

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA PARA EL USO DE ARCILLAS EN  
LADRILLOS ARTESANALES EN EL CASERÍO CHILCAPAMPA- BAMBAMARCA.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:**

**Bach. Elki Garay Llanos**

**Asesor:**

**M.Cs. Roberto Severino Gonzales Yana**

**Cajamarca – 2021**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, de manera especial a la escuela académica profesional de Ingeniería Geológica y a los docentes, por los conocimientos compartidos que contribuyeron en mi formación profesional.

A las personas que me apoyaron en la elaboración de la presente tesis, en primer lugar, a mi gran amigo Jesús por su apoyo en las salidas a campo, al Ing. Roberto por su valioso asesoramiento y compromiso hasta la presentación de la tesis. De manera especial a mis padres, hermanos y demás familiares por su apoyo en el desarrollo de mi tesis.

A los habitantes del caserío Chilcapampa por permitirme realizar este trabajo de investigación y apoyarme de manera desinteresada.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Marilú Llanos y Lizardo Garay por su apoyo incondicional durante todo el proceso de mi formación profesional.

A mis hermanos; Percy, Elda, y Ghina por su comprensión y respeto.

A mis tíos, primos y demás familiares que gracias a su apoyo ha sido posible la realización de la tesis.

## CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes Locales. ....	4
2.2. BASES TEÓRICAS .....	5
2.2.1. Definición de arcillas.....	5
2.2.2. Origen y formación de las arcillas.....	6
2.2.1. Origen de las arcillas .....	6
2.2.3. Composición mineralógica o mineralogía de las arcillas .....	8
2.2.3.1. Mineralogía de las arcillas .....	8
2.2.4. Grupos de arcillas.....	9
2.2.4.1. Grupo Caolín.....	10
2.2.4.2. Grupo Montmorillonita .....	10
2.2.4.3. Grupo Illita .....	10
2.2.5. Propiedades de las arcillas.....	10
2.2.5.1. Coloración .....	10
2.2.5.2. Textura .....	11
2.2.5.3. Porosidad .....	12

	Pág.
2.2.5.4. Superficie específica .....	12
2.2.5.5. Capacidad de intercambio catiónico.....	12
2.2.5.6. Capacidad de absorción y adsorción.....	13
2.2.5.7. Hidratación e hinchamiento .....	13
2.2.5.8. Plasticidad .....	15
2.2.5.9. Permeabilidad .....	18
2.2.6. Características de las arcillas.....	18
2.2.7. Clasificación de las arcillas.....	18
2.2.7.1. Según su clasificación industrial.....	19
2.2.7.2. Clasificación de las arcillas según su origen .....	23
2.2.7.3. Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción.....	24
2.2.8. Metodología de análisis para la clasificación de arcillas.....	25
2.2.9. Aplicaciones o usos de las arcillas .....	26
2.2.9.1. Aplicaciones del caolín .....	26
2.2.9.2. Aplicaciones de las bentonitas .....	27
2.2.9.3. Aplicaciones de la paligorskita y la sepiolita.....	29
2.2.10. Usos de las arcillas en la fabricación de ladrillos .....	29
2.2.11. Definición de ladrillo .....	31
2.2.12. Partes de un ladrillo.....	31
2.2.13. Propiedades de los ladrillos.....	32
2.2.13.1 Propiedades ingenieriles .....	32
2.2.14. Descripción general del proceso productivo de la producción de ladrillos .....	33
2.2.15. Proceso de fabricación del ladrillo.....	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	35
CAPÍTULO III .....	36

	Pág.
MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
3.1.1. Geográfica .....	36
3.1.2. Política.....	36
3.1.3. Accesibilidad .....	36
3.1.4. Clima y Vegetación.....	39
3.2. Procedimiento.....	40
3.2.1. Recopilación de información .....	40
3.2.2. Trabajo de campo.....	40
3.2.3. Trabajo de gabinete.....	40
3.2.4. Control de calidad.....	40
3.2.5. Instrumentos y equipos .....	41
3.3. Geología local.....	43
3.3.1. Formación Cajamarca (Ks-ca.):.....	43
3.3.2. Formación Celendín (Ks-ce.):.....	44
3.3.3. Formación Chota (PN-cho.).....	45
3.3.4. Volcánico Huambos (PN-vh): .....	46
3.3.5. Depósitos cuaternarios - Recientes.....	46
3.4. Geodinámica .....	48
3.4.1. Paleodeslizamiento. ....	48
3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados. ....	49
CAPÍTULO IV .....	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1. Análisis para la identificación de características de las arcillas en el caserío Chilcapampa. ....	50
4.1.1. Selección y descripción macroscópica de estaciones de muestreo. ...	50

	Pág.
4.1.1.1.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 01 ..... 52
4.1.1.2.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 02 ..... 53
4.1.1.3.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 03 ..... 53
4.1.1.4.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 04 ..... 54
4.1.1.5.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 05 ..... 55
4.1.1.6.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 06 ..... 56
4.1.1.7.	Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 07 ..... 58
4.1.2.	Análisis de la curva granulométrica ..... 59
4.1.3.	Análisis de la curva de distribución granulométrica ..... 61
4.1.3.1	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 01 ..... 61
4.1.3.2.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 02 ..... 62
4.1.3.3.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 03 ..... 63
4.1.3.4.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 04 ..... 64
4.1.3.5.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 05 ..... 65
4.1.3.6.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M - 06 ..... 66
4.1.3.7.	Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M – 07 ..... 67
4.1.4.	Análisis del tipo de las arcillas ..... 68
4.1.4.1.	Determinación del límite líquido..... 68
4.1.4.2.	Análisis de límite Plástico ..... 71
4.1.5.	Análisis del índice de plasticidad ..... 73
4.1.5.1.	Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 01 ..... 73

	Pág.
4.1.5.2. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 02 .....	74
4.1.5.3. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 03 .....	75
4.1.5.4. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 04 .....	76
4.1.5.5. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 05 .....	77
4.1.5.6. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 06 .....	78
4.1.5.7. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 07 .....	79
4.1.6. Análisis de la estructura cristalina y difracción de Rayos X.....	81
4.1.6.1. Procedimiento para obtener los ficheros de las arcillas.....	81
4.1.6.2. Procedimiento para determinar la estructura cristalina y difracción de Rayos X en PowderCell 2.4.....	84
4.1.6.3. Tipo de radiación utilizada.....	85
4.1.6.4. Análisis de la estructura cristalina de las arcillas identificadas.....	86
4.2. Contrastación de la hipótesis .....	94
CAPÍTULO V .....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
5.1. Conclusiones.....	95
5.2. Recomendaciones.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
ANEXOS .....	100
A. Álbum fotográfico .....	100
B. Ficheros PowderCell 2.4 .....	103
C. Certificado de laboratorio de mecánica de suelos .....	106
D. Planos de la investigación. ....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Análisis granulométrico de las arcillas comunes. ....	9
Tabla 2: Clasificación de las arcillas en base a datos estructurales y composición. ....	9
Tabla 3: Clasificación granulométrica de los suelos. ....	11
Tabla 4: Superficies específicas de arcillas. ....	12
Tabla 5: Composición mineralógica de las arcillas comunes. ....	20
Tabla 6: Composición mineralógica de las esmectitas. ....	22
Tabla 7: Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas. ....	23
Tabla 8: Clasificación de arcillas según su origen. ....	24
Tabla 9: Coordenadas de los vértices de la investigación. ....	36
Tabla 10: Accesibilidad a la zona de investigación por carretera de la ruta longitudinal de la sierra norte PE - 3N y su variante PE - 3BN. ....	37
Tabla 11: Características petrográficas de la muestra M - 01 (limolita arcillosa). ....	52
Tabla 12: Características petrográficas de la muestra M - 02 (arcillita limosa). ....	53
Tabla 13: Características petrográficas de la muestra M - 03 (arcillita arenosa). ....	54
Tabla 14: Características petrográficas de la muestra M - 04 (limolita arcillosa). ....	55
Tabla 15: Características petrográficas de la muestra M - 05 (limolita arcillosa). ....	56
Tabla 16: Características petrográficas de la muestra M - 06 (limolita arcillosa). ....	57
Tabla 17: Características petrográficas de la muestra M - 07 (arcillita limosa). ....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ecuación general de la meteorización (Alda, 2014). .....	7
Figura 2: Cuadro de comparación visual para estimar el grado de redondez y esfericidad de los clastos (Powers, 1982). .....	11
Figura 3: Representación esquemática de los procesos de adsorción y absorción (Garay y Mena, 2007). .....	13
Figura 4: Etapas secuenciales el proceso de hidratación de las arcillas y su posterior hinchamiento (Garay y Mena, 2007). .....	14
Figura 5: Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad (Recuperado de González de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2004). .....	15
Figura 6: Clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica (Díaz y Torrecillas, 2002). .....	19
Figura 7: Partes de un ladrillo (aristas) Zea, (2005). .....	31
Figura 8: Caras de un ladrillo (caras) Zea, (2005). .....	32
Figura 9: Proceso de producción artesanal de ladrillos (Lozano y González, 2016). .....	33
Figura 10: Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Barbará - Cajamarca (Fernández, 2010). .....	34
Figura 11: Accesibilidad a la zona de estudio (rojo) por vía asfaltada PE - 3N (azul); por vía PE - 3BN (celeste) y trocha carrozable (amarillo) (Google Earth Pro, 2018). .....	38
Figura 12: Muestras seleccionadas en el caserío Chilcapampa (Google Earth Pro, 2018). .....	51
Figura 13: Elementos de la caolinita en la tabla periódica. ....	81
Figura 14: Búsqueda del fichero de la caolinita en la AMCSD. ....	82
Figura 15: Elementos de la montmorillonita en la tabla periódica. ....	82
Figura 16: Búsqueda del fichero de la montmorillonita en la AMCSD. ....	82
Figura 17: Elementos de la illita en la tabla periódica. ....	83
Figura 18: Búsqueda del fichero de la illita en la AMCSD. ....	83
Figura 19: Fichero de la caolinita PowderCell. ....	84
Figura 20: Herramientas para difracción de Rayos X. ....	85

	Pág.
Figura 21: Estructura de la Caolinita. ....	86
Figura 22: Representación de la estructura cristalina de la caolinita.....	87
Figura 23: Difractograma la caolinita.....	87
Figura 24: Ubicación de la intensidad de la caolinita.....	88
Figura 25: Estructura de la illita .....	89
Figura 26: Representación de la estructura cristalina de la illita.....	90
Figura 27: Difractograma de la illita.....	90
Figura 28: Ubicación de la intensidad de la illita.....	91
Figura 29: Estructura de la montmorillonita. ....	92
Figura 30: Estructura cristalina de la montmorillonita.....	92
Figura 31: Difractograma de la montmorillonita.....	93
Figura 32: Ubicación de la intensidad de la montmorillonita.....	93
Figura 33: Fichero PowderCell de la caolinita. ....	103
Figura 34: Fichero PowderCell de la illita. ....	104
Figura 35: Fichero PowderCell de la montmorillonita. ....	105
Figura 36: Certificado de laboratorio de mecánica de suelos.....	106

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Símbolos de grupo en el sistema unificado de clasificación de suelos.....	17
Cuadro 2: Cuadro climatológico de Bambamarca.....	39
Cuadro 3: Ubicación de las 7 muestras seleccionadas.....	51
Cuadro 4: Ensayo granulométrico de la muestra M - 01.....	61
Cuadro 5: Porcentaje de materiales de la muestra M - 01.....	61
Cuadro 6: Ensayo granulométrico de la muestra M - 02.....	62
Cuadro 7: Porcentaje de materiales de la muestra M - 02.....	62
Cuadro 8: Ensayo granulométrico de la muestra M - 03.....	63
Cuadro 9: Porcentaje de materiales de la muestra M - 03.....	63
Cuadro 10: Ensayo granulométrico de la muestra M - 04.....	64
Cuadro 11: Porcentaje de materiales de la muestra M - 04.....	64
Cuadro 12: Ensayo granulométrico de la muestra M - 05.....	65
Cuadro 13: Porcentaje de materiales de la muestra M - 05.....	65
Cuadro 14: Ensayo granulométrico de la muestra M - 06.....	66
Cuadro 15: Porcentaje de materiales de la muestra M - 06.....	66
Cuadro 16: Ensayo granulométrico de la muestra M - 07.....	67
Cuadro 17: Porcentaje de materiales de la muestra M - 07.....	67
Cuadro 18: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 01.....	73
Cuadro 19: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 02.....	74
Cuadro 20: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 03.....	75
Cuadro 21: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 04.....	76
Cuadro 22: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 05.....	77
Cuadro 23: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 06.....	78
Cuadro 24: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 07.....	79
Cuadro 25: Datos de análisis de índice de plasticidad.....	80

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Eucaliptos, chilca típica del caserío Chilcapampa. (Norte: 9257603, Este: 772807). .....	39
Foto 2: Estratos de calizas gris claras de la Formación Cajamarca (Norte: 9256810, Este: 773420). .....	43
Foto 3: Topografía kárstica, estalactita en calizas gris clara de la Formación Cajamarca. (Norte: 9256730, Este: 773482). .....	44
Foto 4: Calizas margosa gris amarillentas de la Formación Celendín (Norte: 9258492, Este: 772192). .....	45
Foto 5: Areniscas con presencia de grava redondeada intercalada con tobas , de la Formación Chota. (Norte: 9258602, Este: 773667). .....	45
Foto 6: Afloramiento de depósitos piroclásticos de tobas andesíticas del Volcánico Huambos (Norte: 9257623, Este: 772957).....	46
Foto 7: Depósitos lacustres compuesto por sedimentos de grano fino (limos y arcillas), en el caserío el Frutillo. (Norte: 9258679, Este: 772570). .....	47
Foto 8: Depósitos fluviales ubicado en el caserío Mayhuasi, a ambos lados del río Llaucano. (Norte: 9256780, Este: 773522). .....	47
Foto 9: Tres paleodeslizamientos curvos – cilíndricos progresivos, en el Volcánico Huambos en el caserío Shihua. (Norte: 9257170, Este: 772579). .....	48
Foto 10: Deslizamiento planar en el Volcánico Huambos en el caserío Chilcapampa. (Norte: 9257819, Este: 772554).....	48
Foto 11: Afloramiento de limolita arcillosa en el cerro Huachuma.....	52
Foto 12: Afloramiento de arcillita limosa en el sector el Bosque. ....	53
Foto 13: Afloramiento de arcillita arenosa, cerca de la escuela N°: 821031 de Chilcapampa.....	54
Foto 14: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte baja del cerro Ambade. ...	55
Foto 15: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte media del cerro Ambade. ....	56
Foto 16: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte media del cerro Ambade. ....	57
Foto 17: Afloramiento de arcillita limosa en el sector Zarzapampa. ....	58

	Pág.
Foto 18: Peso de muestra seca.....	59
Foto 19: Tamizado de la muestra seca de arcilla en el laboratorio de mecánica de suelos.....	59
Foto 20: Material de la muestra seca que ha pasado el tamiz N° 200. ....	60
Foto 21: Siete muestras secas tamizadas.....	60
Foto 22: Tamizado de la muestra seca por el tamiz N° 40, en el laboratorio de mecánica de suelos. ....	68
Foto 23: Homogenización de la muestra en el laboratorio de mecánica de suelos. ....	68
Foto 24: Porción de muestra homogenizada en la Copa de Casagrande. ....	69
Foto 25: División de la muestra homogenizada con ayuda del ranurador. ....	69
Foto 26: Golpeando la cuchara hasta que las mitades se junten en 12mm. ....	70
Foto 27: Muestras en el horno por un periodo de 24 horas.....	70
Foto 28: Moldeo de la muestra homogenizada. ....	71
Foto 29: Presión a la muestra para reducir su tamaño.....	71
Foto 30: Traslado de la muestra al horno.....	72
Foto 31: Deposito de arcillita limosa dentro de los estratos de calizas gris clara de la Formación Cajamarca. (Norte: 9257545, Este: 773125).....	100
Foto 32: Depósitos de arcillita limosa en el Volcánico Huambos, ubicados en la carretera Mayhuasi - Shihua. (Norte: 9257259, Este: 773412).....	100
Foto 33: Depósitos de limolita arcillosa producto de la alteración de tobas del Volcánico Huambos en la carretera que une Chilcapampa - Shihua. (Norte: 9257789, Este: 772552). ....	101
Foto 34: Depósitos de limolita arcillosa sobre tobas del Volcánico Huambos en el sector Zarzapampa (Norte: 9257655, Este: 772608).....	101
Foto 35: Afloramiento del Volcánico Huambos con abundante vegetación. (Norte: 9257645, Este: 772917). ....	102
Foto 36: Áreas de cultivo inaccesibles en arcillita limosa, cerca de la escuela n° 821031 del caserío Chilcapampa. (Norte: 9258217, Este: 772653). ....	102

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 01.....	61
Gráfico 2:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 02.....	62
Gráfico 3:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 03.....	63
Gráfico 4:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 04.....	64
Gráfico 5:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 05.....	65
Gráfico 6:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 06.....	66
Gráfico 7:	Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 07.....	67
Gráfico 8:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 01.....	73
Gráfico 9:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 01....	73
Gráfico 10:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 02.....	74
Gráfico 11:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M- 02....	74
Gráfico 12:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 03.....	75
Gráfico 13:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 03....	75
Gráfico 14:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 04.....	76
Gráfico 15:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 04....	76
Gráfico 16:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 05.....	77
Gráfico 17:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 05....	77
Gráfico 18:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 06.....	78
Gráfico 19:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 06....	78
Gráfico 20:	Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 07.....	79
Gráfico 21:	Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 07....	79
Gráfico 22:	Muestras identificadas según la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad. ....	80

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Al.	: Aluminio
Ca	: Calcio
Cell	: Formato del programa PowderCell 2.4.
E.	: Este
GPS.	: Sistema de posición global
g.	: Gramos
km.	: Kilómetros
L.L.	: Límite líquido
L.P.	: Límite plástico
I.P.	: Índice de plasticidad
Mg.	: Magnesio
min.	: Minutos
ml	: Mililitros
mm.	: Milímetros
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
N.	: Norte
Na.	: Sodio
O.	: Oeste
Pág.	: Página.
Pms.	: Peso de la muestra seca
PR.	: Peso retenido
PRA.	: Pesos retenidos acumulados
RGNR	: Grupo espacial de cristalización
S.	: Sur
SiO <sub>2</sub> .	: Sílice
SUCS.	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
UTM.	: Universal Transversal de Mercator
WGS – 84.	: Sistema Geodésico Mundial de 1984
° C.	: Grados centígrados
%.	: Porcentaje
PE - 3N.	: Ruta longitudinal de la sierra norte
PE - 3BN.	: Variante de la ruta longitudinal de la sierra norte

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo caracterizar petrográficamente las arcillas para el uso en ladrillos artesanales en el caserío Chilcapampa- Bambamarca, ubicado al Noreste de la ciudad de Cajamarca y al Suroeste de la ciudad de Bambamarca; se ha determinado las características petrográficas macroscópicas generales (dureza, fractura, porosidad), elementos texturales (tamaño de grano, esfericidad, redondez) y composición (matriz, óxidos de hierro) de las arcillas seleccionadas; también se realizó ensayos granulométricos y ensayos de límites de plasticidad en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, con los datos obtenidos, en el programa PowderCell 2.4, se analizó la estructura cristalina y las intensidades relativas máximas en los difractogramas de las arcillas identificadas y teniendo en cuenta las características mencionadas y la ubicación del afloramiento se realizó la zonificación de depósitos de arcilla. La granulometría se obtuvo en porcentajes de arcilla que varían entre 41%. - 58%. de finos. El índice de plasticidad varía entre 20.59 - 41.16, y el límite líquido varía entre 45%. - 60%., con ello se determinó mediante la influencia de la composición mineralógica la calidad de las arcillas; 3 muestras caolinitas (M - 02, M - 04 y M - 07), 2 montmorillonitas (M - 05, M - 06) y 2 illitas tipo común (M - 01, M - 03).

**Palabras claves:** Arcilla, caracterización petrográfica, índice de plasticidad, difractogramas, estructura cristalina.

## ABSTRACT

The objective of the investigation is to characterize petrographically the clays for use in artisan bricks in the Chilcapampa-Bambamarca hamlet, located northeast of the city of Cajamarca and southwest of the city of Bambamarca; The general macroscopic petrographic characteristics (hardness, fracture, porosity), textural elements (grain size, sphericity, roundness) and composition (matrix, iron oxides) of the selected clays have been determined; Granulometric tests and plasticity limits tests were also carried out in the soil mechanics laboratory of the National University of Cajamarca, with the data obtained, in the PowderCell 2.4 program, the crystalline structure and the maximum relative intensities in the diffractograms of The clays identified and taking into account the characteristics mentioned and the location of the outcrop, the zoning of clay deposits was carried out. The granulometry was obtained in clay percentages that vary between 41%. - 58%. of fines. The plasticity index varies between 20.59 - 41.16, and the liquid limit varies between 45%. - 60%., With this the quality of the clays was determined through the influence of the mineralogical composition; 3 kaolinite samples (M-02, M-04 and M-07), 2 montmorillonites (M-05, M-06) and 2 common type illites (M-01, M-03).

**Key words:** Clay, petrographic characterization, plasticity index, diffractograms, crystal structure.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad existe un gran interés en la industria no metálica de las arcillas, específicamente de la construcción civil a nivel nacional e internacional, ya que son recursos no metálicos que son un soporte para el desarrollo de la población; tienen múltiples aplicaciones entre ellas para la fabricación de ladrillos artesanales. El caserío de Chilcapampa se encuentra al Noreste de la ciudad de Cajamarca y al Suroeste de la ciudad de Bambamarca; siendo la litología del Volcánico Huambos en la que se va a realizar este proyecto de investigación. Litológicamente está constituida por rocas volcánicas en su gran mayoría tobas, cubiertas de depósitos cuaternarios y acumulaciones de depósitos de arcillas. Las características petrográficas de las arcillas ayudarán a determinar el uso en ladrillos artesanales, están conformadas por: tipo de arcilla común, textura fina, plasticidad alta, calidad baja; para lo cual se utilizará análisis de muestras. Se realizará la caracterización petrográfica para el uso de arcillas en ladrillos artesanales porque no existe estudios detallados en el caserío de Chilcapampa, por tanto es necesario caracterizar petrográficamente las arcillas mediante su tipo, textura, plasticidad y calidad. Para la investigación se ha planteado como pregunta principal, ¿Cuál es la caracterización petrográfica para el uso de arcillas en ladrillos artesanales en el caserío Chilcapampa- Bambamarca?. La caracterización petrográfica para el uso de arcillas en ladrillos artesanales en el caserío de Chilcapampa – Bambamarca, está conformada por arcilla común, calidad baja, de alta plasticidad, textura muy fina; teniendo en cuenta sus características indica que el uso de arcillas es favorable para elaboración de ladrillos artesanales; las arcillas comunes constituyen un gran potencial de aprovechamiento industrial no metálico porque se encuentra en diversos afloramientos.

La justificación que se ha planteado es: debido a que las arcillas son un recurso no metálico por el cual se ha incrementado el interés a nivel internacional, precisamente en la industria de la construcción de ladrillos artesanales para mejorar

el desarrollo tanto urbanístico como comercial, y teniendo como referencia al crecimiento de la población se requiere más reservas de esta materia prima ya que la demanda de las arcillas va en aumento. Además en la actualidad se trabaja solo con conocimientos que se han obtenido por la experiencia por lo que no se aprovecha de la manera más eficiente, es por ello que la caracterización petrográfica para el uso de arcillas en ladrillos artesanales, contribuirá a determinar tanto las propiedades físicas y químicas para incrementar el ingreso económico de los productores, como la calidad y cantidad de este recurso para ser utilizado en la industria de la construcción de ladrillo artesanal. Por lo mencionado anteriormente, el presente trabajo tiene un tema de interés sobre los yacimientos no metálicos, lo cual servirá para nuevos estudios de investigación sobre estos recursos.

La caracterización petrográfica para el uso de arcillas en ladrillos artesanales en el caserío de Chilcapampa – Bambamarca, permitirá hacer una investigación descriptiva de tipo transversal abarcando el caserío Chilcapampa ubicado al Suroeste de la ciudad de Bambamarca, con área aproximada de 4km<sup>2</sup>.

Esta investigación tiene como objetivos: caracterizar petrográficamente las arcillas para el uso en ladrillos artesanales en el caserío Chilcapampa - Bambamarca, describir las arcillas según su composición petrográfica macroscópica, describir las arcillas según la curva granulométrica, determinar la calidad de las arcillas según sus características y zonificar los depósitos de arcillas.

Finalmente, para el desarrollo de la tesis profesional se ha estructurado en cinco capítulos: Capítulo I, este capítulo corresponde a la introducción de la investigación. Capítulo II, que corresponde al Marco Teórico, en este capítulo se mencionan algunos autores de nivel internacional, nacional y local con sus respectivas tesis, las cuales se relacionan y servirá de base para la ejecución de la tesis profesional; así mismo contiene las bases teóricas que van a ser de apoyo en la investigación porque contienen temas generales de arcillas tales como las propiedades, características, clasificación industrial, aplicaciones de las arcillas, así mismo temas de difracción de Rayos X y la definición de términos básicos los cuales están de acuerdo al tema de investigación. Capítulo III, que corresponde a materiales y métodos, en este capítulo se muestra la ubicación geográfica de la zona de

investigación, delimitación, accesibilidad a la zona de estudio, metodología, procedimiento realizado en la investigación, equipos y materiales, contiene también el tratamiento y análisis de datos y la presentación de resultados. Capítulo IV, que corresponde al análisis y discusión de resultados, donde se discutirá los antecedentes teóricos con los resultados obtenidos en la investigación principalmente sobre el tipo y calidad de las arcillas identificadas, así mismo, se realizará la contrastación de la hipótesis, determinando así la veracidad de la misma. Capítulo V, que corresponde a las conclusiones y recomendaciones que están de acuerdo a los objetivos inicialmente planteados, las referencias bibliográficas y anexos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Lozano y González (2016), en su tesis sobre el uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del Sector Alfarero de Candelaria. Santiago de Cali – Colombia. Identificó en la ladrillera La Gloria, arcillas con plasticidad media pertenecientes a las montmorillonitas, además la greda es una arcilla con plasticidad media perteneciente a las illitas, el capote es un limo que es de alta compresibilidad perteneciente a las arcillas caolinita.

##### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Mamani (2015), en su tesis sobre el estudio y evaluación de formulación de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco. Señala que el ladrillo de arcilla cocida logra tener las mejores resistencias en su elaboración y de fácil fabricación la cual será una matriz para poder cubrir las expectativas de los habitantes en la ciudad de Cusco.

##### **2.1.3. Antecedentes Locales.**

Aliaga (2017), en su tesis sobre el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales de la ciudad de Celendín – Cajamarca. Determina las propiedades físicas de los ladrillos artesanales como alabeo, variación dimensional, resistencia a la compresión axial, elasticidad, succión y absorción mediante ensayos de laboratorio.

Salazar y Alarcón (2016), en su tesis sobre la evaluación económica para explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión minera Rumicucho, Centro Poblado Huayrapongo, Distrito de Llacanora, Provincia y Departamento de Cajamarca, 2016. Mencionan que el proyecto minero Rumicucho es viable para la explotación de arcillas tipo caolinitas, previa evaluación de la calidad. Señalan

también que las arcillas se encuentran emplazadas estratigráficamente en la Formación Carhuaz.

Vergara (2017), en su tesis sobre la estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del Distrito de Llacanora -Cajamarca, Perú – 2015. Determina que las arcillas se originaron por meteorización, específicamente por hidrólisis y lixiviación debido a que las condiciones climáticas entre ellas la precipitación y temperatura; y por el tipo de roca tanto arcillitas, limolitas y calizas arenosas, las cuales fueron favorables para su formación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Definición de arcillas**

Las arcillas tienen un significado diferente de acuerdo al contexto en el que se define:

**Mineralógico:** Están constituidas por minerales arcillosos (filosilicatos aluminicos hidratados, con iones de Mg., Fe., K. y Na.) y no arcillosos que en conjunto son los que imparten tanto la plasticidad del material como las propiedades de secado y de cocción de las piezas elaboradas con dichas materias primas (Díaz y Torrecillas, 2002).

La arcilla está constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados en algunos casos de hierro o de magnesio. Cuando la arcilla es pura es de color blanco y con diversas coloraciones cuando contienen impurezas (Zea, 2005).

Según García y Suárez (2002), tenemos las siguientes definiciones:

**Petroológico:** la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico.

**Cerámico:** la arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.

**Económico:** las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas, además presentan distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

**Granulométrico:** el tamaño de grano de las arcillas es muy fino < 2 micras (Picasso y Sun, 2008).

**Petrográfico:** las arcillas se define teniendo en cuenta a varios parámetros entre los cuales están; en su granulometría (tamaño de grano muy fino < 2 micras); en

mineralogía (filosilicatos alumínicos hidratados, con iones principalmente de Mg., Fe., K. y Na.); en petrología (roca sedimentaria), según sus propiedades físicas (alta plasticidad); y según la utilización industrial (sector refractario, construcción) (Díaz y Torrecillas, 2002).

## **2.2.2. Origen y formación de las arcillas**

### **2.2.1. Origen de las arcillas**

Garay y Mena (2007), afirman que todos los suelos entre los cuales está la arcilla, proceden de las rocas de la corteza terrestre a través de un proceso de erosión, salvo raras excepciones.

La erosión se puede presentar de diferentes maneras, las cuales se encuentran integradas en dos grupos:

#### **Erosión física.**

En la erosión física encontramos diversos agentes, entre los cuales están: cambios en la temperatura, acción de deshielo, la actividad orgánica y la fuerza de la gravedad.

#### **Erosión química.**

Este tipo de erosión existe en presencia del agua. Las principales reacciones son las siguientes: hidratación y la hidrólisis.

En resumen el suelo es producido por intemperismo, por la fractura y rompimiento de las rocas por medios físicos y químicos. Los suelos que permanecen donde se originan se denominan suelos residuales; si dichos suelos son transportados por agentes físicos se denominan suelos transportados.

Zea (2005), menciona que las arcillas pueden producirse por diferentes procedimientos, entre ellos:

Hidrólisis e hidratación de un silicato - silicato alcalino + agua = silicato alumínico 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 arcillitas - 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 el 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.

Las arcillas pueden producirse a profundidades considerables gracias a estas alteraciones hidrotermales, en tanto que los yacimientos debido a la acción de los agentes atmosféricos en la superficie no se forman a profundidades mayores que aquellas a las cuales pudieran circular las aguas superficiales en la época en que se produjo la meteorización.

Alda (2014), menciona 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.

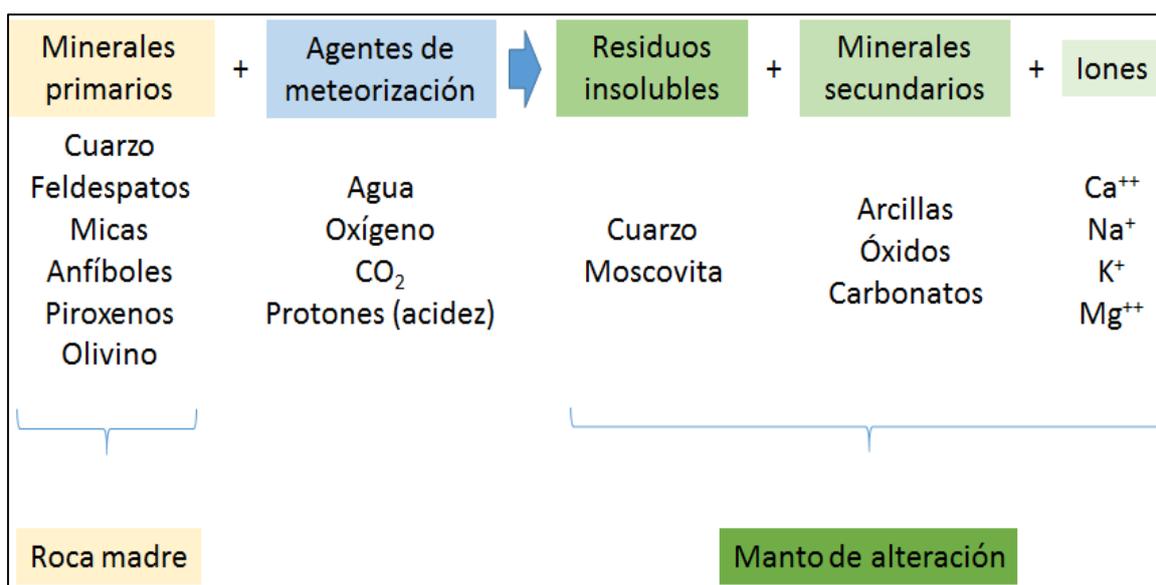


Figura 1: Ecuación general de la meteorización (Alda, 2014).

## **2.2.3. Composición mineralógica o mineralogía de las arcillas**

### **2.2.3.1. Mineralogía de las arcillas**

Picasso y Sun (2008), mencionan que hay minerales de arcillas y minerales asociados a estas mismas:

#### **a) Minerales de arcilla:**

Constituidos por filosilicatos o también silicatos laminares, su estructura cristalina se caracteriza por presentar capas de diferente estructura, una tetraédrica y otra octaédrica. La capa tetraédrica es de silicio ( $\text{SiO}_4$ ), donde los tetraedros se encuentran compartiendo 3 átomos de oxígeno con tetraedros adyacentes, generando una lámina en la cual se origina un hueco hexagonal.

#### **b) Minerales asociados:**

Son considerados como impurezas los cuales pueden afectar a las propiedades y la pureza de la arcilla. Dentro de este grupo tenemos a los feldespatos, carbonatos, óxidos y cuarzo, entre otros.

Salazar y Alarcón (2016), señalan que entre las composiciones mineralógicas de las arcillas comunes para ladrillos se tiene:

Caolinita = 0 -15 %.

Sericita + illita = 10 – 20 %.

Esmectita = 0 – 5 %.

Clorita = 0 - 5 %.

Cuarzo = 30 – 55 %.

Feldespato = 0 - 13 %.

Calcita = 0 - 10 %.

Dolomita + Ankerita = < 1%.

Goethita = < 1%.

Hematita = < 1%.

Siderita = < 1%.

Pirita = < 1%.

Yeso = < 1%.

Hornblenda = < 1 %.

Resto, amorfo bajo Rayos X = 1 -10 %.

Su variación granulométrica está en los siguientes rangos:

Tabla 1: Análisis granulométrico de las arcillas comunes.

Material	Arena	Limo	Arcilla
	%		
Arcilla común débilmente arenosa	35 -53	30 -40	17 -25
Arcilla común muy arenosa	45 -68	15 -30	17 -25
Arcilla común débilmente arcillosa	15 -45	30 -50	25 -35
Arcilla común areno – arcillosa	25 -60	15 -30	25 -45
Arcilla común limosa	may .-33	50 -65	17 -30
Arcilla común medianamente arcilla	may .-35	30 -50	35 -45

Fuente: Salazar y Alarcón, (2016).

Zea (2005), menciona que la arcilla está compuesta de silicatos hidratados de aluminio, hierro o magnesio, alúmina hidratada u óxido férrico, con predominio de partículas de tamaño de coloidal a casi coloidal, dotada comúnmente de plasticidad cuando está suficientemente pulverizada y humedecida, rígida cuando esta seca y vítrea cuando se calcina a suficiente temperatura.

#### 2.2.4. Grupos de arcillas

Zea (2005), en sus estudios mineralógicos clasifica las arcillas en base a datos estructurales y composición en cinco grupos:

Tabla 2: Clasificación de las arcillas en base a datos estructurales y composición.

MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS		Origen			
Grupo	Cristalinos	Caolín	Caolinita	Hidrotermal - meteorización	
			Dikita	Meteorización	
			Nacrita	Hidrotermal	
			Anauxita	Meteorización	
		Montmorillonita	Halloysita	Hidrotermal - meteorización	
			Endelita	Meteorización	
			Montmorillonita	Meteorización	
			Nontronita	Hidrotermal	
			Saponita	Hidrotermal	
			Beidelita	Hidrotermal	
		Illita o hidromicas	Hectorita	Meteorización	
			Illita	Meteorización	
			Atapulgita	Atapulgita	Meteorización
			Sepiolita	Sepiolita	Meteorización
Amorfos	Alófana	Alófana	Meteorización		

Fuente: Zea, (2005).

#### **2.2.4.1. Grupo Caolín**

Son los más usados en la industria, la caolinita suele producirse por la hidrólisis del feldespato y de otros silicatos por la acción de aguas hidrotermales al elevarse hacia la superficie o por la meteorización de rocas.

#### **2.2.4.2. Grupo Montmorillonita**

Estos minerales se han formado por meteorización superficial de rocas por los agentes atmosféricos, procesos hidrotermales a baja temperatura, alteración de cenizas volcánicas en capas estratificadas, por la acción de aguas circulantes a lo largo de fracturas y vetas.

#### **2.2.4.3. Grupo Illita**

Los minerales de este grupo, tienen potasio y propiedades semejantes a las de la moscovita, poco es lo que puede decirse sobre las condiciones en que se produce la illita, probablemente procede de la montmorillonita por fijación de potasa adsorbida (Guzmán, 2014).

### **2.2.5. Propiedades de las arcillas**

#### **2.2.5.1. Coloración**

Zea (2005), menciona que las arcillas tienen un color natural y un color de quemado.

##### **Color Natural**

El hierro es el agente colorante más común entre arcillas 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.

##### **Color de Quemado**

En las arcillas cocidas, el hierro es el principal agente que da color: marfil, pardo, rojo o negro; hay cuatro factores que lo determinan y son los siguientes:

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.

### 2.2.5.2. Textura

El tamaño de grano de las arcillas es muy fino (< 2 micras o 1/256 mm) (Picasso y Sun, 2008).

Tabla 3: Clasificación granulométrica de los suelos.

Partículas	Tamaño
Arcillas	< 0.002 mm
Limos	0.002 – 0 .06 mm
Arenas	0.06 – 2 mm
Gravas	2 – 60 mm
Cantos rodados	60 – 250 mm
Bloques	> 250 mm

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, 1942).

**Esfericidad:** es el grado de isometría de un clasto, que cuantifica el grado de evolución alcanzada por este en su tendencia, por desgaste durante su transporte, a alcanzar la forma de esfera.

**Redondez:** es el parámetro que define la agudeza de las aristas de los vértices, independiente de su forma.

**Fábrica.** Está definida por las relaciones espaciales entre los clastos, tales como la orientación y la ordenación (empaquetamiento) de los mismos (Powers, 1982).

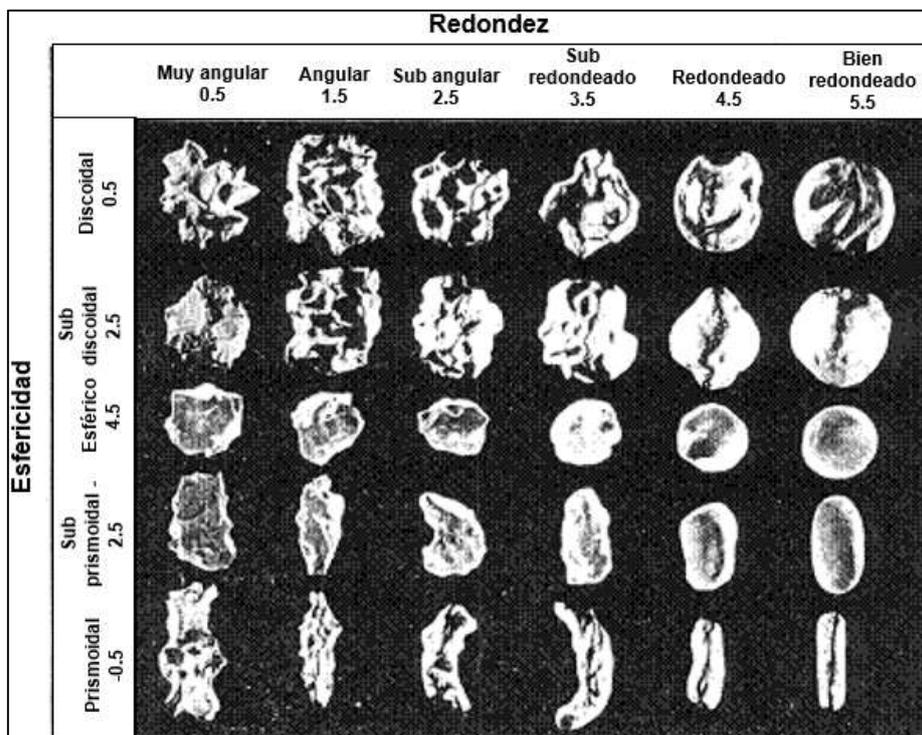


Figura 2: Cuadro de comparación visual para estimar el grado de redondez y esfericidad de los clastos (Powers, 1982).

### 2.2.5.3. Porosidad

Corresponde al volumen del espacio - poro entre las partículas de arcilla expresada en porcentaje respecto al volumen total de la arcilla, y depende de la forma y tamaño de las partículas que constituyen la masa (Mendoza, 2000).

### 2.2.5.4. Superficie específica

La superficie específica o área superficial, se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m<sup>2</sup>/g. (Zea, 2005).

Tabla 4: Superficies específicas de arcillas

<b>SUPERFICIES ESPECÍFICAS DE ARCILAS</b>		
Grupo	Caolinita de elevada cristalinidad	15 m <sup>2</sup> /g.
	Caolinita de baja cristalinidad	50 m <sup>2</sup> /g.
	Montmorillonita	80 - 300 m <sup>2</sup> /g.
	Illita o hidromita	50 m <sup>2</sup> /g.
	Attapulgita Sepiolita	100 - 240 m. /g.

Fuente: Zea, (2005).

### 2.2.5.5. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico, está definida como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado potencial de hidrogeno. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral (Deleg, 2010).

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq./100 g.):

Caolinita: 3-5

Halloisita: 10-40

Illita: 10-50

Clorita: 10-50

Vermiculita: 100-200

Montmorillonita: 80-200

Sepiolita-paligorskita: 20-35

### 2.2.5.6. Capacidad de absorción y adsorción

Garay y Mena (2007), mencionan que se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada:

La absorción es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase y se constituye una solución con esta segunda. Se puede decir que la capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales de las arcillas (superficie específica y porosidad).

Contrariamente, la adsorción es un proceso por el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida).

Por ello se considera como un fenómeno subsuperficial (ver figura 3). La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente. La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate.

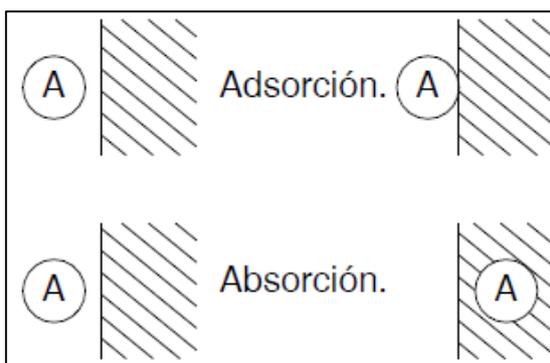


Figura 3: Representación esquemática de los procesos de adsorción y absorción (Garay y Mena, 2007).

### 2.2.5.7. Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las arcillas, y cuya importancia es crucial en sus diferentes usos. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento (Garay y Mena, 2007).

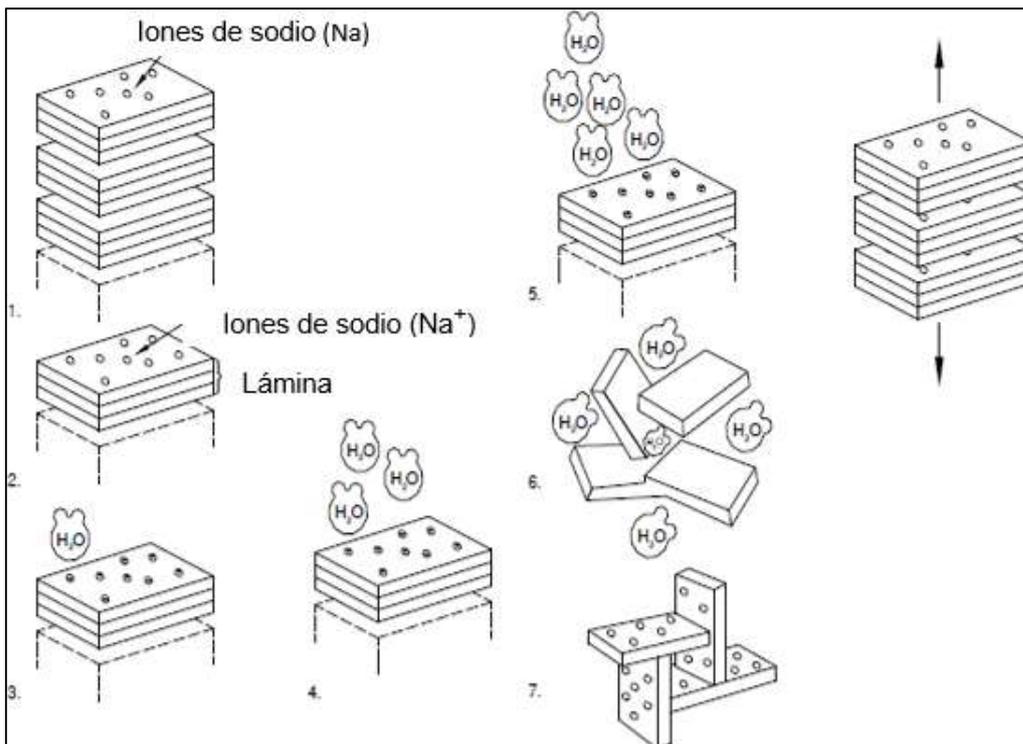


Figura 4: Etapas secuenciales el proceso de hidratación de las arcillas y su posterior hinchamiento (Garay y Mena, 2007).

**Etapa 1:** al principio la arcilla se encuentra en un estado deshidratado.

**Etapa 2:** desde el punto de vista electrostático, las cargas negativas en la arcilla se acumulan en las superficies planas de las laminillas, mientras que los bordes acumulan cargas positivas.

**Etapa 3:** al ponerse en contacto con la arcilla, las moléculas de agua son atraídas fuertemente hacia las superficies planas debido a la presencia de los iones sodio cargados positivamente.

**Etapa 4:** en este estado, las moléculas de agua se hacen más dipolares, atrayendo a otras de su especie.

**Etapa 5:** la carga negativa en la superficie de las laminillas se incrementa conforme las moléculas de agua se enlazan unas con otras al aumentar su polarización. Llega un momento en que la carga superficial es tal, que las láminas se repelen entre sí separándose unas de otras por lo que el espacio interlaminar se expande, originando el hinchamiento característico de las arcillas.

**Etapa 6:** las moléculas de agua continúan llenando el espacio interlaminar, neutralizando parcialmente las superficies expuestas y manteniendo las láminas

apartadas unas de otras, hasta que el agua es eliminada mediante algún procedimiento de secado, lo cual origina una contracción del volumen de la lámina. **Etapa 7:** el equilibrio de la hidratación es alcanzado cuando termina la mezcla de la arcilla con el agua, dando como resultado una estructura cristalina hidratada que hace coincidir los bordes cargados positivamente con las caras planas cargadas negativamente, de modo que se forma una estructura de castillo de naipes, por lo que las moléculas de agua entran y salen libremente.

### 2.2.5.8. Plasticidad

Se refiere a la capacidad de deformación de las arcillas al ser sometida a un esfuerzo mecánico. La plasticidad depende principalmente del tamaño de la partícula y de la estructura laminar, mientras más pequeña sea la partícula el material será más plástico (Adauto, 2017).

Los límites de plasticidad sirven para determinar la resistencia de la arcilla cuando es amasada con agua, permitiendo identificar los grupos principales de minerales arcillosos mediante la carta de plasticidad de casa grande como se muestra en la figura 5, donde la plasticidades más bajas corresponden a las caolinitas y las más altas a las esmectitas, siendo las montmorillonitas sódicas las más elevadas dentro de este grupo.

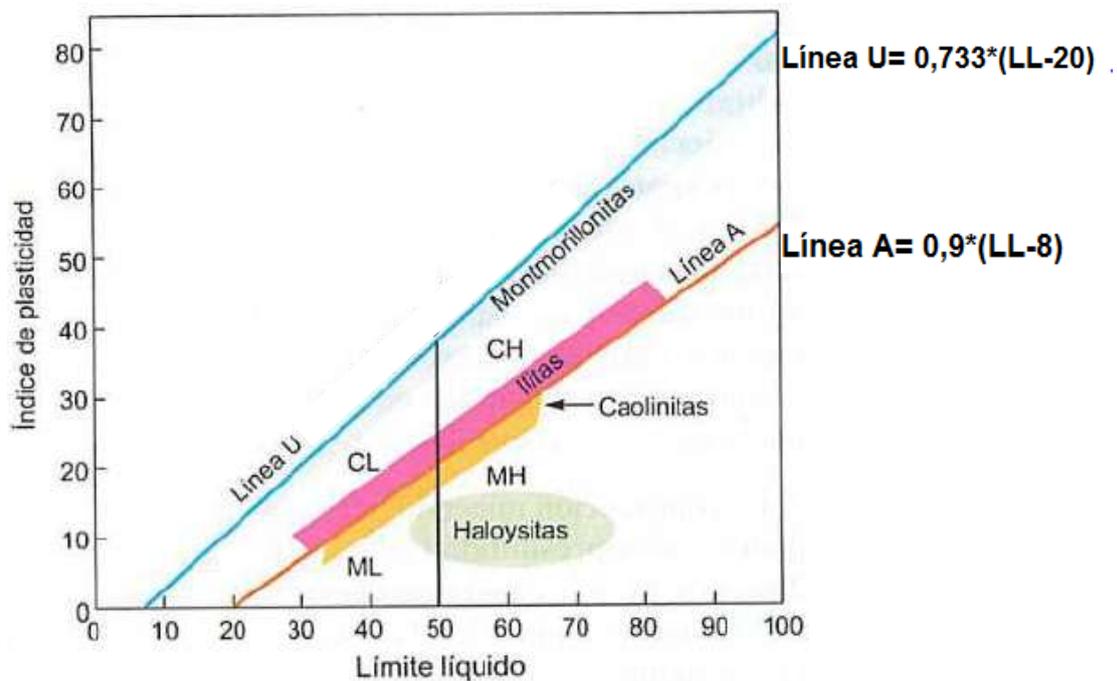


Figura 5: Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad (Recuperado de González de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2004).

## **Índice de plasticidad**

Determinados el límite líquido (L.L.) y el límite plástico (L.P.), se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad de Casagrande, así:  $I.P. = L.L. - L.P.$ , representa el intervalo de humedad para pasar de estado semisólido al semilíquido.

## **Límite líquido**

Propiedad que tienen las arcillas para almacenar agua, cuando hay saturación el material se comporta como un fluido.

## **Límite plástico**

Es cuando un material arcilloso soporta un esfuerzo deformándose. Una vez cesado la fuerza deformante el material conserva la forma.

Para referirse a arcillas existen dos maneras, por su tamaño y por los minerales que presenta. El término tamaño, por lo general 0,002mm. en las clasificaciones de ingeniería. Los minerales de arcilla se distinguen específicamente por: (1) el tamaño de la partícula; (2) una carga eléctrica neta negativa; (3); plasticidad cuando se mezcla con el agua; y (4) una alta resistencia a la meteorización (Mitchell y Soga, 2005).

El sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System) que fue propuesto por Casagrande en el año 1942, es un sistema que se utiliza para la clasificación de suelos que consiste en determinar el símbolo y nombre del grupo al cual pertenecen los suelos según sus propiedades ingenieriles como la distribución granulométrica, límite líquido y el límite plástico (Braja, 2001).

El sistema unificado utiliza para la identificación de los suelos los símbolos que se listan en el cuadro 1:

Cuadro 1: Símbolos de grupo en el sistema unificado de clasificación de suelos.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz N° 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm.)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	<b>GW.</b>	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
			<b>GP.</b>	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	<b>GM.</b>	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
			<b>GC.</b>	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm.)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	<b>SW.</b>	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			<b>SP.</b>	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	<b>SM.</b>	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			<b>SC.</b>	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
	SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	<b>ML.</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
			<b>CL.</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
<b>OL.</b>			Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		<b>MH.</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	CH.	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH.	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos		PT.	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: Principios de Ingeniería de cimentaciones (Braja, 2001).

#### 2.2.5.9. Permeabilidad

Rapidez por el cual un cuerpo permite que los líquidos o gases pasen a través de él. La permeabilidad puede ser medida por la velocidad que algún líquido o gas fluye a través de un área y espesor unitario de un cuerpo bajo una presión unitaria (Mendoza, 2000).

#### 2.2.6. Características de las arcillas

Maldonado (2003), menciona que entre las principales características podemos citar las siguientes:

- a) Las arcillas están formadas por cristales muy pequeños.
- b) Tienen capacidad de intercambiar iones.
- e) Son capaces de variar su composición química interna.
- d) Pueden alojar moléculas en el espacio interlaminar.
- e) La superficie de las láminas presenta una actividad química considerable.
- f) Los cambios físicos de la estructura laminar, por ejemplo el hinchamiento, son reversibles.

#### 2.2.7. Clasificación de las arcillas

##### Clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica

Díaz y Torrecillas (2002), en su investigación clasifican los materiales arcillosos en: arcillas comunes y arcillas especiales teniendo como referencia su aplicación cerámica.

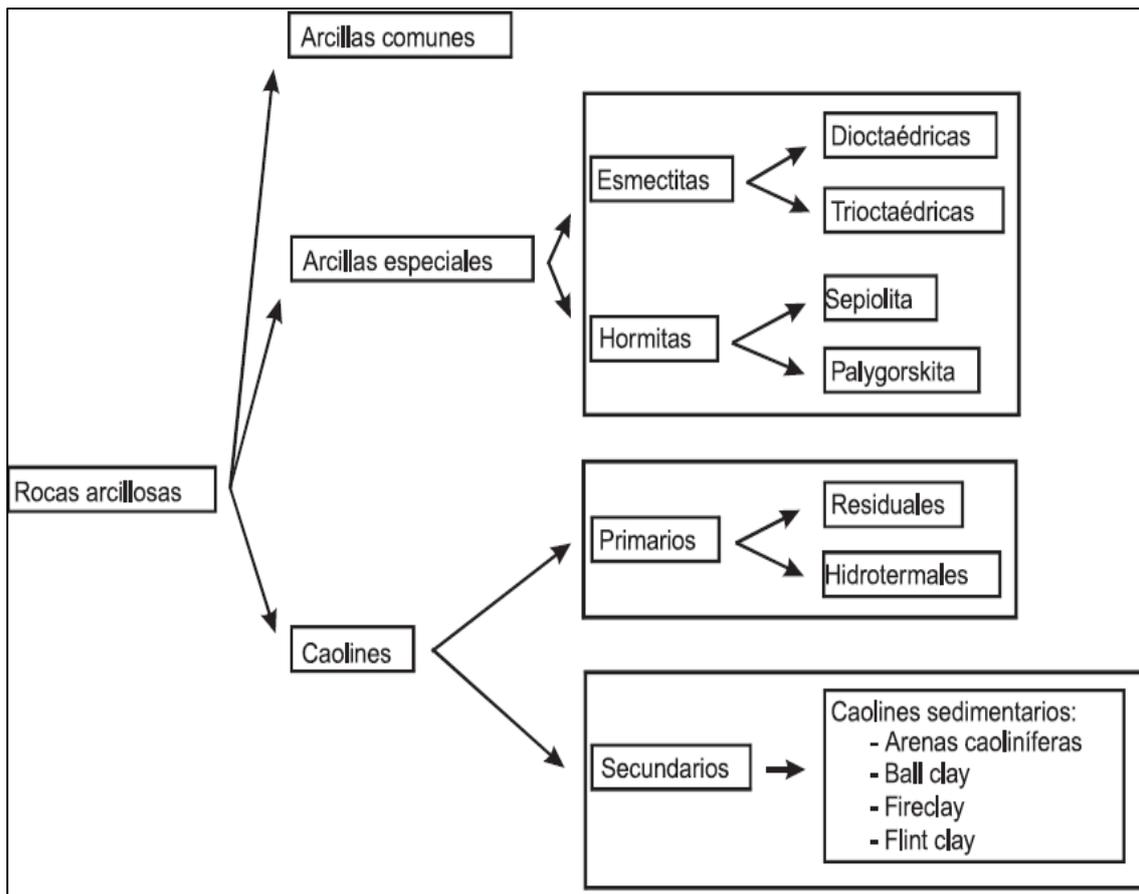


Figura 6: Clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica (Díaz y Torrecillas, 2002).

### 2.2.7.1. Según su clasificación industrial

El 90%. de la producción de las arcillas industriales se dedica a la fabricación de materiales de construcción y agregados y el otro 10%. se dedica a otras industrias como la fabricación de papel, caucho, entre otros (Allauca, 2011).

La clasificación de las arcillas industriales es de la siguiente manera:

#### **Arcillas comunes:**

Materia prima de amplia distribución de afloramiento, que por sus propiedades físicas y especificaciones químico-mineralógicas, se utiliza principalmente, en el sector cerámico de la construcción y en alfarería (Díaz y Torrecillas, 2002).

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

Tabla 5: 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%	< 1%
Hematita	0 – 3 %	
Siderita, Pirita, Yeso, Hornblenda	< 1%	
Resto, amorfo bajo rayos X	1 – 8 %	1 – 10 %

Fuente: Díaz y Zedano, (2006).

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

**Illita:** La illita es un filosilicato o silicato laminar, no expansiva y micácea.

Estructuralmente es bastante similar a la moscovita o a la sericita con algo más de silicio, magnesio, hierro, y agua; y ligeramente menos aluminio tetraédrico y potasio interlaminar. Esta arcilla es utilizada en la exploración de yacimientos minerales como son los pórfidos cupríferos, en la datación de fallas, en la evaluación del potencial de los reservorios de petróleo en areniscas, en la prospección de campos geotérmicos y en algunos estudios sobre fertilidad de suelos.

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

### **Arcillas Comunes**

Salazar y Alarcón (2016), mencionan que las arcillas comunes (arcilla cerámica, arcilla para ladrillos o arcilla para construcción), es un material arcilloso denominado mayormente arcillas comunes que consiste en unas mixturas de diferentes minerales arcillosos generalmente illita y esmectita, y otros minerales.

Las arcillas comunes debido al alto contenido de fundentes (álcalis, compuesto de hierro, cal), empiezan a fundirse a temperaturas de 950° a 1200°C.

Las arcillas común contiene tamaños de grano muy irregulares, desde partículas <0.002mm., mayoritariamente minerales de arcilla, vía las fracciones limosas (0.002 – 0.06mm.) y arenosas (0.06 – 2.0mm.).La arcilla común tiene con frecuencia compuestos de hierro, dando colores marrón – amarillentos a marrones y carbonatos.

Las arcillas comunes no son tan plásticas como las esmectitas, arcillas caoliníticas y otras. En las arcillas comunes se deben investigar:

- i. La distribución granulométrica.
- ii. La composición mineralógica.
- iii. Los contenidos de cal y materia orgánica.
- iv. El contenido de agua, la capacidad de adsorción de agua, los límites de consistencia y la compatibilidad.

### **Arcillas especiales:**

Conjunto de arcillas comerciales con una mineralogía concreta y unas propiedades físicas determinadas. Están compuestas por esmectitas y hormitas, pero con un origen geológico relacionado (Díaz y Torrecillas, 2002).

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 (García y Suárez, 2002).

### **Clasificación de las arcillas especiales**

Dentro de las arcillas especiales tenemos:

**Esmectitas:** Díaz y Zedano (2006), mencionan que las arcillas expansivas o esmectitas también se les conoce con el término comercial de bentonita. Se define las esmectitas como un mineral arcilloso de grano muy fino cristalino, derivado generalmente por desvitrificación y alteración química de ceniza volcánica o tobas volcánicas.

Tabla 6: Composición mineralógica de las esmectitas.

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

Fuente: Díaz y Zedano, (2006).

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

### **Paligorskita - Sepiolita**

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50 %. Son minerales con hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad estructural que presenta su estructura.

Su estructura les confiere diversas propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido. Al igual que las esmectitas, son susceptibles de ser activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos (García y Suárez, 2002).

**Caolines:** Díaz y Zedano (2006), sostienen que los caolines son las arcillas cerámicas por excelencia tanto por su variedad como por sus amplias aplicaciones industriales (fabricación de papel, cerámica, refractarios, en pinturas, aislantes, caucho y pesticidas). Según su tipo estructural mineralógico, tienen dos capas (filosilicatos dioctaédricos), siendo el mineral principal la caolinita y sus formas polimórficas dickita y nacrita asociado a estos minerales se pueden presentar

cuarzo, mica, esmectitas, illitas, feldspatos y sustancias orgánicas. Una de las definiciones más aceptadas sobre la palabra caolín es la propuesta por Ross y Kerr: Se entiende por caolín a toda roca masiva compuesta esencialmente por materiales arcillosos con bajo contenido en hierro y generalmente de color blanco o casi blanco. Los minerales arcillosos del caolín son silicatos hidratados de aluminio de composición  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ . Siendo la caolinita el mineral principal que caracteriza a la mayor parte de los caolines pero tanto la caolinita como otros minerales del grupo pueden presentarse en mayor o en menor grado dentro de los caolines.

#### **Características físicas de la caolinita:**

Es blanda y no abrasiva.

Es de color blanco o casi blanco.

Es químicamente inerte.

Tiene poder cubridor bueno.

Tiene menor tamaño de grano.

Es plástica y refractaria.

Tiene menor capacidad absorbente.

Se deja activar por tratamientos con ácidos.

Tabla 7: Composición mineralógica de las arcillas caoliníticas.

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

Fuente: Díaz y Zedano, (2006).

#### **2.2.7.2. Clasificación de las arcillas según su origen**

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

Tabla 8: Clasificación de arcillas según su origen.

Clasificación de las 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
			Productos de meteorización ordinaria más acción química	De rocas sedimentarias	Arcilla residual Arcilla caolinítica
				De rocas cristalinas	Bauxita
			Rocas sedimentarias	Bauxita Diásporo	
	Arcillas de sedimentación o secundarias	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en mares, lagos, pantanos, etc.	Productos de meteorización ordinaria	Productos de meteorización ordinaria más intensa acción química adicional	Arcillita argilacea Limo argilaceo
					Caolín sedimentario Arcillas sedimentarias Arcilla bola Algunas bauxitas Arcillas bituminosas
			Depositado por acción glacial	Productos de abrasión más ligera	Arcillita silícea Limo silíceo
					Arcilla glacial o till
			Depositado por vientos	Productos de abrasión más ligera meteorizados	Loess

Fuente: Zea, (2005).

### 2.2.7.3. Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción

Los minerales arcillosos que tienen importancia en la fabricación de materiales para la construcción son tres: la caolinita, montmorillonita y la illita, todos ellos de estructura hojosa; no se encuentran puros, sino mezclados, aunque predomine un material determinado.

Las arcillas caoliníticas tienen gran porcentaje de alúmina y elevado punto de fusión con propiedades refractarias notables después de la cocción, por lo que se emplean para la fabricación de loza.

La montmorillonita es poco empleadas. Las illíticas son las más utilizadas por ser las más comunes, entre ellas se encuentran las arcillas muchacheas, muy abundantes y empleadas en la fabricación de ladrillos.

Según el proceso de cocción y el tipo de componentes, los materiales de arcillas se clasifican en: ladrillos, refractarios, gres, porcelanas y azulejos.

Cada uno de estos tipos tienen características especiales y son, objeto de aplicaciones diversas en la construcción, pudiéndose emplear como elementos resistentes de separación, decoración y múltiples usos más.

### **2.2.8. Metodología de análisis para la clasificación de arcillas**

Garay y Mena (2007), mencionan que para clasificar una arcilla, es necesario conocer sus propiedades físicas como químicas. En las propiedades físicas tenemos el análisis de los límites de Atterberg, los cuales nos dan la clasificación del suelo arcilloso por medio del estudio de su plasticidad.

En las propiedades químicas, se hace necesario el conocimiento de su estructura y de su composición mineralógica por medio de métodos que describiremos a continuación: Muchos de los métodos que describimos a continuación, se basan en el uso de los Rayos X que no son más que ondas electromagnéticas con longitudes de onda muy pequeñas, de alrededor de  $0.1$  a  $100 \times 10^{-10}$  m., imperceptibles al ojo humano.

Cuanto menor es su longitud de onda, mayor es su energía y su poder de penetración. Los Rayos X son muy utilizados en el estudio y análisis de las estructuras de sustancias cristalinas, debido a que tienen una longitud de onda del mismo orden de magnitud que la separación de los átomos en un cristal.

Es por este motivo que el patrón de difracción de Rayos X incidentes sobre un cristal es apreciable y contiene información sobre la estructura de la red.

Los Rayos X se producen cuando se bombardea un material con electrones a alta velocidad, los cuales chocan con un blanco sólido y su energía cinética se transforma en radiación.

La longitud de onda de la radiación emitida depende de la energía de los electrones y los rayos emitidos no pueden tener una energía mayor que la energía cinética de los electrones que los producen.

La difracción es la desviación hacia una nueva dirección, de las ondas que encuentran un objeto (un obstáculo) en su camino; sin embargo para que la difracción ocurra el tamaño del objeto debe ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las radiaciones incidentes, esto significa que las ondas tienen que estar en fase, lo que ocurre cuando su diferencia de trayectoria es cero o un múltiplo entero de longitudes de onda.

La difracción tiene lugar siempre que se satisfaga la ley de Bragg, la cual puede representarse por medio de la ecuación:

Un pico de difracción máximo será visible si:

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

Donde:

$d$  = distancia de redes cristalinas.

$\lambda$  = longitud de onda.

$n$  = número entero real (1, 2, 3...).

$\theta$  = (ángulo de difracción).

### **2.2.9. Aplicaciones o usos de las arcillas**

García y Suárez (2002), mencionan las siguientes aplicaciones de arcillas:

#### **2.2.9.1. Aplicaciones del caolín**

##### **Cerámica y refractarios**

Es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos).

Se utilizan caolines, como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales.

La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de aluminio, así como para la fabricación de ceolitas sintéticas.

## **2.2.9.2. Aplicaciones de las bentonitas**

### **Arenas de moldeo**

Están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no férreos.

### **Lodos de perforación**

A pesar de los importantes cambios que van sufriendo con el tiempo las formulaciones de los lodos de perforación, (comenzó a utilizarse a principios del siglo XX.) este sigue siendo uno de los mercados más importantes de las bentonitas.

Las funciones que debe cumplir el lodo son:

Extracción del ripio y limpieza del fondo del pozo.

Enfriamiento de la herramienta de perforación.

Control de presiones de formación y estabilización de las paredes.

Mantenimiento en suspensión del ripio.

Transmisión de potencia hidráulica al tricono.

Soportar parte del peso de la sarta de perforación.

Permitir la adición de agentes densificantes.

### **Material de Sellado**

Recientemente ha surgido una nueva tendencia en el diseño de barreras de impermeabilización que se basa en la fabricación de complejos bentonitas-geosintéticos (geomembranas y geotextiles). Consiste en la colocación de una barrera de arcilla compactada ente dos capas, una de geotextil y otra de

geomembrana (plásticos manufacturados, como polietileno de alta densidad o polipropileno, entre otros).

La geomembrana es impermeable, mientras que el geotextil es permeable, de modo que permite a la bentonita hinchar, produciendo la barrera de sellado compactada.

Esta utilidad de las bentonitas como material de sellado se basa fundamentalmente en algunas de sus propiedades características, como son: su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para ese fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

Así mismo, se utilizan bentonitas sódicas como material impermeabilizante y contenedor en los siguientes campos:

Como contenedores de aguas frescas: estanques y lagos ornamentales, campos de golf, canales.

Como contenedores de aguas residuales: efluentes industriales.

En suelos contaminados: cubiertas, barreras verticales.

En el sellado de pozos de aguas subterráneas contaminadas.

En depósitos de residuos radiactivos.

## **Ingeniería Civil**

Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrolló más tarde en Estados Unidos. Se utiliza para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones también se utiliza para impermeabilizar trincheras.

Los usos en este campo se pueden resumir en:

Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.

Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.

Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas.

En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.

En túneles: ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.

En tomas de tierra: proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados (García y Suárez, 2002).

### **2.2.9.3. Aplicaciones de la paligorskita y la sepiolita**

Los usos de estas dos sustancias son consecuencia de sus propiedades reológicas, tixotropía, alta superficie específica, baja capacidad de cambio y sobre todo su levado poder absorbente. Por ello se utilizan en:

Como absorbentes, para lechos de animales, suelos.

Como soporte en aerosoles y aerogeles para pesticidas y fertilizantes.

Por sus propiedades adsorbentes, en la purificación de productos de petróleo y azúcar.

En procesos de filtración, floculación y clarificación.

En lodos de perforación con base de agua salada, farmacia, pinturas.

En cerámica y aislantes.

### **2.2.10. Usos de las arcillas en la fabricación de ladrillos**

Dependiendo de las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, éstas presentarán diferentes características propias de cada tipo que determinarán las propiedades que va a tener la mezcla de la cual formen parte, en este caso para la elaboración de ladrillos (Gallegos, 2005).

Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias).

Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla.

Sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

### **La arcilla refractaria u arcilla común**

Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos.

#### **a.- Fabricación de ladrillos**

Zea (2005), menciona que toda arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante del conjunto del material y cuerpos que constituyen la mezcla a moldear. La arcilla pura está compuesta a su vez de un 47% de sílice, 39% de alúmina y un 14% de agua. La arcilla pura debe representar como mínimo un 25% del total del material componente de la mezcla.

Lo interesante para que la mezcla sea adecuada al moldeo de ladrillos, es que el porcentaje de arcilla pura sea superior a un 30%. Cuando la mezcla contiene un 25% o menos de arcilla pura, indica que es poco plástica y que presentará muchas dificultades para el moldeo.

Dependiendo de la clase de arcilla que se utilice en la fabricación de ladrillos se obtendrán distintas características como son: capacidad de absorción, eflorescencia, sales solubles, conductibilidad calorífica y su calor específico.

Se puede afirmar de modo categórico que las arcillas que no contengan cal ni yeso, son perfectamente utilizables para la fabricación de ladrillos, tanto si estas arcillas son magras (poco plásticas por su composición arenosa), como grasas (gran plasticidad).

#### **b.- Construcción**

García y Suárez (2002), mencionan que el principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas...), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. Son así mismo utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

### **La arcilla illita o de bola**

Se emplea para alfarería, loseta de cerámica y chapa de cerámica (terracota) para aumentar la plasticidad.

### **La arcilla de China o caolín**

Se usa en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos).

### **Las arcillas misceláneas**

Se emplean para ladrillo, loseta de arcilla estructural, chapa de cerámica, loseta de cerámica y cemento (Mitchell y Soga, 2005).

#### **2.2.11. Definición de ladrillo**

Deleg (2010), sostiene que un ladrillo es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, resisten la humedad y el calor. Algunos ladrillos están hechos de arcillas resistentes al fuego para construir chimeneas y hornos.

Otros ejemplares están hechos con vidrio o se someten a procesos de vitrificación. Los ladrillos se pueden fabricar de diferentes formas, dependiendo de la manera en que se vayan a colocar sus costados largos (al hilo) y sus extremos cortos (cabezales).

#### **2.2.12. Partes de un ladrillo**

Zea (2005), menciona que entre las partes de un ladrillo están:

##### **Las aristas**

Soga: arista mayor.

Tizón: arista media.

Grueso: arista menor.

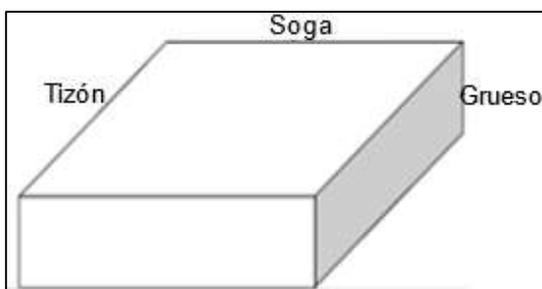


Figura 7: Partes de un ladrillo (aristas) Zea, (2005).

## Las caras

Tabla: cara mayor -soga por tizón.

Canto: cara media -soga por grueso.

Testa: cara menor -tizón por grueso.

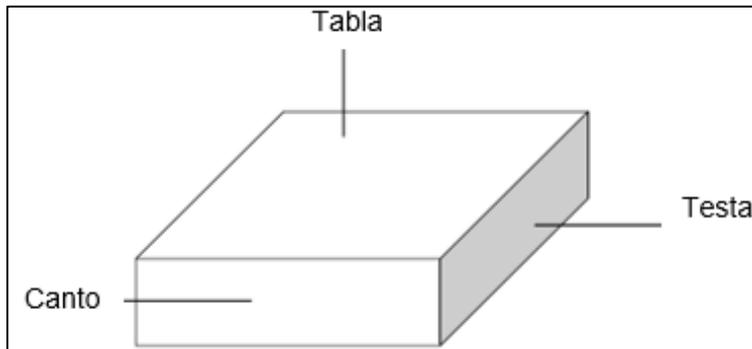


Figura 8: Caras de un ladrillo (caras) Zea, (2005).

### 2.2.13. Propiedades de los ladrillos

#### 2.2.13.1 Propiedades ingenieriles

Algunas propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcillas son las siguientes:

##### **Relacionadas con la resistencia estructural:**

Resistencia a la compresión: propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar a compresión.

Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.

Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.

##### **Relacionadas con la durabilidad:**

Absorción: propiedad física que hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.

Resistencia a la congelación: capacidad de los ladrillos de soportar bajas temperaturas sin perder sus propiedades ni sufrir fracturas.

Resistencia al fuego: propiedad física de los ladrillos que consiste en soportar altas temperaturas sin sufrir daños.

Aislamiento térmico: propiedad física que no permite la transferencia de calor, ya que tiene una baja conductividad térmica (Gallegos, 2005).

#### 2.2.14. Descripción general del proceso productivo de la producción de ladrillos

Lozano y González, S. (2016), explican el proceso de producción artesanal de ladrillos, mediante un esquema dinámico:

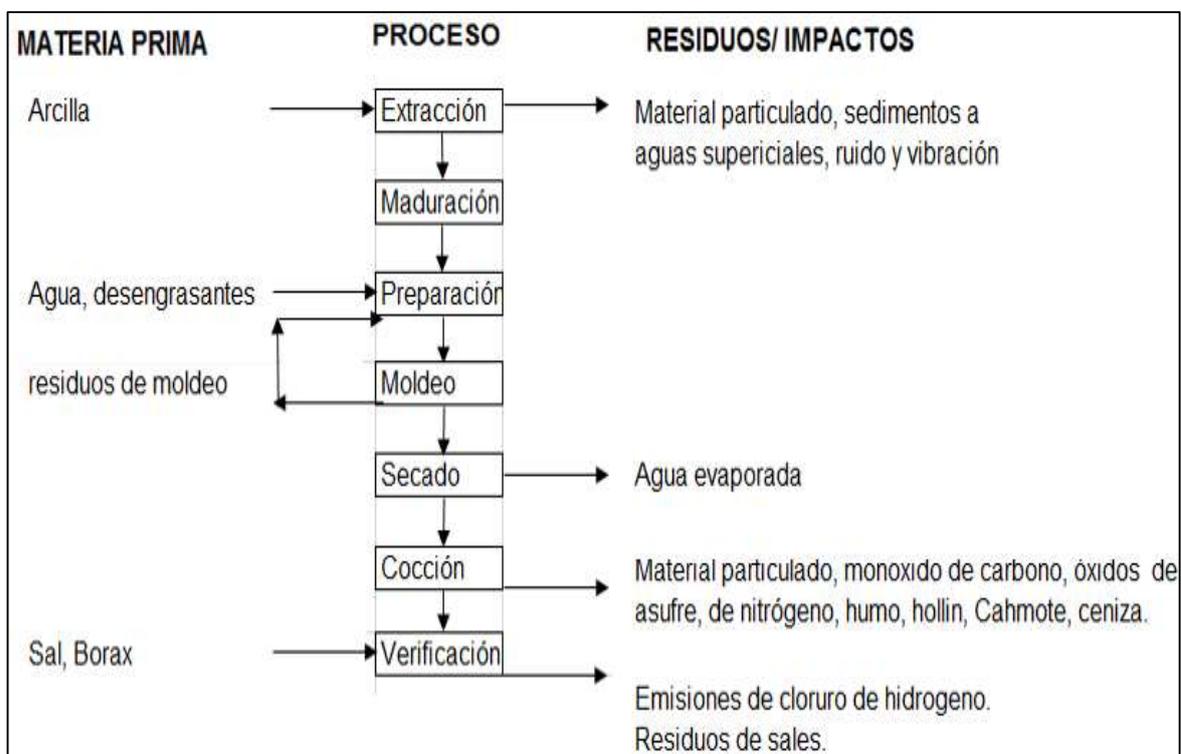


Figura 9: Proceso de producción artesanal de ladrillos (Lozano y González, 2016).

#### 2.2.15. Proceso de fabricación del ladrillo

La fabricación del ladrillo de buena calidad dependerá directamente del tipo de arcilla que se utilice, libre de impurezas o de materia orgánica, mezcla homogénea y debe presentar propiedades plásticas para evitar que durante la etapa de secado el ladrillo se agriete.

El proceso de fabricación de los ladrillos consta de varias fases fundamentales, según sea su proceso de fabricación, artesanal o industrial (Zea, 2005).

### Proceso de fabricación artesanal

El proceso de fabricación está conformado por las siguientes fases: extracción del material, tratamiento del material, amasado, reposo o madurado, moldeado, secado, cocción, transporte.

Fernández (2010), sintetiza el proceso de elaboración artesanal del ladrillo en el Centro Poblado Santa Barbará, distrito de Baños del Inca, precisando que estas unidades son usadas para la construcción de la mayoría de viviendas en la ciudad de Cajamarca y localidades cercanas.

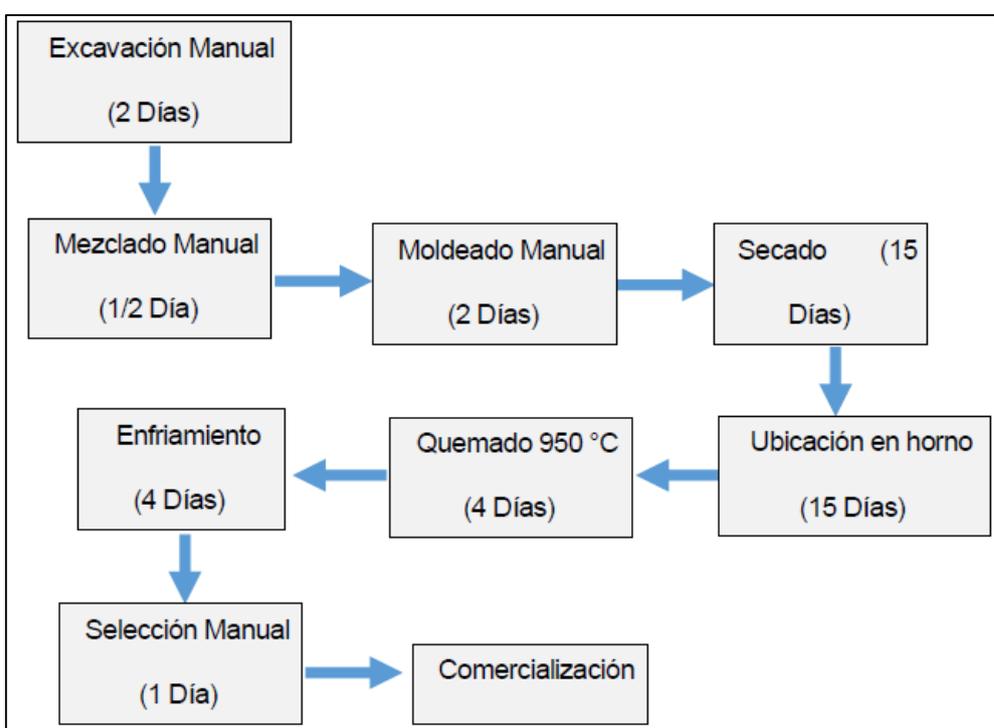


Figura 10: Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Barbará - Cajamarca (Fernández, 2010).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Arcilla:** constituida por minerales arcillosos (filosilicatos alumínicos hidratados, con iones de Mg., Fe., K. y Na.) y no arcillosos que en conjunto son los que imparten tanto la plasticidad del material como las propiedades de secado y de cocción de las piezas elaboradas con dichas materias primas (Díaz y Torrecillas, 2002).

**Horno:** construido con ladrillos refractarios y provisto de un equipo de calentamiento alimentado por leña como combustible y al alcanzar muy altas temperaturas, hace posible el horneado o quema de las piezas (Zea, 2005).

**Ladrillo:** es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, resisten la humedad y el calor. Algunos ladrillos están hechos de arcillas resistentes al fuego para construir chimeneas y hornos (Deleg, 2010).

**Petrografía:** involucra varios procesos desde la toma de muestras hasta el estudio de las rocas bajo el microscopio; relaciona la textura, estructura y fábrica de las rocas (Castro, 1989).

**Petrología:** determina los sistemas físico-químicos, la magnitud de las variables que han determinado su evolución e interpretar los procesos geológicos implicados (Castro, 1989).

**Plasticidad:** propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico (Adauto, 2017).

**Porosidad:** corresponde al volumen del espacio-poro entre las partículas de arcilla expresada en porcentaje respecto al volumen total de la arcilla, y depende de la forma y tamaño de las partículas que constituyen la masa (Mendoza, 2000).

**Refractario:** materiales con altos contenidos de alúmina y sílice, lo que debido a su alto punto de fusión, los hace resistentes a temperaturas muy altas (Zea, 2005).

## **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Geográfica**

La zona de estudio se encuentra al Noreste de la ciudad de Cajamarca y al Suroeste de la ciudad de Bambamarca, a una altitud de 2750 m.s.n.m. y a 120km. aproximadamente de la ciudad de Cajamarca.

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

Tabla 9: Coordenadas de los vértices de la investigación.

<b>Vértices</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
<b>1</b>	9259000	772000
<b>2</b>	9259000	774000
<b>3</b>	9257000	774000
<b>4</b>	9257000	772000

#### **3.1.2. Política**

La investigación se encuentra en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Hualgayoc, Distrito de Bambamarca y en el Caserío de Chilcapampa.

#### **3.1.3. Accesibilidad**

Para acceder a la zona de estudio existe 2 vías de acceso, la principal ruta longitudinal de la sierra norte (PE - 3N), se toma una carretera asfaltada con dirección hacia el Noreste de Cajamarca con una longitud aproximada de 116km. hasta la ciudad de Bambamarca y luego se toma una trocha carrozable con una longitud aproximada de 4km. hasta la zona de estudio, teniendo que recorrer un tiempo aproximado de 3 horas con 15 minutos.

Tabla 10: Accesibilidad a la zona de investigación por carretera de la ruta longitudinal de la sierra norte PE - 3N y su variante PE - 3BN.

<b>Tramo por carretera PE- 3N</b>	<b>Tipo</b>	<b>Distancia (km.)</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
Cajamarca- Bambamarca	Asfaltada	116	180
Bambamarca-Chilcapampa	Trocha carrozable	4	15
<b>Total</b>		120	195 = 3h. 15 min.

<b>Tramo por carretera PE - 3BN</b>	<b>Tipo</b>	<b>Distancia (km.)</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
Cajamarca- Bambamarca	Asfaltada	101	213
Bambamarca-Chilcapampa	Trocha carrozable	4	15
<b>Total</b>		105	228 = 3h. 48 min.

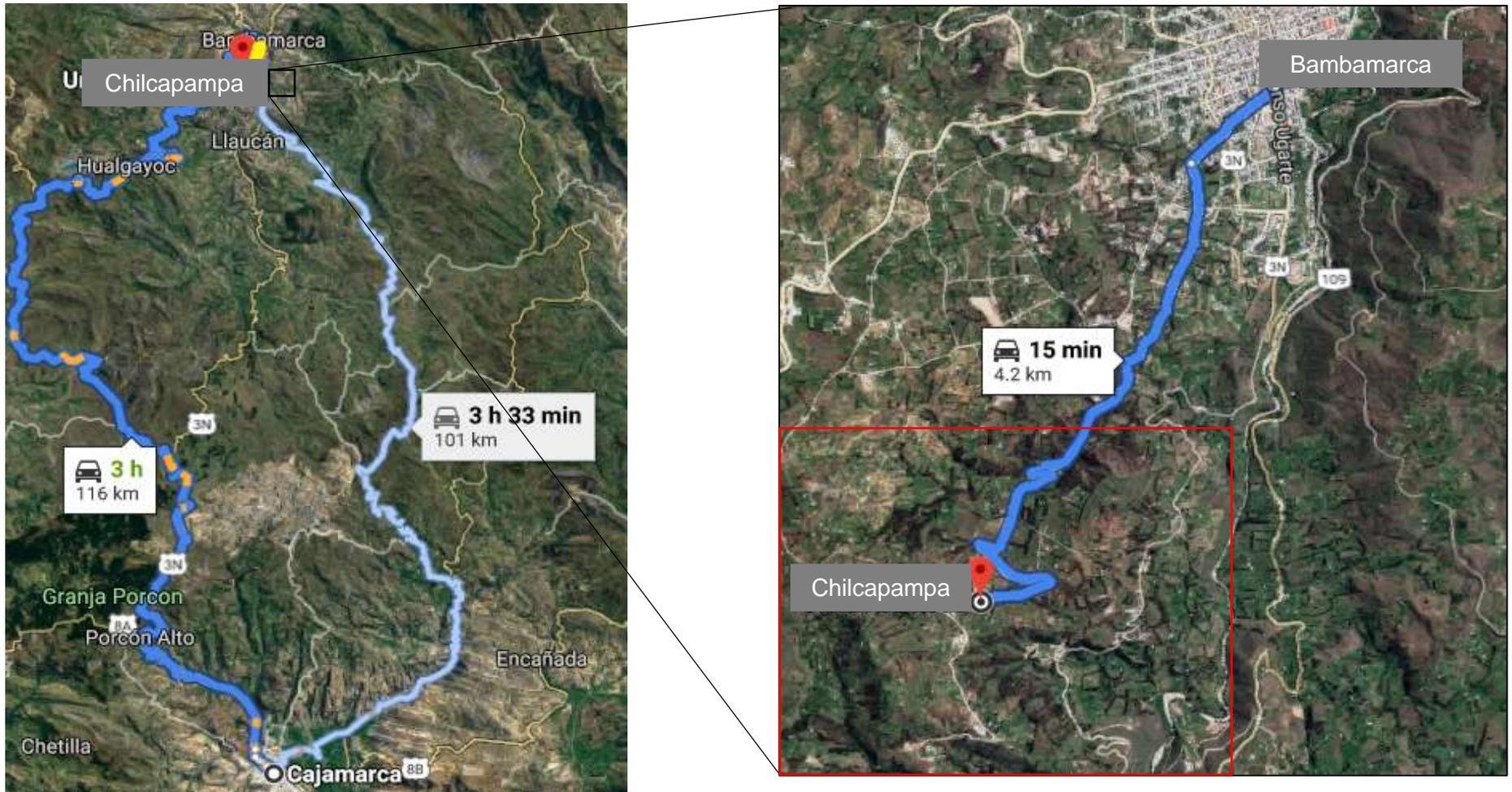


Figura 11: Accesibilidad a la zona de estudio (rojo) por vía asfaltada PE - 3N (azul); por vía PE - 3BN (celeste) y trocha carrozable (amarillo) (Google Earth Pro, 2018).

### 3.1.4. Clima y Vegetación.

El clima es cálido y templado. Bambamarca tiene una cantidad significativa de lluvia durante el año. La temperatura promedio es de 14.3°C., precipitaciones promedio 792mm., hay una diferencia de 95 mm. de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos (Climate-data.org, 2019).

Cuadro 2: Cuadro climatológico de Bambamarca.

Mes	Precipitación (mm.)	Temperatura media (°C.)	Temperatura mínima (°C.)	Temperatura máxima (°C.)
Enero	76	15.3	9	21.6
Febrero	91	14.7	8.4	21
Marzo	115	14.7	8.5	20.9
Abril	88	14.7	8.4	21
Mayo	44	14.2	6.8	21.6
Junio	23	13.4	5.3	21.6
Julio	21	13.2	5.3	21.2
Agosto	20	13.5	5.8	21.3
Setiembre	55	14.1	6.8	21.4
Octubre	102	14.8	8	21.6
Noviembre	89	14.6	7.4	21.9
Diciembre	68	14.6	7.5	21.8

Fuente: Climate-data.org, (2019).

En el caserío Chilcapampa se encuentran chilcas de ahí la procedencia del nombre del caserío, también eucaliptos, pinos, taya, zarza, además de vegetación de cultivos como maíz, tubérculos entre otros.



Foto 1: Eucaliptos, chilca típica del caserío Chilcapampa. (Norte: 9257603, Este: 772807).

## **3.2. Procedimiento**

### **3.2.1. Recopilación de información**

En esta etapa se recolectó y procesó toda la información relacionada con el tema de investigación utilizando diversas referencias como: tesis, libros, artículos científicos, revistas, papers, imágenes satelitales, planos.

### **3.2.2. Trabajo de campo**

Se planificó la primera salida a campo, en la cual se realizó un reconocimiento general del área de trabajo con el fin de describir de las unidades litológicas, así mismo también identificar características físicas de las arcillas.

En las siguientes salidas a campo se describió cada estación de muestreo, teniendo en cuenta las características físicas y petrográficas de las arcillas. Así mismo se realizó la identificación macroscópica de las arcillas; también se recolectó las muestras para determinar el tipo de arcilla teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

### **3.2.3. Trabajo de gabinete**

Se realizó el procesamiento y sistematización de los datos obtenidos en campo tales como tipo, textura, plasticidad, calidad de las arcillas; para lo cual se utilizará procesadores de texto y números como Word 2016 y Excel 2016 respectivamente. Para la generación de la estructura cristalina y la difracción de Rayos X se utilizará el programa PowderCell 2.4, y para la zonificación de los depósitos se utilizará los softwares tales como el Google Earth Pro 2018, SAS Planet 18 y ArcGIS 10.6.1,. Finalmente se realizará la redacción del de la tesis.

### **3.2.4. Control de calidad**

El control de calidad se ha realizado usando la metodología del software PowderCell 2.4 lo cual permitió identificar los elementos químicos de las arcillas, la estructura cristalina y los difractogramas que permitieron analizar la posición de los picos máximos referidos a las máximas posiciones relativas de las arcillas, con los datos de índice de plasticidad y límite líquido que se obtuvo en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, y la carta de plasticidad la cual permitió determinar el tipo de arcillas mediante la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

### 3.2.5. Instrumentos y equipos

#### Materiales para campo

Se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos:

**Ácido clorhídrico (HCl.):** utilizado para comprobar la composición química de las muestras.

**Cámara fotográfica digital:** utilizado para capturar y almacenar fotografías.

**Bolsas para muestras:** para el transporte de las muestras.

**Etiquetas de identificación:** utilizadas en la codificación de muestras.

**GPS Navegador:** (Sistema de Posicionamiento Global) Utilizado para la ubicación geográfica, configurado según nuestra zona de estudio en el sistema UTM. WGS-84 Zona 17 Sur.

**Lupa 20X:** para obtener visión más amplia de la composición macroscópica de las arcillas.

**Protactor:** para medir el tamaño de grano de las muestras.

**Libreta de Campo:** utilizada para anotar la información de campo.

**Colores y lápices:** utilizados para anotar en la libreta y realizar cartografiado.

**Picota de geólogo:** para obtener muestras de mano.

**Rayador:** para determinar la dureza de las arcillas.

**Planos:** para la delimitación y zonificación de los depósitos de arcilla.

**Software ArcGIS 10.6.1:** para la elaboración de planos de ubicación, geológico y topográfico.

**Software PowderCell 2.4:** para difracción de Rayos X y para estructura cristalina de arcillas.

#### Materiales para laboratorio

Para determinar la granulometría de las muestras se utilizó el siguiente material y equipo:

Suelo arcilloso 200 g.

Juego de tamices N°. 4, 10, 20,30, 40, 60, 140, 200 (con tapa y cazoleta).

Mortero y mango de mortero (suelo areno-arcilloso).

Balanza de sensibilidad con aproximación de 0.01 g.

Comba (para triturar la muestra).

Para determinar el límite líquido se utilizó el siguiente material y equipo:

Tamiz N°. 40.

Copa de Casagrande.

Acanalador.

Espátula.

Balanza de precisión con sensibilidad a 0.01 g.

Estufa con control de temperatura.

Mortero y mango.

Para determinar el límite plástico se utilizó el siguiente material y equipo:

Tamiz N°. 40.

Balanza de precisión con sensibilidad a 0.01 g.

Estufa con control de temperatura.

Mortero y mango.

Espátula.

Patrón de comparación.

Placa de vidrio esmerilado.

Probeta graduada de 25 ml. de capacidad.

Pipetas.

Recipientes (taras).

### 3.3. Geología local

En la zona de Chilcapampa afloran Formaciones del Cretácico Superior; calizas gris claras pertenecientes a la Formación Cajamarca, calizas margosas gris amarillentas pertenecientes a la Formación Celendín, areniscas con presencia de grava redondeada intercalada con tobas, pertenecientes a la Formación Chota y en mayor parte del caserío Chilcapampa afloran tobas pertenecientes al Volcánico Huambos.

#### 3.3.1. Formación Cajamarca (Ks-ca.):

La Formación Cajamarca corresponde al Cretácico superior, destaca topográficamente por su homogeneidad litológica, cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes (Palacios, 1995).

Consiste generalmente de calizas gris oscuras y claras, con delgados lechos de arcillitas y margas de los mismos colores. Esta Formación yace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñán - Mujarrum y con la misma relación subyace a la Formación Celendín. Su grosor varía entre los 600 m. y 700 m.

Se encuentran afloramientos de esta Formación en los caseríos de Chilcapampa, Shihua y Mayhuasi; estos últimos son Caseríos limítrofes al área de estudio. Está conformada de rocas karstificadas presentan grutas, estalactitas y lenares.



Foto 2: Estratos de calizas gris claras de la Formación Cajamarca (Norte: 9256810, Este: 773420).



Foto 3: Topografía kárstica, estalactita en calizas gris clara de la Formación Cajamarca. (Norte: 9256730, Este: 773482).

### 3.3.2. Formación Celendín (Ks-ce.):

La Formación Celendín es la última secuencia calcárea del Cretácico superior (Palacios, 1995).

Consiste en una intercalación de calizas margosas nodulares con limolitas y arcillitas calcáreas con presencia de fósiles. Suprayace concordantemente a la Formación Cajamarca e infrayace a los depósitos continentales de la Formación Chota. Su grosor varía entre 100 m. a 300 m.

Esta Formación aflora al Norte de Chilcapampa, en el caserío de Frutillo. Está conformada de calizas margosa. También se encuentran afloramientos en el caserío de Mayhuasi.



Foto 4: Calizas margosa gris amarillentas de la Formación Celendín (Norte: 9258492, Este: 772192).

### 3.3.3. Formación Chota (PN-cho.)

Esta Formación consiste en areniscas arcósicas feldespáticas y conglomerados. En algunos lugares consta de arcillitas intercaladas con tobas redepositadas y derrames volcánicos. En la base se observan sedimentos arcillosos tales como lodolitas y clastos calcáreos (margas), de color rojizo y marrón amarillento. Suprayace discordante a las calizas de la Formación Celendín (Palacios, 1995). El afloramiento de la Formación Chota se presenta al Este, en el caserío Mayhuasi. Arenisca con presencia de grava redondeada intercalada con toba.



Foto 5: Areniscas con presencia de grava redondeada intercalada con tobas, de la Formación Chota (Norte: 9258602, Este: 773667).

### 3.3.4. Volcánico Huambos (PN-vh):

El Volcánico Huambos está conformado por tobas andesíticas y traquíticas, de color blanco-amarillento, presentan además textura porfirítica y contienen fragmentos líticos de volcánicos preexistentes.

Es la Formación más aflorante en el caserío Chilcapampa, en la que se encuentra los mayores depósitos de arcilla sobre esta Formación. También se encuentran afloramientos en los caseríos: Mayhuasi, Shihua y Frutillo. Se encuentra sobreyaciendo a la Formación Cajamarca y a la Formación Celendín.



Foto 6: Afloramiento de depósitos piroclásticos de tobas andesíticas del Volcánico Huambos (Norte: 9257623. Este: 772957).

### 3.3.5. Depósitos cuaternarios - Recientes.

Son sedimentos de cobertura, producto de las acumulaciones de diversos materiales geológicos, a consecuencia de la actividad fluvial o gravedad. Son sedimentos generalmente no consolidados. Se distribuyen de forma irregular sobreyaciendo a las Formaciones Cajamarca, Celendín y Chota, así mismo a los depósitos del Volcánico Huambos; entre ellos tenemos:

**Depósitos lacustres (Q-la.):** se localizan en cuencas lagunares. Están formados por sedimentos generalmente de grano fino (limos y arcillas). El contenido de materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas.

Estos depósitos se encuentran sobre los depósitos volcánicos de la Formación Huambos en el lugar denominado el Suncho, parte limítrofe entre los caseríos Chilcapampa y Frutillo.

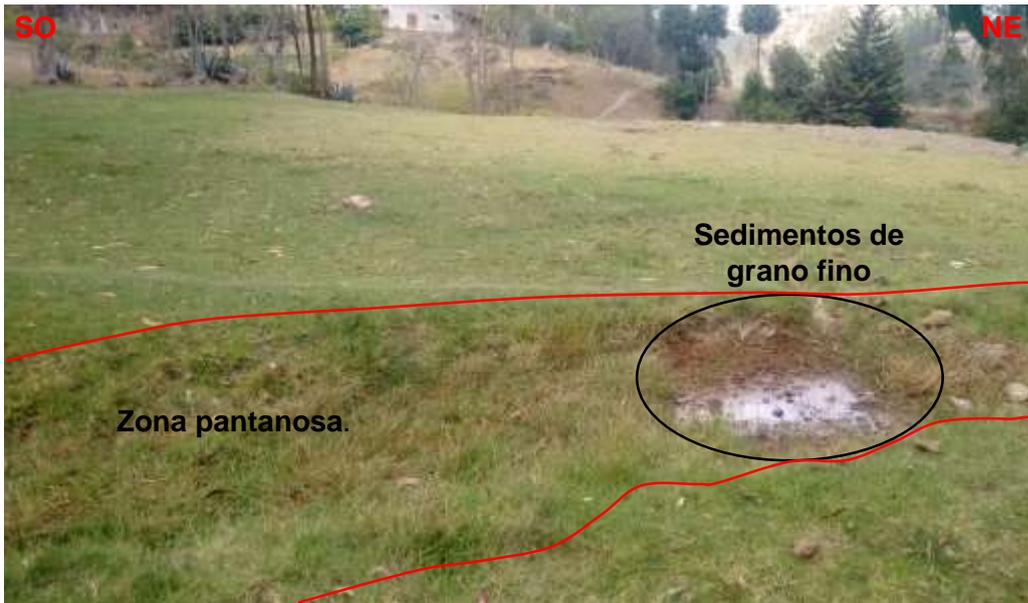


Foto 7: Depósitos lacustres compuesto por sedimentos de grano fino (limos y arcillas), en el caserío el Frutillo. (Norte: 9258679, Este: 772570).

**Depósitos fluviales (Q-fl.):** son depósitos formados por acumulación de materiales geológicos cerca al cauce del río, están compuestos por gravas, arenas, limos, arcillas y en mayor cantidad por cantos rodados.

Estos depósitos se encuentran sobre las Formaciones Cajamarca y Chota, distribuidos a lo largo del cauce del río Llaucano, compuestos por cantos rodados, gravas y arenas las cuales son aprovechadas para la extracción de material de construcción.



Foto 8: Depósitos fluviales ubicado en el caserío Mayhuasi, a ambos lados del río Llaucano. (Norte: 9256780, Este: 773522).

### 3.4. Geodinámica

#### 3.4.1. Paleodeslizamiento.

Evento relativamente antiguo sin identificación de edad, ocurrido en el Volcánico Huambos en los caseríos de Chilcapampa y Shihua.



Foto 9: Tres paleodeslizamientos curvos – cilíndricos progresivos, en el Volcánico Huambos en el caserío Shihua. (Norte: 9257170, Este: 772579).



Foto 10: Deslizamiento planar en el Volcánico Huambos en el caserío Chilcapampa. (Norte: 9257819, Este: 772554).

### **3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.**

El tratamiento de datos se realizó con los resultados de los ensayos granulométricos y ensayos de límites de plasticidad obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, el análisis de la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad de las muestras, con lo que se determinó el tipo de arcillas: caolinitas (3), montmorillonitas(2) e illitas(2); con los resultados de la distribución granulométría de cada muestra permitió determinar el porcentaje de grava, arena y finos (limos y arcillas) lo cual está representado mediante la curva granulométrica de cada muestra.

Así mismo con los resultados obtenidos del software PowderCell 2.4 por el método de difracción de Rayos X, se determinó los picos máximos de arcilla en cada muestra y la estructura cristalina que tienen estas mismas.

Para la zonificación de los depósitos de arcillas, se analizó teniendo en cuenta la ubicación de afloramientos de este recurso no metálico, en 7 muestras seleccionadas en el caserío Chilcapampa.

El tipo de análisis fue: a) Descriptivo; ya que se identifica las características granulométricas generales (dureza, fractura, porosidad), elementos texturales (tamaño de grano, esfericidad, redondez) y composición (matriz, óxidos de hierro) y b) Estadístico; identificando el porcentaje de finos (limos y arcillas) y la curva de distribución granulométrica.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis para la identificación de características de las arcillas en el caserío Chilcapampa.**

Para caracterizar petrográficamente las arcillas para el uso en ladrillos artesanales en el caserío Chilcapampa- Bambamarca; se realizó ensayos de límites de plasticidad para determinar la calidad de las siete muestras de arcilla y ensayos granulométricos para determinar el tipo de arcilla obtenido mediante el porcentaje de finos (limos y arcillas); dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para la descripción macroscópica de las muestras; se seleccionó 7 estaciones de muestreo teniendo en cuenta la ubicación de los afloramientos de este recurso no metálico. También se analizó en el programa PowderCell 2.4, la estructura cristalina y los difractogramas de las arcillas identificadas.

##### **4.1.1. Selección y descripción macroscópica de estaciones de muestreo.**

Se han seleccionado siete estaciones de muestreo teniendo en cuenta la ubicación de los afloramientos, posteriormente se recolectó una muestra representativa en cada estación para realizar ensayos granulométricos y límites de plasticidad, también se realizó la descripción de las características macroscópicas generales (dureza, fractura, porosidad), elementos texturales (tamaño de grano, esfericidad, redondez) y composición (matriz, óxidos de hierro). Las coordenadas de ubicación se realizaron en el sistema UTM. Datum WGS – 84, ver cuadro 3.

Cuadro 3: Ubicación de las 7 muestras seleccionadas mediante sus coordenadas.

Muestra	Sistema UTM. Datum WGS-84	
	Latitud	Longitud
M - 01.	9258350	773215
M - 02.	9258265	772818
M - 03.	9258282	772676
M - 04.	9258293	772213
M - 05.	9257874	772630
M - 06.	9257762	772574
M - 07.	9257415	772772

La ubicación de las siete muestras seleccionadas en diversas áreas del caserío Chilcapampa se representan en la figura 12.



Figura 12: Muestras seleccionadas en el caserío Chilcapampa (Google Earth Pro, 2018).

#### 4.1.1.1. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 01

Ubicación Geográfica: N: 9258350; E: 773215

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de limolita arcillosa, de color pardo amarillento, con cobertura vegetal en la facie superior, se seleccionó la muestra en el cerro Huachuma, en la carretera que une los caseríos de Chilcapampa y Mayhuasi; se presentan sobre los depósitos del Volcánico Huambos.



Foto 11: Afloramiento de limolita arcillosa en el cerro Huachuma.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 11: Características petrográficas de la muestra M - 01 (limolita arcillosa).

<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Pardo amarillenta</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Pardo amarillenta</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2.5</b>		
Porosidad: <b>Presenta</b>		
Raya: <b>Pardo Blanquecina</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
<b>II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES</b>		
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Limo 60 %, Arcilla 15%, Arena 10.</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: <b>15%</b>
	Coefficiente: <b>3.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Limolita Arcillosa</b>		

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

#### 4.1.1.2. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 02

Ubicación Geográfica: N: 9258265; E: 772818

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de arcillita limosa, se seleccionó esta muestra en el sector el Bosque en la carretera Chilcapampa - Shihua; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al Volcánico Huambos.



Foto 12: Afloramiento de arcillita limosa en el sector el Bosque.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 12: Características petrográficas de la muestra M - 02 (arcillita limosa).

I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Amarillento</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Blanco grisáceo</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2</b>		
Porosidad: <b>Presenta</b>		
Raya: <b>Ploma</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		III. COMPOSICIÓN (%)
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Arcilla 55% , Limo 25 % , Arena 15%.</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: 5%
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Arcillita limosa</b>		

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

#### 4.1.1.3. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 03

Ubicación Geográfica: N: 9258282; E: 772676

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de arcillita arenosa, se seleccionó esta muestra cerca a la escuela N°: 821031 del caserío Chilcapampa; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al volcánico Huambos.



Foto 13: Afloramiento de arcillita arenosa, cerca de la escuela N°: 821031 de Chilcapampa.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 13: Características petrográficas de la muestra M - 03 (arcillita arenosa).

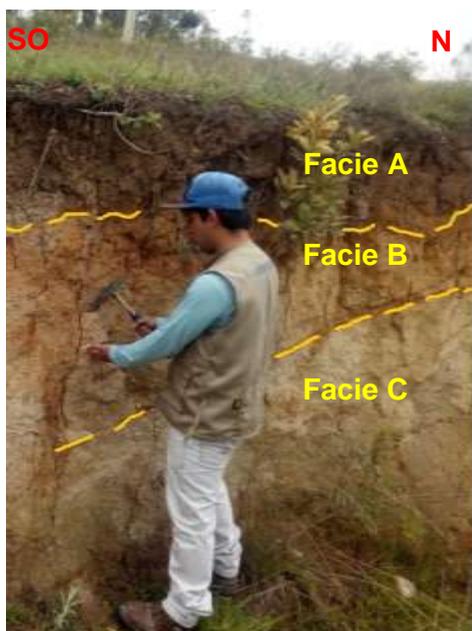
I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Amarillo grisáceo</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Blanco grisáceo</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2.5</b>		
Porosidad: <b>Presenta</b>		
Raya: <b>Ploma</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		III. COMPOSICIÓN (%)
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Arcilla 55%, Arena 20 %, Arcilla 15%.</b>
	Coeficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: 5%
	Coeficiente: <b>3.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Arcillita Arenosa</b>		

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

#### 4.1.1.4. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 04

Ubicación Geográfica: N: 9258293; E: 772213

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de limolita arcillosa, de color pardo amarillento, con cobertura vegetal en la facie superior, fue tomada en la parte baja de Ambade a la unión de las carreteras entre los caseríos de Chilcapampa y Frutillo; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al Volcánico Huambos.



Facie A: Cobertura vegetal (raíces) de coloración oscura hasta 30 cm. de espesor.

Facie B: Facie de alteración de la facie C (tobas); arcillas y limos, contenido bajo de materia orgánica, varía entre 25 cm. a 60 cm.

Facie C: Tobas pertenecientes al Volcánico Huambos, desde 30 cm. a más profundidad.

Foto 14: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte baja del cerro Ambade.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 14: Características petrográficas de la muestra M - 04 (limolita arcillosa).

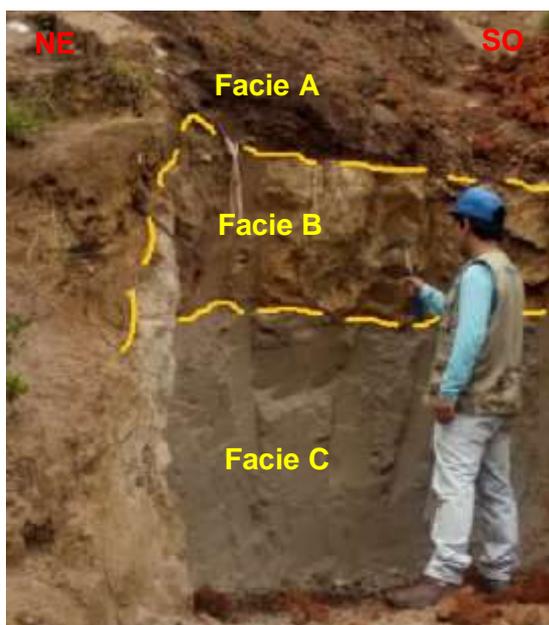
I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Pardo Grisáceo</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Pardo amarillento</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2</b>		
Porosidad: <b>Presenta</b>		
Raya: <b>Pardo Blanquecina</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		III. COMPOSICIÓN (%)
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Limo 60 %, Arcilla 20%, Arena 5%</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: 15%
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Limolita Arcillosa</b>		

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

#### 4.1.1.5. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 05

Ubicación Geográfica: N: 9257874; E: 772630

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de limolita arcillosa, se seleccionó esta muestra en la parte media del cerro Ambade, margen derecho de la carretera Chilcapampa - Shihua; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al Volcánico Huambos.



Facie A: Cobertura vegetal (raíces) de coloración oscura hasta 40 cm. de espesor.

Facie B: Facie de alteración de la facie C (tobas); arcillas y limos, bajo contenido de materia orgánica, varía entre 25 cm. a 40 cm. de espesor.

Facie C: Tobas pertenecientes al Volcánico Huambos, desde 70 cm. a más profundidad.

Foto 15: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte media del cerro Ambade.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 15: Características petrográficas de la muestra M - 05 (limolita arcillosa).

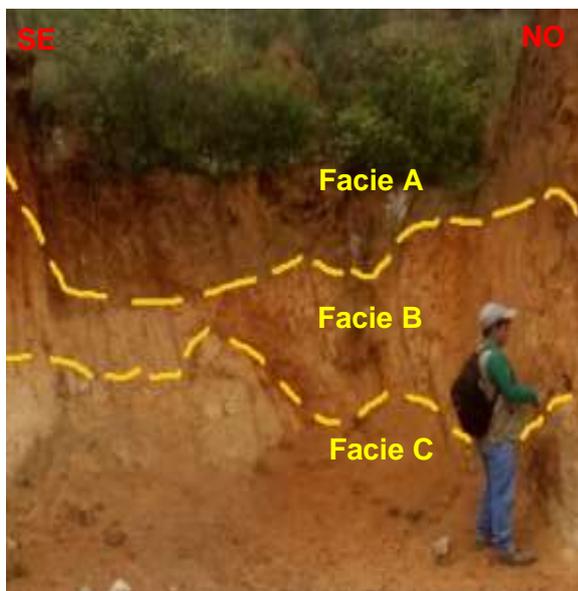
I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Marron grisáceo</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Pardo Amarillento</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2.5</b>		
Porosidad: <b>No</b>		
Raya: <b>Blanquecina</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		III. COMPOSICIÓN (%)
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Limo 55 %, Arcilla 20%, Arena 15%</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: 10%
	Coefficiente: <b>3.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Limolita Arcillosa</b>		

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

#### 4.1.1.6. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 06

Ubicación Geográfica: N: 9257762; E: 772574

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de limolita arcillosa, se seleccionó esta muestra en la parte media del cerro Ambade, cerca al lugar denominado tierra blanca; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al Volcánico Huambos.



Facie A: Cobertura vegetal (raíces) de coloración oscura hasta 45 cm. de espesor.

Facie B: Facie de alteración de la facie C (tobas); arcillas y limos, bajo contenido de materia orgánica, varía entre 15 cm. a 140 cm. de espesor.

Facie C: Tobas pertenecientes al Volcánico Huambos, desde 20 cm. a más profundidad.

Foto 16: Afloramiento de limolita arcillosa en la parte media del cerro Ambade.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 16: Características petrográficas de la muestra M - 06 (limolita arcillosa).

I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Marron grisáceo</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Pardo Amarillento</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2.5</b>		
Porosidad: <b>No</b>		
Raya: <b>Blanquecina</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Limo 55 %, Arcilla 20%, Arena 15%</b>
	Coficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: 10%
	Coficiente: <b>3.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Limolita Arcillosa</b>		

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

#### 4.1.1.7. Descripción y características petrográficas de la Muestra M - 07

Ubicación Geográfica: N: 9257415; E: 772772

**Procedencia de la muestra:** Afloramiento de limolita arcillosa, de color pardo amarillento, con cobertura vegetal en la facie superior Esta muestra fue tomada sector zarzapampa en el último paradero de Chilcapampa; se encuentra sobre los depósitos que corresponden al Volcánico Huambos.



Foto 17: Afloramiento de arcillita limosa en el sector Zarzapampa.

#### Descripción de la muestra:

Tabla 17: Características petrográficas de la muestra M - 07 (arcillita limosa).

I. ASPECTOS GENERALES		
Color de Sup. Intemperizada: <b>Marron grisáceo</b>		
Color de Sup. Fresca: <b>Blanco grisáceo</b>		
Brillo: <b>Terroso</b>		
Dureza: <b>2</b>		
Porosidad: <b>Presenta</b>		
Raya: <b>Ploma</b>		
Fractura: <b>Irregular</b>		
Reacción con HCl: <b>No reacciona</b>		
II. ELEMENTOS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES		
Tamaño de grano: <b>Arcilla (&lt;0.002mm)</b>		Fragmentos de Roca: ---
Esfericidad	Grado: <b>Esferico</b>	Matriz: <b>Arcilla 60%, Limo 25 %, Arena 10%</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Pirita: --
Redondez	Grado: <b>Redondeado</b>	Óxidos de Hierro: <b>5%</b>
	Coefficiente: <b>4.5</b>	Óxidos de Manganeso: --
Cementante y/o matriz: <b>Matriz</b>		Fósiles: --
Fábrica: <b>Clástica</b>		Otros: --
Nombre de la roca: <b>Arcillita limosa</b>		

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

#### 4.1.2. Análisis de la curva granulométrica

Para describir las arcillas según la curva granulométrica que presentan, las siete muestras fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se realizó ensayos granulométricos a cada muestra para determinar el porcentaje de finos (arcillas y limos). Para eso fueron analizadas 250 g. de cada muestra, la norma de referencia: NTP 339.128 (ASTM D422) y se utilizó el siguiente procedimiento:

Se secó la muestra (al aire libre), seguidamente se trituro la muestra mecánicamente con ayuda de una comba.

Se pesó la muestra seca (Pms.) antes del tamizado, en la balanza de sensibilidad con aproximación de 0.01 g.



Foto 18: Peso de muestra seca.

Se deja pasar la muestra por el juego de tamices, agitando el material manualmente.



Foto 19: Tamizado de la muestra seca de arcilla en el laboratorio de mecánica de suelos.

Se pesa en la balanza de sensibilidad con aproximación de 0.01 g. el material retenido en cada tamiz y en la cazoleta. (PR.).



Foto 20: Material de la muestra seca que ha pasado el tamiz N° 200.



Foto 21: Siete muestras secas tamizadas.

Se acumula los pesos retenidos y se averigua la diferencia con el peso inicial, para luego calcular los pesos retenidos en cada tamiz mediante la siguiente formula:

$$\%PR.= (100* PR.) / (Pms.)$$

Se determina los porcentajes de los pesos retenidos acumulados. (%PAR.)

Se calcula los complementos a 100%. que son los porcentajes pasantes acumulativos por los tamices.

$$\% PASA = 100 - \%PAR.$$

Se dibuja la curva granulométrica en escala semilogarítmica, teniendo como abscisa y en escala logarítmica a los tamaños de los tamices (mm.), y en las ordenadas los porcentajes acumulados que pasa. Finalmente se hace la clasificación del suelo según su granulometría.

### 4.1.3. Análisis de la curva de distribución granulométrica

#### 4.1.3.1 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M-01

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presentó 43.68% de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presentó un 56.32% de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común arenosa.

Cuadro 4: Ensayo granulométrico de la muestra M - 01.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	4.9	1.960	1.960	98.040
20	0.85	18.6	7.440	9.400	90.600
30	0.6	32	12.800	22.200	77.800
40	0.425	29.6	11.840	34.040	65.960
60	0.25	28.1	11.240	45.280	54.720
100	0.15	15.7	6.280	51.560	48.440
200	0.075	11.9	4.760	56.320	43.680
Cazoleta	-	109.2	43.680	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 5: Porcentaje de materiales de la muestra M - 01.

% gravas	0.000
% arenas	56.320
% finos	43.680

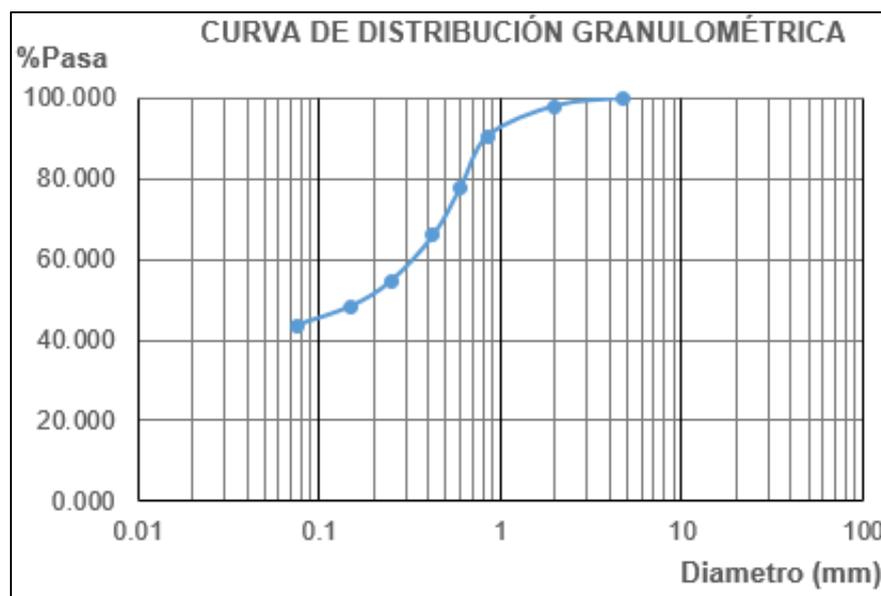


Gráfico 1: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 01.

#### 4.1.3.2 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M- 2

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presentó 58.68%. de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presentó un 41.32%. de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común.

Cuadro 6: Ensayo granulométrico de la muestra M - 02.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	5.2	2.080	2.080	97.920
20	0.85	16.9	6.760	8.840	91.160
30	0.6	26.9	10.760	19.600	80.400
40	0.425	17.4	6.960	26.560	73.440
60	0.25	15.3	6.120	32.680	67.320
100	0.15	12.4	4.960	37.640	62.360
200	0.075	9.2	3.680	41.320	58.680
Cazoleta	-	146.7	58.680	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 7: Porcentaje de materiales de la muestra M - 02.

% gravas	0.000
% arenas	41.320
% finos	58.680

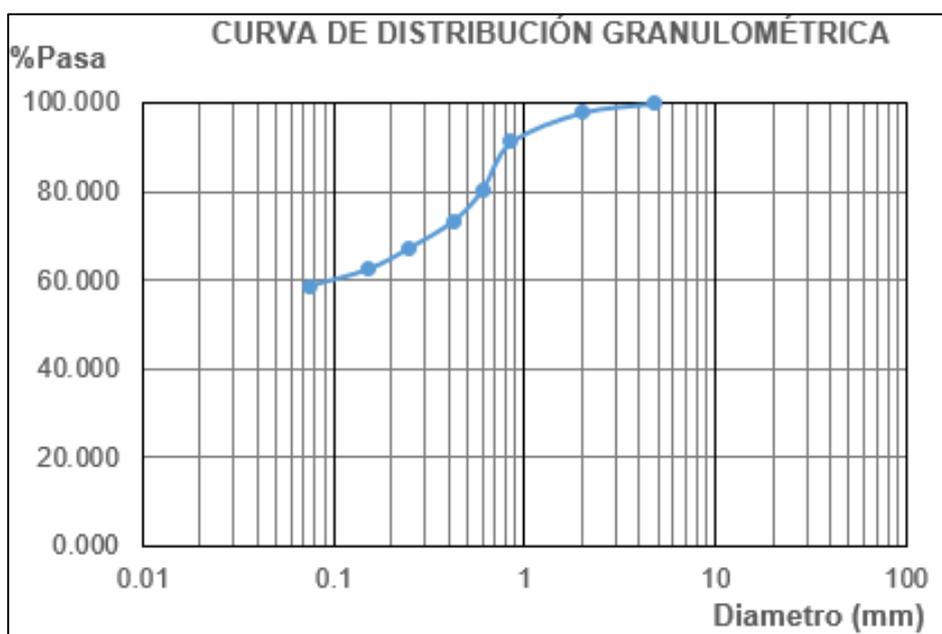


Gráfico 2: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 02.

#### 4.1.3.3 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M-03

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presentó 41.48%. de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presentó un 58.52%. de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común arenosa.

Cuadro 8: Ensayo granulométrico de la muestra M - 03.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	6.5	2.600	2.600	97.400
20	0.85	32.8	13.120	15.720	84.280
30	0.6	23.1	9.240	24.960	75.040
40	0.425	29.1	11.640	36.600	63.400
60	0.25	21.5	8.600	45.200	54.800
100	0.15	17.9	7.160	52.360	47.640
200	0.075	15.4	6.160	58.520	41.480
Cazoleta	-	103.7	41.480	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 9: Porcentaje de materiales de la muestra M - 03.

% gravas	0.000
% arenas	58.520
% finos	41.480

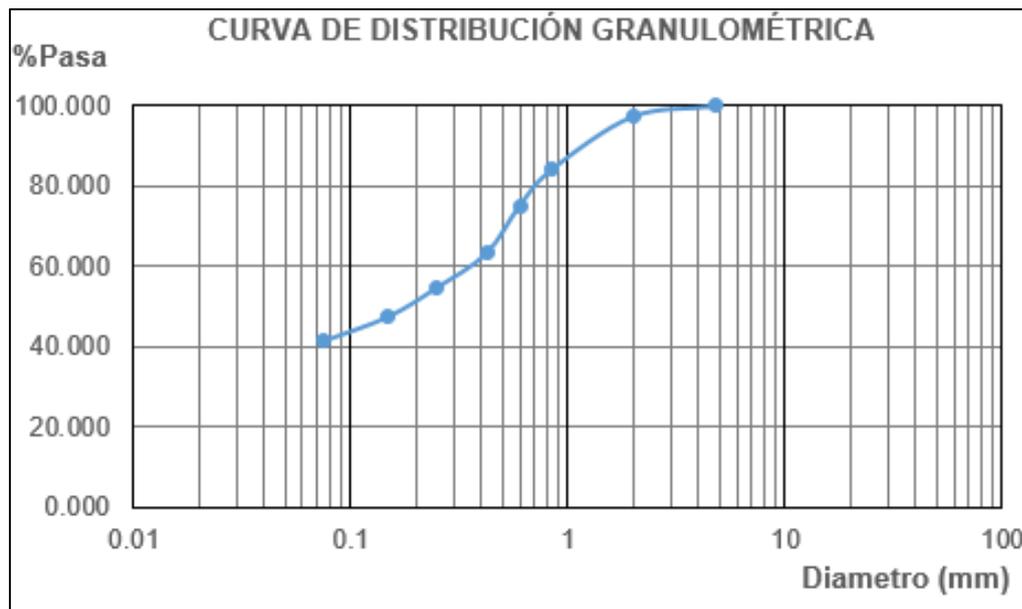


Gráfico 3: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 03.

#### 4.1.3.4 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M-04

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presentó 56.12%. de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presentó un 43.88%. de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común.

Cuadro 10: Ensayo granulométrico de la muestra M - 04.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	3.5	1.400	1.400	98.600
20	0.85	17.4	6.960	8.360	91.640
30	0.6	22.3	8.920	17.280	82.720
40	0.425	21.7	8.680	25.960	74.040
60	0.25	18.3	7.320	33.280	66.720
100	0.15	15.5	6.200	39.480	60.520
200	0.075	11	4.400	43.880	56.120
Cazoleta	-	140.3	56.120	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 11: Porcentaje de materiales de la muestra M - 04.

% gravas	0.000
% arenas	43.880
% finos	56.120

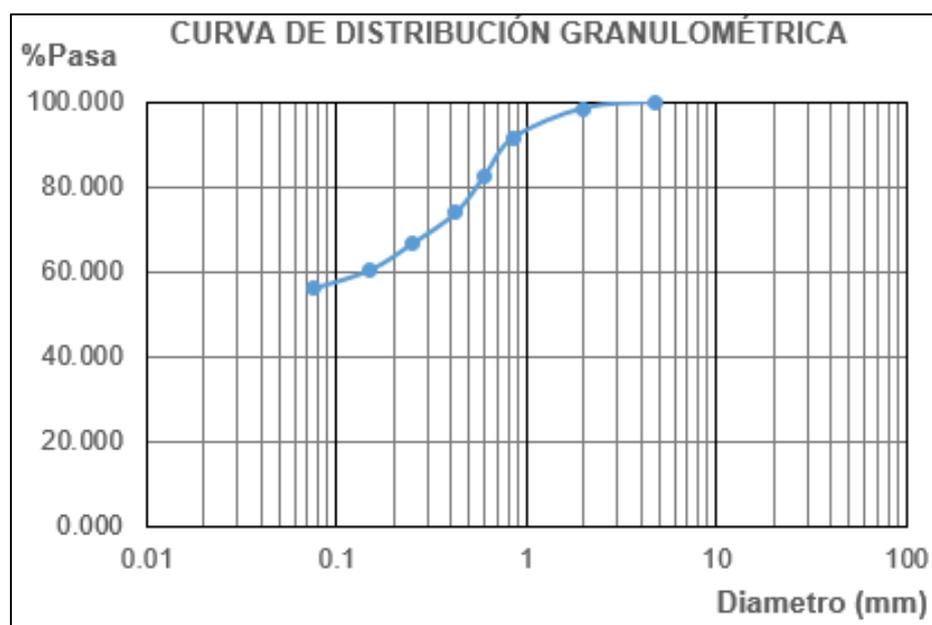


Gráfico 4: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 04.

#### 4.1.3.5 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M-05

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presentó 52.20%. de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presentó un 46.56%. de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común.

Cuadro 12: Ensayo granulométrico de la muestra M - 05.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	3.1	1.240	1.240	98.760
20	0.85	16.2	6.480	7.720	92.280
30	0.6	20.4	8.160	15.880	84.120
40	0.425	31	12.400	28.280	71.720
60	0.25	21.8	8.720	37.000	63.000
100	0.15	17.2	6.880	43.880	56.120
200	0.075	9.8	3.920	47.800	52.200
Cazoleta	-	130.5	52.200	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 13: Porcentaje de materiales de la muestra M - 05.

% gravas	0.000
% arenas	46.560
% finos	52.200

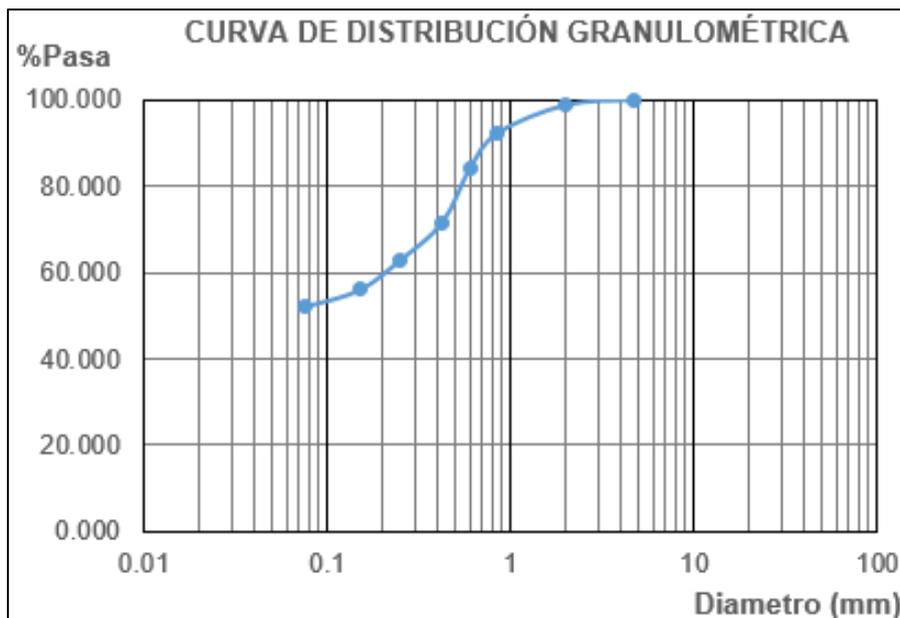


Gráfico 5: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 05.

#### 4.1.3.6 Análisis de la curva de distribución granulométrica de la muestra M-06

Según el ensayo granulométrico, esta muestra presento 46.52%. de finos (limos y arcillas) material que pasó por la malla N° 200, además presento un 53.48%. de arenas material que pasó por la malla N°4 como se muestra en el cuadro de porcentaje de la muestra que corresponde a arcilla común arenosa.

Cuadro 14: Ensayo granulométrico de la muestra M - 06.

Peso de la muestra seca = 250 g.					
Tamiz		PR (g.)	%PR.	%PRA.	% Pasa
N°	Abert. (mm.)				
4	4.75	0	0.000	0.000	100.000
10	2	5.3	2.120	2.120	97.880
20	0.85	30.2	12.080	14.200	85.800
30	0.6	21.4	8.560	22.760	77.240
40	0.425	18.7	7.480	30.240	69.760
60	0.25	21.6	8.640	38.880	61.120
100	0.15	19.4	7.760	46.640	53.360
200	0.075	17.1	6.840	53.480	46.520
Cazoleta	-	116.3	46.520	100.000	0.000
Total	-	250			

Cuadro 15: Porcentaje de materiales de la muestra M - 06.

% gravas	0.000
% arenas	53.480
% finos	46.520

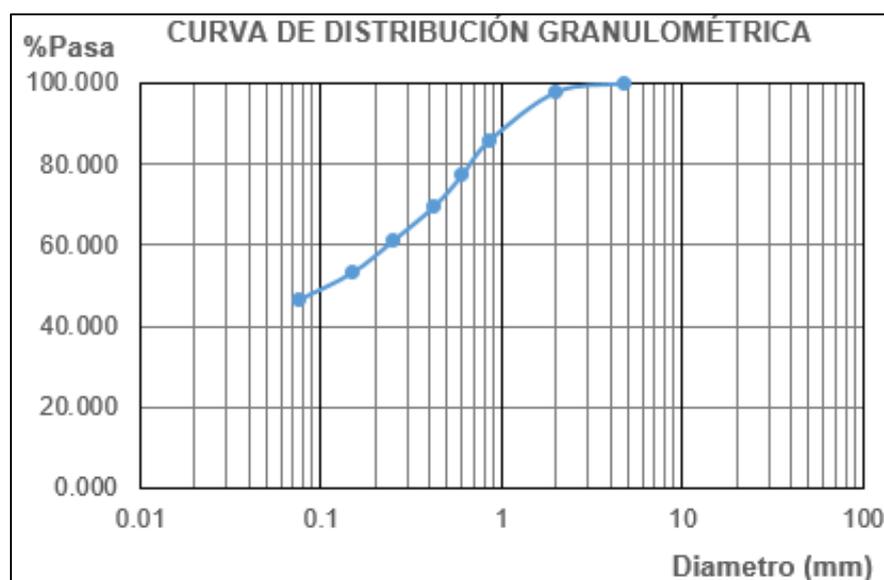


Gráfico 6: Curva de distribución granulométrica de la muestra M - 06.



#### 4.1.4. Análisis del tipo de las arcillas.

Para determinar la calidad y el tipo de arcilla las muestras fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se realizaron ensayos de límites de plasticidad, estos resultados fueron llevados a la carta de plasticidad donde se determinó el tipo y la calidad de cada muestra.

##### 4.1.4.1. Determinación del límite líquido

Para este análisis se utilizó 100 g. de cada muestra, la norma de referencia es ASTM D4318-00 y se realizó el siguiente procedimiento:

Se toma 100 g. y se pasa la muestra seca por la malla N° 40.



Foto 22: Tamizado de la muestra seca por el tamiz N° 40, en el laboratorio de mecánica de suelos.

Se coloca la muestra en el mortero y se mezcla con agua para homogenizarla.



Foto 23: Homogenización de la muestra en el laboratorio de mecánica de suelos.

Se coloca una porción de la muestra en la Copa de Casagrande, con la ayuda de la espátula sin que nivel de la muestra no supere el borde del recipiente y que el máximo nivel entre la base del recipiente y el suelo sea de 10mm.



Foto 24: Porción de muestra homogenizada en la Copa de Casagrande.

Con la ayuda del ranurador, se divide la muestra de arcilla que está en la Cuchara de Casagrande en dos mitades, con un movimiento suave a lo largo del diámetro de esta.



Foto 25: División de la muestra homogenizada con ayuda del ranurador.

Una vez realizada la ranura, damos golpes sin parar a la cuchara a una velocidad aproximada de 2 golpes/segundo, hasta que las dos mitades se junten (cierren) aproximadamente 12mm. se debe registrar el número de golpes en los cuales se cerró dicha ranura.



Foto 26: Golpeando la cuchara hasta que las mitades se junten en 12mm.

Se toma del equipo parte de la muestra del suelo (10g.), procurando tomarla del sector donde se cerró la ranura. La muestra tomada es llevada a un recipiente, se registra su peso y se somete a secado para determinar su humedad.

Este proceso se repite tres veces, adicionando agua o extendiendo la muestra para someterla a secado, facilitando así la obtención de otros puntos con diferente humedad y numero de golpes, se recomienda que el número de golpes para cerrar la ranura debe estar comprendido entre 10 y 35 golpes.

Finalmente se pesa la muestra unida y se lleva al horno por 24 horas.



Foto 27: Muestras en el horno por un periodo de 24 horas.

#### 4.1.4.2. Análisis de límite Plástico

Para este análisis se utilizó 100 g. de cada muestra mediante el siguiente procedimiento:

Se toma 100 g. y se pasa la muestra seca por la malla N° 40.

Se adiciona agua y se empieza un proceso de homogenización; cuando la muestra esta homogenizada, con la ayuda de la mano se moldea una especie de balón, el cual deberá dividir en dos o tres partes más pequeñas.



Foto 28: Moldeo de la muestra homogenizada.

Se toma uno de estos trozos y con una suave y uniforme presión, se rueda hasta ir formando cilindros los cuales en el proceso de rodado disminuirán poco a poco su tamaño.



Foto 29: Presión a la muestra para reducir su tamaño.

El proceso de rodado se realizará hasta que al llegar a un diámetro de 3mm. El cilindro se empieza a resquebrajar a lo largo del diámetro.

Seguidamente se toma los cilindros con esas características, y se lleva a un recipiente, se toma el peso y se determina la humedad en %.

Finalmente se pesa la muestra unida y se lleva al horno por 24 horas.



Foto 30: Traslado de la muestra al horno.

#### 4.1.5. Análisis del índice de plasticidad

##### 4.1.5.1. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 01

La muestra presentó un I.P.= 27.73 y un L.L.= 53.13, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es illita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 18: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 01.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	27.2	28	28.7	Wt.	27.9	28.5
Wmh. + t (g.)	37.7	38.6	38.9	Wmh. + t (g.)	34.4	36.3
Wms. + t (g.)	33.8	35	36.1	Wms. + t (g.)	33.1	34.7
Wmh.	10.5	10.6	10.2	Wmh.	6.5	7.8
Wms.	6.6	7	7.4	Wms.	5.2	6.2
Ww.	3.9	3.6	2.8	Ww.	1.3	1.6
W%.	59.1	51.4	37.8	W%.	25.0	25.8
N° de golpes	18	27	34			
L.L. (25 golpes)	53.13			L.P.	25.403	
			I.P.	27.73		

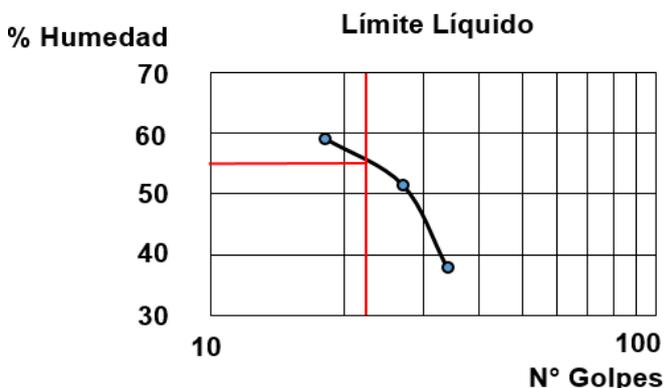


Gráfico 8: Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 01.

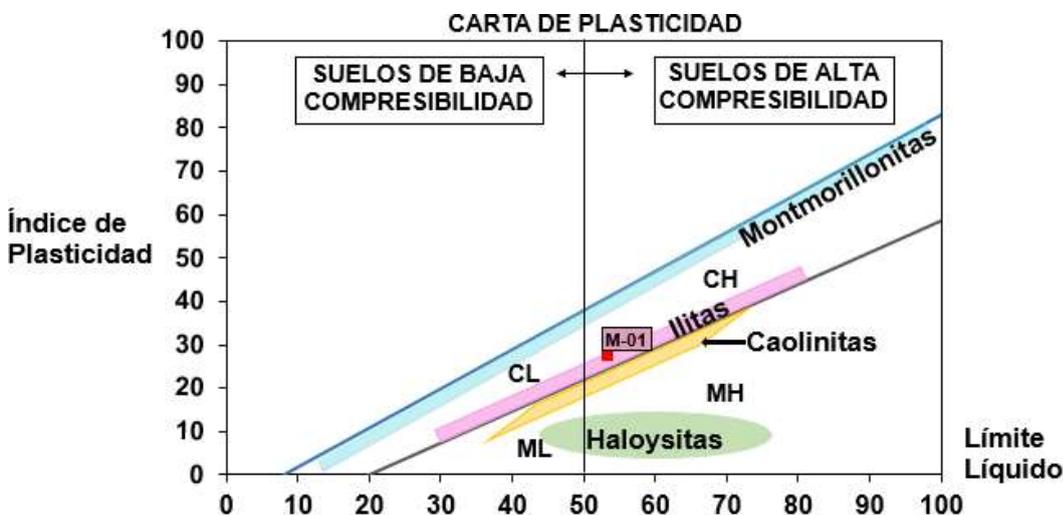


Gráfico 9: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 01.

#### 4.1.5.2. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 02

La muestra presentó un I.P.=28.54 y un L.L.=60.03, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es caolinita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 19: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 02.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	28.8	27.9	28	Wt.	28	28.5
Wmh. + t (g.)	41.8	38.3	38.6	Wmh. + t (g.)	36.2	37
Wms. + t (g.)	36.4	34.5	35.5	Wms. + t (g.)	34.3	34.9
Wmh.	13	10.4	10.6	Wmh.	8.2	8.5
Wms.	7.6	6.6	7.5	Wms.	6.3	6.4
Ww.	5.4	3.8	3.1	Ww.	1.9	2.1
W%	71.1	57.6	41.3	W%	30.2	32.8
N° de golpes	16	27	32			
L.L. (25 golpes)	60.03			L.P.	31.486	
			I.P.	28.54		

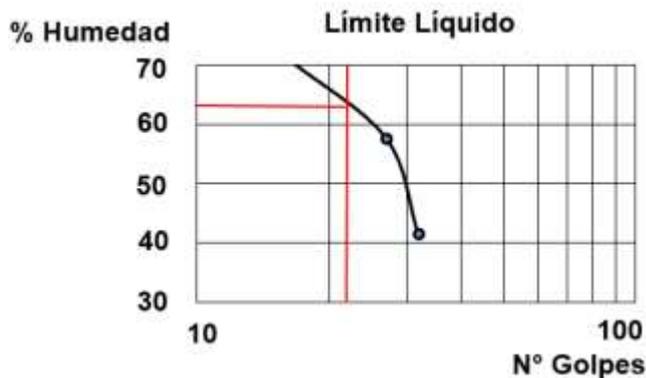


Gráfico 10: Límite Líquido (25 golpes), de la muestra M - 02.

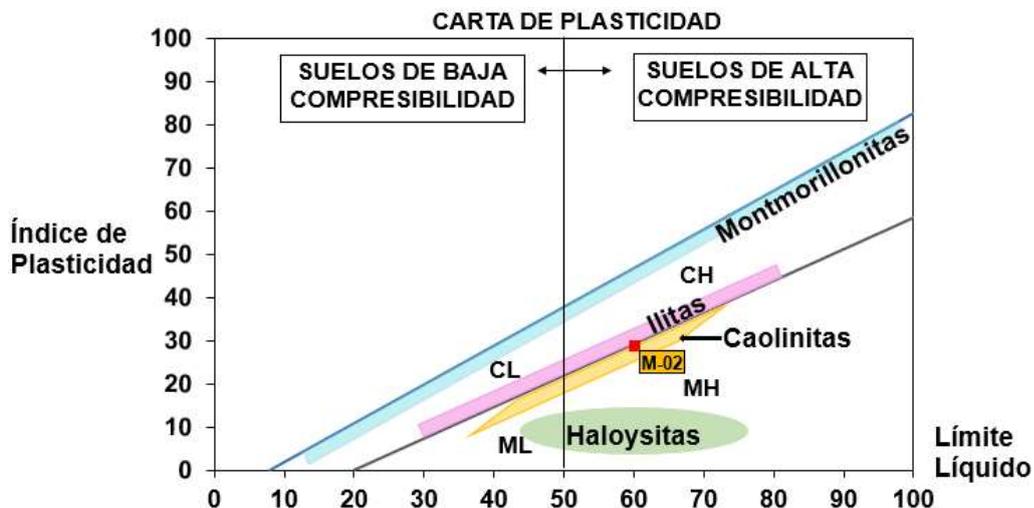


Gráfico 11: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M- 02.

#### 4.1.5.3. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 03

La muestra presentó un I.P.=20.59 y un L.L.=45.88, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es illita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 20: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 03.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	27.3	27.7	29	Wt	28.1	35.9
Wmh. + t (g.)	37.6	38.9	40.1	Wmh + t (g.)	35.6	41.3
Wms. + t (g.)	34.2	35.4	36.8	Wms + t (g.)	34.1	40.2
Wmh.	10.3	11.2	11.1	Wmh	7.5	5.4
Wms.	6.9	7.7	7.8	Wms	6	4.3
Ww.	3.4	3.5	3.3	Ww	1.5	1.1
W%.	49.3	45.5	42.3	W%	25.0	25.6
N° de golpes	17	26	30			
L.L. (25 golpes)	45.88			L.P.	25.291	
			I.P.	20.59		

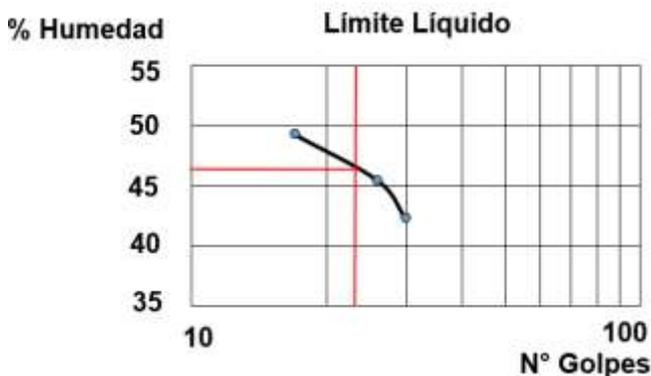


Gráfico 12: Límite Líquido (25 golpes), de la muestra M - 03.

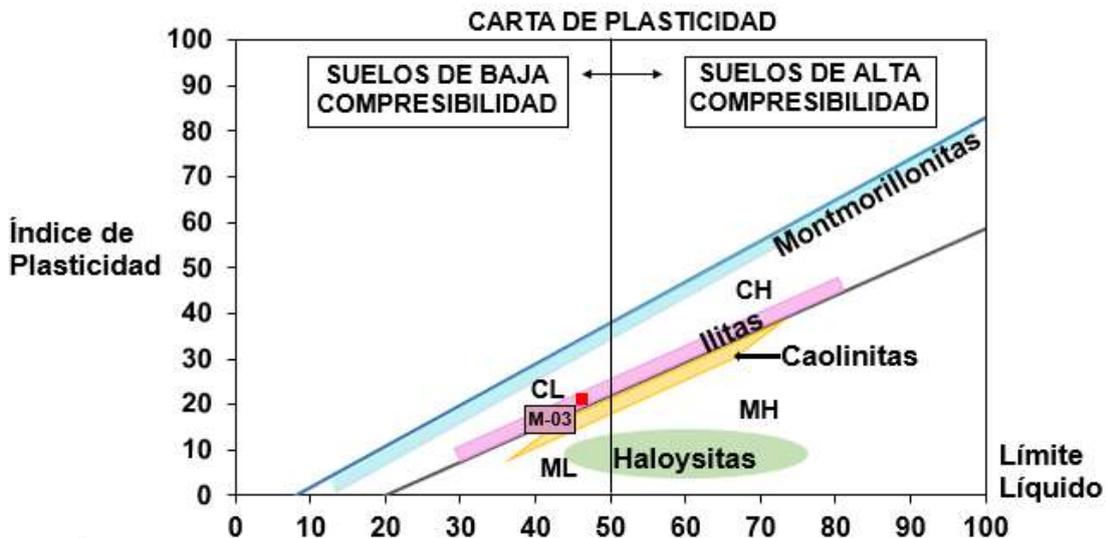


Gráfico 13: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 03.

#### 4.1.5.4. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 04

La muestra presentó un I.P.=25.09 y un L.L.=56.60, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es caolinita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 21: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 04.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	27.2	26.6	27.3	Wt.	27.6	27.8
Wmh. + t (g.)	38.5	37.1	37.5	Wmh. + t (g.)	35.9	36.2
Wms. + t (g.)	34.2	33.2	34	Wms. + t (g.)	34	34.1
Wmh.	11.3	10.5	10.2	Wmh.	8.3	8.4
Wms.	7	6.6	6.7	Wms.	6.4	6.3
Ww.	4.3	3.9	3.5	Ww.	1.9	2.1
W%	61.4	59.1	52.2	W%	29.7	33.3
N° de golpes	15	21	32			
L.L. (25 golpes)	56.60			L.P.	31.51	
			I.P.	25.09		

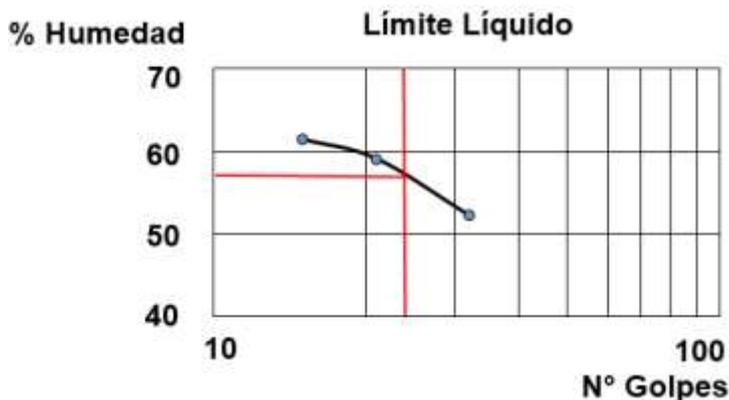


Gráfico 14: Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 04.

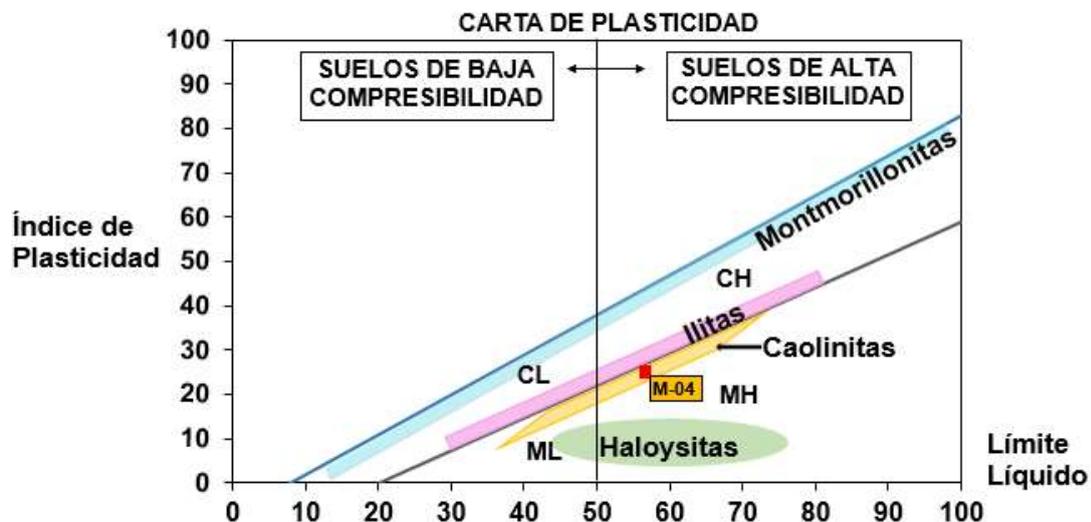


Gráfico 15: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 04.

#### 4.1.5.5. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 05

La muestra presentó un I.P.=41.16 y un L.L.=57.14, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es montmorillonita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 22: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 05.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	28.8	25.4	28.1	Wt.	28.5	43.2
Wmh. + t (g.)	39	36.5	38.9	Wmh. + t (g.)	36.9	51.5
Wms. + t (g.)	34.9	32.4	35.3	Wms. + t (g.)	35.8	50.3
Wmh.	10.2	11.1	10.8	Wmh.	8.4	8.3
Wms.	6.1	7	7.2	Wms.	7.3	7.1
Ww.	4.1	4.1	3.6	Ww.	1.1	1.2
W%	67.2	58.6	50.0	W%	15.1	16.9
N° de golpes	15	24	30			
L.L. (25 golpes)	57.14			L.P.	15.985	
				I.P.	41.16	

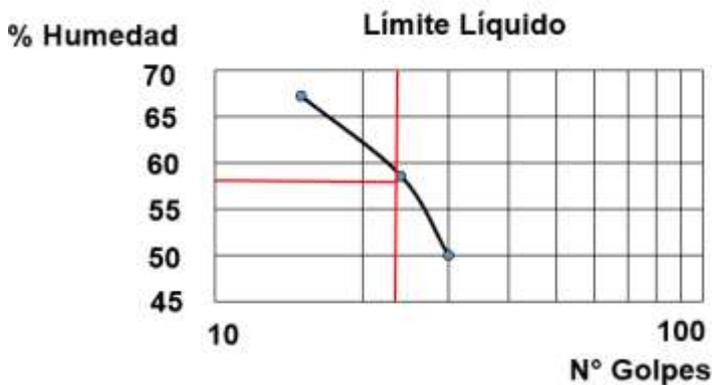


Gráfico 16: Límite líquido (25 golpes), de la muestra M - 05.

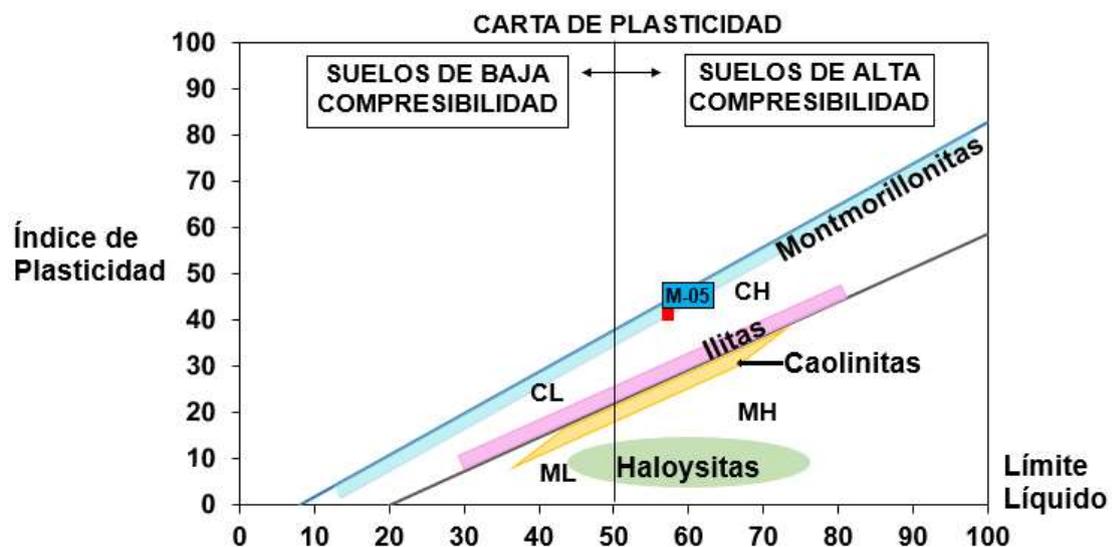


Gráfico 17: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 05.

#### 4.1.5.6. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 06

La muestra presentó un I.P.=31.42 y un L.L.=47.18, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es montmorillonita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 23: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 06.

Límite líquido (L.L)				Límite plástico (L.P)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	28	27.2	28.7	Wt.	28	27.9
Wmh. + t (g.)	38.9	37.9	39.3	Wmh. + t (g.)	36.4	37.1
Wms. + t (g.)	35.3	34.5	36.1	Wms. + t (g.)	35.3	35.8
Wmh.	10.9	10.7	10.6	Wmh.	8.4	9.2
Wms.	7.3	7.3	7.4	Wms.	7.3	7.9
Ww.	3.6	3.4	3.2	Ww.	1.1	1.3
W%	49.3	46.6	43.2	W%	15.1	16.5
N° de golpes	18	27	34			
L.L. (25 golpes)	47.18			L.P.	15.762	
			I.P.	31.42		

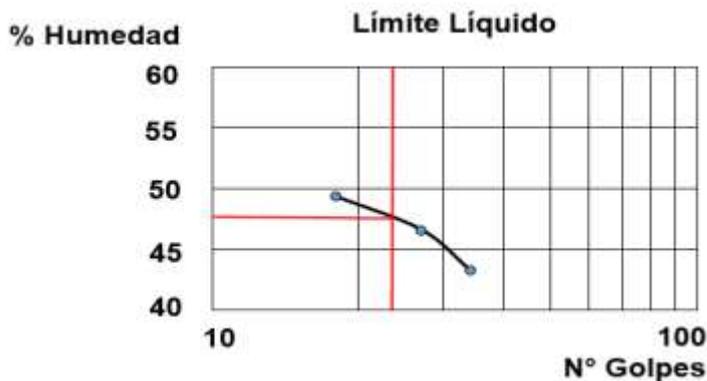


Gráfico 18: Límite Líquido (25 golpes), de la muestra M - 06.

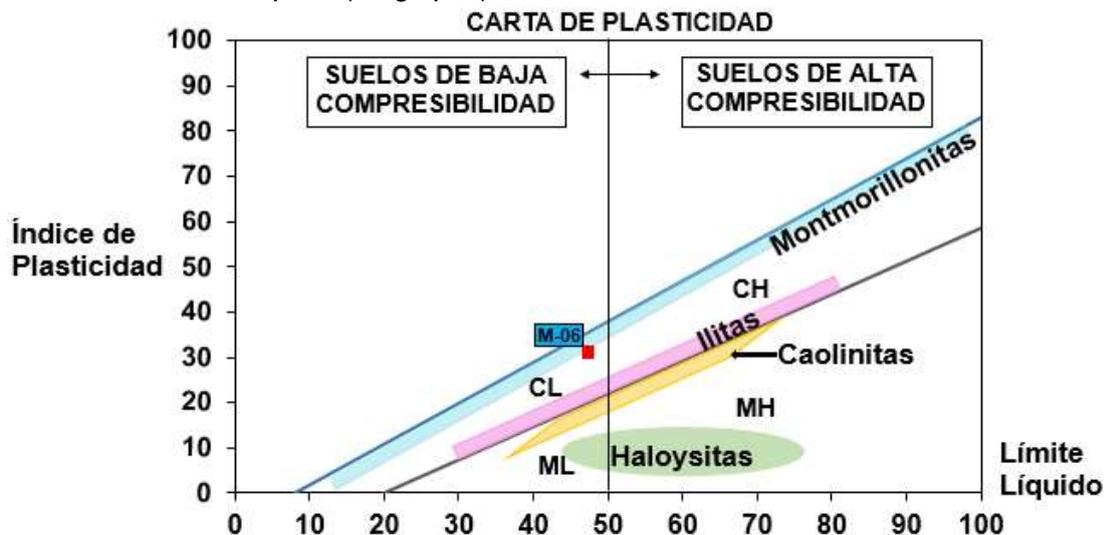


Gráfico 19: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 06.

#### 4.1.5.7. Análisis del índice de plasticidad de la muestra M - 07

La muestra presentó un I.P.=27.50 y un L.L.=57.99, con estos datos se determinó que el tipo de arcilla es caolinita teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 24: Ensayo de índice de plasticidad de la muestra M - 07.

Límite líquido (L.L.)				Límite plástico (L.P.)		
TARA	1	2	3	TARA	1	2
Wt.	27.3	29	27.7	Wt.	35.9	28.1
Wmh. + t (g.)	38.4	39.5	39.8	Wmh. + t (g.)	44.2	36.5
Wms. + t (g.)	33.9	35.7	35.9	Wms. + t (g.)	42.2	34.6
Wmh.	11.1	10.5	12.1	Wmh.	8.3	8.4
Wms.	6.6	6.7	8.2	Wms.	6.3	6.5
Ww.	4.5	3.8	3.9	Ww.	2	1.9
W%	68.2	56.7	47.6	W%	31.7	29.2
N° de golpes	17	26	30			
L.L. (25 golpes)	57.99			L.P.	30.4884	
				I.P.	27.50	

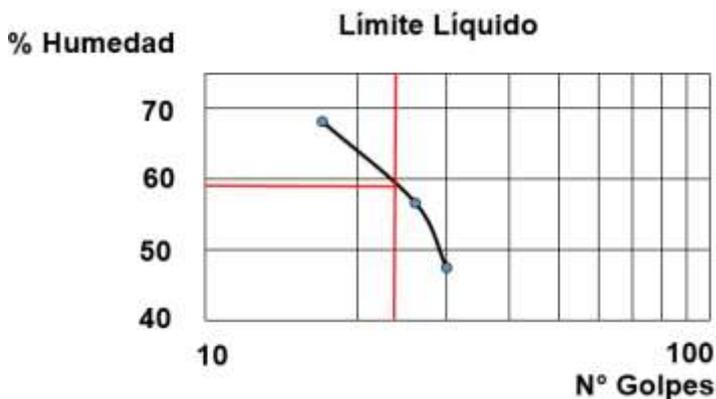


Gráfico 20: Límite Líquido (25 golpes), de la muestra M - 07.

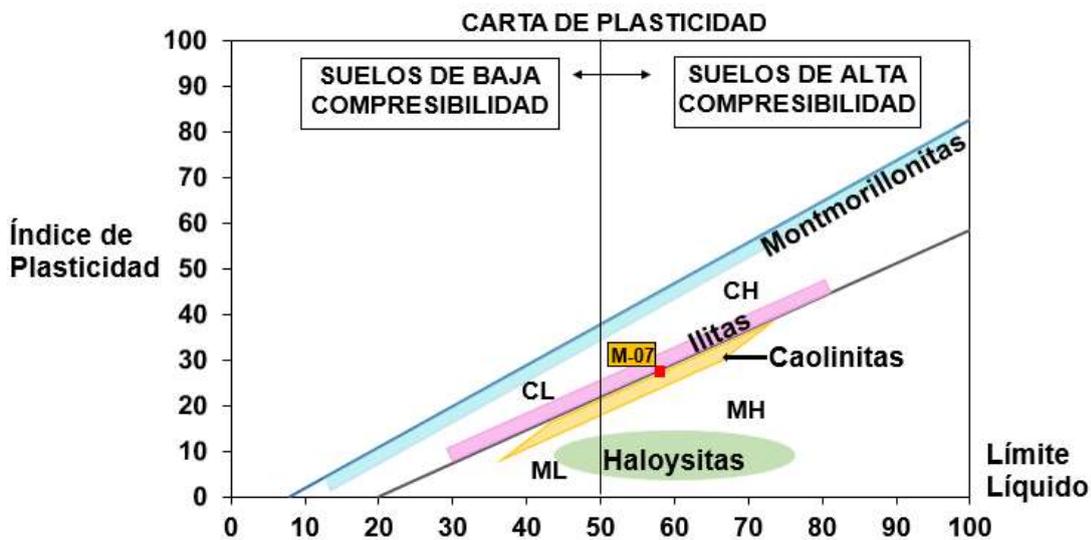


Gráfico 21: Tipo de arcilla según índice de plasticidad de la muestra M - 07.

De las 7 muestras seleccionadas; teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad se determinó que 3 muestras fueron identificadas como caolinitas (M - 02, M - 04, M - 07), 2 muestras identificadas como montmorillonitas (M - 05 y M - 06) y 2 muestras identificadas como illitas (M - 01 y M - 03).

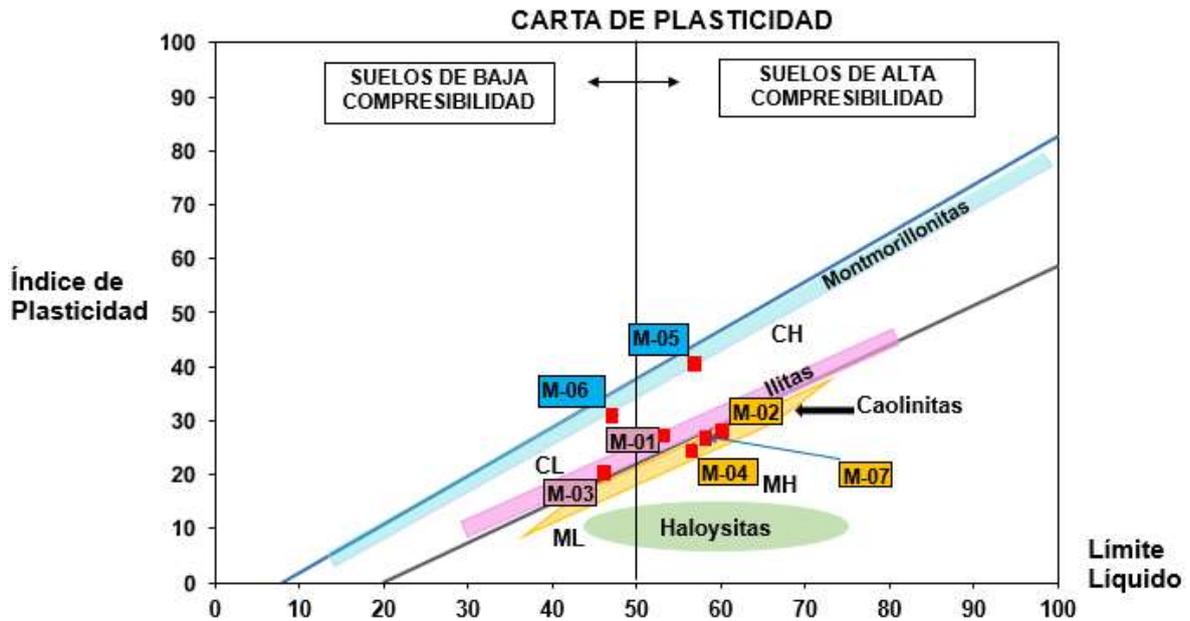


Gráfico 22: Muestras identificadas según la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad.

Cuadro 25: Datos de análisis de índice de plasticidad.

DATOS	M - 01.	M - 02.	M - 03.	M - 04.	M - 05.	M - 06.	M - 07.
%L.L. =	53.13	60.03	45.88	56.6	57.14	47.18	57.99
I.P. =	27.73	28.54	20.59	25.09	41.16	31.42	27.5

#### 4.1.6. Análisis de la estructura cristalina y difracción de Rayos X.

Para analizar la estructura cristalina y la difracción de Rayos X, se utilizó el programa PowderCell 2.4, de las 7 muestras de arcillas identificadas según la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad: 3 muestras de arcillas son caolinitas, 2 muestras de arcilla son montmorillonitas, y 2 muestras de arcilla son illitas.

##### 4.1.6.1. Procedimiento para obtener los ficheros de las arcillas.

Para la búsqueda de los ficheros de las arcillas se utilizó los elementos químicos en la tabla periódica de la American Mineralogist Crystal Structure Database (AMCSD.), una vez ingresado los elementos químicos se procedió a buscar los ficheros para el análisis de la estructura cristalina y la difracción de Rayos X.

##### Fichero de la caolinita

1 H	Elementos químicos de búsqueda.																2 He				
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				
87 Fr	88 Ra	89 Ac																			
		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu						
		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr						

Figura 13: Elementos de la caolinita en la tabla periódica.

El fichero de la caolinita se encuentra en el anexo B.

Caolinita	<a href="#">Mineral</a>
	<a href="#">Autor</a>
(Al,Si,O,H)	<a href="#">Búsqueda de química</a>
	<a href="#">Parámetros de celda y simetría</a>
	<a href="#">Búsqueda por difracción</a>
	<b>Búsqueda general</b>
	<a href="#">Consejos de búsqueda</a>
<input type="button" value="Restablecer"/> <input type="button" value="búsqueda"/>	

Figura 14: Búsqueda del fichero de la caolinita en la AMCSO.

### Fichero de la montmorillonita

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															

Elementos químicos de búsqueda.

Figura 15: Elementos de la montmorillonita en la tabla periódica.

Montmorillonita	<a href="#">Mineral</a>
	<a href="#">Autor</a>
(Al,Si,O,H,Ca,Mg,Rb)	<a href="#">Búsqueda de química</a>
	<a href="#">Parámetros de celda y simetría</a>
	<a href="#">Búsqueda por difracción</a>
	<b>Búsqueda general</b>
	<a href="#">Consejos de búsqueda</a>
<input type="button" value="Restablecer"/> <input type="button" value="búsqueda"/>	

Figura 16: Búsqueda del fichero de la montmorillonita en la AMCSO.

El fichero de la montmorillonita se encuentra en el anexo B.

## Fichero de la illita

Elementos químicos de búsqueda.

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac																
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Figura 17: Elementos de la illita en la tabla periódica.

illita	<u>Mineral</u>
	<u>Autor</u>
(Al,Si,Mg,O,Fe,O,	<u>Búsqueda de química</u>
	<u>Parámetros de celda y simetría</u>
	<u>Búsqueda por difracción</u>
	<b>Búsqueda general</b> <u>Consejos de búsqueda</u>
<input type="button" value="Restablecer"/> <input type="button" value="búsqueda"/>	

Figura 18: Búsqueda del fichero de la illita en la AMCSD.

#### 4.1.6.2. Procedimiento para determinar la estructura cristalina y difracción de Rayos X en PowderCell 2.4

En el procedimiento se utilizó ficheros de los materiales obtenidos de la American Mineralogist Crystal Structure Database (AMCSD.), los cuales se presentan en el anexo B, dentro de los ficheros se obtuvo información de las coordenadas atómicas, mediante los cuales se simuló la estructura cristalina de las arcillas encontradas además los perfiles de diagramas de difracción de Rayos X, en estos diagramas se analizó los parámetros de difracción. En los ficheros se tiene la siguiente información:

**A. Línea 1:** CELL seguido de seis numérico reales correspondientes a los parámetros de celda a, b, c, a, b, g. (Åstrongs, Å.)

**B. Línea 2 y sucesivas:** Cada línea se dedica a la información de cada átomo de la unidad asimétrica. Se debe suministrar:

Nombre del átomo (una etiqueta para identificarlo).

Especie atómica (código de la tabla periódica).

Tres números reales correspondientes a las coordenadas x, y, z del átomo.

Un número entero correspondiente al factor de ocupación del átomo (1.0)

Un número entero correspondiente al factor de temperatura del átomo (0.0).

**C. Línea final:** RGNR seguido del número del grupo espacial en el cristaliza el mineral. Obtenido de la tabla de grupo espacial.

CELL 5.148 8.92 14.535 90. 100.2 90.	<b>A. línea 1:</b>
Al1 Al 0.25000 -0.16700 0.00000 1.00000 0.00000	<b>B. línea 2 y sucesivas</b>
Al2 Al 0.25000 0.16700 0.00000 1.00000 0.00000	
Si1 Si 0.00800 0.50000 0.18800 1.00000 0.00000	
Si2 Si 0.00800 0.16700 0.18800 1.00000 0.00000	
O1 O -0.04600 0.50000 0.76000 1.00000 0.00000	
O2 O -0.04600 0.16700 0.76000 1.00000 0.00000	
O3 O -0.04600 -0.16700 0.76000 1.00000 0.00000	
O4 O 0.03300 0.33300 0.22900 1.00000 0.00000	
O5 O 0.28300 -0.41700 0.22900 1.00000 0.00000	
O6 O 0.28300 0.08300 0.22900 1.00000 0.00000	
O7 O 0.04600 0.00000 0.42400 1.00000 0.00000	
O8 O -0.45400 0.16700 0.42400 1.00000 0.00000	
O9 O 0.04600 0.33300 0.42400 1.00000 0.00000	
RGNR 9	<b>C. línea final</b>

Figura 19: Fichero de la caolinita PowderCell.

#### 4.1.6.3. Tipo de radiación utilizada

Para el tipo de radiación se utilizó la fuente de radiación, la longitud de onda y los tubos de conducción de los Rayos X.

**Fuente de radiación:** podemos seleccionar Rayos X o neutrones, para este caso se analizó mediante Rayos X.

**Longitud de onda de la radiación:** Intervalo angular en  $2\theta$ ., lo que equivale a la longitud de onda que se debe simular (2-theta range), para este caso se ha considerado desde 10 hasta 50.

**Conducción de los Rayos X,** para este caso solo se ha considerado tubos de Cu. ya que es el mejor conductor eléctrico.

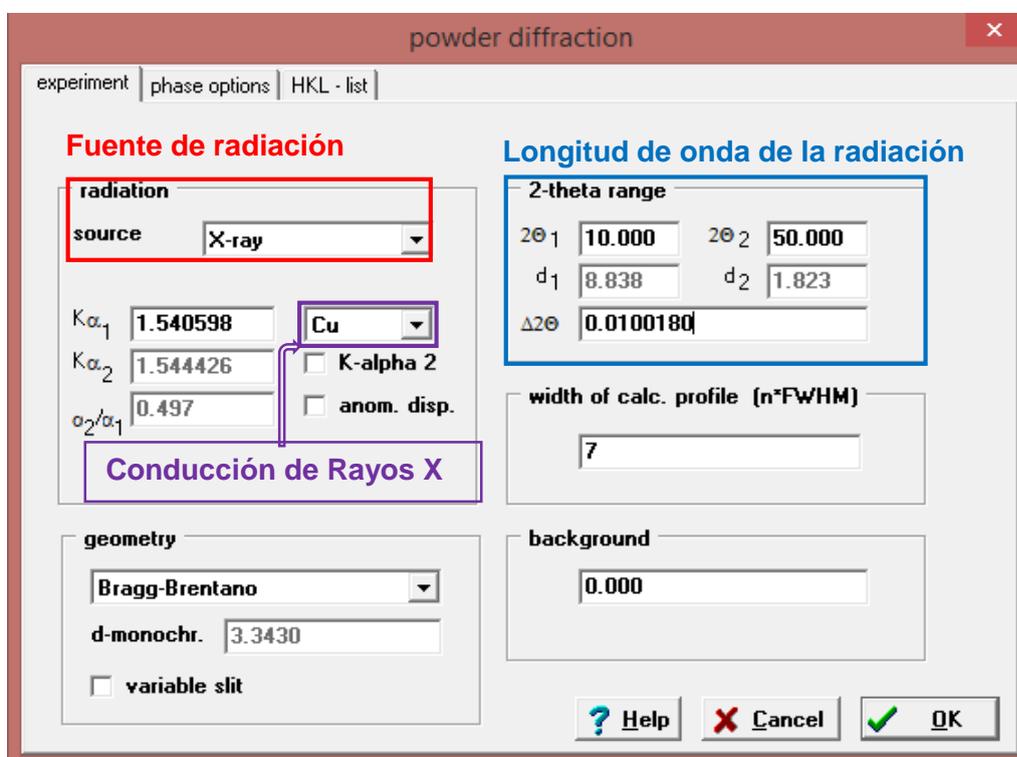


Figura 20: Herramientas para difracción de Rayos X.

Finalmente en la opción HKL-list se analizó los parámetros de difracción de Rayos X para las arcillas identificados mediante la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad: sus posiciones (ángulo  $2\theta$ ./deg.), sus índices de Miller (HKL.), sus intensidades relativas máximas 100%. (I./rel.).

#### 4.1.6.4. Análisis de la estructura cristalina de las arcillas identificadas

Una vez obtenidos los ficheros del AMCSD, de las arcillas identificadas, los cuales se presentan en el anexo B, agregamos al programa PowderCell 2.4 para generar la estructura cristalina interna de las arcillas: 3 muestras de arcillas caolinitas, 2 montmorillonitas y 2 illitas. Arcillas que fueron identificadas teniendo en cuenta la influencia de la composición mineralógica en la plasticidad (determinado por el índice de plasticidad y el límite líquido).

##### Análisis de la estructura cristalina de la caolinita.

Aluminio: (Al.), número atómico en la tabla periódica = 13

Silicio: (Si.), número atómico en la tabla periódica = 14

Oxígeno: (O.), número atómico en la tabla periódica = 8

Fórmula química:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

$\rho = 2.570 \text{ g/cm}^3$ .

$\alpha = 90^\circ$ ;  $\beta = 100.2^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ .

Grupo espacial de cristalización / número de grupo: Cc- 9

structure data

initial data

D:\PowderCell\Caolinita

lattice constants

space-group No 9 setting 1 C 1 c 1 atoms in cell: 52.0 (52 pos)

a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
5.1480	8.9200	14.5350	90.0000	100.2000	90.0000

cell vol: 656.902 Å<sup>3</sup> density: 2.570 g/cm<sup>3</sup> rel. mass: 1016.518 mass abs coef: 30.250 cm<sup>2</sup>/g

name	Z	ion	Wyck	x	y	z	SOF	B (temp)	
1	Al1	13	Al	4a	0.25000	-0.16700	0.00000	1.0000	0.0000
2	Al2	13	Al	4a	0.25000	0.16700	0.00000	1.0000	0.0000
3	Si1	14	Si	4a	0.00800	0.50000	0.18800	1.0000	0.0000
4	Si2	14	Si	4a	0.00800	0.16700	0.18800	1.0000	0.0000
5	O1	8	O	4a	-0.04600	0.50000	0.76000	1.0000	0.0000
6	O2	8	O	4a	-0.04600	0.16700	0.76000	1.0000	0.0000
7	O3	8	O	4a	-0.04600	-0.16700	0.76000	1.0000	0.0000

+ atom - atom comment ? Help X Cancel OK

Figura 21: Estructura de la Caolinita.

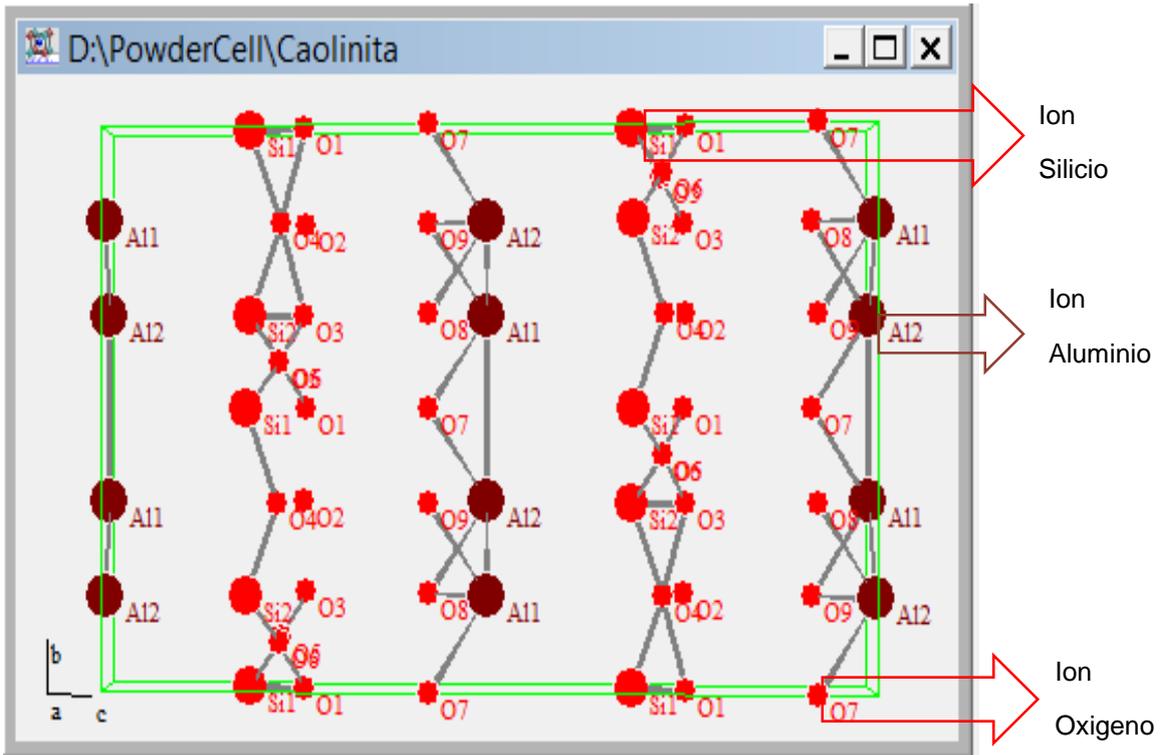


Figura 22: Representación de la estructura cristalina de la caolinita.

### Análisis de la difracción de Rayos X de la caolinita.

Una vez generado la estructura cristalina se procedió a analizar la difracción de Rayos X de la caolinita.

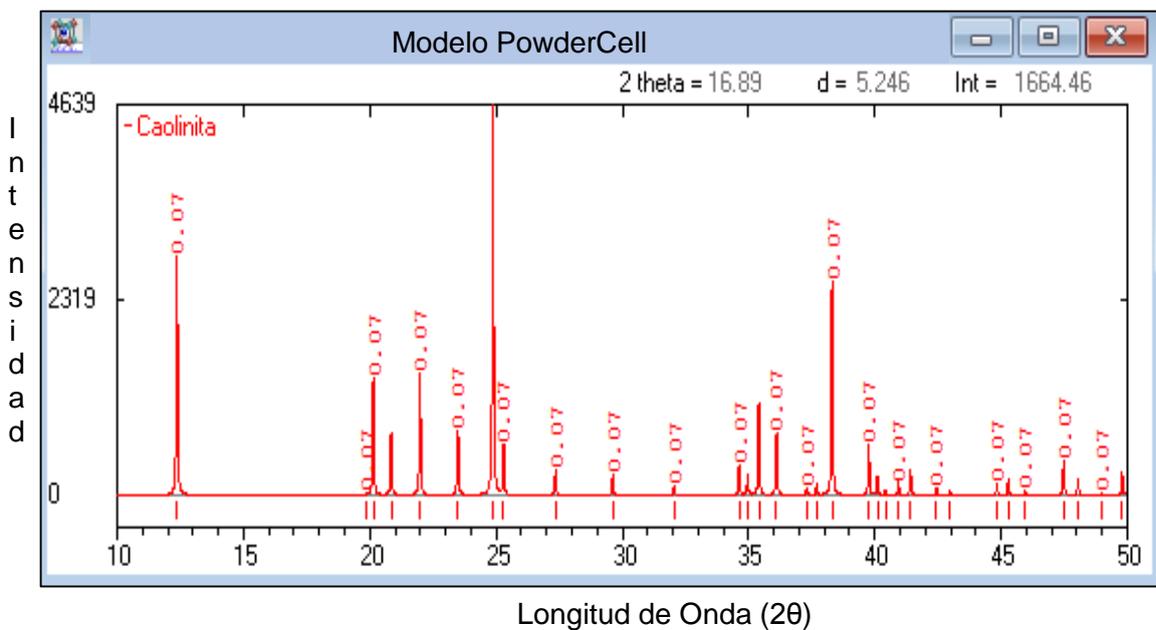


Figura 23: Difractograma la caolinita.

Mineral: Caolinita

Máxima intensidad: 100%.

Índice de Miller (hkl): (0 0 4)

Posición del pico máximo ( $2\theta/^\circ$ ): 24.877°

H	K	L	$2\theta / \text{deg}$	$d / \text{Å}$	I / rel	F(HKL)	MU	FWHM
0	0	2	12.365	7.15264	61.40	104.46	2	0.071
0	2	0	19.891	4.46000	0.10	6.77	2	0.071
1	1	0	20.140	4.40555	12.21	54.24	4	0.071
-1	1	1	20.140	4.40554	17.61	65.13	4	0.071
0	2	1	20.846	4.25786	15.77	63.88	4	0.071
1	1	1	21.989	4.03910	13.46	62.38	4	0.071
-1	1	2	21.989	4.03908	17.60	71.34	4	0.071
0	2	2	23.488	3.78454	16.34	73.62	4	0.071
0	0	4	24.877	3.57632	100.00	273.59	2	0.071
1	1	2	25.303	3.51707	3.92	39.00	4	0.071
-1	1	3	25.303	3.51705	8.75	58.25	4	0.071

Figura 24: Ubicación de la intensidad de la caolinita.

### Análisis de la estructura cristalina de la illita.

Potasio: (K.), número atómico en la tabla periódica = 19

Aluminio: (Al.), número atómico en la tabla periódica = 13

Silicio: (Si.), número atómico en la tabla periódica = 14

Oxígeno: (O.), número atómico en la tabla periódica = 8

Fórmula química:  $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$

$\rho=2.820 \text{ g/cm}^3$ .

$\alpha= 90^\circ$ ;  $\beta= 100.157^\circ$ ,  $\gamma= 90^\circ$ .

Grupo espacial de cristalización / número de grupo: (C2/m) / 12

structure data

initial data

D:\PowderCell\illita

lattice constants

space-group No 12 setting 1 C 1 2/m 1 atoms in cell: 38.0 (38 pos)

a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
5.2021	8.9797	10.2260	90.0000	101.5700	90.0000

cell vol: 467.985 Å<sup>3</sup> density: 2.820 g/cm<sup>3</sup> rel. mass: 794.803 mass abs coef: 43.325 cm<sup>2</sup>/g

name	Z	ion	Wyck	x	y	z	SOF	B (temp)	
1	K	19	K	2d	0.00000	0.50000	0.50000	1.0000	0.0000
2	Al1	13	Al	4g	0.00000	0.33330	0.00000	1.0000	0.0000
3	Si1	14	Si	8j	0.41910	0.32800	0.26880	1.0000	0.0000
4	O1	8	O	8j	0.34870	0.31000	0.10630	1.0000	0.0000
5	O2	8	O	4i	0.00160	0.00000	0.68690	1.0000	0.0000
6	O3	8	O	8j	0.67150	0.22460	0.33500	1.0000	0.0000
7	OH	8	O	4i	0.58090	0.00000	0.89940	1.0000	0.0000

+ atom - atom comment ? Help X Cancel OK

Figura 25: Estructura de la illita

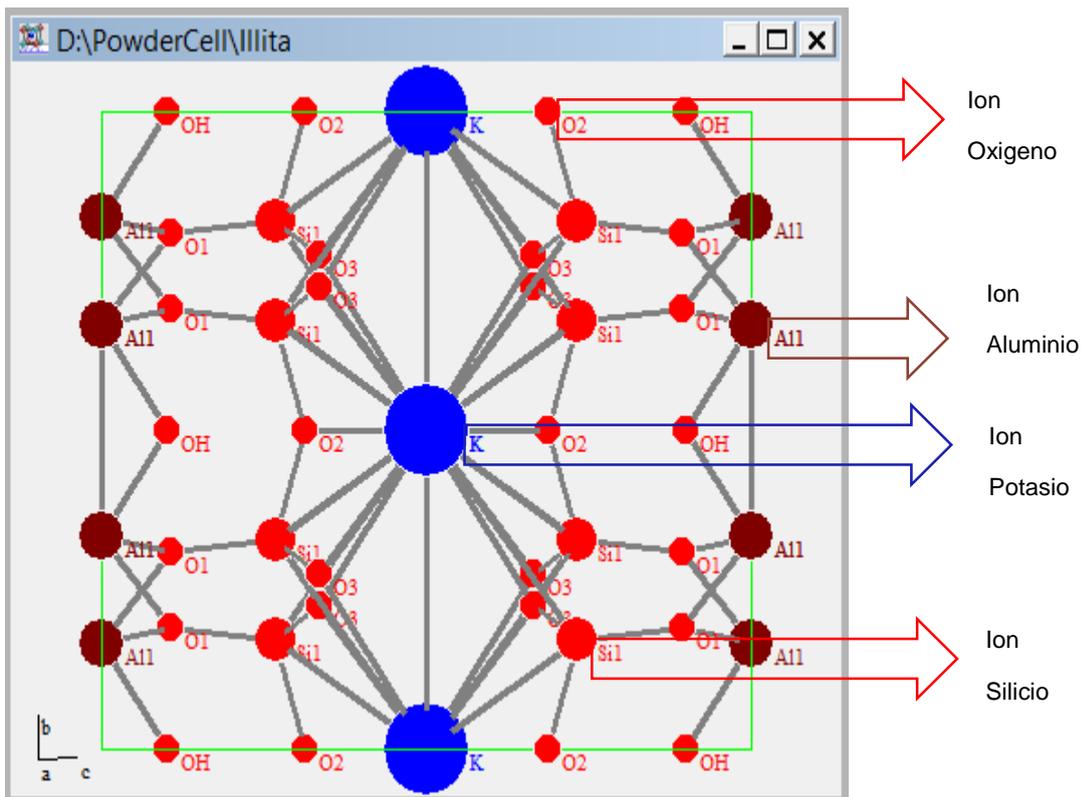


Figura 26: Representación de la estructura cristalina de la illita.

### Análisis de la difracción de Rayos X de la illita.

Una vez generado la estructura cristalina se procedió a analizar la difracción de Rayos X de la illita.

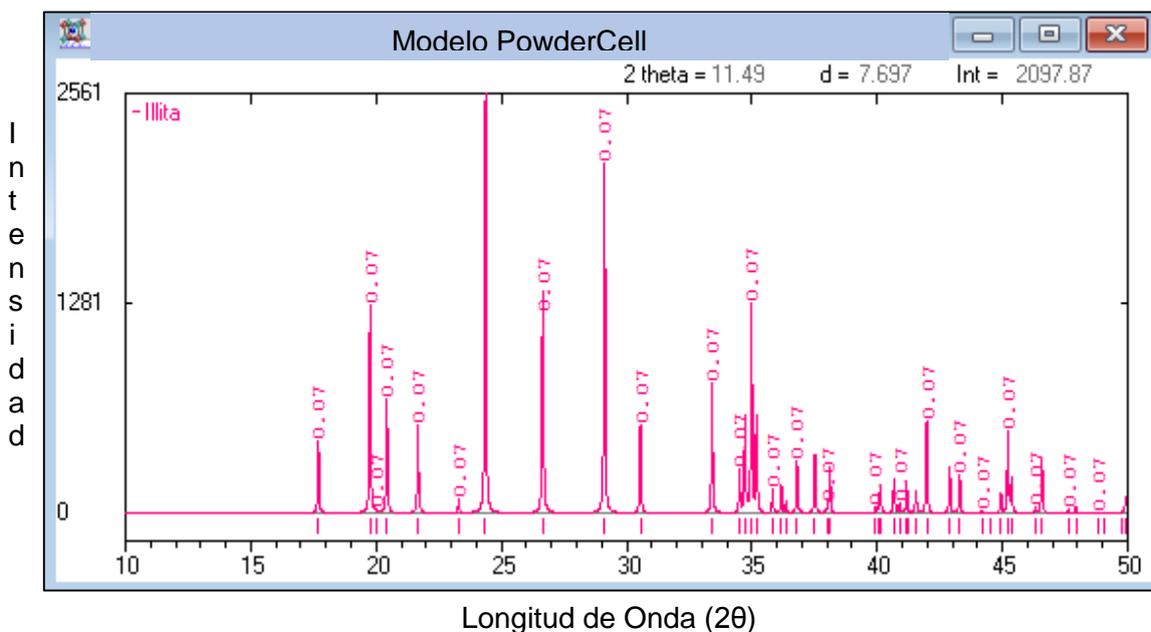


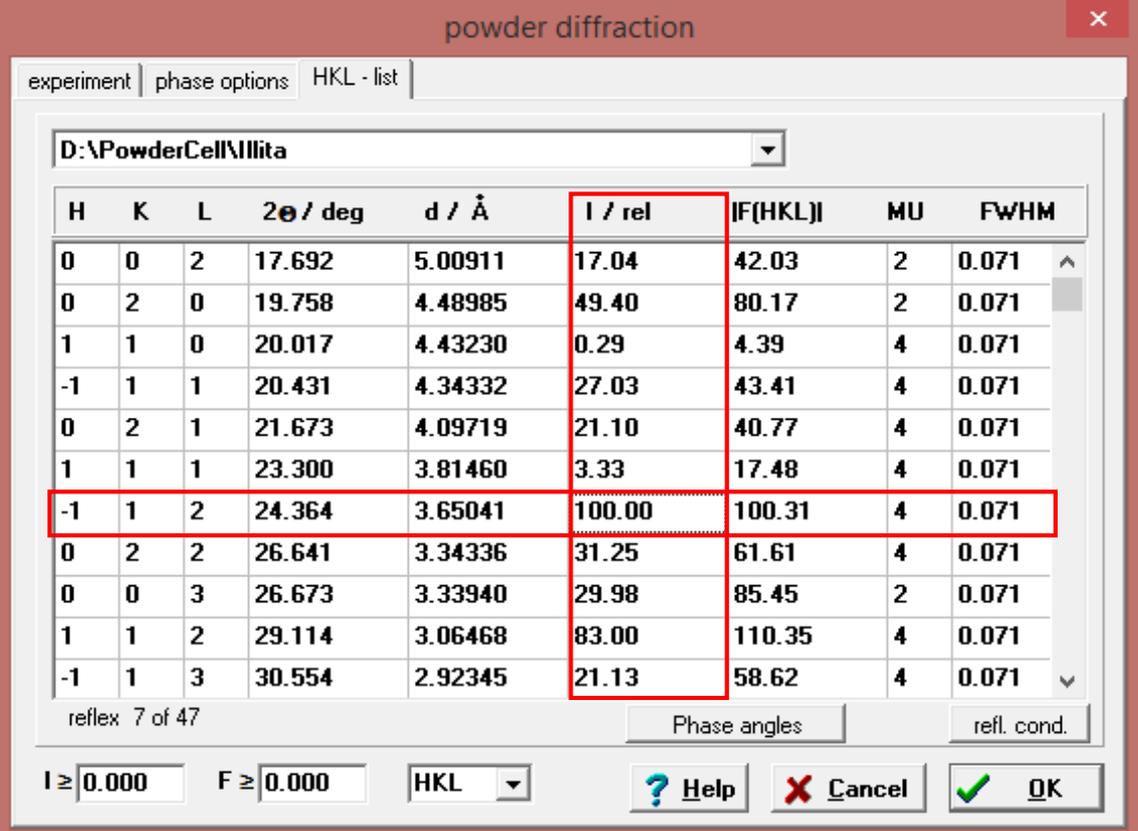
Figura 27: Difractograma de la illita.

Mineral: Illita

Máxima intensidad: 100%.

Índice de Miller (hkl): (-1 1 2)

Posición del pico máximo ( $2\theta/^\circ$ ): 24.364°



H	K	L	$2\theta / \text{deg}$	$d / \text{Å}$	I / rel	F(HKL)	MU	FWHM
0	0	2	17.692	5.00911	17.04	42.03	2	0.071
0	2	0	19.758	4.48985	49.40	80.17	2	0.071
1	1	0	20.017	4.43230	0.29	4.39	4	0.071
-1	1	1	20.431	4.34332	27.03	43.41	4	0.071
0	2	1	21.673	4.09719	21.10	40.77	4	0.071
1	1	1	23.300	3.81460	3.33	17.48	4	0.071
-1	1	2	24.364	3.65041	100.00	100.31	4	0.071
0	2	2	26.641	3.34336	31.25	61.61	4	0.071
0	0	3	26.673	3.33940	29.98	85.45	2	0.071
1	1	2	29.114	3.06468	83.00	110.35	4	0.071
-1	1	3	30.554	2.92345	21.13	58.62	4	0.071

Figura 28: Ubicación de la intensidad de la illita.

### **Análisis de la estructura cristalina de la montmorillonita.**

Aluminio: (Al.), número atómico en la tabla periódica = 13

Silicio: (Si.), número atómico en la tabla periódica = 14

Oxígeno: (O.), número atómico en la tabla periódica = 8

Calcio: (Ca.), número atómico en la tabla periódica = 20

Fórmula química:  $(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

$\rho = 3.792 \text{ g/cm}^3$ .

$\alpha = 90^\circ$ ;  $\beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ .

Grupo espacial de cristalización/ número de grupo: C2/m- 12

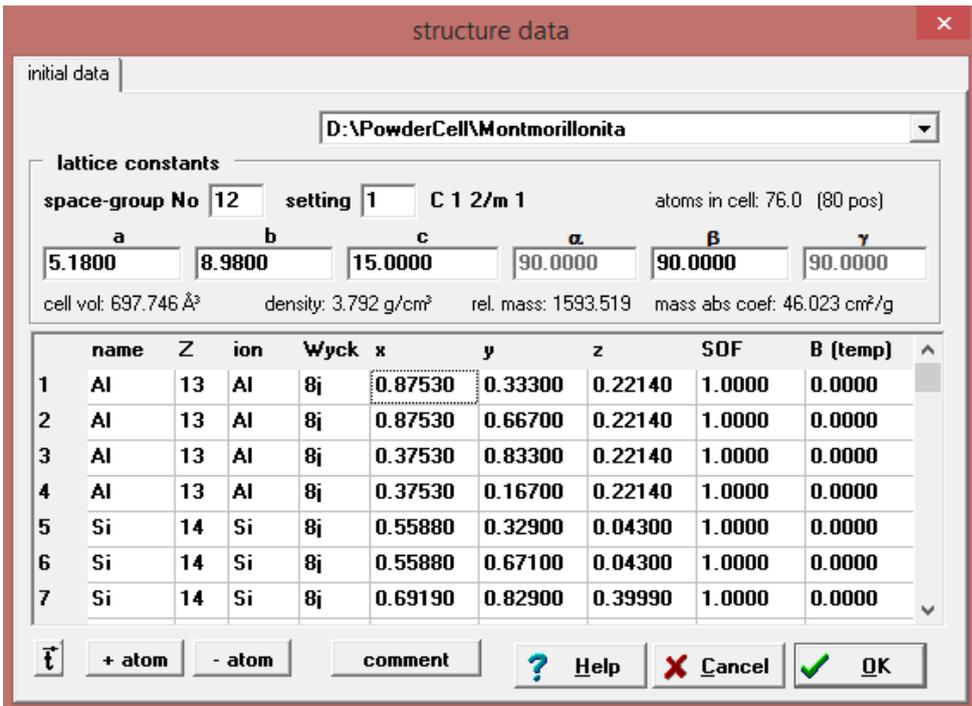


Figura 29: Estructura de la montmorillonita.

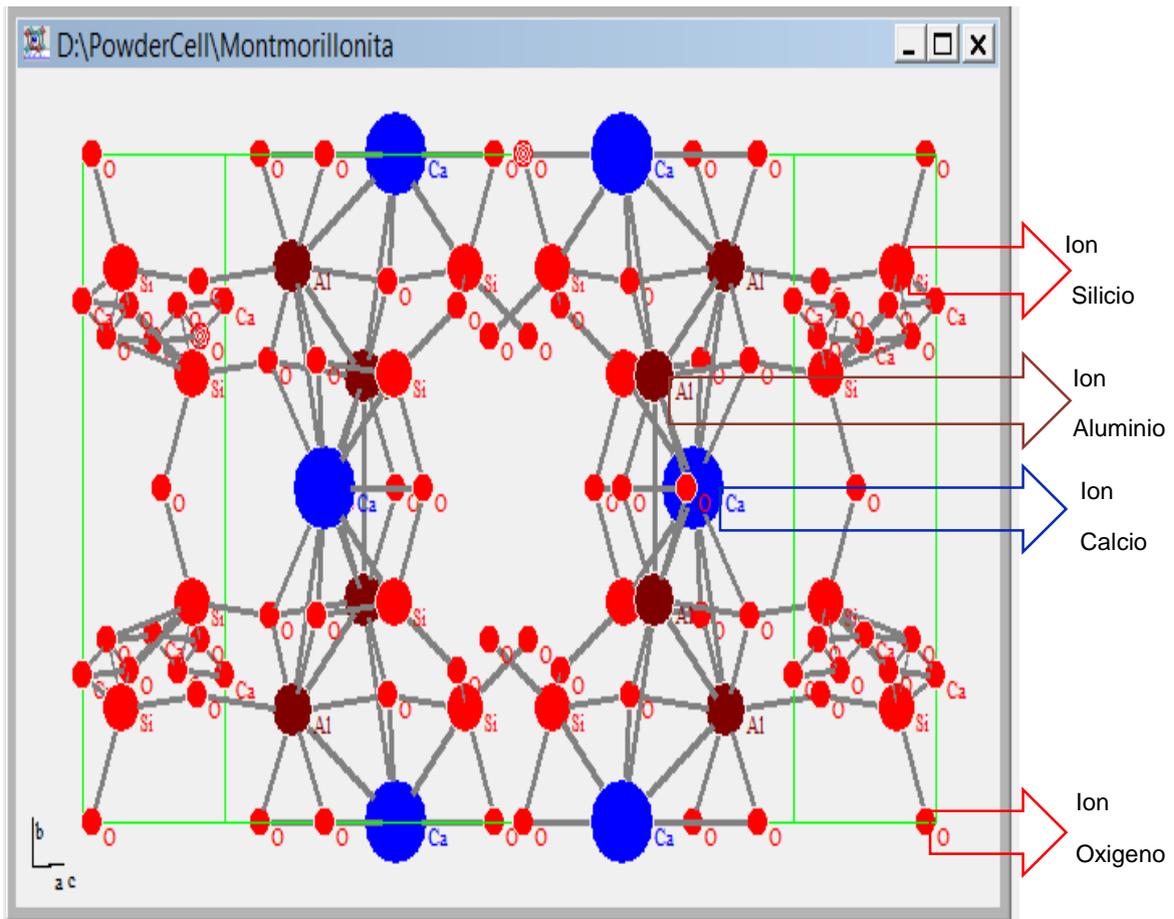


Figura 30: Estructura cristalina de la montmorillonita.

## Análisis de la difracción de Rayos X de la montmorillonita.

Una vez generado la estructura cristalina se procedió a analizar la difracción de Rayos X de la montmorillonita.

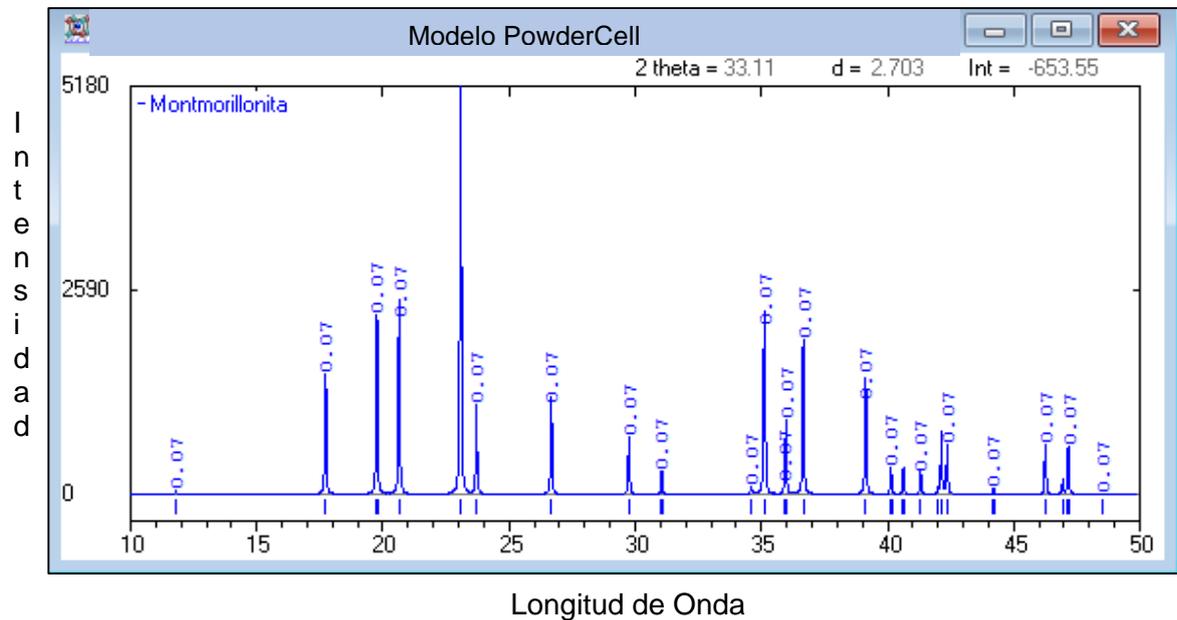


Figura 31: Difractograma de la montmorillonita.

Mineral: montmorillonita.

Máxima intensidad: 100%.

Índice de Miller (hkl): (-1 1 2)

Posición del pico máximo ( $2\theta$ ): 23.080°

powder diffraction

experiment phase options HKL - list

D:\PowderCell\Montmorillonita

H	K	L	$2\theta$ / deg	d / Å	I / rel	F(HKL)	MU	FWHM
0	0	2	11.790	7.50000	1.23	12.94	2	0.071
0	0	3	17.725	5.00000	43.92	117.14	2	0.071
0	2	0	19.757	4.49000	64.58	158.85	2	0.071
1	1	0	19.770	4.48701	1.45	16.84	4	0.071
0	2	1	20.632	4.30143	5.06	32.89	4	0.071
-1	1	1	20.645	4.29880	3.60	27.74	4	0.071
1	1	1	20.645	4.29880	64.24	117.24	4	0.071
0	2	2	23.068	3.85241	47.11	112.68	4	0.071
-1	1	2	23.080	3.85052	100.00	164.26	4	0.071
1	1	2	23.080	3.85052	5.32	37.88	4	0.071
0	0	4	23.707	3.75000	33.27	137.80	2	0.071

reflex 9 of 66

Phase angles refl. cond.

I ≥ 0.000 F ≥ 0.000 HKL

Help Cancel OK

Figura 32: Ubicación de la intensidad de la montmorillonita.

#### **4.2. Contrastación de la hipótesis**

Las siete muestras seleccionadas en el caserío de Chilcapampa están conformadas por arcilla tipo común, ya que hay dos depósitos de arcillas illitas, dos depósitos de arcillas montmorillonitas y tres depósitos de arcillas caolinitas las cuales son utilizadas para la fabricación de ladrillos artesanales, son de calidad baja (montmorillonitas) lo cual se comprobó por la influencia de la composición mineralógica, además son de alta plasticidad sobre todo las arcillas (caolinitas e illitas) con un límite líquido de hasta 60% perteneciente a una caolinita, son de textura fina se pudo comprobar mediante la curva de distribución granulométrica de las siete muestras .

Por lo tanto, estas arcillas son favorables para el uso en la elaboración de ladrillos artesanales, constituyendo un gran potencial de aprovechamiento industrial no metálico para la localidad del caserío Chilcapampa y la región Cajamarca. Con lo cual se confirma la hipótesis inicialmente planteada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

Las características tales como: tipo común (M - 01, M - 03), calidad baja (M - 05, M - 06), alta plasticidad (M - 02, M - 04 y M - 07), textura muy fina (< 0.002 mm.); permitieron determinar como arcillas aptas para el uso en ladrillos artesanales.

Las características macroscópicas: aspectos generales (dureza, fractura, porosidad); elementos texturales (tamaño de grano, esfericidad, redondez) y composición (matriz y óxidos de hierro); fueron determinadas mediante la clasificación petrográfica de rocas clásticas.

El ensayo granulométrico definió el porcentaje de material fino (limos y arcillas), arenas y gravas, los porcentajes obtenidos de limos y arcillas: 43% (M - 01), 58% (M - 02), 41% (M - 03), 56% (M - 04), 52% (M - 05), 46% (M - 06), 55% (M - 07); fueron adecuados para describir las arcillas según la curva granulométrica.

La influencia de la composición mineralógica relacionada entre el límite líquido y el índice de plasticidad; determinan la calidad de las arcillas: 3 muestras de arcillas caolinitas, 2 montmorillonitas y 2 illitas.

Se determinó seis depósitos de arcilla mediante la ubicación de los afloramientos en diversos sectores (Huachuma: 1, El Bosque: 1, Ambade: 3, Zarzapampa: 1); del caserío Chilcapampa.

## **5.2. Recomendaciones**

Mediante ensayo de resistencia a la compresión, evaluar la resistencia de los ladrillos artesanales para determinar la calidad.

Realizar el cálculo de reservas de los depósitos zonificados, por el método de perfiles y otros métodos a fin de optimizar su producción.

A los estudiantes de Ingeniería Geológica, utilizar el programa PowderCell 2.4 para generar la estructura cristalina y la difracción de Rayos X de minerales metálicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adauto, A. 2017. Evaluación de la capacidad de adsorción de las arcillas organofílicas para la adsorción de nitratos y nitritos en soluciones acuosas. Tesis Mg. Químico, San Miguel, Perú. PUCP. 15p.
- Alda, F. 2014. Meteorización y Edafogénesis. Investigación geología, biología y ciencias ambientales. PhD., Madrid, España, UCM. 1p.
- Aliaga, G. 2017. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales de la ciudad de Celendín. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, Perú, UNC. 84p.
- Allauca, J. 2011. Caracterización mineralógica y tecnológica de muestras de arcillas pertenecientes a la provincia de Santa Elena - Ecuador. Tesis Ing. Mecánico. Guayaquil, Ecuador, ESPOL. 2p.
- Arapa, V. 2016. Formato de clasificación de rocas detríticas. Petrología sedimentaria, Documento PS-P-15.01-02. UNC - 2016.
- Braja, M. Das. 2001. Principios de Ingeniería de cimentaciones. México: International Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Castro, D. 1989. Petrografía Básica. Texturas, clasificación y nomenclatura en rocas, Paraninfo, Madrid.
- Deleg, N. 2010. Definición de un proceso de producción semi-industrial de ladrillos en la Parroquia Susudel. Tesis Ing. Químico. Cuenca – Ecuador, UCUENCA.
- Díaz, A; Ramírez, J. 2009. Compendio de Rocas y Minerales Industriales del Perú.
- Díaz, A; Zedano, J. 2006. Caracterización de las Arcillas en el Perú: Mercados y perspectivas.
- Díaz, L; 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.
- Fernández, K. 2010. Estudio de la Influencia del Tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Bárbara - Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, Perú. UNC. 188 p.
- Gallegos, H; Casabonne, C. 2005. Albañilería estructural. Perú: Fondo editorial PUCP. Tercera edición.

- Garay, R; Mena, M. 2007. Clasificación de Arcillas presentes en los bancos de Guatajiagua, departamento de Morazán, y Facultad Multidisciplinaria Oriental. Tesis Ing. Civil. San Salvador. UES. Agosto de 2007.
- García, E; Suárez, M. 2002. Las arcillas: propiedades y usos. Universidad Complutense de Madrid, España.
- González de Vallejo, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Guzmán, A. 2014. Síntesis y caracterización de materiales cerámicos compuestos por caolín y alúmina. Tesis Mg. Sc. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Lozano, M; González, S. 2016. Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del Sector Alfarero de Candelaria. Tesis Ing. Industrial. Santiago de Cali – Colombia. PUJ. Julio de 2016.
- Maldonado, D. 2003. Estudio de la arcilla para la fabricación del ladrillo cocido en Huancayo y Pucallpa. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú, UNI., 24p.
- Mamani, R. 2015. Estudio y evaluación de formulación de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco. Tesis Ing. de Materiales. Arequipa, Perú, UNSA., 83p.
- Mendoza, A. 2000. Geoquímica de arcillas - casos peruanos. Tesis Mtro. en Geología. Lima, Perú, UNI.
- Mitchell, J; Soga, K. 2005. Fundamentos del comportamiento del suelo (3ª edición). New York: Limusa Wiley, S.A.
- Ortega, P. 2012. Diseño para la explotación de la cantera de arcilla, barrio Cera-Cantón Loja. Tesis Ing. en Geología y Minas. Loja, Ecuador, UTPL., 84p.
- Picasso, G; Sun, M. 2008. Aplicaciones tecnológicas de las arcillas modificadas. Revista de la Sociedad Química del Perú, Vol. 74, Núm. 1, 2008, p. 57-74.
- Powers, M. 1982. Comparison chart for estimating roundness and sphericity: GI (American Geological Institute), Alexandria, Va., data sheet 18.1.
- Salazar, F; Alarcón, D. 2016. Evaluación económica para explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión minera Rumicucho, Centro Poblado Huayrapongo, Distrito de Llacanora, Provincia y Departamento de Cajamarca, 2016. Tesis Ing. Minas. Cajamarca, Perú, UPN., 84p.

- Vergara, B. 2017. Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora-Cajamarca, Perú – 2015. Tesis Ing. Geólogo, Cajamarca, Perú, UNC., 82p.
- Zea, N. 2005. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, noviembre 2005, p. 15 – 47.

## ANEXOS

### A. Álbum fotográfico



Foto 31: Depósito de arcillita limosa dentro de los estratos de calizas gris clara de la Formación Cajamarca. (Norte: 9257545, Este: 773125).



Foto 32: Depósitos de arcillita limosa en el Volcánico Huambos, ubicados en la carretera Mayhuasi - Shihua. (Norte: 9257259, Este: 773412).



Foto 33: Depósitos de limolita arcillosa producto de la alteración de tobas del Volcánico Huambos en la carretera que une Chilcapampa - Shihua. (Norte: 9257789, Este: 772552).



Foto 34: Depósitos de limolita arcillosa sobre tobas del Volcánico Huambos en el sector Zarzapampa (Norte: 9257655, Este: 772608).



Foto 35: Afloramiento del Volcánico Huambos con abundante vegetación. (Norte: 9257645, Este: 772917).



Foto 36: Áreas de cultivo inaccesibles en arcillita limosa, cerca de la escuela n° 821031 del caserío Chilcapampa. (Norte: 9258217, Este: 772653).

## B. Ficheros PowderCell 2.4

Datos usados para generar la estructura cristalina y los difractogramas de las arcillas identificadas.

### Caolinita

```
☑ Kaolinite
🌐 Gruner W
Zeitschrift fur Kristallographie 83 (1932) 75-88
The Crystal Structure of Kaolinite
_cod_database_code 1011045
_database_code_amcsd 0017947
5.148 8.92 14.535 90 100.2 90 Cc
atom  x    y    z
Al1   .25  -.167  0
Al2   .25   .167  0
Si1   .008   .5   .188
Si2   .008   .167 .188
O1    -.046   .5   .076
O2    -.046   .167 .076
O3    -.046  -.167 .076
O4    .033   .333 .229
O5    .283  -.417 .229
O6    .283   .083 .229
O7    .046    0   .424
O8   -.454   .167 .424
O9    .046   .333 .424

CELL 5.148 8.92 14.535 90. 100.2 90.
Al1 Al 0.25000 -0.16700 0.00000 1.00000 0.00000
Al2 Al 0.25000 0.16700 0.00000 1.00000 0.00000
Si1 Si 0.00800 0.50000 0.18800 1.00000 0.00000
Si2 Si 0.00800 0.16700 0.18800 1.00000 0.00000
O1  O -0.04600 0.50000 0.76000 1.00000 0.00000
O2  O -0.04600 0.16700 0.76000 1.00000 0.00000
O3  O -0.04600 -0.16700 0.76000 1.00000 0.00000
O4  O 0.03300 0.33300 0.22900 1.00000 0.00000
O5  O 0.28300 -0.41700 0.22900 1.00000 0.00000
O6  O 0.28300 0.08300 0.22900 1.00000 0.00000
O7  O 0.04600 0.00000 0.42400 1.00000 0.00000
O8  O -0.45400 0.16700 0.42400 1.00000 0.00000
O9  O 0.04600 0.33300 0.42400 1.00000 0.00000
RGNR 9
```

Figura 33: Fichero PowderCell de la caolinita.

## Illita

**Illite**  
Drits V A, Zviagina B B, McCarty D K, Salyn A L  
 American Mineralogist 95 (2010) 348-361  
Factors responsible for crystal-chemical variations in the solid solutions  
from illite to aluminoceladonite and from glauconite to celadonite  
Locality: Silver caldera, San Juan Mountains, Colorado  
Sample Name: RM30  
\_database\_code\_amcsd 0005015  
5.2021 8.9797 10.226 90 101.57 90 C2/m  
atom x y z  
K 0 .5 .5  
Al .5 .1667 0  
Si .4191 .3280 .2688  
O1 .3487 .3100 .1063  
O2 .4984 .5 .3131  
O3 .6715 .2246 .3350  
OH .4191 0 .1006

```
CELL 5.2021 8.9797 10.226 90. 101.57 90.  
K K 0.00000 0.50000 0.50000 1.00000 0.00000  
Al1 Al 0.50000 0.16670 0.00000 1.00000 0.00000  
Si1 Si 0.41910 0.32800 0.26880 1.00000 0.00000  
O1 O 0.34870 0.31000 0.10630 1.00000 0.00000  
O2 O 0.49840 0.50000 0.31310 1.00000 0.00000  
O3 O 0.67150 0.22460 0.33500 1.00000 0.00000  
OH OH 0.41910 0.00000 0.10060 1.00000 0.00000  
RGNR 12
```

Figura 34: Fichero PowderCell de la illita.

## Montmorillonita

**Montmorillonite**  
 Viani A, Gualtieri A, Artioli G  
 American Mineralogist 87 (2002) 966-975  
 The nature of disorder in montmorillonite by simulation of X-ray powder patterns  
 Note: Structural simulation model  
 \_database\_code\_amcsd 0002868  
 5.18 8.98 15.00 90 90 90 P1  

atom	x	y	z	occ	Uiso
Al	.8753	.3330	.2214	.02	
Al	.8753	.6670	.2214	.02	
Al	.3753	.8330	.2214	.02	
Al	.3753	.1670	.2214	.02	
Si	.5588	.3290	.0430	.02	
Si	.5588	.6710	.0430	.02	
Si	.6919	.8290	.3999	.02	
Si	.6919	.1710	.3999	.02	
Si	.0588	.8290	.0430	.02	
Si	.0588	.1710	.0430	.02	
Si	.1919	.3290	.3999	.02	
Si	.1919	.6710	.3999	.02	
O	.5134	.5	.0099	.02	
O	.8280	.7280	0	.02	
O	.8280	.2720	0	.02	
O	.4954	0	.1520	.02	
O	.5682	.6910	.1487	.02	
O	.5722	.3090	.1487	.02	
O	.7373	0	.4329	.02	
O	.4227	.2280	.4428	.02	
O	.4227	.7720	.4428	.02	

```

CELL 5.18 8.98 15.00 90 90 90
Al Al .8753 .3330 .2214 1.00000 0.00000
Al Al .8753 .6670 .2214 1.00000 0.00000
Al Al .3753 .8330 .2214 1.00000 0.00000
Al Al .3753 .1670 .2214 1.00000 0.00000
Si Si .5588 .3290 .0430 1.00000 0.00000
Si Si .5588 .6710 .0430 1.00000 0.00000
Si Si .6919 .8290 .3999 1.00000 0.00000
Si Si .6919 .1710 .3999 1.00000 0.00000
Si Si .0588 .8290 .0430 1.00000 0.00000
Si Si .0588 .1710 .0430 1.00000 0.00000

```

```

O O .5682 .6910 .1487 1.00000 0.00000
O O .5722 .3090 .1487 1.00000 0.00000
O O .7373 0 .4329 1.00000 0.00000
O O .4227 .2280 .4428 1.00000 0.00000
O O .4227 .7720 .4428 1.00000 0.00000
O O .7553 .5 .2908 1.00000 0.00000
O O .6784 .8090 .2941 1.00000 0.00000
O O .0682 .1910 .1487 1.00000 0.00000
O O .0722 .8090 .1487 1.00000 0.00000
O O .2373 .5 .4329 1.00000 0.00000
Ca Ca .1893 0 .7215 1.00000 0.00000
Ca Ca.6893 .5 .7215 1.00000 0.00000
RGNR 12

```

Figura 35: Fichero PowderCell de la montmorillonita.

C. Certificado de laboratorio de mecánica de suelos

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
Norte de la Universidad Peruana  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Telefax Nº 0051-76-36-5976 Anexo Nº 129-130 / 147  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

Certif. Nº 001 – 2019

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**CERTIFICA**

Que el Bachiller en Ingeniería Geológica **ELKI GARAY LLANOS**, ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha registrado su asistencia a dicho Laboratorio para la elaboración de la tesis profesional: **"CARACTERIZACION PETROGRAFICA PARA EL USO DE ARCILLAS EN LADRILLOS ARTESANALES EN EL CASERIO CHILCAPAMPA - BAMBAMARCA"**, en el siguiente periodo:

Del 04 al 18 de noviembre del 2019

El Laboratorio no se responsabiliza por la ejecución y los resultados de los ensayos realizados.

Se expide el presente a solicitud verbal del interesado para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 19 de noviembre de 2019

*Consejo de la Universidad Nacional de Cajamarca*

ING. MARCO W. HOYOS SÁNCHEZ  
Reg. CIP 28384

Figura 36: Certificado de laboratorio de mecánica de suelos.

D. Planos de la investigación.

1. Perfil Geológico A – Á.
2. Columna estratigráfica.
3. Plano satelital y delimitación del caserío Chilcapampa, escala utilizada 1:10,000
4. Plano Geológico, escala utilizada 1:10,000
5. Plano MDE, escala utilizada 1:10,000
6. Plano de zonificación, escala utilizada 1:10,000