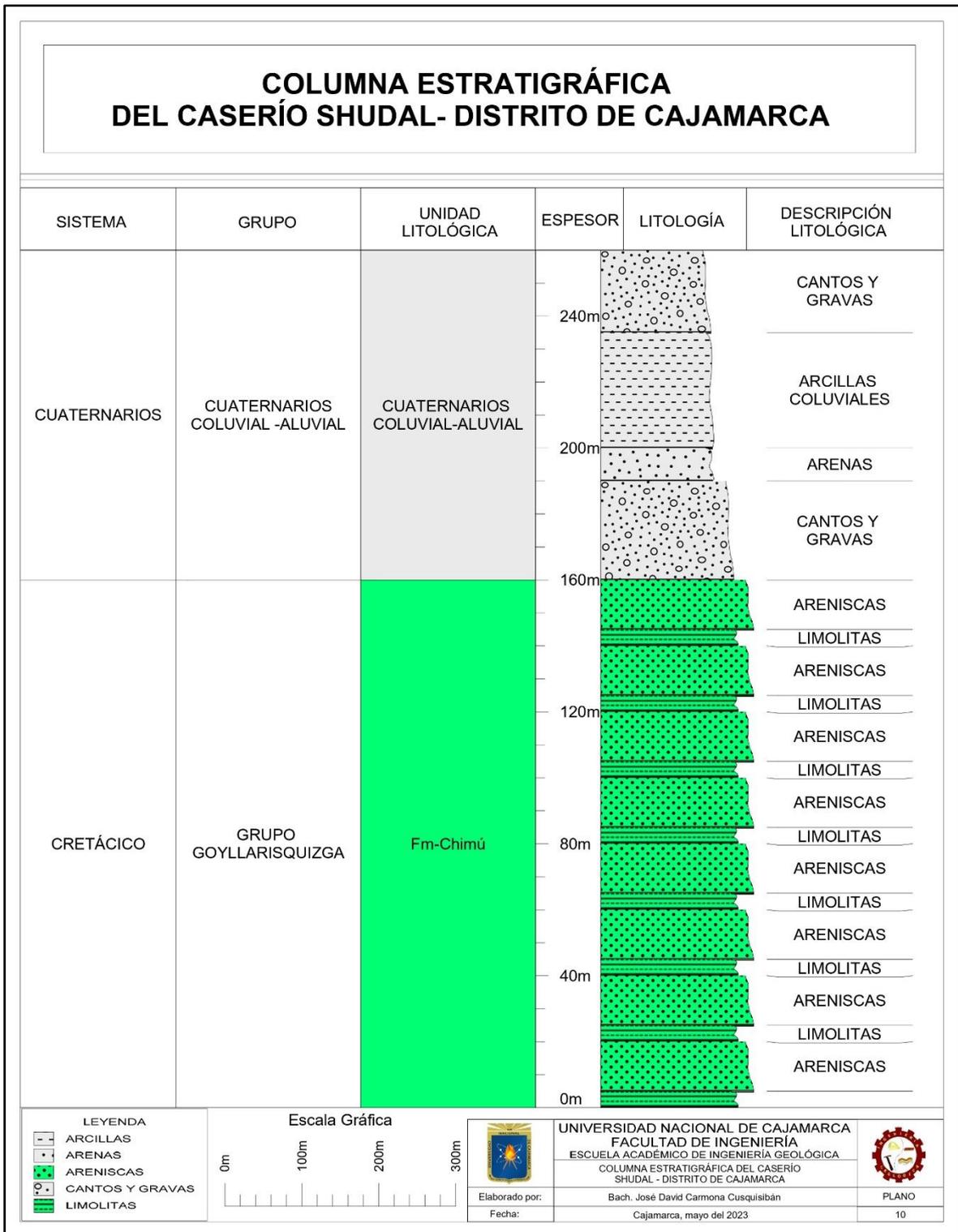


Figura 14. Columna estratigráfica para la ubicación de horizontalidad de las arcillas coluviales Referencia (Anexo: Plano N° 10)

4.5 Análisis por Fluorescencia de Rayos X

Después de codificar y describir las 5 muestras recolectadas del depósito de arcillas del Caserío Shudal, se procede a enviarlas al laboratorio SLAB (Laboratorio de Ensayo e Investigación), para que mediante el análisis de Fluorescencia de Rayos X determinen su composición química de cada muestra de arcilla. Mediante este método se pueden registrar alrededor de 80 elementos, puede revelar la existencia y abundancia singular de determinados elementos que permitan diferenciar la composición de determinadas pastas. Con esta técnica, es posible determinar la concentración de elementos que están comprendidos entre el Sodio ($Z = 11$) y el Uranio ($Z = 92$), no se pueden determinar elementos livianos como hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno debido a la baja energía de sus rayos X característicos y a su bajo rendimiento de fluorescencia. Se aplica a muestras sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, tales como líticos, cerámico, pastas, pigmentos, vegetales, huesos, metales.



Figura 15. Equipo para el análisis de Fluorescencia de Rayos X

Fuente: Valentinuzzi, (2008)

4.5.1 Preparación de Muestras para Fluorescencia de Rayos X

Todos los procedimientos de la preparación de muestras mencionados a continuación son realizados por el laboratorio encargado de analizarlas (SLAB).

- Se procede a triturar cada muestra para luego tamizarla y así lograr una granulometría uniforme.
- Se codifica cada muestra de acuerdo a la correlación de muestras recibidas por el laboratorio.

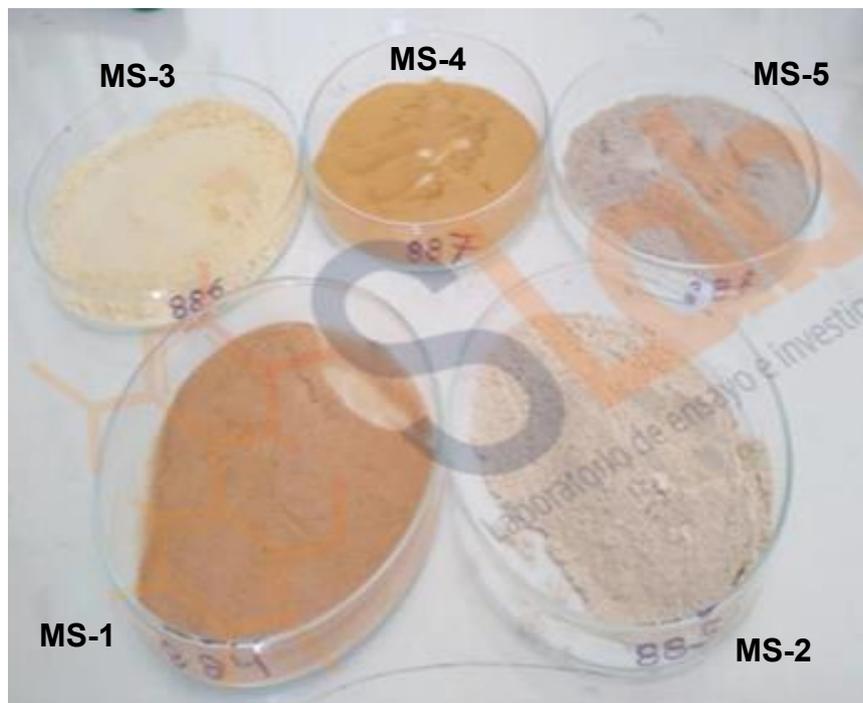


Figura 16: Muestras en laboratorio Slab para analizar

- Ya codificadas se procede a colocar las muestras al horno con la finalidad de obtener muestras secas y no húmedas.



Figura 17. Horno Mufla

- Se pesa las muestras en una balanza analítica.



Figura 18. Balanza analítica.

- Cada muestra seca se coloca en el haz dentro de unos tubos capilares y también se pueden colocar en moldes o porta muestra con el fin de hacer una especie de pastilla, para su análisis por Fluorescencia de Rayos X y de esta manera obtener la composición química de cada muestra.

4.5.2 Resultados por parte del laboratorio Slab

Muestra MS-1. Muestra con código interno S-0884 según laboratorio SLAB, presenta una mayor composición de SiO₂ con un 63.38%, Al₂O₃ con un 16.52%, Fe₂O₃ con un 1.64%, k₂O con un 1.84%; así mismo está compuesta por otros elementos en menor composición (CaO, P₂O₅ y MgO), además contiene un 11.12% de agua (H₂O).

Tabla 18. Resultados FRX para la muestra MS-1

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0884 (MS-1)
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	63.38
Al ₂ O ₃		16.52
Fe ₂ O ₃		1.64
k ₂ O		1.84
CaO		1.43
P ₂ O ₅		0.14
MgO		0.11
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	3.81
H ₂ O	Gravimetría	11.12

Muestra MS-2. Muestra con código interno S-0885 según laboratorio SLAB, presenta una mayor composición de SiO₂ con un 61.85%, Al₂O₃ con un 15.2%, Fe₂O₃ con un 0.79%, k₂O con un 1.58%; así mismo está compuesta por otros elementos en menor composición (CaO, P₂O₅ y MgO), además contiene un 5.47% de agua (H₂O).

Tabla 19. Resultados FRX para la muestra MS-2

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0885 (MS-2)
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	61.85
Al ₂ O ₃		15.2
Fe ₂ O ₃		0.79
k ₂ O		1.58
CaO		1.6
P ₂ O ₅		0.07
MgO		0.02
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	13.42
H ₂ O	Gravimetría	5.47

Muestra MS-3. Muestra con código interno S-0886 según laboratorio SLAB, presenta una mayor composición de SiO₂ con un 56.24%, Al₂O₃ con un 13.52%, Fe₂O₃ con un 0.65%, k₂O con un 0.55%; así mismo está compuesta por otros elementos en menor composición (CaO, P₂O₅ y MgO), además contiene un 16.53% de agua (H₂O).

Tabla 20. Resultados FRX para la muestra MS-3

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0886 (MS-3)
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	56.24
Al ₂ O ₃		13.52
Fe ₂ O ₃		0.65
k ₂ O		0.55
CaO		0.21
P ₂ O ₅		0.07
MgO		0.01
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	12.23
H ₂ O	Gravimetría	16.53

Muestra MS-4. Muestra con código interno S-0887 según laboratorio SLAB, presenta una mayor composición de SiO₂ con un 41.58%, Al₂O₃ con un 13.62%, Fe₂O₃ con un 3.27%, k₂O con un 3.52%; así mismo está compuesta por otros elementos en menor composición (CaO, P₂O₅ y MgO), además contiene un 9.55% de agua (H₂O).

Tabla 21. Resultados FRX para la muestra MS-4

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0887 (MS-4)
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	41.58
Al ₂ O ₃		13.62
Fe ₂ O ₃		3.27
k ₂ O		3.52
CaO		1.28
P ₂ O ₅		0.18
MgO		0.06
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	26.94
H ₂ O	Gravimetría	9.55

Muestra MS-5. Muestra con código interno S-0888 según laboratorio SLAB, presenta una mayor composición de SiO₂ con un 66.62%, Al₂O₃ con un 19.95%, Fe₂O₃ con un 0.11%, k₂O con un 3.19%, CaO con un 1.54%; así mismo está compuesta por otros elementos en menor composición (P₂O₅ y MgO), además contiene un 0.89% de agua (H₂O).

Tabla 22. Resultados FRX para la muestra MS-5

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0888 (MS-5)
SiO ₂		66.62
Al ₂ O ₃		19.95
Fe ₂ O ₃		0.11
k ₂ O	Fluorescencia de rayos X (XRF)	3.19
CaO		1.54
P ₂ O ₅		0.09
MgO		0.01
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	7.61
H ₂ O	Gravimetría	0.89

4.5.3 Comparación entre las muestras de acuerdo a sus Parámetros Analizados.

De acuerdo a los resultados de los análisis de las 5 muestras de arcillas, realizados por el laboratorio SLAB, podemos decir que en el elemento SiO₂ la muestra cinco (MS-5) posee mayor composición con 67%, seguida de la muestra uno (MS-1) con 64% y la muestra dos (MS-2) con 62%; en el elemento Al₂O₃ la muestra cinco (MS-5) posee mayor composición con 20%, seguida de la muestra uno (MS-1) con 17%; en el elemento Fe₂O₃ la muestra cuatro (MS-4) posee mayor composición con 3% seguida de la muestra uno (MS-1) con 2%; en el elemento k₂O la muestra cuatro (MS-4) posee mayor composición con 4%; en el elemento CaO la muestra cinco (MS-5) posee mayor composición con 2%; en el elemento P₂O₅ la muestra cuatro (MS-4) posee 0%; en el elemento MgO la muestra uno (MS-1) posee 0%.

Tabla 23. Comparación de resultados por FRX de las muestras.

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0884 (MS-1)	S-0885 (MS-2)	S-0886 (MS-3)	S-0887 (MS-4)	S-0888 (MS-5)
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	63.38	61.85	56.24	41.58	66.62
Al ₂ O ₃		16.52	15.2	13.52	13.62	19.95
Fe ₂ O ₃		1.64	0.79	0.65	3.27	0.11
K ₂ O		1.84	1.58	0.55	3.52	3.19
CaO		1.43	1.6	0.21	1.28	1.54
P ₂ O ₅		0.14	0.07	0.07	0.18	0.09
MgO		0.11	0.02	0.01	0.06	0.01
Pérdida de Calcinación	Gravimetría	3.81	13.42	12.23	26.94	7.61
H ₂ O	Gravimetría	11.12	5.47	16.53	9.55	0.89
Nombre de la Roca	Según su Origen	Arcilla Coluvial				
	Según su clasificación Industrial	Arcilla Común				

4.6 Análisis por Difracción de Rayos X.

Para este método de análisis, las 5 muestras se enviaron al Laboratorio SLAB, el cual después de su respectivo análisis emitió los resultados.

El equipo para Difracción de Rayos X 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.

Los minerales identificados por análisis de difracción de rayos X se reportarán y se agruparán en cantidades grandes (>30%), moderadas (10-30%), pequeñas (2-10%) y mínimas (<2%). (SGS del Perú, 2015).

Para este análisis se tomaron parte de las muestras preparadas para el análisis de Fluorescencia de Rayos X.

4.6.1 Resultados por parte del laboratorio SLAB

Muestra MS-1. Muestra que según los resultados del laboratorio SLAB, presenta Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) un 65.8%, Silicon Oxide (SiO_2) con un 10.4%, Quartz (SiO_2) con un 5.3% y Panunzite ($(\text{K},\text{Na})\text{AlSiO}_4$) con un 18.4%.

Tabla 24. Resultados DRX para la muestra MS-1

Mineral	Metodología Utilizada	Resultados, %
Kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Difracción de Rayos X, DRX	65.8
Panunzite $(\text{K},\text{Na})\text{AlSiO}_4$		18.4
Silicon Oxide, SiO_2		10.4
Quartz, SiO_2		5.3

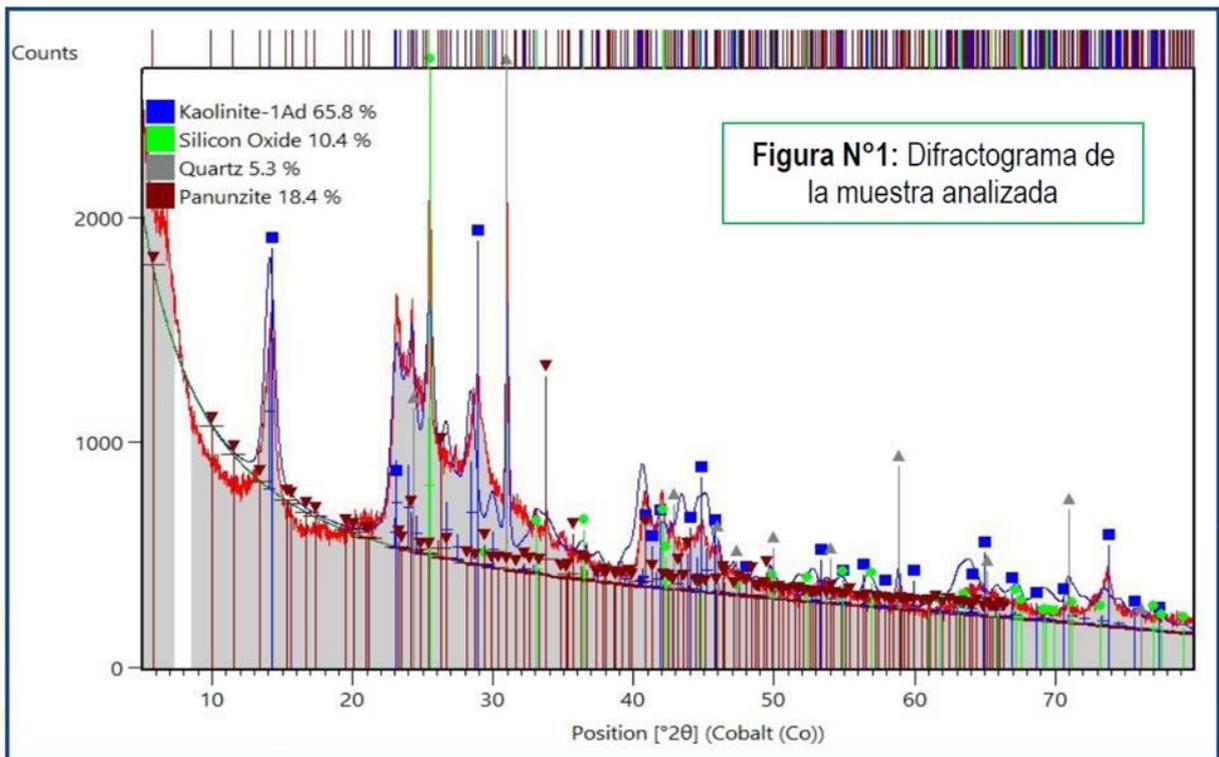


Gráfico 2. Difractograma de la muestra MS-1

Muestra MS-2. Muestra que según los resultados del laboratorio SLAB, presenta Tridymite (SiO_2) un 36.8%, Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) un 54%, Quartz (SiO_2) con un 6.2% y Cristobalite, (SiO_2) un 3.1%.

Tabla 25. Resultados DRX para la muestra MS-2

Mineral	Metodología Utilizada	Resultados, %
Kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Difracción de Rayos X, DRX	54
Tridymite, SiO_2		36.8
Quartz, SiO_2		6.2
Cristobalite, SiO_2		3.1

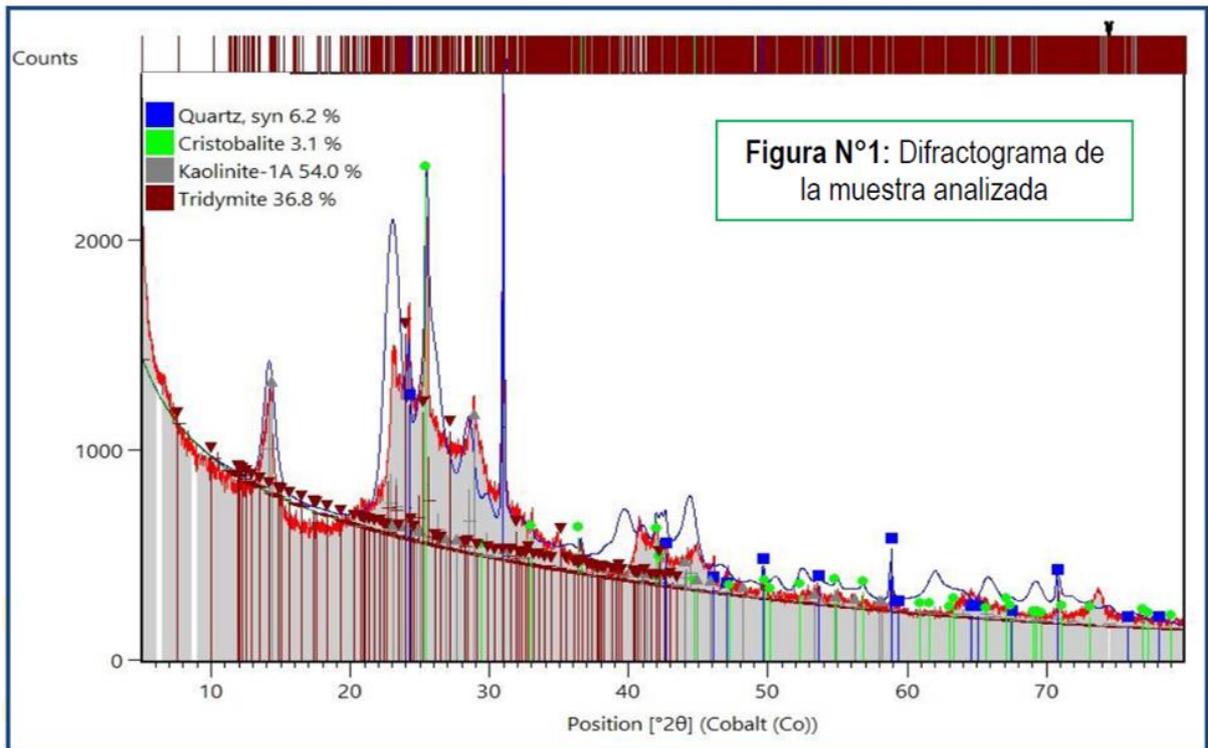


Gráfico 3. Difractograma de la muestra MS-2

Muestra MS-3. Muestra que según los resultados del laboratorio SLAB, presenta Tridymite (SiO_2) un 51.7%, Silicon Oxide (SiO_2) con un 24.7% y Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) un 23.5%.

Tabla 26. Resultados DRX para la muestra MS-3

Mineral	Metodología Utilizada	Resultados, %
Tridymite, SiO_2		51.7
Silicon Oxide, SiO_2	Difracción de Rayos X, DRX	24.7
Kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$		23.5

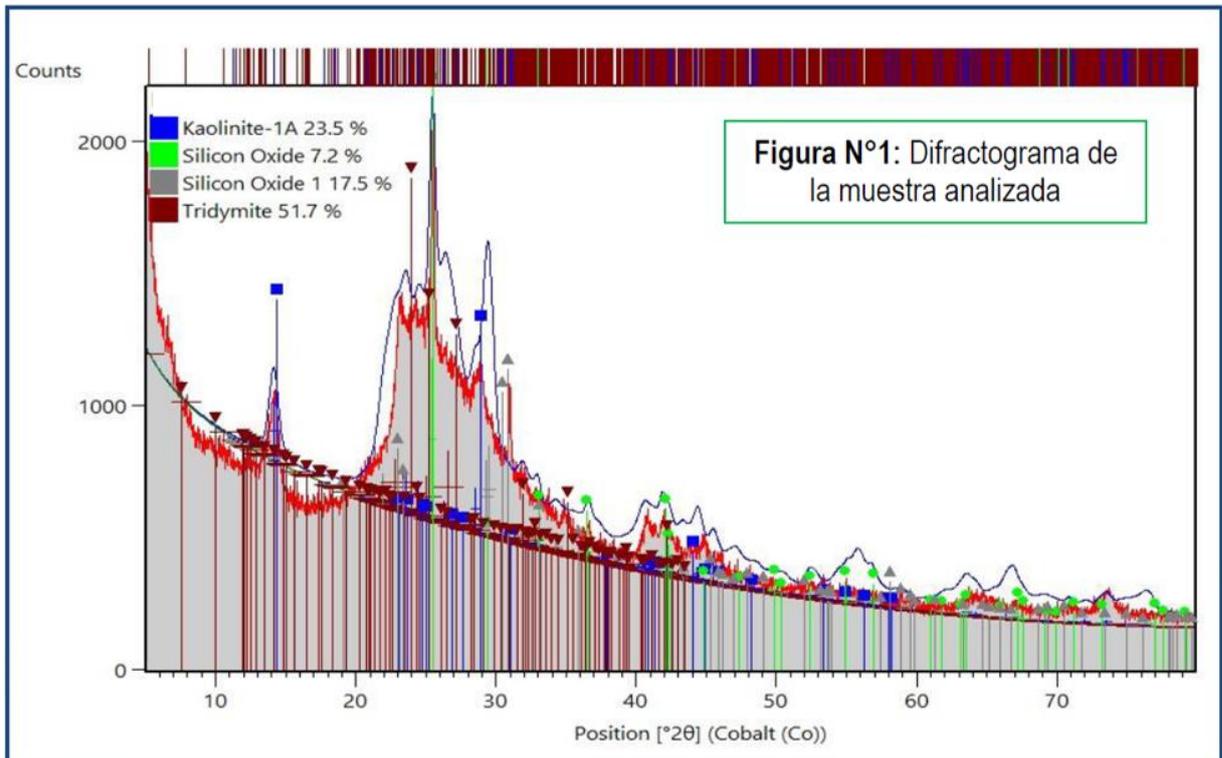


Gráfico 4. Difractograma de la muestra MS-3

Muestra MS-4. Muestra que según los resultados del laboratorio SLAB, presenta Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) un 54.4%, Tridymite (SiO_2) un 32.2%, Berlinite (AlPO_4) con un 12.5% y Alabandite ferroan, ($\text{Mn}_{0.84-0.89}\text{Fe}_{0.11-0.16}\text{S}$) un 0.9%.

Tabla 27. Resultados DRX para la muestra MS-4

Mineral	Metodología Utilizada	Resultados, %
Kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Difracción de Rayos X, DRX	54.4
Tridymite, SiO_2		32.2
Berlinite, AlPO_4		12.5
Alabandite ferroan, $\text{Mn}_{0.84-0.89}\text{Fe}_{0.11-0.16}\text{S}$		0.9

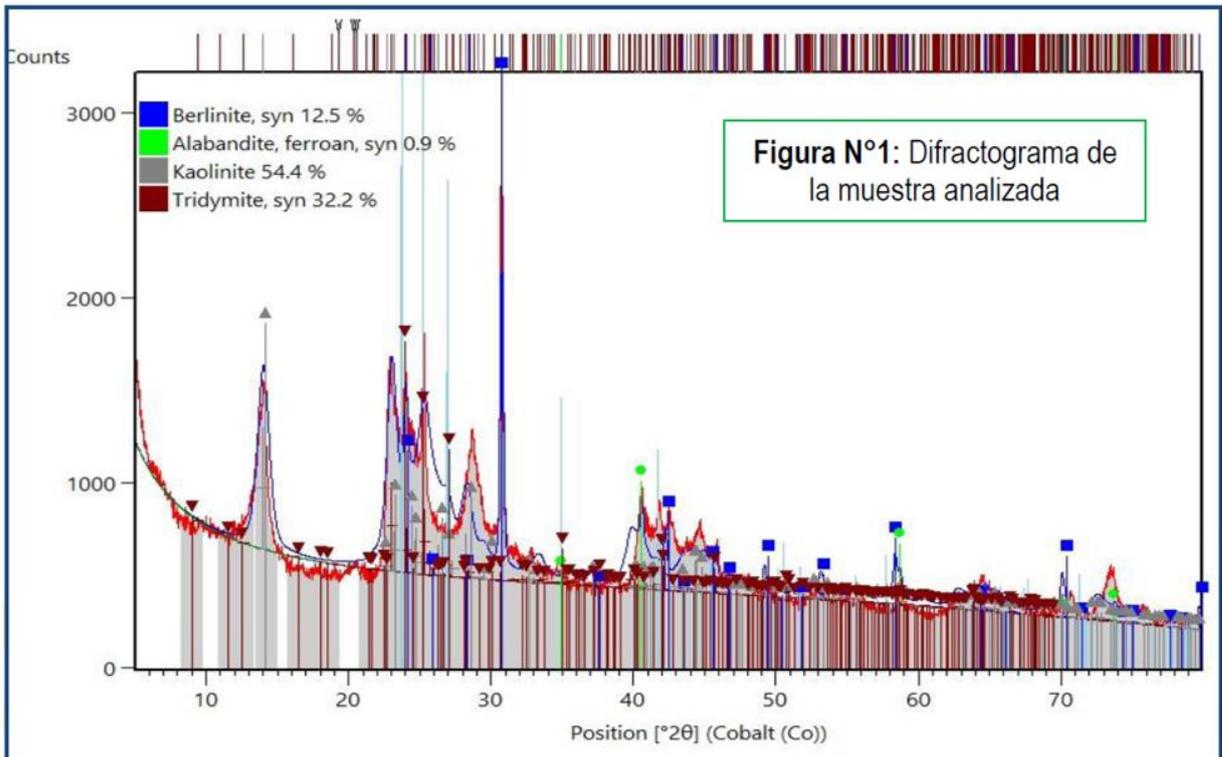


Gráfico 5. Difractograma de la muestra MS-4

4.7 Proceso de formación de las arcillas y tipo de depósito.

4.7.1 Proceso de Formación.

Se sabe 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.

En el área de estudio la temperatura máxima media anual es de 22.2° C y con precipitación pluvial promedio anual que varía entre los 6 mm. y 119 mm. La precipitación abundante hizo posible el lavado de roca madre.

Se puede decir que por procesos exógenos se formó un manto de alteración debido a que las rocas de la Formación Chimú se alteraron y no sufrieron un gran transporte, lo cual les otorga mayor pureza, es decir poseen menos óxidos de hierro y residuos orgánicos es por lo cual las arcillas del área de estudio son de color claros.

4.7.2 Clasificación de las Arcillas.

4.7.2.1 Según su Origen (tipos de depósitos de arcillas).

Las arcillas de los 5 puntos muestreados, de acuerdo a los agentes geológicos y según la ubicación del yacimiento en el que se originó, las arcillas son de tipo coluviales, ya que se determinó que las arcillas encontradas son producto de hidrólisis y lixiviación con un proceso de transformación de minerales existentes condicionados al clima en un ambiente de zona húmeda determinando un tipo de arcillas coluviales.

A) Arcillas Coluviales

Las arcillas de la zona de estudio son coluviales debido a que las rocas y arcillas residuales que están próximas fueron meteorizadas por procesos exógenos y sufrieron desplazamientos cortos por deslizamiento y lluvias, a esta deducción ayuda la geomorfología, litología, el drenaje y el clima que presenta en el lugar a estudiar, que son fuertes lluvias en los meses de diciembre a marzo.

Tabla 28. Clasificación de las arcillas según su origen

Génesis	Ambiente	Proceso	Tipo
Hidrólisis Meteorización	Zonas Húmedas	Las arcillas identificadas (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 y MS-5) debido a la proximidad de rocas que al ser alteradas y tener desplazamientos cortos por deslizamiento o por lluvias, generan arcillas.	Arcillas Coluviales

Se sabe que las arcillas coluviales, acumuladas por lavado de arcillas residuales. Pueden ser refractarias y no refractarias. Las arcillas coluviales encontradas (MS-1 y MS-4) son clasificadas como refractarias porque contienen Fe_2O_3 y por el color rojizo que obtienen después de ser sometidos a una calcinación.

Arcillas refractarias.

Las arcillas refractarias propiamente dichas suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no quemem de color blanco. Se bien es cierto estas arcillas tienen alto contenido de cuarzo y esto se puede constatar con los resultados de los análisis por Fluorescencia de Rayos X, donde las cinco muestras analizadas contienen mayor composición de óxido de silicio con respecto a los demás elementos que lo conforman. Además, para decir que los depósitos de arcillas en el Caserío Shudal son refractarias, las muestras recolectadas (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 y MS-5) fueron sometidos a su cocción a una T° entre 1000 °C a 1500 °C, cuyo resultado de cambio de color se muestran en las tablas del 29 al 33.

Muestra 1 (MS-1)

La muestra 1 (MS-1) de arcilla coluvial en campo (In Situ) se observa que es de color gris verdoso y después de someterlo a su calcinación a una temperatura de 1200 °C aproximadamente vemos el cambio de color a un rojo pardo, lo que nos indica que en su composición está presente los óxidos de hierro, los cuales ante el incremento de temperatura tienden a obtener el color rojizo que es característico de una arcilla refractaria. Para ser una arcilla refractaria según (García, 1985) el componente Fe_2O_3 , tiene que acercarse o ser mayor a 2% o 3%, y esta arcilla según los resultados de análisis por Fluorescencia de Rayos X, tiene 1.64% de Fe_2O_3 , estando cerca a lo requerido. Es por esto que se determina que esta arcilla es refractaria.

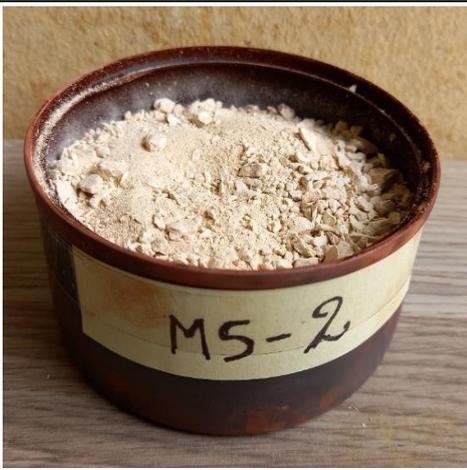
Tabla 29. Resultados de la cocción de la muestra MS-1

MUESTRA	ANTES DE LA COCCIÓN	DESPUÉS DE LA COCCIÓN
MS-1		
	Color gris verdoso	Color rojo pardo

Muestra 2 (MS-2)

La muestra 2 (MS-2) de arcilla coluvial; en campo (In Situ) es de color blanco, se somete a su calcinación a una temperatura de 1200 °C aproximadamente y vemos su cambio de color a un blanco crema, lo que nos indica que en su composición los óxidos de hierro son menores (0.79%) a comparación de los otros elementos principales ($\text{SiO}_2=61.85\%$ y $\text{Al}_2\text{O}_3=15.2\%$) de los que está compuesto, lo mencionado se corrobora con los resultados de Fluorescencia de Rayos X, por tal motivo al ser calcinados su color no tiende a ser rojizo, además (García, 1985) establece que para ser arcilla refractaria el componente Fe_2O_3 tiene que acercarse o ser mayor a 2% o 3% y en este caso el Fe_2O_3 es menor a lo establecido, por lo tanto concluimos que esta muestra no es refractaria.

Tabla 30. Resultados de la cocción de la muestra MS-2

MUESTRA	ANTES DE LA COCCIÓN	DESPUÉS DE LA COCCIÓN
MS-2		
	Color blanco	Color blanco crema

Muestra 3 (MS-3)

Al momento de recolectar la muestra 3 (MS-3) de arcilla coluvial en campo (In Situ) se observa que es de color amarillo blanquecino y después de someterlo a su calcinación a una temperatura de 1200 °C aproximadamente notamos que es de color blanco rosado, lo que nos indica que en su composición los óxidos de hierro son menores a lo establecido por (García, 1985) que tiene que acercarse o ser mayor a 2% o 3% de Fe_2O_3 ; de acuerdo a los resultados de análisis por Fluorescencia de Rayos X, tiene 0.65% de Fe_2O_3 , es por tal motivo al ser calcinados su color no tiende a ser rojizo, entonces se concluye que esta muestra no es refractaria.

Tabla 31. Resultados de la cocción de la muestra MS-3

MUESTRA	ANTES DE LA COCCIÓN	DESPUES DE LA COCCIÓN
MS-3		
	Color amarillo blanquecino	Color blanco rosado

Muestra 4 (MS-4)

Según (García, 1985) el componente Fe_2O_3 en las arcillas tiene que acercarse o ser mayor a 2% o 3%, y esta arcilla según los resultados de análisis por Fluorescencia de Rayos X, tiene 3.27%. En campo (In Situ) esta arcilla coluvial se observa que es de color amarillo pardo y después de someterlo a su calcinación a una temperatura de 1200 °C aproximadamente vemos el cambio de color a un rojo pardo, lo que nos indica que en su composición está presente los óxidos de hierro, por los cuales ante el incremento de temperatura tienden a obtener el color rojizo que es característico para determinar que esta arcilla coluvial es refractaria.

Tabla 32. Resultados de la cocción de la muestra MS-4

MUESTRA	ANTES DE LA COCCIÓN	DESPUES DE LA COCCIÓN
MS-4		
	Color amarillo pardo	Color rojo pardo

Muestra 5 (MS-5)

En la muestra 5 (MS-5) de arcilla coluvial, el componente Fe_2O_3 en las arcillas según (García, 1985) tiene que acercarse o ser mayor a 2% o 3%. En campo (In Situ) esta arcilla coluvial se observa que es de color blanco humo y después de someterlo a su calcinación a una temperatura de 1200 °C aproximadamente vemos que no hay cambio de color, lo que nos indica que estas arcillas en su composición tienen baja concentración óxidos de hierro y esta muestra según los resultados de análisis por Fluorescencia de Rayos X, tiene 0.11%, por los que esta arcilla coluvial no es refractaria.

Tabla 33. Resultados de la cocción de la muestra MS-5

MUESTRA	ANTES DE LA COCCIÓN	DESPUES DE LA COCCIÓN
MS-5		
	Color blanco humo	Color blanco humo

4.7.2.2 Según su clasificación Industrial.

La clasificación industrial es la más idónea para ordenar, separar y describir el depósito encontrado. Basándonos en el análisis de minerales de arcillas presentes en el depósito se realiza una clasificación industrial, es decir de acuerdo a la composición química que presenta las arcillas se determina que uso industrial se le puede dar en el presente y a futuro. Los depósitos de arcillas se clasificaron como arcillas comunes y arcillas especiales.

Arcillas comunes: los resultados de los análisis de Fluorescencia de Rayos X de las 5 muestras representativas de las arcillas (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 y MS-5) fueron esenciales para realizar una clasificación industrial, clasificándolas como arcillas comunes de acuerdo a Díaz y Torrecillas (2002) ya que en el elemento de Fe_2O_3 están por encima del 3% (MS-1 y MS-4), esto genera el color rojizo después de su cocción. Además, las arcillas comunes se caracterizan por poseer mayor porcentaje de sílice (SiO_2) y en los resultados de los análisis de todas las muestras, el elemento SiO_2 es el más predominante a comparación de otros elementos.

Tabla 34. Composición mineralógica de las arcillas comunes

Minerales	Para tejas	Para ladrillos
Cuarzo (SiO ₂)	30 – 50 %	30 – 55 %
Hematita (Fe ₂ O ₃)	0 – 5 %	

Fuente: Díaz y Zedano, (2006)

Arcillas especiales: según el análisis por Difracción de Rayos X las muestras de arcillas: MS-1, MS-2 y MS-4 presentes en el depósito de arcillas, presentan alta composición de caolinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄) 66%, 54%, 54% respectivamente; por lo que se consideran como arcillas especiales caolinitas; pero a la vez contienen moderada composición de sílice (SiO₂) y esto es corroborado de acuerdo al análisis de Fluorescencia de Rayos X que todas las muestras poseen gran composición en sílice (SiO₂), por lo que son óptimas para el uso industrial en alfarería (artesanías).

Tabla 35. Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas

Minerales	Arcillas caoliníticas	Arcillas caoliníticas silíceas
Caolinita (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	35 – 85 %	> 20 – 35 %
Cuarzo (SiO ₂)	8 – 35 %	35 – 60 %
Mica / Illita (K,H ₃ O)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀	10 – 30 %	< 20 %
Sustancia orgánica	0 – 16 %	0 – 16 %

Fuente: Díaz y Zedano, (2006)

4.8 Reserva de Mineral no metálico (Arcillas)

Las reservas minerales están constituidas sobre la base de características estructurales, geoquímicas, físicas, geológicas y mineralógicas que de acuerdo a su valorización óptima de sus propiedades representa una fuente potencial para su explotación. La reserva de mineral es la parte económica explotable de un recurso mineral medido o indicado. También pueden dividirse según su confiabilidad de estimación y su geometría.

4.8.1 Reserva Probable de Mineral no metálico.

Se ha realizado el cálculo de reserva de arcillas, el cual será probable por ser la parte económicamente explotable. Es decir, de aquella parte cuya estimación posee un alto nivel de confianza. Basado en la exploración detallada e información confiable sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas.

4.9 Método de Cálculo

Para el cálculo de reservas (cubicación) se ha utilizado el software Autocad Civil 3D, el cual ha permitido generar perfiles, a partir de las curvas de nivel, que servirá para determinar el área y volumen de los depósitos de arcillas coluviales mediante el método de perfiles, en la cual para los cálculos matemáticos se usa la regla de Simpson.

Luego que se ha calculado el volumen de las 2 zonas de depósitos de arcillas coluviales. Mediante un método matemático se ha calculado el tonelaje de reservas probables. La cual a continuación se muestra el método matemático a utilizar.

$$TM = V \cdot P_e$$

TM: Toneladas métricas de arcillas coluviales

V: Volumen del depósito de arcillas coluviales. (m³)

P_e: Peso específico de las arcillas coluviales.

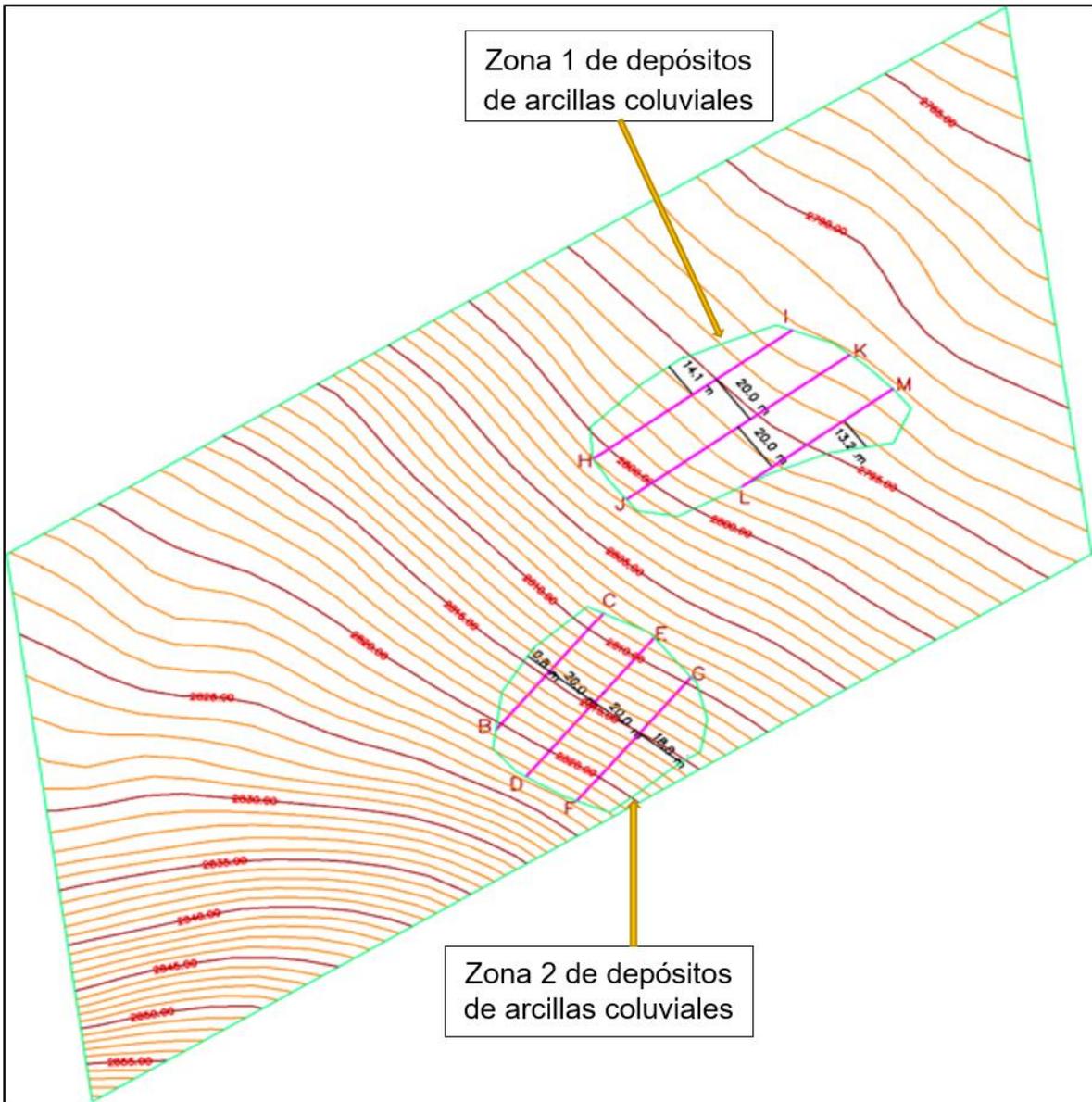


Figura 19. Curvas de nivel de los 2 depósitos de arcillas coluviales. Referencia (Anexo: Plano N° 04)

4.10 Cálculo de área de cada perfil.

Se determinaron dos zonas de concentración de arcillas, zona 1 en la cual se realizó el muestreo y la zona 2 donde se observó que las arcillas son de las mismas características que en la zona 1. Para la muestra MS-5 no se consideró por no poseer una óptima concentración de arcillas, es decir el yacimiento no profundiza y tampoco se extiende.

Para calcular el área de cada perfil se usa como método matemático la regla de Simpson.

Como las arcillas no afloran en superficie y están cubiertos por unas capas de arenas de espesor en un intervalo de 40 cm a 80 cm dependiendo de las pendientes o topografía del terreno (Unidades Geomorfológicas). La línea rasante para cada perfil se considera a 7m o 10 m con respecto a la altitud más baja del perfil, estos datos nos proporcionaron los que extraen las arcillas coluviales.

4.10.1 Perfiles de la zona 1 de depósitos de arcillas coluviales.

4.10.1.1 Área del Perfil H – I

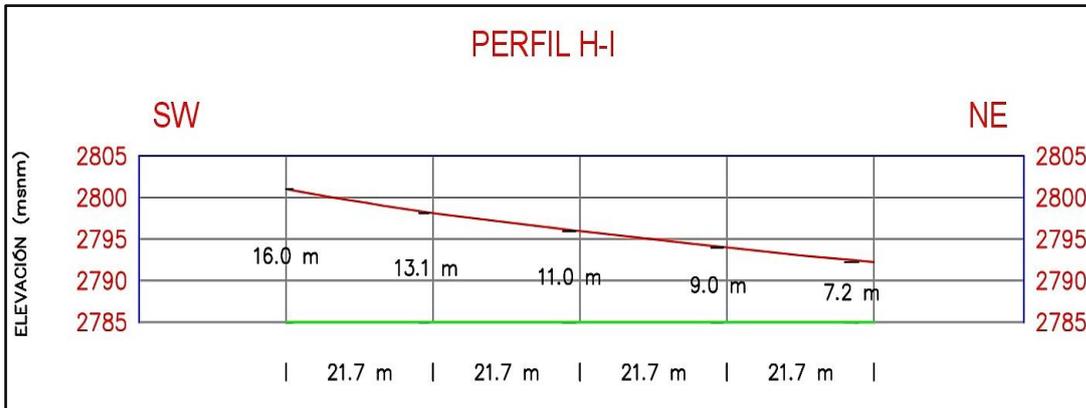


Figura 20. Perfil H-I, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección H – I se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil H - I insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Se resta el espesor de las capas de arenas, que cubren a las arcillas coluviales

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{n^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{86.8}{4} = 21.7 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{21.7}{3} (13 + 4(12) + 2(10.5) + 4(8.5) + 6.5)$$

$$\text{Área} = \frac{21.7}{3} (122.5)$$

$$\text{Área} = 7.2(122.5)$$

$$\text{Área} = 882 \text{ m}^2$$

4.10.1.2 Área del Perfil J – K

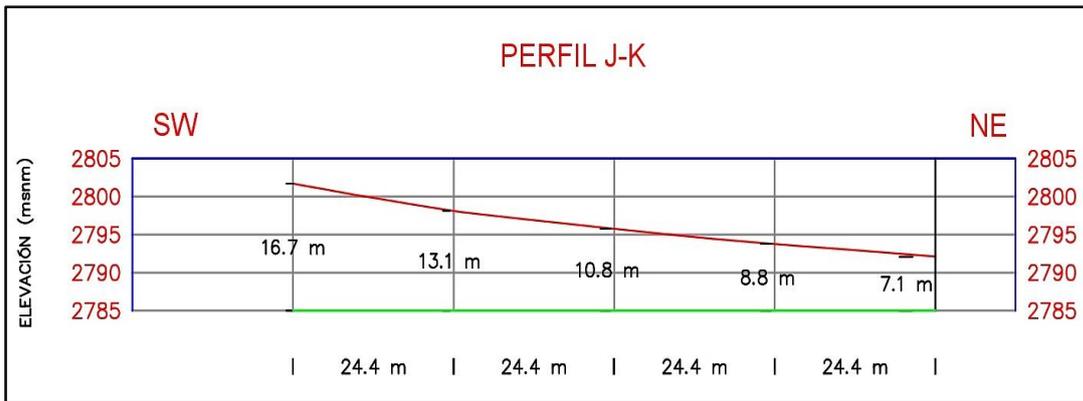


Figura 21. Perfil J-K, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección J-K se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil J-K insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Se resta el espesor de las capas de arenas y limos que cubren a las arcillas coluviales

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{\text{n}^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{97.6}{4} = 24.4 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{24.4}{3} (15 + 4(12) + 2(9.5) + 4(8.2) + 6.6)$$

$$\text{Área} = \frac{24.4}{3} (121.4)$$

$$\text{Área} = 8.1(121.4)$$

$$\text{Área} = 983.4 \text{ m}^2$$

4.10.1.3 Área del Perfil L – M

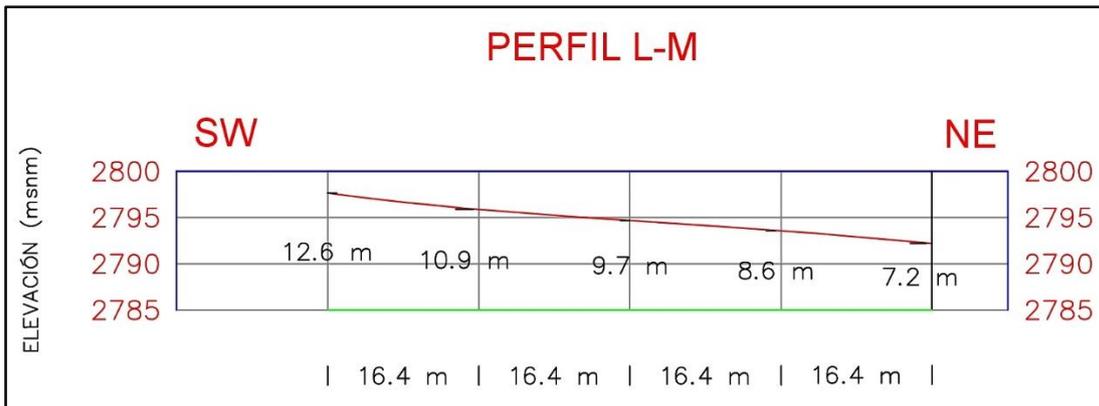


Figura 22. Perfil L-M, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección L-M se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil L-M insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Se resta el espesor de las capas de arenas, limos y gravas que cubren a las arcillas coluviales

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{n^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{65.6}{4} = 16.4 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{16.4}{3} (11.5 + 4(10) + 2(8.7) + 4(8.1) + 6.7)$$

$$\text{Área} = \frac{16.4}{3} (108)$$

$$\text{Área} = 5.5(108)$$

$$\text{Área} = 594 \text{ m}^2$$

4.10.2 Perfiles de la zona 2 de depósitos de arcillas coluviales.

4.10.2.1 Área del Perfil B – C

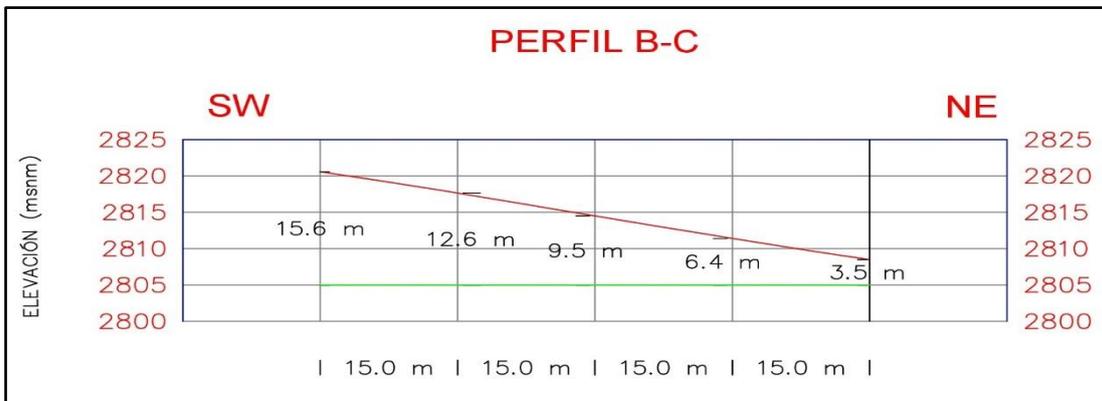


Figura 23. Perfil B-C, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección B – C se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil B – C insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Restamos el espesor de las capas de arenas y gravas que cubren a las arcillas coluviales.

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la sección en el eje x}}{\text{n}^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{60}{4} = 15\text{m}$$

$$\text{Área} = \frac{15}{3} (14 + 4(11.4) + 2(8.5) + 4(6) + 3)$$

$$\text{Área} = \frac{15}{3} (103.6)$$

$$\text{Área} = 5(103.6)$$

$$\text{Área} = 518 \text{ m}^2$$

4.7.2.2 Área del Perfil D – E

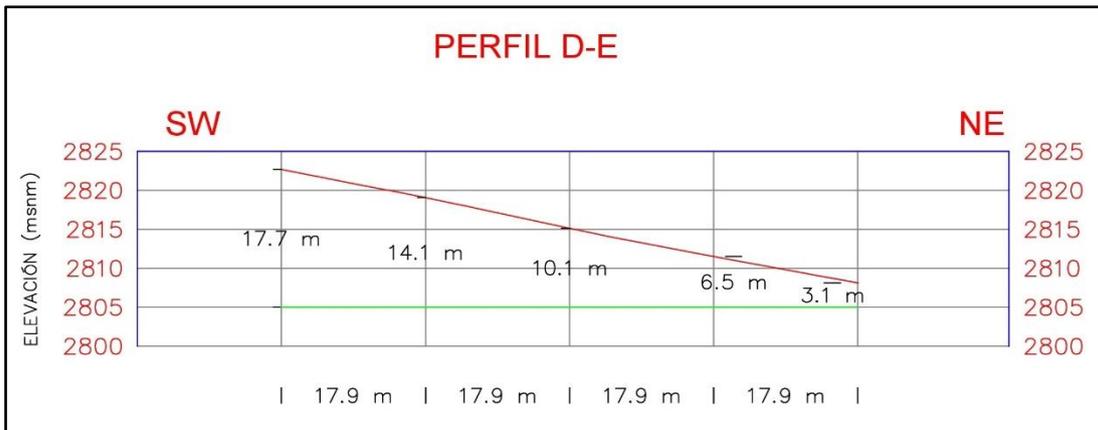


Figura 24. Perfil D-E, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección D – E se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil D - E insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Restamos el espesor de las capas de arenas, limos y gravas que cubren a las arcillas coluviales.

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{\text{n}^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{71.6}{4} = 17.9 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{17.9}{3} (16.2 + 4(13) + 2(9.6) + 4(6) + 2.6)$$

$$\text{Área} = \frac{17.9}{3} (114)$$

$$\text{Área} = 5.9(114)$$

$$\text{Área} = 672.6 \text{ m}^2$$

4.7.2.3 Área del Perfil F – G

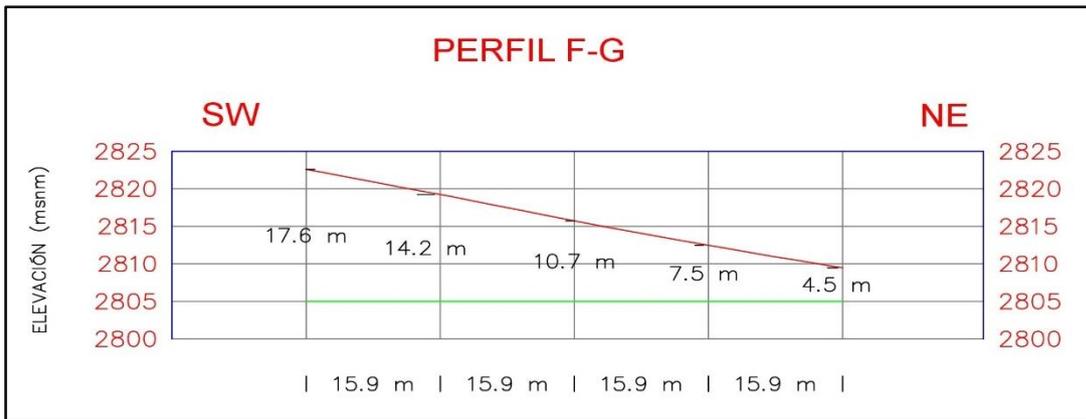


Figura 25. Perfil F-G, realizados en el software Civil Cad3D. en la que se observa las distancias verticales y horizontales.

Para calcular el área de la sección F – G se usa como método matemático la reglade Simpson, para esto se considera los datos del perfil F - G insertándolas en la fórmula matemática siguiente. Se resta el espesor de las capas de arenas, limos y gravas que cubren a las arcillas coluviales

$$\text{Área} = \frac{\Delta x}{3} (d_0 + 4d_1 + 2d_2 + 4d_3 + \dots + d_n)$$

$$\Delta x = \frac{\text{longitud total de la seccion en el eje x}}{\text{n}^\circ \text{ de divisiones del eje x}}$$

$$\Delta x = \frac{63.6}{4} = 15.9 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{15.9}{3} (16 + 4(13) + 2(9.7) + 4(6) + 4)$$

$$\text{Área} = \frac{15.9}{3} (115.4)$$

$$\text{Área} = 5.3(115.4)$$

$$\text{Área} = 611.62 \text{ m}^2$$

4.11 Cálculo de volumen de los depósitos de arcillas coluviales.

El volumen se determinó mediante el método de perfiles en las dos zonas de depósitos de arcillas coluviales, los cuales presentan una óptima concentración. Se calcula el volumen entre dos perfiles (secciones) los cuales generan un bloque y se suma los volúmenes de los extremos, para esto es muy útil el área de cada perfil y las medidas de distancias entre estas de los perfiles (secciones). Para el cálculo matemático del volumen se aplica la regla de Simpson.

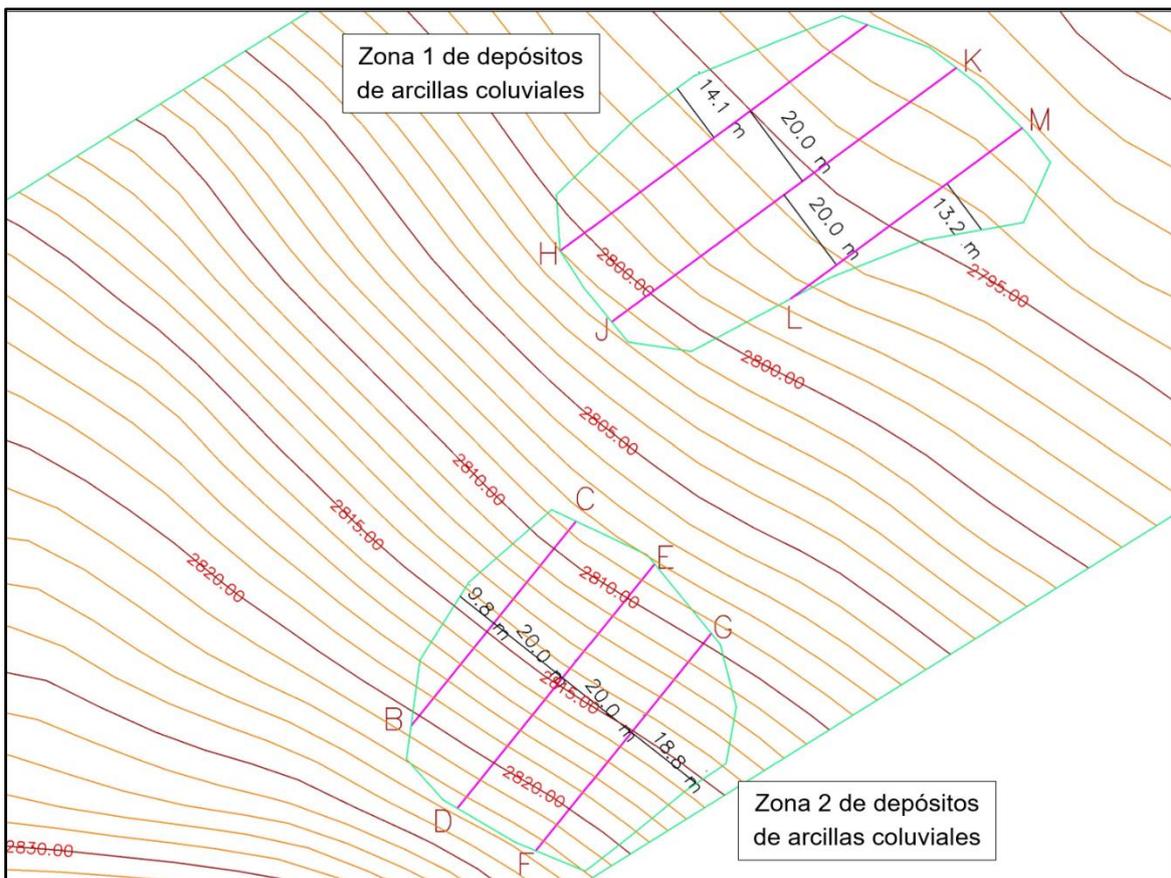


Figura 26. Líneas de corte para generar los perfiles y calcular su área y volumen de los depósitos de arcillas, se observa las distancias entre perfiles. Referencia (Anexo: Plano N° 4)

4.11.1 Cálculo de volumen de la zona 1 de depósitos de arcillas coluviales.

Para obtener el volumen de este depósito de arcillas coluviales se usa los valores de área de los 3 perfiles que se realizaron (H-I, J-K y L-M) y las distancias entre perfiles y sus extremos.

$$A_{H-I} = 882 \text{ m}^2$$

$$A_{J-K} = 983.4 \text{ m}^2$$

$$A_{L-M} = 594 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{ex.inicial}} = 14.1 \text{ m}$$

$$D_{\text{ex.final}} = 13.2 \text{ m}$$

A_{H-I} : Área del perfil (H-I)

A_{J-K} : Área del perfil (J-K)

A_{L-M} : Área del perfil (L-M)

$D_{\text{ex.inicial}}$: Distancia extremo inicial

$D_{\text{ex.finall}}$: Distancia extremo final

El cálculo matemático que usaremos para determinar el volumen del bloque comprendido entre perfiles por la regla de Simpson es el siguiente: (Caparrini, 2018)

$$V_1 = (A_{H-I} + A_{J-K}) \times \frac{D}{2}$$

$$V_1 = (882 \text{ m}^2 + 983.4 \text{ m}^2) \times \frac{20 \text{ m}}{2}$$

$$V_1 = 18,654 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (A_{J-K} + A_{L-M}) \times \frac{D}{2}$$

$$V_2 = (983.4 \text{ m}^2 + 594 \text{ m}^2) \times \frac{20}{2}$$

$$V_2 = 15,774 \text{ m}^3$$

- Calculamos el volumen de los extremos

$$V_{\text{ex.inicial}} = \frac{(A_{\text{H-I}} \times D_{\text{ex.inicial}})}{2}$$

$$V_{\text{ex.inicial}} = \frac{(882 \text{ m}^2 \times 14.1 \text{ m})}{2}$$

$$V_{\text{ex.inicial}} = 6,218.1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ex.final}} = \frac{(A_{\text{L-M}} \times D_{\text{ex.final}})}{2}$$

$$V_{\text{ex.final}} = \frac{(594 \text{ m}^2 \times 13.2 \text{ m})}{2}$$

$$V_{\text{ex.final}} = 3,920.4 \text{ m}^3$$

- El volumen total de la zona 1 de depósitos de arcillas coluviales se calculará de la siguiente manera:

$$V_{\text{total}} = (V_1 + V_2 + V_{\text{ex.inicial}} + V_{\text{ex.final}})$$

$$V_{\text{total}} = (18,654 \text{ m}^3 + 15,774 \text{ m}^3 + 6,218.1 \text{ m}^3 + 3,920.4 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 44,566.5 \text{ m}^3$$

4.11.2 Cálculo de volumen de la zona 2 de depósitos de arcillas coluviales.

Para obtener el volumen de este depósito de arcillas coluviales se usa los valores de área de los 3 perfiles que se realizaron (B-C, D-E y F-G) y las distancias entre perfiles y sus extremos.

$$A_{B-C} = 518 \text{ m}^2$$

$$A_{D-E} = 672.6 \text{ m}^2$$

$$A_{F-G} = 611.6 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{ex.inicial}} = 9.8 \text{ m}$$

$$D_{\text{ex.final}} = 18.8 \text{ m}$$

A_{B-C} : Área del perfil (B-C)

A_{D-E} : Área del perfil (D-E)

A_{F-G} : Área del perfil (F-G)

$D_{\text{ex.inicial}}$: Distancia extremo inicial

$D_{\text{ex.finall}}$: Distancia extremo final

El cálculo matemático que usaremos para determinar el volumen del bloque comprendido entre perfiles por la regla de Simpson es el siguiente: (Caparrini, 2018)

$$V_1 = (A_{B-C} + A_{D-E}) \times \frac{D}{2}$$

$$V_1 = (518 \text{ m}^2 + 672.6 \text{ m}^2) \times \frac{20 \text{ m}}{2}$$

$$V_1 = 11,906 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (A_{D-E} + A_{F-G}) \times \frac{D}{2}$$

$$V_2 = (672.6 \text{ m}^2 + 611.6 \text{ m}^2) \times \frac{20}{2}$$

$$V_2 = 12,842 \text{ m}^3$$

- Calculamos el volumen de los extremos

$$V_{\text{ex.inicial}} = \frac{(A_{B-C} \times D_{\text{ex.inicial}})}{2}$$

$$V_{\text{ex.inicial}} = \frac{(518 \text{ m}^2 \times 9.8 \text{ m})}{2}$$

$$V_{\text{ex.inicial}} = 2,538.2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ex.final}} = \frac{(A_{F-G} \times D_{\text{ex.final}})}{2}$$

$$V_{\text{ex.final}} = \frac{(611.6 \text{ m}^2 \times 18.8 \text{ m})}{2}$$

$$V_{\text{ex.final}} = 5,749 \text{ m}^3$$

- El volumen total de la zona 2 de depósitos de arcillas coluviales se calculará de la siguiente manera:

$$V_{\text{total}} = (V_1 + V_2 + V_{\text{ex.inicial}} + V_{\text{ex.final}})$$

$$V_{\text{total}} = (11,906 \text{ m}^3 + 12,842 \text{ m}^3 + 2,538.2 \text{ m}^3 + 5,749 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 33,035.2 \text{ m}^3$$

4.11.3 Volumen total de los depósitos de arcillas.

$$V_{\text{total}} = (V_{Z1} + V_{Z2})$$

V_{Z1} : Volumen de la zona 1 de depósitos de arcillas coluviales.

V_{Z2} : Volumen de la zona 2 de depósitos de arcillas coluviales

$$V_{\text{total}} = (44,566.5 \text{ m}^3 + 33,035.2 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{total}} = 77,602 \text{ m}^3$$

4.12 Densidad de las arcillas.

Para determinar el tonelaje de arcillas coluviales se necesita su peso específico y para obtenerlo se usa el valor de las densidades. El laboratorio SLAB nos brinda la densidad de cada muestra analizada de arcillas, como se necesita un solo dato recurrimos a obtener un promedio de densidades de las 4 muestras, sin contar la muestra (MS-5) por lo que la continuidad de arcillas es escasa. Pero se realiza un ajuste de acuerdo a los datos de densidad de arcillas según bibliografía (García Valcarce, A)

Se usó el siguiente cálculo matemático para hallar la densidad promedio y usarla en el cálculo de tonelaje. (Yepes, 2021)

$$\rho_{\text{promedio}} = \frac{\rho_{MS-1} + \rho_{MS-2} + \rho_{MS-3} + \rho_{MS-4}}{4}$$

ρ_{promedio} : Densidad promedio

ρ_{MS-1} : Densidad de la muestra número 1

Tabla 36. Densidad de las muestras de arcillas analizadas por el laboratorio SLab.

PARÁMETRO	METODOLOGÍA ANALÍTICA	S-0884 (MS-1)	S-0885 (MS-2)	S-0886 (MS-3)	S-0887 (MS-4)	Densidad promedio	Densidad según bibliografía
Densidad Kg/m ³	Gravimetría	900.6	723.6	471.6	1149.8	811.4	1892

4.13 Cálculo del Peso específico de las arcillas.

El peso específico también llamado peso unitario de materiales se toma en cuenta el peso PU de referencia, que es el valor del PU para el agua destilada a 4 °C.

$P_u = 9,81 \text{ KN/m}^3 = 1,00 \text{ Ton/m}^3$ por lo tanto se puede decir que $1 \text{ KN} = 1 \text{ Ton}$

Este es el resultado de multiplicar la densidad del agua por la gravedad, dado que densidad es masa sobre volumen y que peso es el producto de la masa por la gravedad.

Se tiene el valor de la densidad promedio de las arcillas, la cual se usa para calcular su peso específico mediante la siguiente fórmula matemática: (Yepes, 2021)

$$P_e = (1892 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.00980665) \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$P_e = 18.56 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$P_e = (18.56 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 0.1019716) \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

$$P_e = 1.9 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}$$

4.14 Cálculo del Tonelaje de los depósitos de arcillas.

Para el cálculo de tonelaje se necesitan los datos del volumen total de las zonas de depósitos de arcillas coluviales y el peso específico promedio de dichas arcillas. El volumen de cada depósito de arcillas se calculó mediante el método de perfiles aplicando la regla de Simpson, cuyos perfiles se realizaron en el AutoCAD Civil 3D, para luego calcular su área y posteriormente su volumen; el dato de la densidad de cada muestra de arcilla nos brindó el laboratorio SLab, de los cuales se obtuvo un promedio, y así este valor usarlo para determinar el peso específico

Se tomó como base la cota absoluta más baja en cada depósito de arcillas no de una manera uniforme ya que hay lugares donde profundiza más que en otros. Tomando como intervalo de profundización de uno 7 m a 10 m, dato obtenido por el encargado de extraer las arcillas coluviales.

La fórmula matemática a usar para calcular las Toneladas métricas es: (Gálvez, 2014)

$$TM = V \cdot P_e$$

TM: Toneladas métricas de los depósitos de arcillas.

V: Volumen del depósito de arcillas.

P_e: Peso específico de las arcillas.

Tabla 37. Volumen y tonelaje de los depósitos de arcillas.

ZONA	VOLUMEN (m ³)	PESO ESPECÍFICO (T/m ³)	TONELAJE (T.M)
ZONA I	44,566.5	1.9	84,676.35
ZONA II	33,035.2	1.9	62,766.88
	VOLUMEN TOTAL (m ³)	PESO ESPECÍFICO (T/m ³)	TONELAJE TOTAL (T.M)
	77,602	1.9	147,443

4.15 Resultados de la Investigación

Génesis y Proceso de Formación de las Arcillas.

Las arcillas se formaron por el mecanismo de transformación que implicaron reacciones químicas por meteorización y alteración sobre limolitas y rocas sedimentarias ricas en arcillas, en este caso rocas de la Formación Chimú que están a los alrededores próximos de los depósitos de arcillas del Caserío Shudal, estas rocas al ser meteorizadas por agentes exógenos fueron transportadas por agua con ayuda de la pendiente y Quebrada Shudal, las arcillas por su pequeño tamaño pueden ser trasladadas incluso mediante aguas no agitadas, llegando así a depositarse en planicies lugares de pendiente suave.

Clasificación de los Depósitos de arcillas.

Según su origen. Las arcillas estudiadas se clasifican como arcillas coluviales debido a que se deduce que las rocas que están próximas fueron meteorizadas por procesos exógenos y sufrieron desplazamientos cortos por deslizamiento o por lluvias, aprovechando las pendientes.

Todo esto se deriva por los datos de rumbos de los estratos de las rocas de la Formación Chimú que están próximas al área de estudio, estos datos de rumbo nos indican que los estratos van en dirección donde se depositaron las arcillas, favoreciendo que sean transportadas al momento que meteorizaron.

Según su clasificación industrial. los depósitos de arcillas del Caserío Shudal se clasifica como arcillas comunes por el porcentaje de óxido de hierro (Fe_2O_3) que, de acuerdo a los resultados de análisis de las muestras de arcillas por Fluorescencia de Rayos X, las muestras MS-1 y MS-4 generando así un color rojizo en su cocción; además por estar compuesto del elemento SiO_2 , elemento más predominante en las 5 muestras analizadas por Fluorescencia de Rayos X. Sin embargo, también se clasifica como arcillas especiales debido a la predominante concentración del mineral caolinita en las muestras MS-1, MS-2 y MS-4, datos obtenidos por análisis por Difracción de Rayos X de las muestras de arcillas, se consideran como arcillas especiales caolinitas, no obstante, tiene composición de sílice (SiO_2) en un 80% de su composición mineralógica.

Calidad de Arcillas.

Para determinar la calidad de arcillas nos enfocamos en la clasificación industrial de estos depósitos. Las arcillas de los depósitos estudiados presentan alto porcentaje del mineral caolinita según el análisis de Difracción de Rayos X (MS-1, MS-2 y MS-4) las cuales podemos clasificarlas como arcillas especiales caoliniticas; pero a la vez predomina el elemento de sílice (SiO_2) y esto es corroborado de acuerdo al análisis de Fluorescencia de Rayos X, por lo que consideramos como arcillas comunes y caoliniticas. Estas arcillas por su composición son óptimas para el uso industrial en alfarería (artesanías).

Tonelaje del Depósito

Para hallar el tonelaje se necesita del volumen del depósito, en este caso las dos zonas de arcillas coluviales identificadas, el cual es calculado mediante el método de perfiles los que se realizaron en el AutoCAD Civil 3D; y el peso específico que se determinó con la densidad que nos brindó el laboratorio SLab de cada muestra de arcilla enviada (MS-1, MS-2, MS-3, MS-4), no se considera los datos de la muestra (MS-5) porque no posee las características geológicas necesarias; con todos estos datos se procedió a calcular el tonelaje siendo este 147,443 T.M. de arcillas comunes.

4.16 Análisis de Resultados

El origen de las arcillas encontradas fue por meteorización de rocas de la Formación Chimú que están cerca a los depósitos de arcillas del Caserío Shudal, que, bajo condiciones climáticas, mediante reacciones químicas como meteorización dieron origen a las arcillas coluviales.

Para la clasificación de los depósitos de arcillas se basan en el análisis de su composición mineralógica con lo que se determinó la calidad de arcilla y así se le puede dar una utilización industrial adecuada, siendo la clasificación industrial la más idónea para describir los depósitos de arcillas encontrados.

De acuerdo a la parte teórica, la concentración de los minerales en porcentajes debe ser la adecuada para ser destinada para alguna utilización. Los minerales

como la caolinita, sílice (cuarzo) deben ser proporcionales a los rangos establecidos para que sean aptas para algún aprovechamiento industrial.

Los resultados de los análisis realizados por el laboratorio SLAB, las arcillas encontradas poseen porcentajes notorios de óxido de silicio y caolinita determinando una clasificación industrial como arcillas comunes y caoliniticas. Industrialmente se les puede usar para lo que es alfarería (artesanía).

El tonelaje total es de 147,443 T.M; se tiene en cuenta que este tonelaje se ha hallado en base a la profundidad promedio que se encuentran las arcillas. Estas reservas son óptimas para el uso industrial que se les va a dar. De acuerdo al Boletín Estadístico Minero realizado por el MEM en abril del 2022, en el mes de marzo se extrajo 107.085 TM lo que hace una producción aproximada de 1,285.02 TM en un año, en razón a estos datos se deduce que las reservas probables de arcillas cumplen un alto índice para la producción regional y nacional.

Finalmente, de las arcillas encontradas hay una que fue descartada, la muestra cinco (MS-5) porque su volumen no es el indicado para un aprovechamiento industrial ni a corto plazo ni a largo plazo.

4.17 Contratación de la Hipótesis

Las arcillas encontradas en el caserío de Shudal – distrito de Cajamarca tiene un tonelaje total de 147,443 T.M lo que cubre un alto índice de porcentaje para la producción a nivel regional y nacional, además se pudo comprobar que la calidad de las arcillas en los depósitos es óptima para el uso de ladrillos y artesanías (alfarería) debido a que su composición mineralógica halladas con la Fluorescencia de Rayos X y el Difractómetro de rayos X cumplen con los porcentajes establecidos por (Díaz y Zedano, 2006) para ser consideradas arcillas industriales (arcillas comunes). Por lo tanto, estas arcillas constituyen las reservas para un aprovechamiento industrial presente y futuro a nivel local, regional y nacional en lo que es alfarería, en que dichas arcillas se están usando hoy en día.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con la evaluación geológica de los depósitos de arcillas del Caserío Shudal, se muestra las características geológicas como la litología (Fm-Chimú) en donde se encuentran, los procesos que dieron origen a estos depósitos, el tipo y calidad de arcillas, llegando a clasificarlas de acuerdo a su uso industrial como arcillas caoliniticas (MS-1, MS-2 y MS-4); arcillas comunes (MS-3); y por su origen arcillas coluviales.

La composición química de las muestras de arcillas coluviales analizadas por Fluorescencia de Rayos X tiene como elemento predominante el óxido de silicio (SiO_2); las muestras MS-1 y MS-4 contienen cantidades requeridas de Fe_2O_3 para que después de su calcinación obtengan un color rojizo y el análisis de por el método de Difracción de Rayos X (MS-1, MS-2 y MS-4) presentan alta concentración del mineral caolinita.

El tonelaje total calculado es de 147,443 TM. y representa la estimación de reservas probables.

Los resultados por Fluorescencia y Difracción de Rayos X de las arcillas, cumplen con los porcentajes establecidos por (Díaz y Zedano, 2006) para ser consideradas arcillas industriales (arcillas comunes y coliniticas) y darles un uso en alfarería.

5.2 Recomendaciones

A los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca sede Celendín, realizar estudios ambientales para determinar el grado de impacto que puede producir en su continua explotación de arcilla.

A los bachilleres de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realizar una tesis sobre métodos de explotación de las arcillas del Caserío Shudal, para su extracción de manera adecuada y seguro, así de este modo tener el mejor provecho de las arcillas.

A la Empresa “Cerámicos el Inca”, usar estas arcillas en su fabricación de ladrillos ya que por las concentraciones de óxido de silicio son óptimas para este uso, además que los depósitos están cerca a esta fábrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta. 2016. Base de Datos de Recursos y Reservas de Operaciones y Proyectos Mineros del Perú, INGEMMET
- Alda, F. 2014. "Meteorización y Edafogénesis, febrero 2014"
- Arriola, M. y Rojas, P. 2017. Caracterización de Nanoarcillas a partir de Montmorillonita utilizando sales de amonio. observan por Difracción de Rayos X (DRX) de la bentonita natural de Chongos Bajo.
- Arroyo, J. 2018. Programa de Trabajos y Obras para la Cantera de Arcilla Berak Ubicada en Villanueva, La Guajira-Venezuela.
- Arapa, V. 2016. Formato de clasificación de rocas detríticas. Petrología sedimentaria, Documento PS-P-15.01-02. UNC - 2016.
- Barrientos, V. 2012. Trabajo de investigación sobre petrología en la Universidad de Coruña, en el área de geología.
- Brindley, G. y Brown, G. 1980. Crystal Structures of Clay Minerals and their X – Ray Identification. Mineralogical Society, London, cap.5.
- Cabriales, J. 2002. Análisis Químico de Materiales Silicoaluminosos por Fluorescencia De Rayos-X", Grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Química Analítica.
- Cadena, A. 2014. Estudio químico de la presencia de montmorillonita en arcillas de la cuenca sedimentaria miocénica de Loja mediante técnicas de espectroscopia molecular, Riobamba-Ecuador.
- Casanova, E. 1996. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, p 380.
- Casanova, L. 2002. Topografía Plana. Departamento de Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes – Mérida.

- Caparrini, N. 2018. Cálculo de Reservas de Minerales por Métodos Clásicos y Modernos, capacitación sobre temas de Minería como Consultora de CAMIPER
- Cisneros, F. y Morillas, S. 2012. Cálculo de cubicaciones mediante aproximación funcional e integración: Un caso práctico para alumnos de ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia – España.
- Dávila, J 2011. Diccionario Geológico, pág. 699.
- De la Cruz, E. 2018. Fluorescencia de Rayos X y su aplicación en la determinación de elementos Químicos en Determinadas Muestras, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Díaz, A. y Carpio, M. 2011. En el estudio Geológico Económico de las Rocas y Minerales Industriales en las Regiones de Moquegua y Tacna a cargo del INGEMMET
- Díaz, A. y Ramírez, J. 2009. En el informe a cargo del INGEMMET, titulado “Compendio de Rocas y Minerales Industriales del Perú”
- 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.
- Díaz, A. y Zedano, J. 2006. Caracterización de las Arcillas en el Perú: Mercados y perspectivas.
- Flores, A. 2012. Caracterización de Arcillas y Preparación de Pastas Cerámicas para la Fabricación de Ladrillos en la Ladrillera Mariscal Robledo S.A – Bogotá, Colombia
- Gálvez, E. 2014. Tesis: “Estimación del Potencial de Reservas de Yacimientos no Metálicos en Arcillas del Distrito de Namora, Cajamarca- Perú”

- Garay, E. 2021. Tesis: “Caracterización Petrográfica para el uso de Arcillas en Ladrillos Artesanales en el Caserío Chilcapampa- Bambamarca. Cajamarca-Perú”
- García, A. 1985. Origen y Composición de las Arcillas Cerámicas.
- García, E. 2007. Texto informativo sobre Propiedades y Usos de las arcillas. Universidad Complutense (Madrid).
- Hernández; M. 2006. Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua – Caracas.
- Jordan, A. 2005. Manual de Edafología Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Ovejero, A. 2015. Mineralogía I – Cristalografía y óptica mineral. Facultad de Tecnología y Cs Aplicadas, licenciatura en Geología.
- Rhodes, D. 1990. Libro sobre Arcilla y vidriado para el ceramista.
- Rojas, A. 2021. Cubicación de reservas de mineral y métodos para cubicar.
- Romero, A. 2015. Espectroscopia de rayos X. Facultad de Ciencias Básica programa de química, Universidad del Atlántico
- Servicio geológico mexicano, 2017. Conceptos básicos sobre Yacimiento Minerales en la que menciona las diferencias de yacimiento metálico y no metálico.
- SGS del Perú, 2015. Análisis por Difracción de Rayos X.
- Strakhov, 1967. Diagrama de los distintos mantos de alteración para áreas no tectónicas o tectónicamente inactivas de norte a sur en la zona ecuatorial.
- Velarde, V. 2016. “Estimación de Reservas Minerales y Propuesta de Diseño Preliminar de Explotación del Bloque 2 del sector “X7” Mina LAS PARALELAS utilizando herramientas informáticas”. Guayaquil – Ecuador.
- Valenzuela, G. y Buendía, C. 2020. Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma 2007. Huancayo- Perú.

- Vergara, B. 2015. Estimación de Reservas Probables de Yacimientos no Metálicos en Arcillas del Distrito de Llacanora. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca-Perú.
- YEPES, V. 2021. Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno. Colección Manual de Referencia, 1ª edición. Editorial Universitat Politècnica de València, 426 pp. Ref. 428. ISBN: 978-84-9048-603-0.
- 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

Álbum de Fotos	1
Resultados de análisis de muestras de arcillas.	
Fluorescencia de Rayos X	2
Difracción de Rayos X	3
Perfiles para el cálculo de Reservas	
Perfiles “B-C”, “D-E” y “F-G”	4
Perfiles “H-I”, “J-K” y “L-M”	5
Planos	6
Plano Satelital	01
Plano de Ubicación	02
Plano de Accesibilidad	03
Plano Topográfico	04
Plano de Drenaje	05
Plano de Depósitos de Arcillas	06
Plano de resultados de Análisis de Arcillas del Caserío Shudal	07
Plano Geológico y de Ubicación de Muestras	08
Perfil Geológico	09
Columna Estratigráfica	10
Perfil de la Calicata	11



Foto. Deposito cuaternario coluvio-aluvial, se observa cantos y gravas subangulosas con una matriz rojiza. (E: 775757; N: 9204145)



Foto. Arcillas con presencia de gravas y arenas (E: 775512; N: 9203953)



Foto. Presencia de arcillas de color blanco, arcillas recolectada MS-2, ubicada (E: 775708, N: 9204076 y C: 2796)



Foto. Se observa dos tipos de arcillas, diferenciados por su color, ubicación (E:775685, N:9204067 y C: 2795 msnm)



Foto. Recolección y etiquetado de muestras de arcillas. ubicación (E: 775645, N: 9204070 y C: 2805 msnm)



Foto. Preparación de muestras de arcillas para su cocción.



Foto. Muestras de arcillas después de su cocción



Foto. Socavones que se realizan para la extracción de arcilla y esto nos facilita el muestreo. Ubicación (E: 775727, N: 9204063 y C: 2798 msnm)



Foto. Socavones que se realizan para la extracción de arcilla y esto nos facilita el muestreo. Ubicación: (E: 775708, N: 9204076 y C: 2796 msnm)



Foto. Arcillas extraídas de los socavones.

INFORME DE ENSAYO

IE-250121-03

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : JOSE DAVID CARMONA CUSQUISIBAN
1.2 RUC/DNI : 72787733

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 25 de Enero de 2021
2.2 Fin : 03 de Febrero de 2021
2.3 Emisión de informe : 04 de Febrero de 2021

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 62.4 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado : Determinación de Composición - Densidad
4.2 Método utilizado : Fluorescencia de Rayos X - Gravimetría

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de las muestras analizadas

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-0884	Arcilla	MUESTRA N1
S-0885	Arcilla	MUESTRA N2
S-0886	Arcilla	MUESTRA N3
S-0887	Arcilla	MUESTRA N4
S-0888	Arcilla	MUESTRA N5

6. RESULTADOS

6.1. Resultados Obtenidos

Tabla N°2: Resultados Obtenidos

Parámetro	Metodología Analítica	S-0884	S-0885	S-0886	S-0887	S-0888
Densidad, Kg/m ³	Gravimetría	900.6	723.6	471.6	1149.8	1432.6

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

Tabla N°3: Resultados Obtenidos de Composición

Parámetro	Metodología Analítica	S-0884	S-0885	S-0886	S-0887	S-0888
SiO ₂	Fluorescencia de rayos X (XRF)	63.38	61.85	56.24	41.58	66.62
Al ₂ O ₃		16.52	15.20	13.52	13.62	19.95
Fe ₂ O ₃		1.64	0.79	0.65	3.27	0.11
K ₂ O		1.84	1.58	0.55	3.52	3.19
CaO		1.43	1.60	0.21	1.28	1.54
P ₂ O ₅		0.14	0.07	0.07	0.18	0.09
MgO		0.11	0.02	0.01	0.06	0.01
Pérdida de Calcinación, %	Gravimetría	3.81	13.42	12.23	26.94	7.61
H ₂ O, %	Gravimetría	11.12	5.47	16.53	9.55	0.89

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.




DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

ANEXOS: IMÁGENES



Imagen N°1: Balanza usada



Imagen N°2: Muestras analizadas



Imagen N°4: Estufa



Imagen N°4: Horno Mufla


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO

IE-080321-03-01

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Razón Social : JOSE DAVID CARMONA CUSQUISIBAN
1.2 RUC : 72787733
1.3 Dirección : No precisa

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 12 de Marzo de 2021
2.2 Finalización : 16 de Marzo de 2021
2.3 Emisión de informe : 18 de Marzo de 2021

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 57.2 %

4. ENSAYO SOLICITADO, EQUIPO UTILIZADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado : Análisis DRX de arcillas
4.2 Método utilizado : Difracción de Rayos X

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de la muestra

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA		
Fecha: 15-01-2021	Coordenadas	N: 9204063
N° Muestra: MS-1		E: 775727
N° carta: 15G		C: 2798 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de San Marcos	DATUM: WGS84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



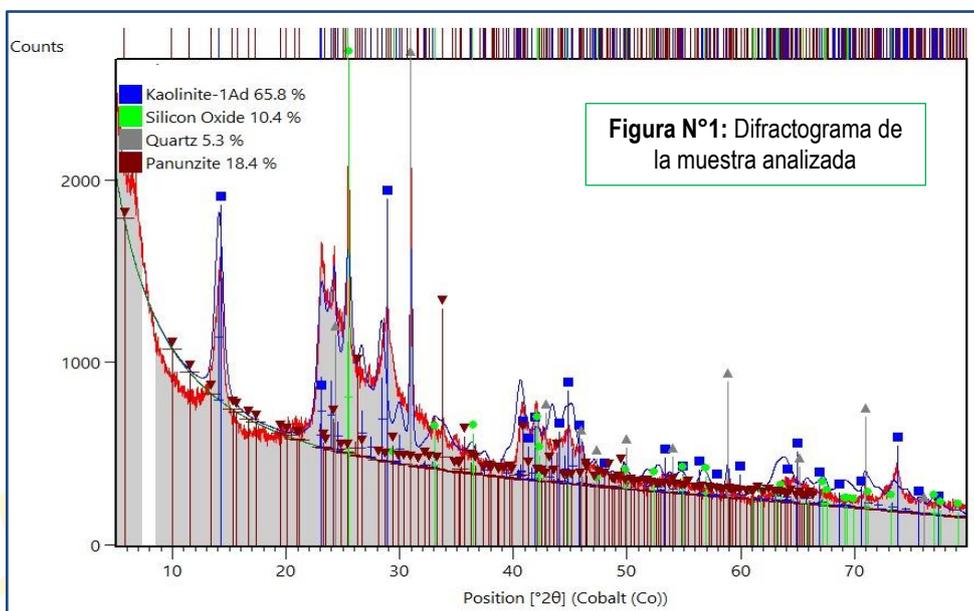
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1 Resultados Obtenidos para al muestra

Tabla N°2: Resultados de Ensayo (Análisis DRX)

Mineral	Metodología utilizada	Resultado, %
Kaolinite, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Difracción de Rayos X, DRX	65.8
Silicon Oxide		10.4
Quartz, SiO_2		5.3
Panunzite (K,Na)AlSiO ₄		18.4



Diego Romano Vergaray
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO

IE-080321-03-02

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Razón Social : JOSE DAVID CARMONA CUSQUISIBAN
1.2 RUC : 72787733
1.3 Dirección : No precisa

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 12 de Marzo de 2021
2.2 Finalización : 16 de Marzo de 2021
2.3 Emisión de informe : 18 de Marzo de 2021

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 57.2 %

4. ENSAYO SOLICITADO, EQUIPO UTILIZADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado : Análisis DRX de arcillas
4.2 Método utilizado : Difracción de Rayos X

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de la muestra

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA		
Fecha: 15-01-2021	Coordenadas	N: 9204076
N° Muestra: MS-2		E: 775708
N° carta: 15G		C: 2796 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de San Marcos	DATUM: WGS84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



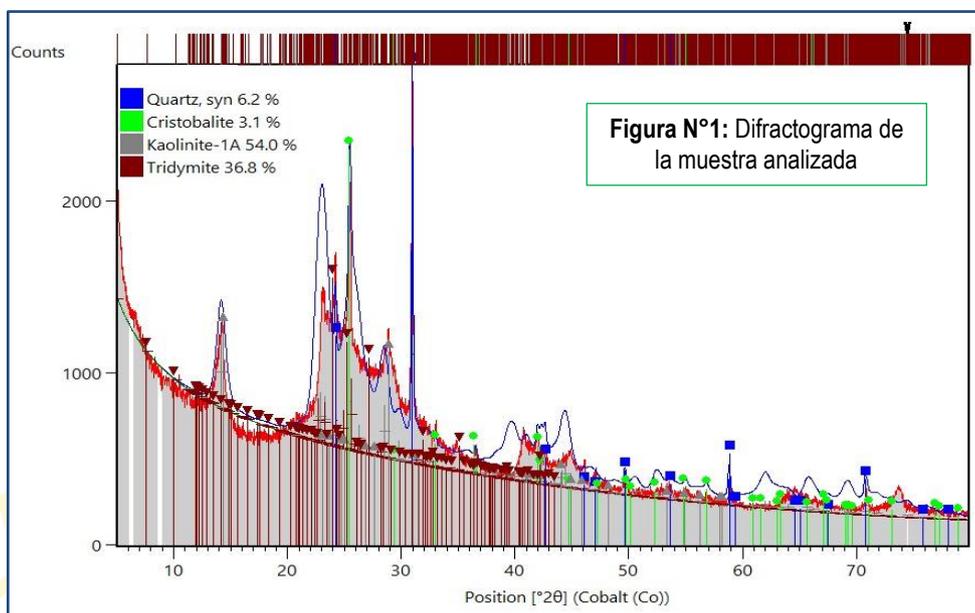
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1 Resultados Obtenidos para la muestra

Tabla N°2: Resultados de Ensayo (Análisis DRX)

Mineral	Metodología utilizada	Resultado, %
Quartz, SiO ₂	Difracción de Rayos X, DRX	6.2
Cristobalite, SiO ₂		3.1
Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		54.0
Tridymite, SiO ₂		36.8



Diego Romano Vergaray
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO

IE-080321-03-03

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Razón Social : JOSE DAVID CARMONA CUSQUISIBAN
1.2 RUC : 72787733
1.3 Dirección : No precisa

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 12 de Marzo de 2021
2.2 Finalización : 16 de Marzo de 2021
2.3 Emisión de informe : 18 de Marzo de 2021

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 57.2 %

4. ENSAYO SOLICITADO, EQUIPO UTILIZADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado : Análisis DRX de arcillas
4.2 Método utilizado : Difracción de Rayos X

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de la muestra

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA		
Fecha: 15-01-2021	Coordenadas	N: 9204067
N° Muestra: MS-3		E: 775685
N° carta: 15G		C: 2795 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de San Marcos	DATUM: WGS84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



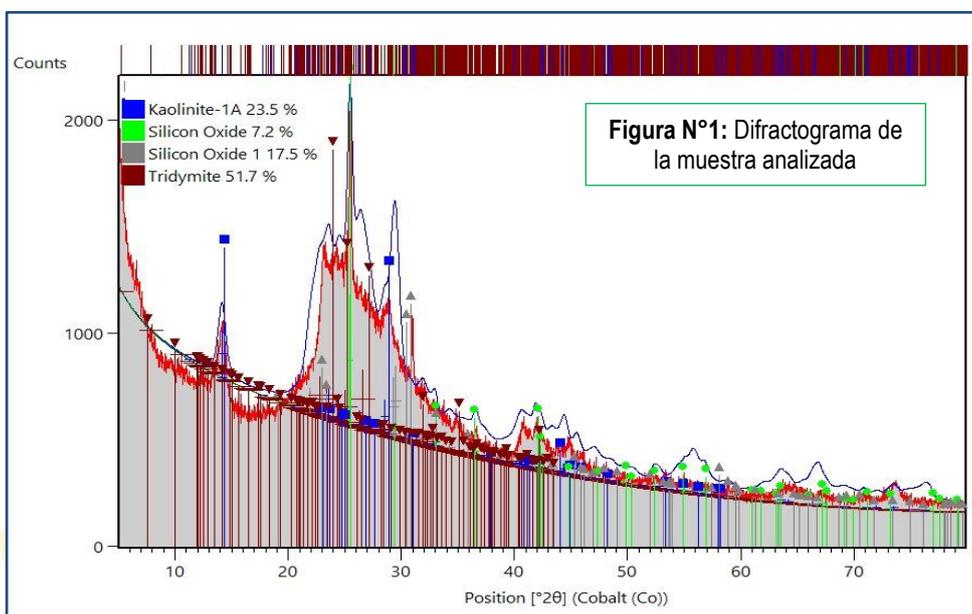
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1 Resultados Obtenidos para la muestra

Tabla N°2: Resultados de Ensayo (Análisis DRX)

Mineral	Metodología utilizada	Resultado, %
Kaolinite, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Difracción de Rayos X, DRX	23.5
Silicon Oxide, SiO_2		24.7
Tridymite, SiO_2		51.7



Laboratorio de ensayo e investigación

Diego Romano Vergaray D'Arrigo
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO

IE-080321-03-04

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Razón Social : JOSE DAVID CARMONA CUSQUISIBAN
1.2 RUC : 72787733
1.3 Dirección : No precisa

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 12 de Marzo de 2021
2.2 Finalización : 16 de Marzo de 2021
2.3 Emisión de informe : 18 de Marzo de 2021

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 57.2 %

4. ENSAYO SOLICITADO, EQUIPO UTILIZADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado : Análisis DRX de arcillas
4.2 Método utilizado : Difracción de Rayos X

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de la muestra

DESCRIPCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA		
Fecha: 15-01-2021	Coordenadas	N: 9204070
N° Muestra: MS-4		E: 775645
N° carta: 15G		C: 2801 msnm
Nombre de Carta: Cuadrángulo de San Marcos	DATUM: WGS84	
Localidad: Caserío Shudal	Región: Cajamarca	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



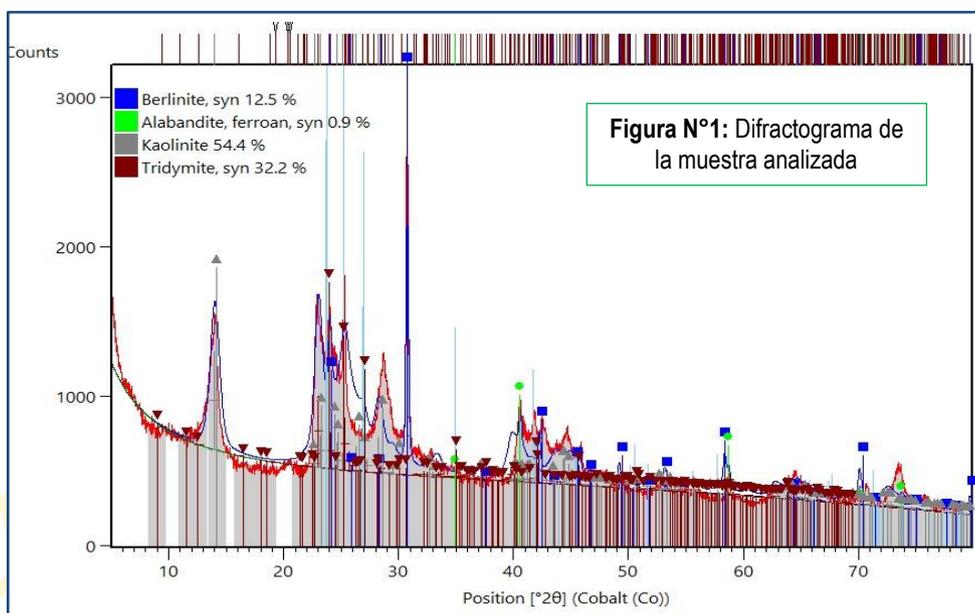
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1 Resultados Obtenidos para al muestra

Tabla N°2: Resultados de Ensayo (Análisis DRX)

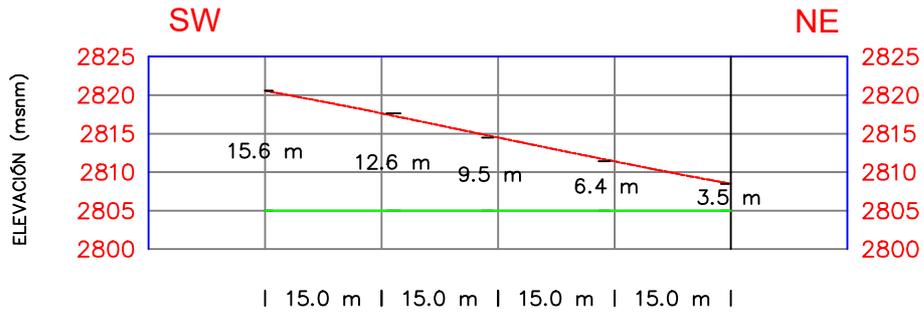
Mineral	Metodología utilizada	Resultado, %
Berlinite, $AlPO_4$	Difracción de Rayos X, DRX	12.5
Alabandite ferroan, $Mn_{0.84-0.89}Fe_{0.11-0.16}S$		0.9
Kaolinite, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$		54.4
Tridymite, SiO_2		32.2



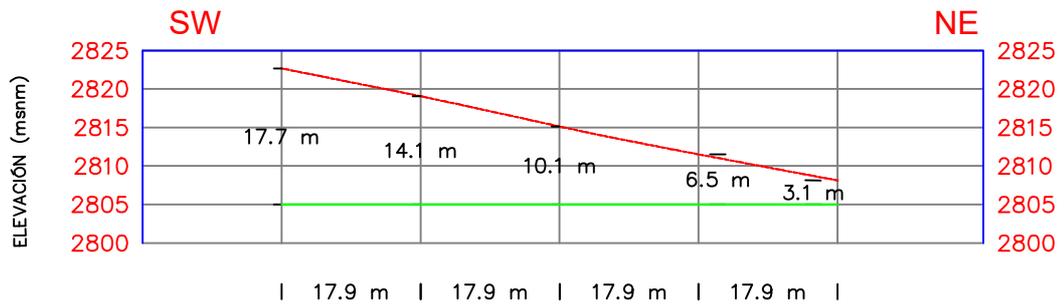
Diego Romano Vergaray
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

PERFILES PARA CALCULAR ÁREA Y VOLUMEN

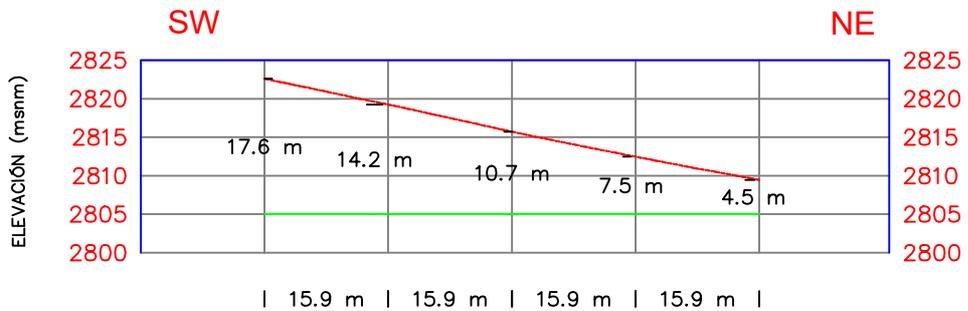
PERFIL B-C



PERFIL D-E

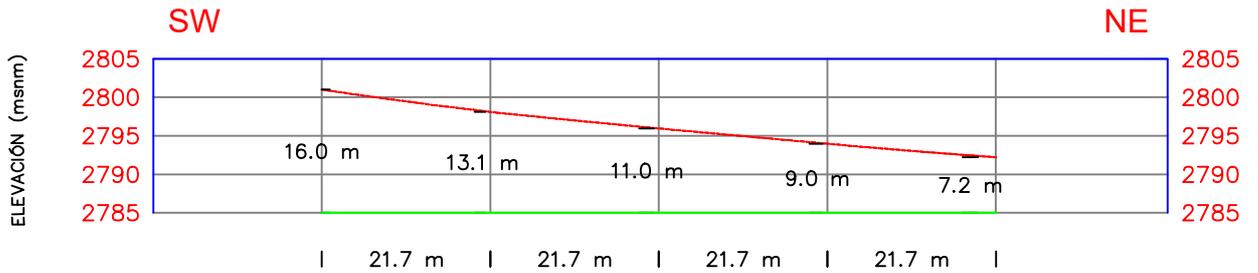


PERFIL F-G

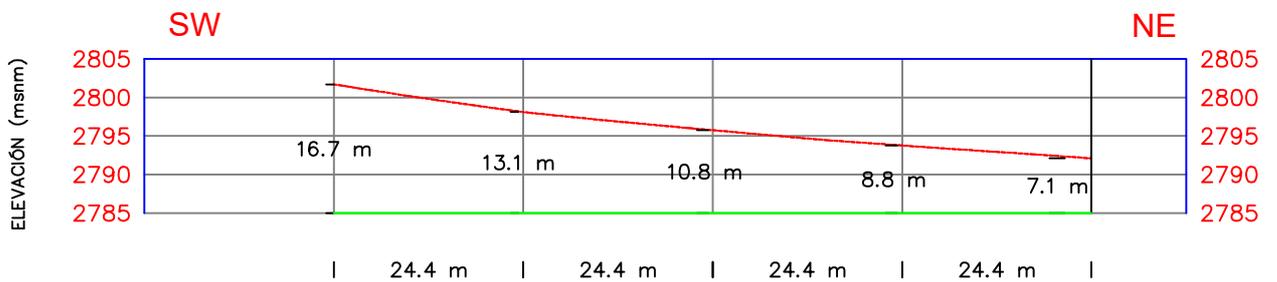


PERFILES PARA CALCULAR ÁREA Y VOLUMEN

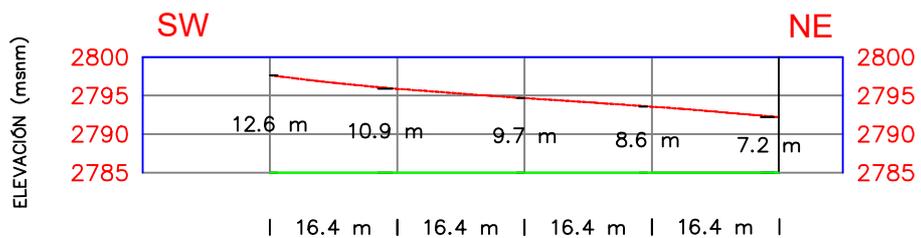
PERFIL H-I



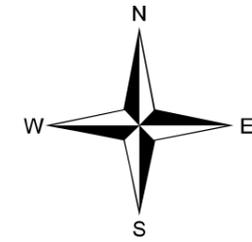
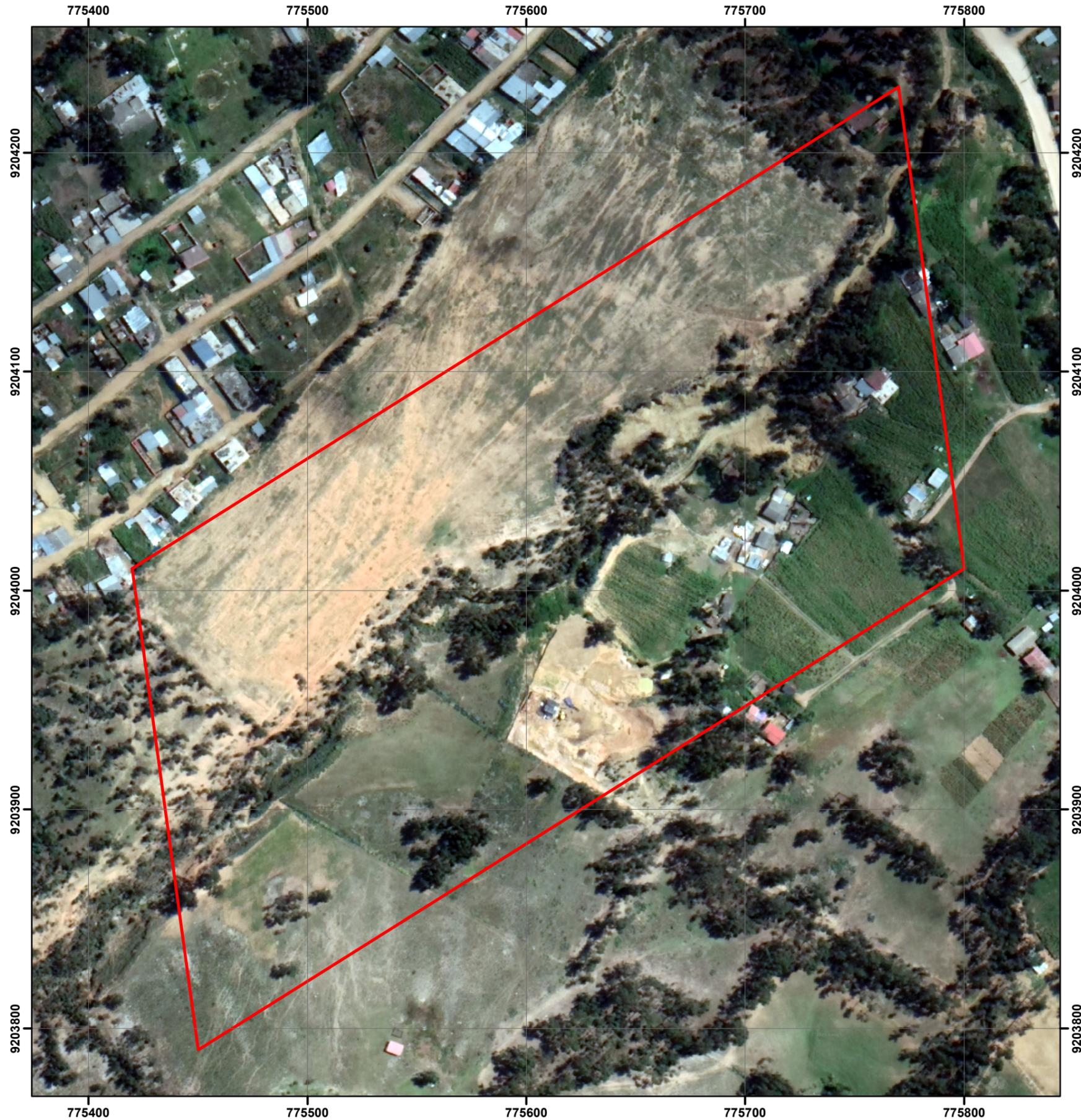
PERFIL J-K



PERFIL L-M



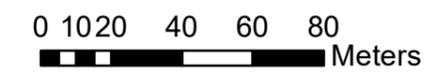
PLANO SATELITAL - CASERÍO SHUDAL



LEYENDA

	Área de Estudio
---	-----------------

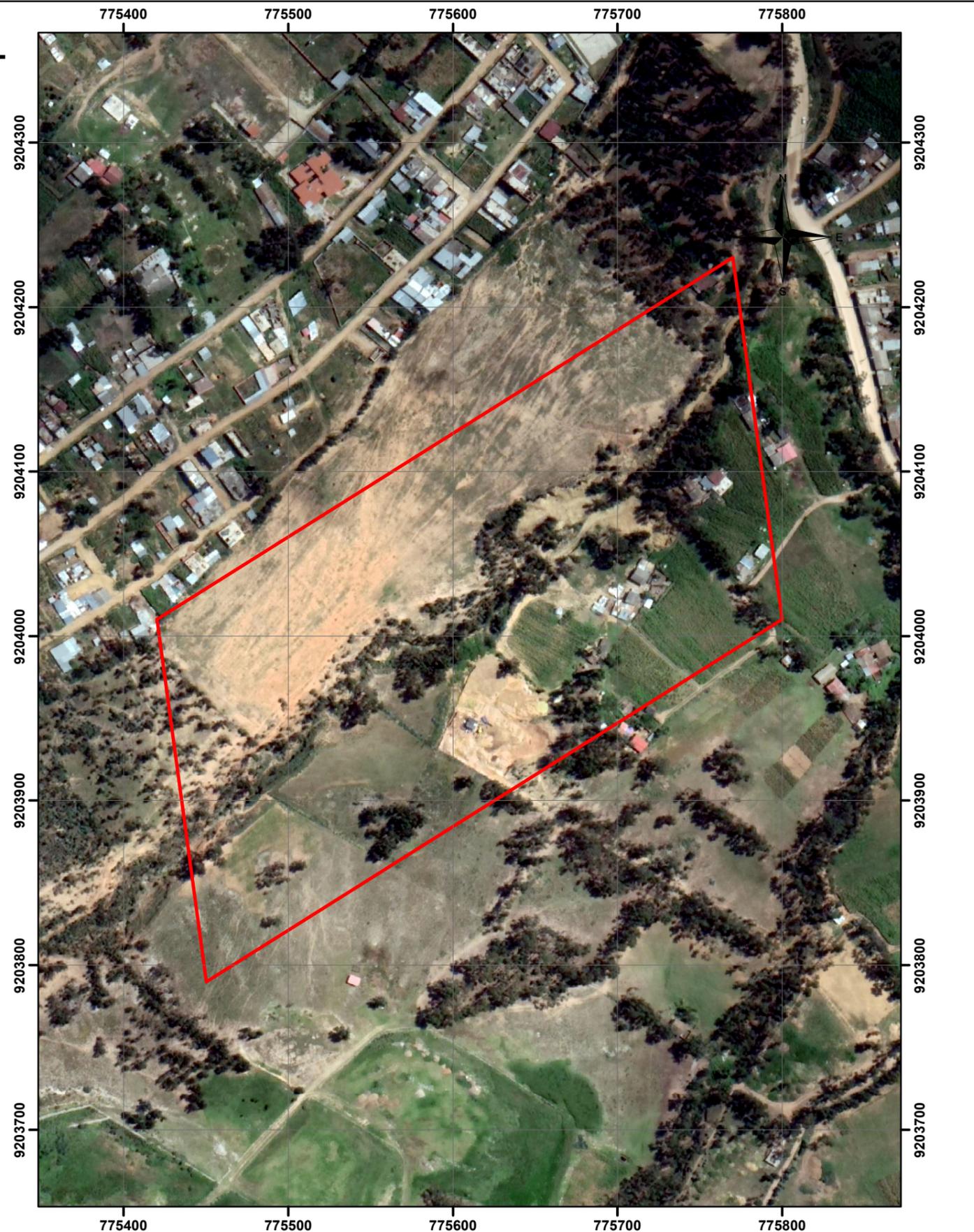
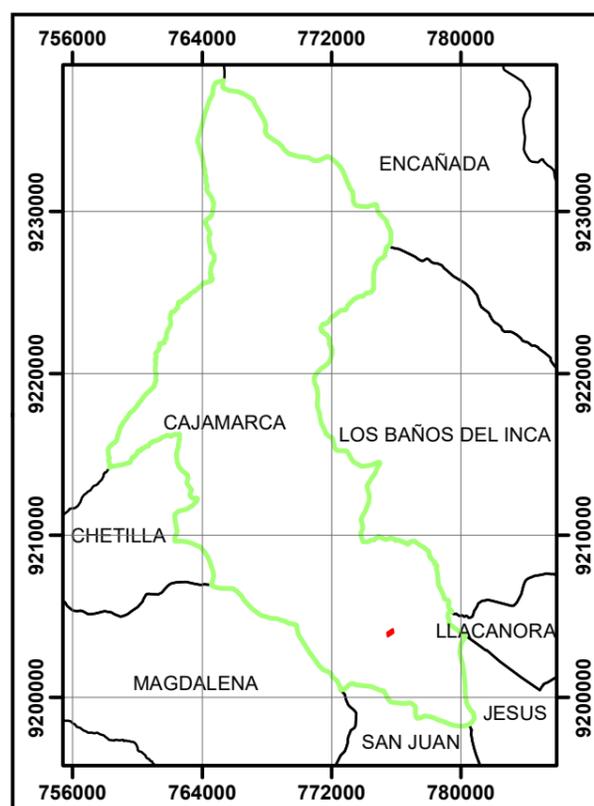
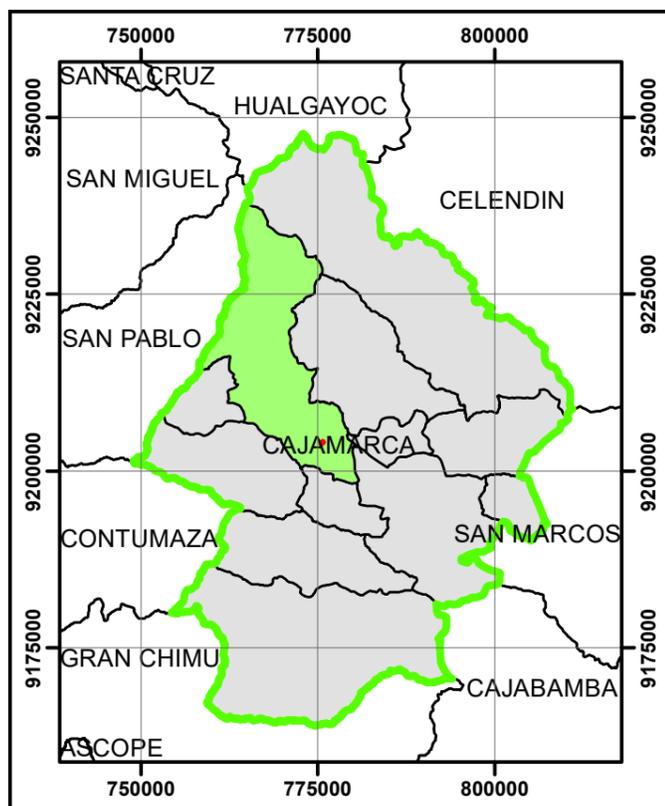
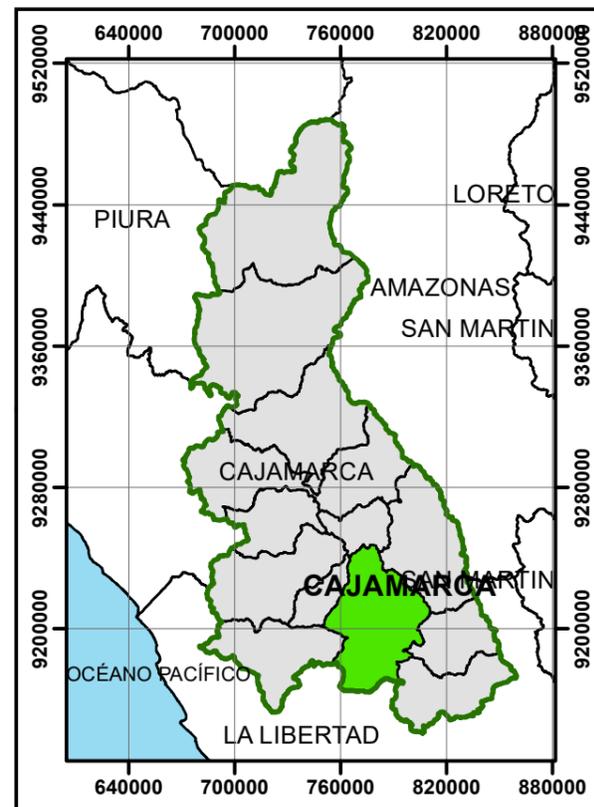
ESCALA GRÁFICA



Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA 	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA	
PLANO SATELITAL - CASERÍO SHUDAL	PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/2000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023
01	

PLANO DE UBICACIÓN - CASERÍO SHUDAL

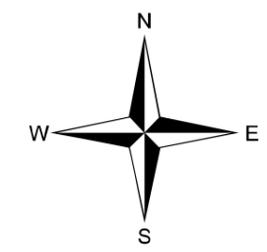
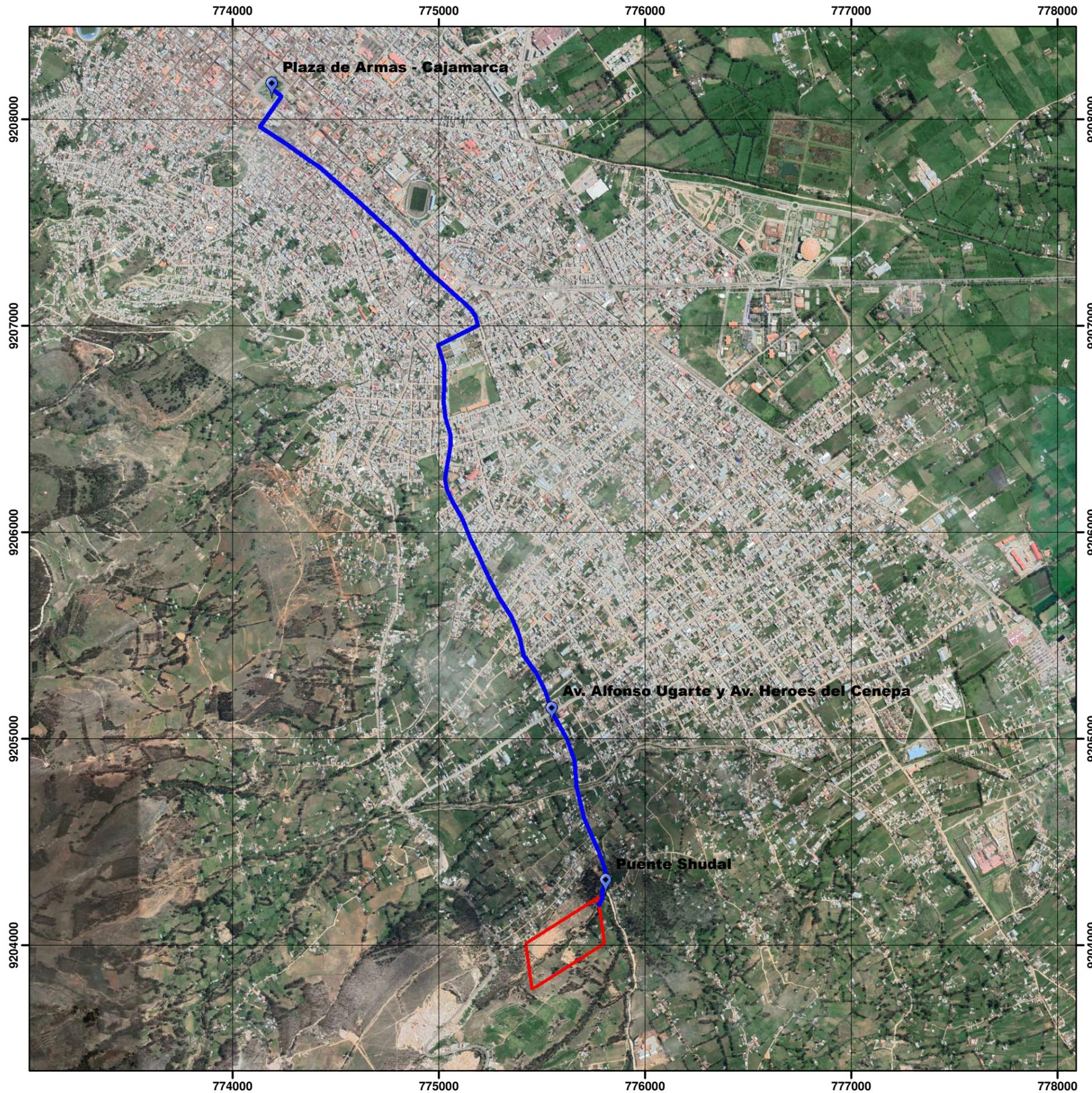


LEYENDA	
	Área de Estudio

ESCALA GRÁFICA	
0 15 30 60 90 120 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

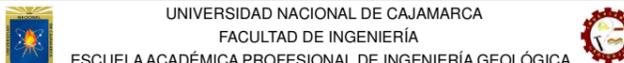
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL - DISTRITO DE CAJAMARCA	
PLANO DE UBICACIÓN - CASERÍO SHUDAL	
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/3000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023

PLANO DE ACCESIBILIDAD - CASERÍO SHUDAL

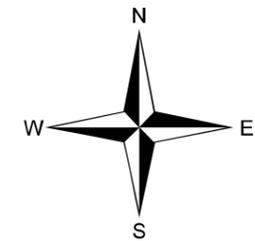
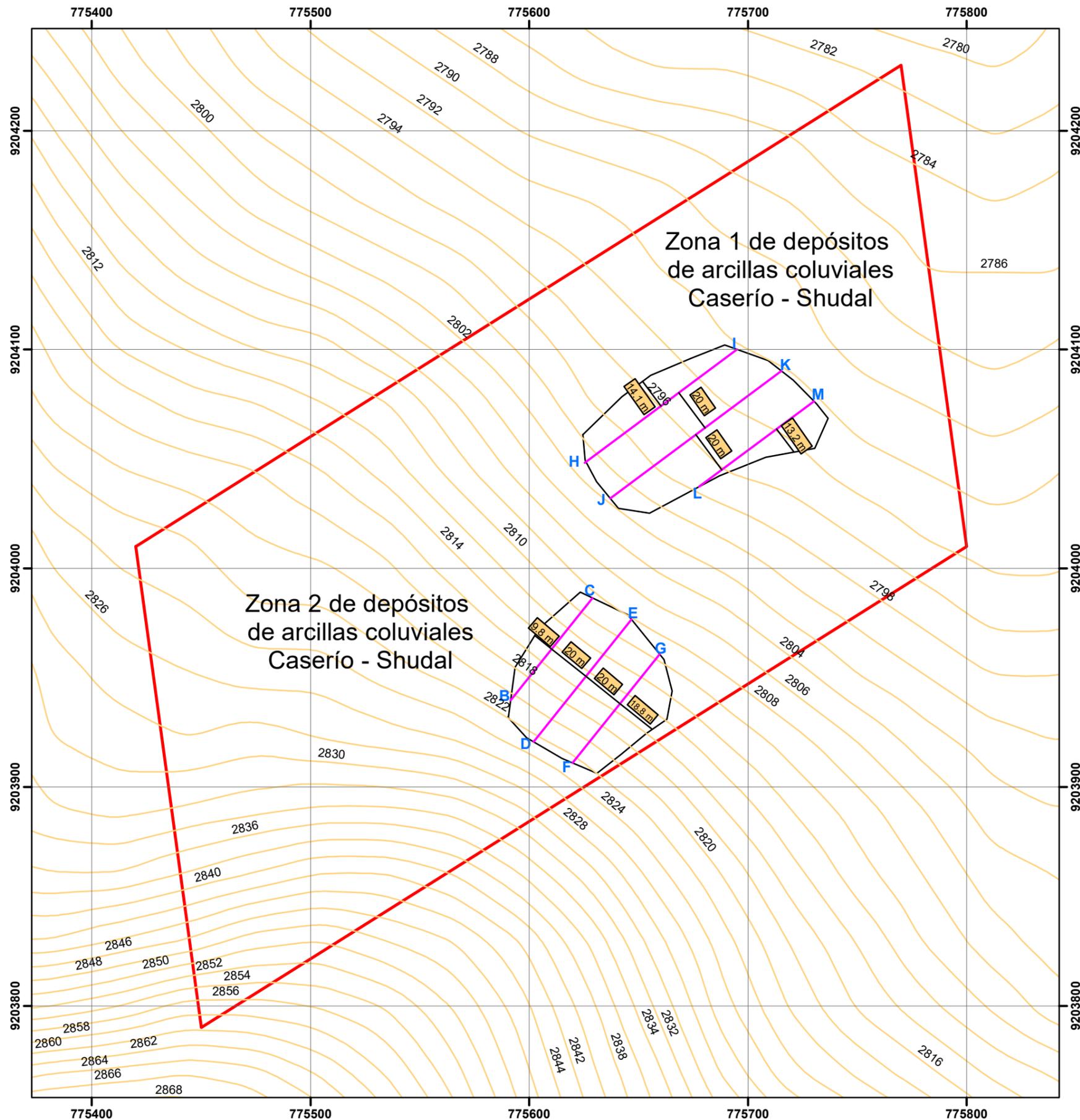


LEYENDA	
	Área de Estudio
	Trayecto
	Puntos de Referencia

ESCALA GRÁFICA	
0 125 250 500 750 1,000 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL - DISTRITO DE CAJAMARCA	
PLANO DE ACCESIBILIDAD - CASERÍO SHUDAL	PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/20000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023
03	

PLANO TOPOGRÁFICO - CASERÍO SHUDAL

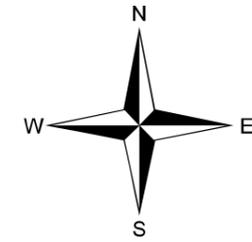
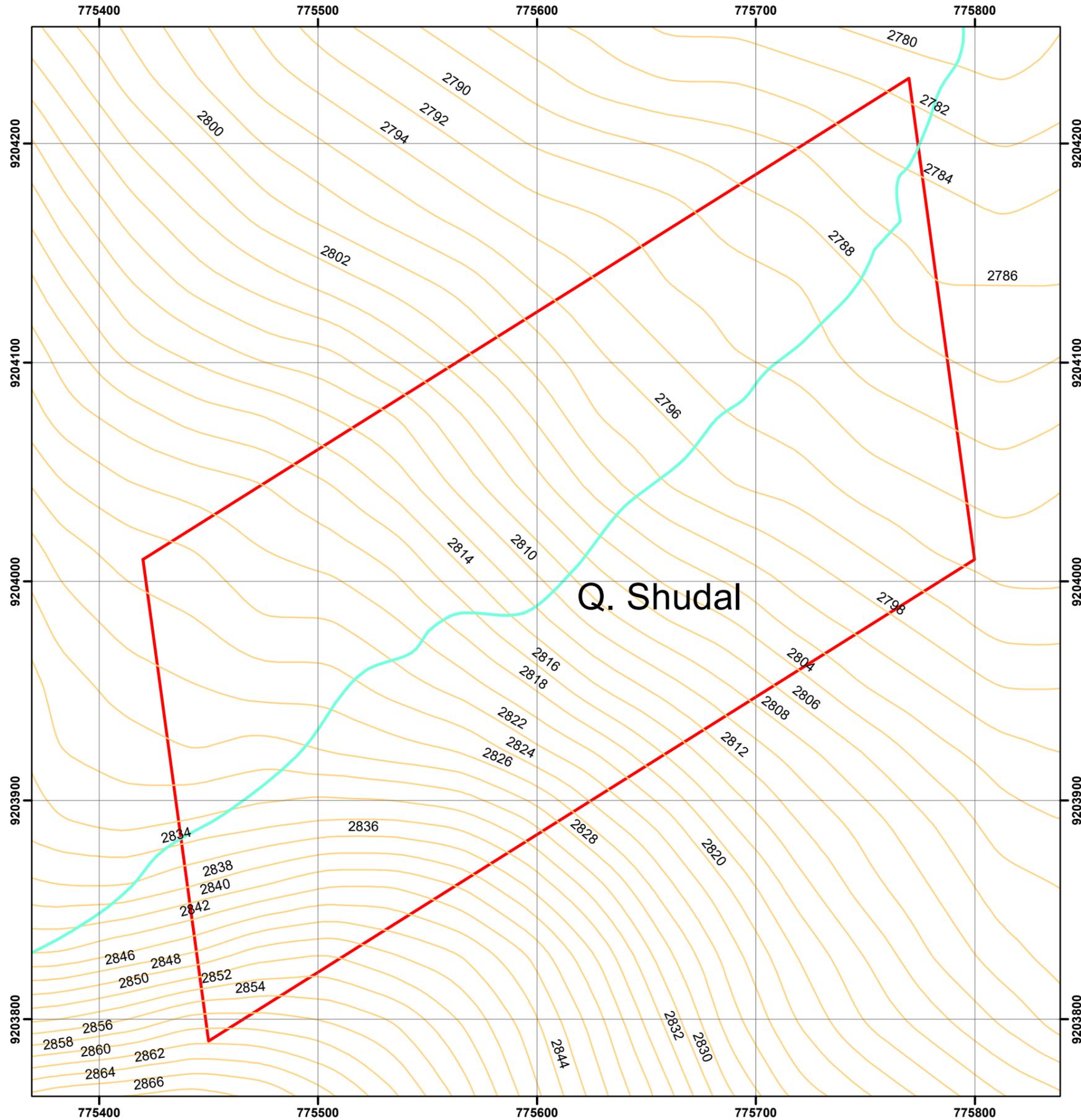


LEYENDA	
	Área de Estudio
	Curvas de nivel
	Zonas con arcillas
	Perfiles para el cálculo de volumen de Arcillas Coluviales

ESCALA GRÀFICA	
0 10 20 40 60 80 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL - DISTRITO DE CAJAMARCA		
PLANO TOPOGRÁFICO - CASERÍO SHUDAL			PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán		ESCALA: 1/2000	
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana		FECHA: Cajamarca, 2023	

PLANO DE DRENAJE - CASERÍO SHUDAL

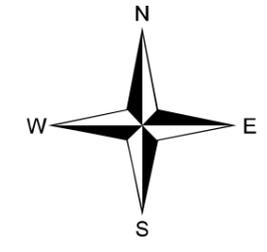
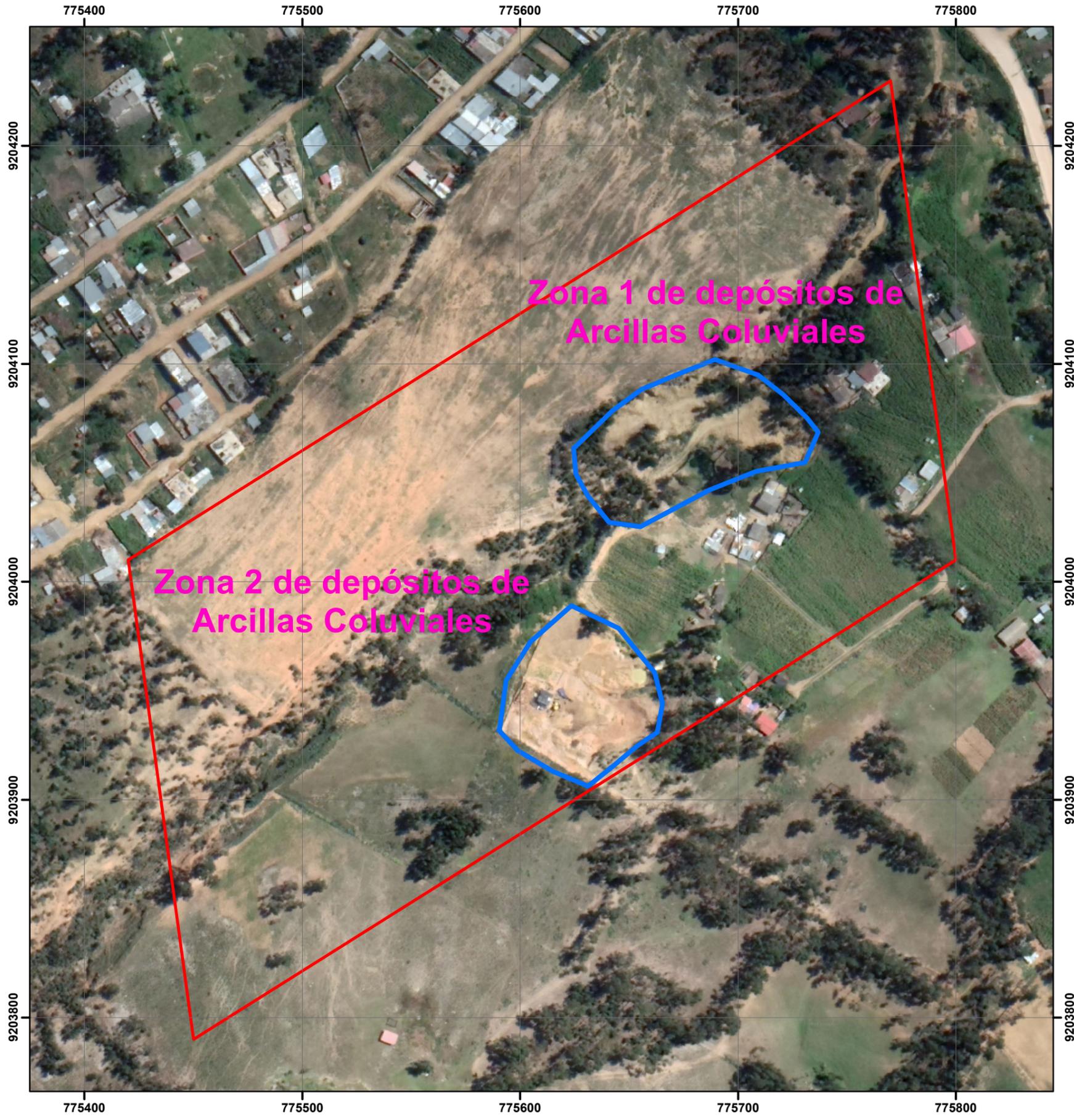


LEYENDA	
	Área de Estudio
	Curvas de nivel
	Quebrada Shudal

ESCALA GRÀFICA	
0 12.525 50 75 100 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA 	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA	
PLANO DE DRENAJES - CASERÍO SHUDAL	PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/2000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023

PLANO DE DEPÓSITOS DE ARCILLAS CASERÍO SHUDAL

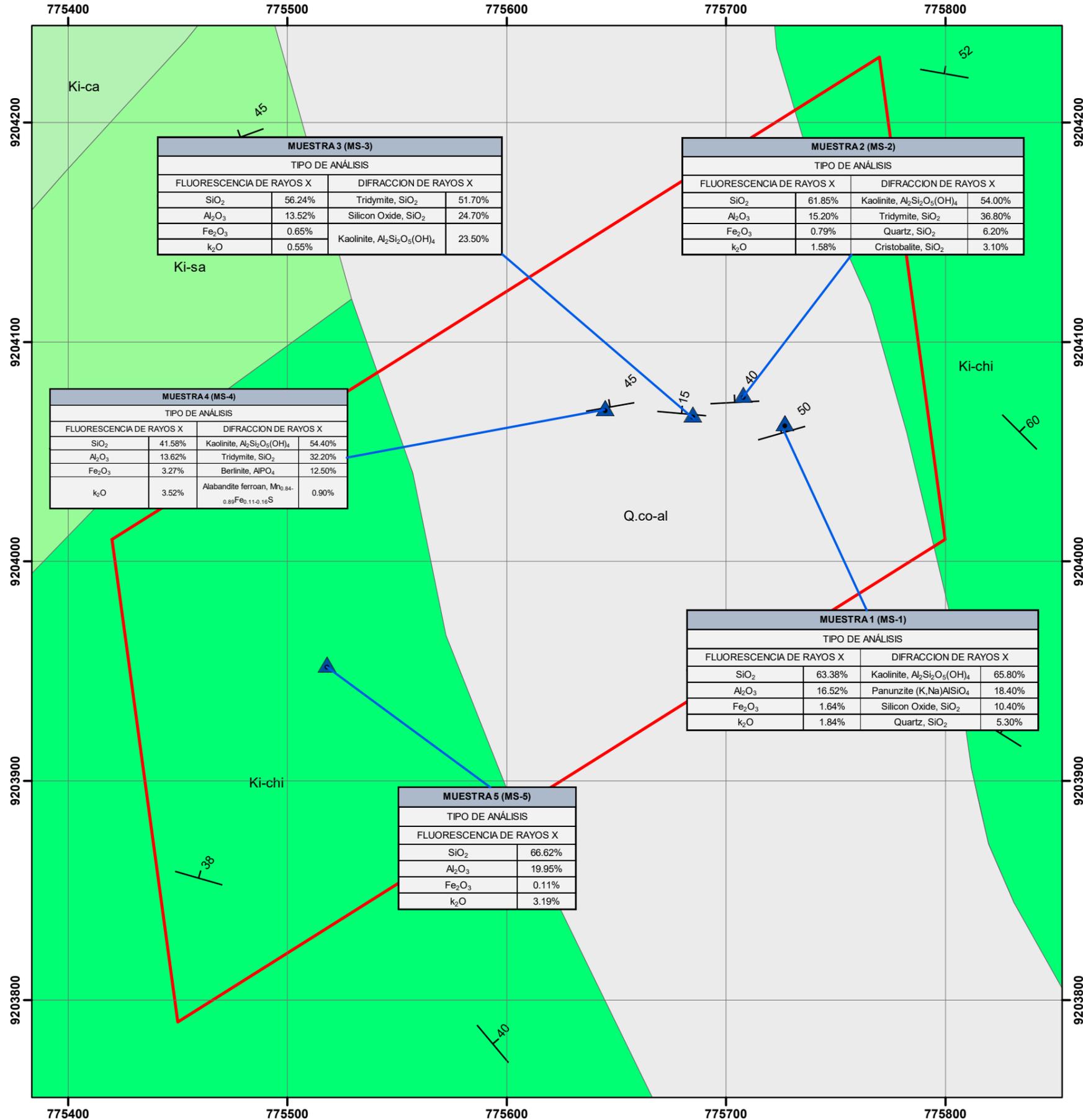


LEYENDA	
	Área de Estudio
	Zona 1 de depósito de Arcillas coluviales
	Zona 2 de depósito de Arcillas coluviales

ESCALA GRÀFICA	
0 10 20 40 60 80  Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA		
PLANO DE DEPÓSITOS DE ARCILLAS - CASERÍO SHUDAL		PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/2000	06
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023	

PLANO DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ARCILLAS DEL CASERÍO SHUDAL



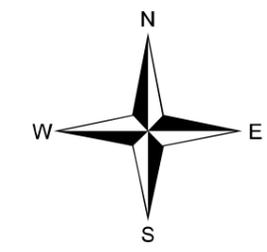
MUESTRA 3 (MS-3)			
TIPO DE ANÁLISIS			
FLUORESCENCIA DE RAYOS X		DIFRACCION DE RAYOS X	
SiO ₂	56.24%	Tridymite, SiO ₂	51.70%
Al ₂ O ₃	13.52%	Silicon Oxide, SiO ₂	24.70%
Fe ₂ O ₃	0.65%	Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	23.50%
k ₂ O	0.55%		

MUESTRA 2 (MS-2)			
TIPO DE ANÁLISIS			
FLUORESCENCIA DE RAYOS X		DIFRACCION DE RAYOS X	
SiO ₂	61.85%	Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	54.00%
Al ₂ O ₃	15.20%	Tridymite, SiO ₂	36.80%
Fe ₂ O ₃	0.79%	Quartz, SiO ₂	6.20%
k ₂ O	1.58%	Cristobalite, SiO ₂	3.10%

MUESTRA 4 (MS-4)			
TIPO DE ANÁLISIS			
FLUORESCENCIA DE RAYOS X		DIFRACCION DE RAYOS X	
SiO ₂	41.58%	Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	54.40%
Al ₂ O ₃	13.62%	Tridymite, SiO ₂	32.20%
Fe ₂ O ₃	3.27%	Berlinite, AlPO ₄	12.50%
k ₂ O	3.52%	Alabandite ferroan, Mn _{0.84} -0.89Fe _{0.11-0.16} S	0.90%

MUESTRA 1 (MS-1)			
TIPO DE ANÁLISIS			
FLUORESCENCIA DE RAYOS X		DIFRACCION DE RAYOS X	
SiO ₂	63.38%	Kaolinite, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	65.80%
Al ₂ O ₃	16.52%	Panunzite (K,Na)AlSiO ₄	18.40%
Fe ₂ O ₃	1.64%	Silicon Oxide, SiO ₂	10.40%
k ₂ O	1.84%	Quartz, SiO ₂	5.30%

MUESTRA 5 (MS-5)	
TIPO DE ANÁLISIS	
FLUORESCENCIA DE RAYOS X	
SiO ₂	66.62%
Al ₂ O ₃	19.95%
Fe ₂ O ₃	0.11%
k ₂ O	3.19%



LEYENDA

- Área de Estudio
- Puntos de muestreo
- Buzamiento de estratos de areniscas y capas de arcillas coluviales

GEOLOGÍA

- Ki-chi
- Q.co-al

ESCALA GRÀFICA

0 10 20 40 60 80 Meters

Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

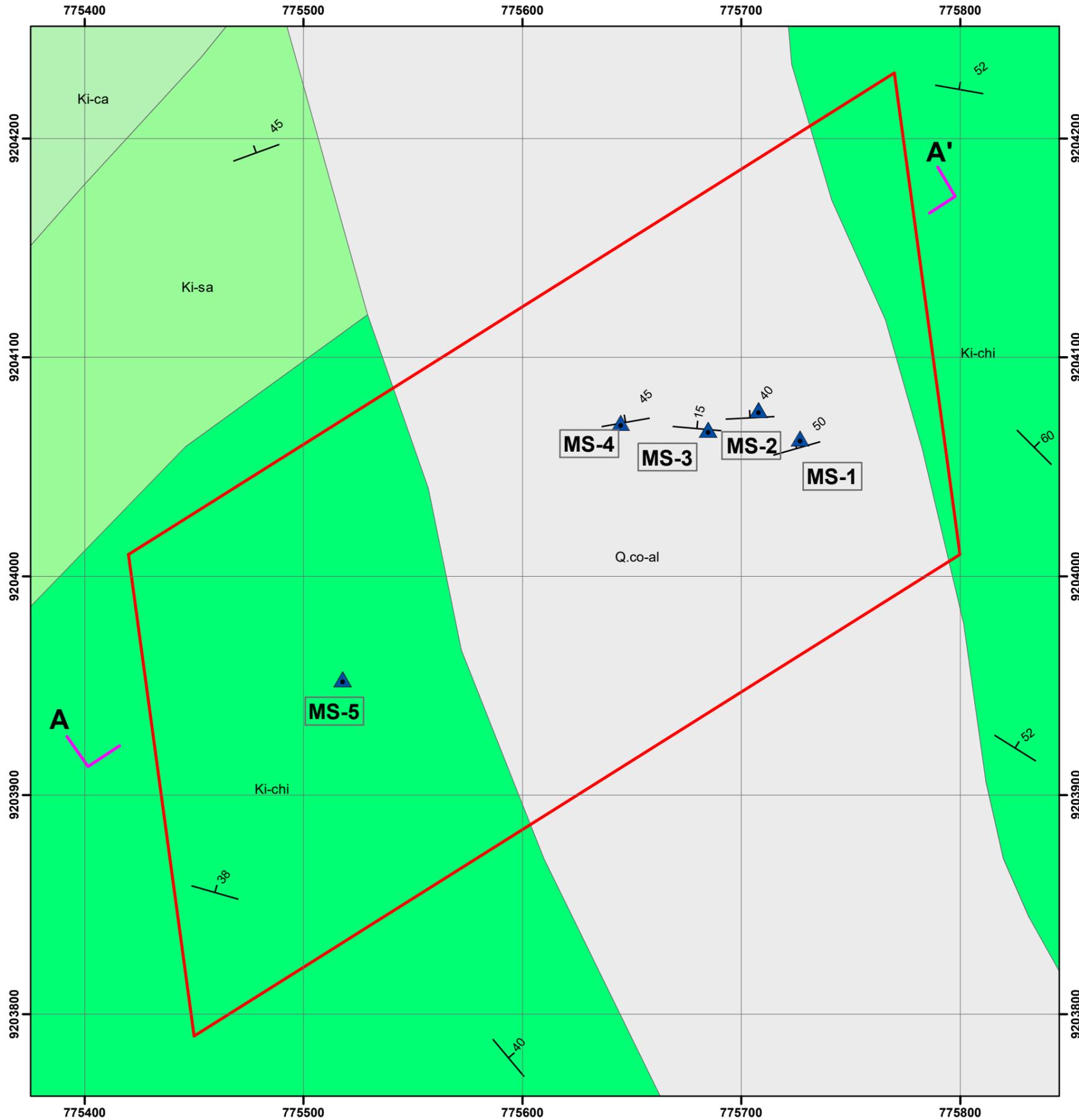
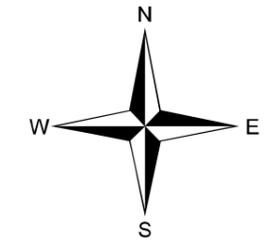
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA

PLANO DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ARCILLAS DEL CASERÍO SHUDAL	PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/2000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023

07

PLANO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DE MUESTRAS CASERÍO SHUDAL



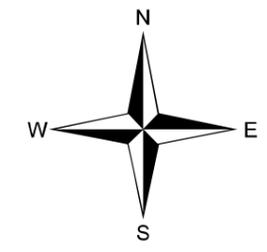
LEYENDA	
	Área de Estudio
	Puntos de muestreo
	Buzamiento de estratos de areniscas y capas de arcillas coluviales
	Línea de corte (A-A') para el Perfil Geológico

GEOLOGÍA	
	Ki-chi
	Q.co-al

ESCALA GRÀFICA	
0 10 20 40 60 80 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

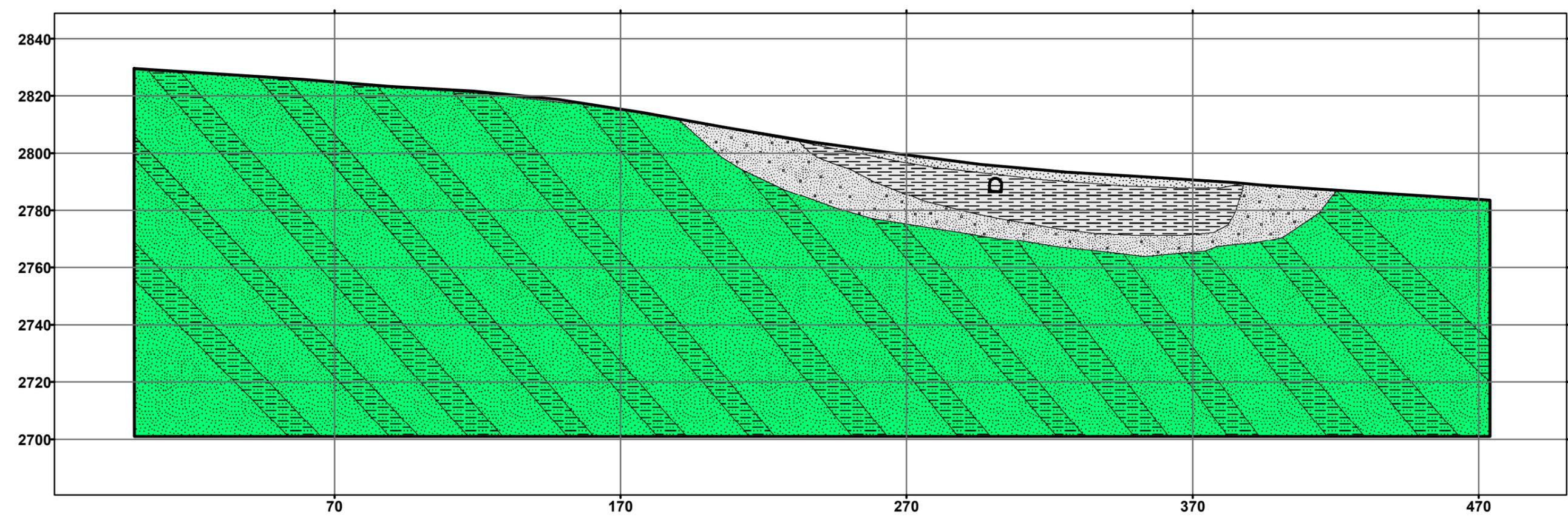
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA	
PLANO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN DE MUESTRAS CASERÍO SHUDAL	PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/2000
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023

PERFIL GEOLÓGICO A - A'



SW

NE



ESCALA GRÁFICA	
0 12.5 25 50 75 100 Meters	
Sistema de Coordenadas	UTM
Datum	WGS-84
Zona	17 S

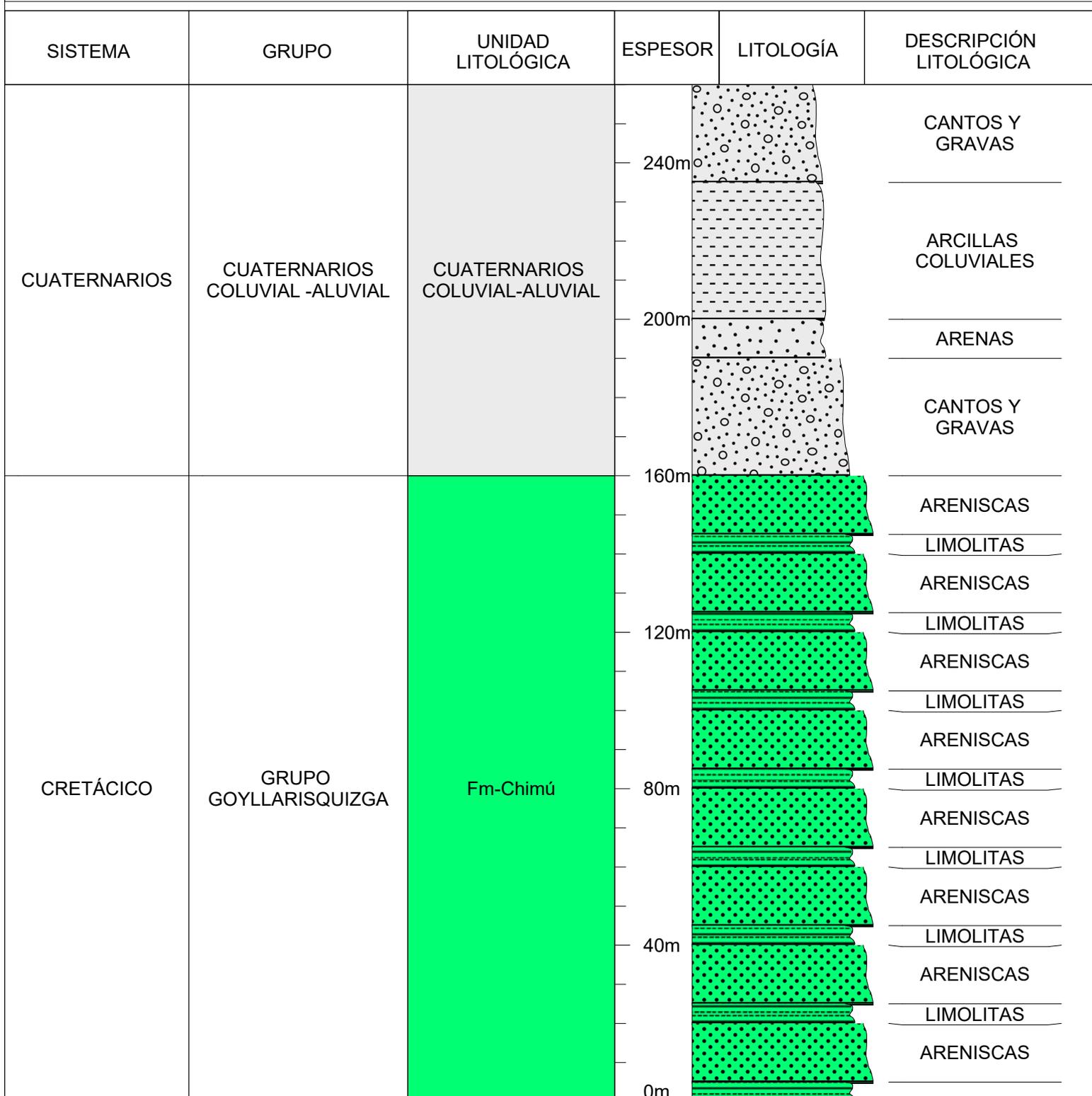
GEOLOGÍA	
	Q.co-al
	Fm - Chimú

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
	Arenas
	Cantos y Gravas
	Arcillas Coluviales
	Areniscas
	Limolitas

LEYENDA	
	Socavón

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO NO METÁLICO DE ARCILLAS EN EL CASERÍO SHUDAL – DISTRITO DE CAJAMARCA		
PERFIL GEOLÓGICO A - A'		PLANO
TESISTA: Bach. José David Carmona Cusquisibán	ESCALA: 1/1500	09
ASESOR: MCs-Ing. Roberto Gonzáles Yana	FECHA: Cajamarca, 2023	

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CASERÍO SHUDAL- DISTRITO DE CAJAMARCA



LEYENDA

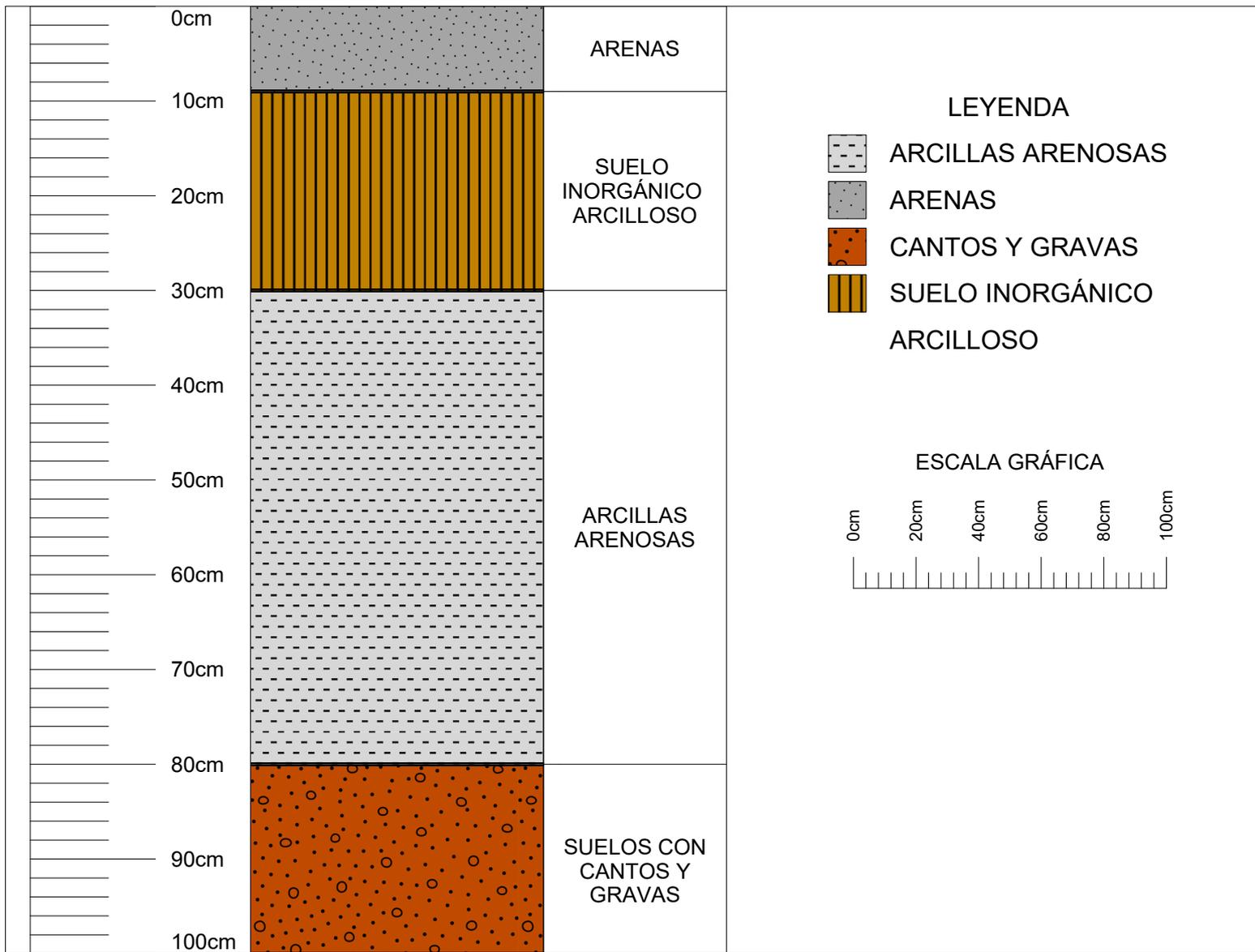
	ARCILLAS
	ARENAS
	ARENISCAS
	CANTOS Y GRAVAS
	LIMOLITAS



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CASERÍO SHUDAL - DISTRITO DE CAJAMARCA	
Elaborado por:	Bach. José David Carmona Cusquisibán	PLANO
Fecha:	Cajamarca, mayo del 2023	10

PERFIL DE LA CALICATA REALIZADA EN EL CASERÍO SHUDAL- DISTRITO DE CAJAMARCA

ESPESOR	UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
---------	-------------------	------------------------



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	PERFIL DE LA CALICATA REALIZADA EN EL CASERÍO SHUDAL - DISTRITO DE CAJAMARCA	
Elaborado por:	Bach. José David Carmona Cusquisibán	PLANO
Fecha:	Cajamarca, mayo del 2023	11