



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

**“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y
DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA
QUEBRADA HUAYLLAPAMPA”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

FERNANDO ANDRÉ CARRASCO VICTORIA

ASESORES:

Dra. ING. LLIQUE MONDRAGÓN, Rosa.

Dr. ING. CRUZADO VÁSQUEZ, Gilberto.

Cajamarca, 2017

INDICE GENERAL

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	Pág. 3
1.1 Planteamiento del problema.	Pág. 3
1.2 Formulación del problema.	Pág. 5
1.3 Justificación de la investigación.	Pág. 6
1.4 Hipótesis general.	Pág. 6
1.5 Hipótesis específica.	Pág. 6
1.6 Objetivo general.	Pág. 6
1.7 Objetivos específicos.	Pág. 6
1.8 Contenido de los capítulos.	Pág. 7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	Pág. 8
2.1 Antecedentes teóricos.	Pág. 8
2.2. Bases teóricas.	Pág. 13
2.2.1. Remociones en masa.	Pág. 13
2.2.2. Deslizamientos.	Pág. 21
2.2.3. Parámetros condicionantes.	Pág. 25
2.2.4 Parámetros desencadenantes.	Pág. 35
2.2.5 Análisis de estabilidad de taludes en suelos.	Pág. 39
2.3 Definición de términos básicos.	Pág. 46
2.3.1 Remociones en Masa.	Pág. 46
2.3.2 Topográficos.	Pág. 46
2.3.3 Litológicos.	Pág. 46
2.3.4 Estratigráficos.	Pág. 46
2.3.5 Hidrológicos.	Pág. 46
2.3.6 Hidrogeología.	Pág. 47
2.3.7 Geotecnia.	Pág. 47
2.3.8 Clima.	Pág. 47
2.3.9 Sismicidad y vibraciones.	Pág. 47
2.3.10 Susceptibilidad a los deslizamientos.	Pág. 47
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	Pág. 48
3.1 Ubicación del lugar de investigación.	Pág. 48
3.2 Metodología.	Pág. 48
3.2.1 Población.	Pág. 48

3.2.2	Muestra.	Pág. 48
3.2.3	Unidad de análisis.	Pág. 48
3.2.4	Alcance del proyecto.	Pág. 49
3.2.5	Tipo de investigación.	Pág. 49
3.2.6	Nivel de investigación.	Pág. 49
3.2.7	Diseño.	Pág. 49
3.2.8	Técnicas de recolección de datos.	Pág. 49
3.3	Procedimiento.	Pág. 49
3.3.1	Etapas de gabinete.	Pág. 49
3.3.2	Etapas de campo.	Pág. 49
3.3.3	Etapas de laboratorio.	Pág. 50
3.3.4	Evaluación de la remoción en masa.	Pág. 50
3.3.5	Evaluación de la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelo.	Pág. 50
3.3.6	Etapas finales.	Pág. 50
3.4	Parámetro geológico.	Pág. 51
3.4.1	Geología local.	Pág. 53
3.4.2	Geología Estructural.	Pág. 56
3.4.3	Geomorfología.	Pág. 57
3.4.4	Geodinámica.	Pág. 60
3.5	Parámetro geométrico.	Pág. 62
3.5.1	Estudio topográfico.	Pág. 64
3.6	Parámetro geotécnico.	Pág. 66
3.6.1	Trabajos de Exploración, Muestreo y Gabinete.	Pág. 67
3.6.2	Contenido de Humedad (ASTM D2216).	Pág. 68
3.6.3	Gravedad Específica (ASTM D854).	Pág. 68
3.6.4	Análisis granulométrico (ASTM D422-98).	Pág. 69
3.6.5	Límites de consistencia (ASTM D4318 – D4319).	Pág. 69
3.6.6	Resistencia al cortante (ASTM D3080).	Pág. 70
3.7	Parámetro hidrológico.	Pág. 72
3.8	Parámetro sísmico.	Pág. 74
3.8.1	Zonificación sísmica.	Pág. 74
3.8.2	Aceleración máxima de diseño.	Pág. 75

3.9	Análisis de Inestabilidad.	Pág. 75
3.9.1	Condiciones del análisis.	Pág. 75
3.9.2	Obtención de los parámetros geotécnicos.	Pág. 75
3.9.3	Análisis de equilibrio límite.	Pág. 76
3.9.4	Secciones topográficas para el análisis de la inestabilidad.	Pág. 76
3.10	Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.	Pág. 77
3.10.1	Análisis e interpretación de datos.	Pág. 77
3.10.2	Técnicas de procesamiento y análisis de información.	Pág. 77
3.10.3	Análisis de los resultados.	Pág. 77
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		Pág. 78
4.1	Resultado de la investigación y análisis de la información.	Pág. 78
4.2	Procesamiento de la información.	Pág. 78
4.3	Análisis y evaluación de parámetros.	Pág. 78
4.3.1	Análisis del parámetro geológico.	Pág. 79
4.3.2	Análisis del parámetro geométrico.	Pág. 80
4.3.3	Análisis del parámetro geotécnico.	Pág. 82
4.3.4	Análisis del parámetro hidrológico.	Pág. 84
4.3.5	Análisis del parámetro sísmico.	Pág. 84
4.3.6	Análisis de Estabilidad.	Pág. 85
4.3.7	Metodología Slide.	Pág. 86
4.3.8	Análisis Slide.	Pág. 92
4.3.9	Estabilidad de laderas.	Pág. 100
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		Pág. 103
5.1	CONCLUSIONES.	Pág. 103
5.2	RECOMENDACIONES.	Pág. 105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		Pág. 106
ANEXOS		
A.	RESULTADOS DE LABORATORIO.	Pág. 108
B.	RESULTADOS DE HIDROLOGÍA.	Pág. 127
C.	RESULTADOS GEOMÉTRICOS.	Pág. 136
D.	PANEL FOTOGRÁFICO.	Pág. 138
E.	MAPAS.	Pág. 159

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESTADÍSTICA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN.	3
TABLA 2: RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS.	9
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE REMOCIONES EN MASA.	16
TABLA 4: ESCALA DE VELOCIDAD DE REMOCIONES EN MASA.	18
TABLA 5: TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA.	19
TABLA 6: PODER DESTRUCTOR DE ACUERDO A LA ESCALA DE VELOCIDAD.	20
TABLA 7: CLASIFICACIÓN DE DESLIZAMIENTOS DE ACUERDO CON SU VOLUMEN.	20
TABLA 8: CLASIFICACIÓN UTILIZADA PARA ELABORAR MAPA DE PENDIENTES.	27
TABLA 9: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.	45
TABLA 10: TABLA DE ELEVACIONES.	81
TABLA 11: TABLA DE PENDIENTES.	81
TABLA 12: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.	83
TABLA 13: FORMACIÓN, SEDIMENTOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS.	84
TABLA 14: FACTORES DE SEGURIDAD, CRITERIO MOHR-COULOMB.	85

ANEXOS

TABLA A.1: CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO ESPECÍFICO.	108
TABLA A.2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO C-1.	109
TABLA A.3: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO C-2.	110
TABLA A.4: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO C-3.	111
TABLA A.5: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO C-4.	112
TABLA A.6: LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO C-1.	113
TABLA A.7: LÍMITES DE CONSISTENCIA C-1.	113
TABLA A.8: LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO C-2.	114
TABLA A.9: LÍMITES DE CONSISTENCIA C-2.	114
TABLA A.10: LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO C-3.	115
TABLA A.11: LÍMITES DE CONSISTENCIA C-3.	115
TABLA A.12: LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO C-4.	116
TABLA A.13: LÍMITES DE CONSISTENCIA C-4.	116
TABLA A.14: APLICACIÓN DE CARGA PARA LA CALICATA C-1.	117
TABLA A.15: ENVOLVENTE DE FALLA ESF. CORTANTE VS ESF. NORMAL (C-1).	118

TABLA A.16: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN (C-1).	118
TABLA A.17: APLICACIÓN DE CARGA PARA LA CALICATA C-2.	119
TABLA A.18: ENVOLVENTE DE FALLA ESF. CORTANTE VS ESF. NORMAL (C-2).	120
TABLA A.19: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN (C-2).	120
TABLA A.20: APLICACIÓN DE CARGA PARA LA CALICATA C-3.	121
TABLA A.21: ENVOLVENTE DE FALLA ESF. CORTANTE VS ESF. NORMAL (C-3).	122
TABLA A.22: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN (C-3).	122
TABLA A.23: APLICACIÓN DE CARGA PARA LA CALICATA C-4.	123
TABLA A.24: ENVOLVENTE DE FALLA ESF. CORTANTE VS ESF. NORMAL (C-4).	124
TABLA A.25: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN (C-4).	124
TABLA A.26: APLICACIÓN DE CARGA PARA LA CALICATA C-5.	125
TABLA A.27: ENVOLVENTE DE FALLA ESF. CORTANTE VS ESF. NORMAL (C-5).	126
TABLA A.28: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN (C-5).	126
TABLA B.1: PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL HISTÓRICA.	127
TABLA B.2: PRECIPITACIÓN MEDIA, MÍNIMA Y MÁXIMA ANUAL.	130
TABLA B.3: DISTRIBUCIÓN FUNCIÓN NORMAL.	131
TABLA B.4: PRUEBA DE SMIRNOV-KOLMOGOROV.	132
TABLA B.5: PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN LLUVIAS ANUALES.	134
TABLA C.1: LÍMITE EXTERNO – SECCIÓN A-A.	136
TABLA C.2: LÍMITE EXTERNO – SECCIÓN B-B.	137
TABLA C.3: LÍMITE EXTERNO – SECCIÓN C-C.	137

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: FACTORES GEOLÓGICOS Y PROBLEMAS GEOTÉCNICOS.	28
CUADRO 2: ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS Y PROBLEMAS GEOTÉCNICOS.	29
CUADRO 3: EFECTOS GEOLÓGICOS RELACIONADOS CON EL AGUA Y SU INCIDENCIA GEOTÉCNICA.	31
CUADRO 4: FACTORES GEOLÓGICOS CONDICIONANTES DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO.	33
CUADRO 5: INFLUENCIA DE LOS PROCESOS GEOLÓGICOS EN LA INGENIERÍA Y EN EL MEDIO AMBIENTE.	36
CUADRO 6: DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE METEORIZACIÓN.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CLASIFICACIÓN PARA LOS TIPOS DE MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES.	17
FIGURA 2: NOMENCLATURA DE LAS DIFERENTES PARTES QUE CONFORMAN UN DESLIZAMIENTO.	21
FIGURA 3: DIMENSIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	24
FIGURA 4: DIMENSIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	24

FIGURA 5: DIMENSIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	24
FIGURA 6: DIMENSIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	24
FIGURA 7: DIMENSIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	24
FIGURA 8: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN.	48
FIGURA 9: LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DETERMINAN EL RELIEVE Y ÉSTE ES EL RESULTADO DE LA TECTÓNICA, LA EROSIÓN Y LOS DESLIZAMIENTOS.	51
FIGURA 10: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE CAJAMARCA.	52
FIGURA 11: ZONIFICACIÓN SÍSMICA (NORMA E.030).	74
FIGURA 12: VECTORES DE MOVIMIENTO.	80
FIGURA 13: MDE DEL DESLIZAMIENTO.	81
FIGURA 14: PENDIENTES DE LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO.	81
FIGURA 15: LIMITES DEL PROYECTO.	86
FIGURA 16: CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO.	86
FIGURA 17: CONFIGURACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS.	87
FIGURA 18: BORDE EXTERNO DEL TALUD.	87
FIGURA 19: PROPIEDADES DEL MATERIAL.	88
FIGURA 20: ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES.	88
FIGURA 21: ASIGNACIÓN DEL MATERIAL.	89
FIGURA 22: CUADRÍCULA DE SUPERFICIE CIRCULAR.	89
FIGURA 23: ANÁLISIS DEL MODELO.	90
FIGURA 24: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO.	90
FIGURA 25: TABLA DE PROPIEDADES DE MATERIALES.	91
FIGURA 26: INSERTANDO CUADROS RESUMEN DE RESULTADOS.	91
FIGURA 27: MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO, SECCIÓN A-A, F.S = 1.192.	92
FIGURA 28: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN A-A, F.S = 1.189.	92
FIGURA 29: MÉTODO MORGENSTERN-PRICE/GLE, SECCIÓN A-A, F.S = 1.186.	93
FIGURA 30: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN A-A, F.S = 0.968. (NIVEL FREÁTICO)	93
FIGURA 31: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN A-A, F.S = 0.873. (SISMICIDAD).....	94
FIGURA 32: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN A-A, F.S = 0.713. (NIVEL FREÁTICO + SISMICIDAD).....	94
FIGURA 33: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN A-A, F.S = 1.041. (SOPORTE TIEBACK LECHADA)	95
FIGURA 34: MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO, SECCIÓN B-B, F.S = 1.352.	96
FIGURA 35: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN B-B, F.S = 1.342.	96
FIGURA 36: MÉTODO MORGENSTERN-PRICE/GLE, SECCIÓN B-B, F.S = 1.342.	97
FIGURA 37: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN B-B, F.S = 0.873.	97

FIGURA 38: MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO, SECCIÓN C-C, F.S = 1.098.	98
FIGURA 39: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN C-C, F.S = 1.086.	98
FIGURA 40: MÉTODO MORGENSTERN-PRICE/GLE, SECCIÓN C-C, F.S = 1.085.	99
FIGURA 41: MÉTODO SPENCER, SECCIÓN C-C, F.S = 0.876.	99
FIGURA 42: ESTABILIZACIÓN DE LA SECCIÓN C-C DE LA LADERA EN ESTUDIO.	100
FIGURA 43: ESTABILIZACIÓN MEDIANTE BANQUETAS EN LA LADERA EN ESTUDIO.	101
FIGURA 44: ESTABILIZACIÓN MEDIANTE COMBINACIÓN DE GAVIONES Y RELLENO ESTABILIZADOR.	102

ANEXOS

FIGURA D.1: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO.	138
FIGURA D.2: VISTA FRONTAL DE LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA.	138
FIGURA D.3: CARACTERÍSTICA DE LA FORMACIÓN CHIMÚ.	138
FIGURA D.4: RASGO DE LA FORMACIÓN SANTA.	139
FIGURA D.5: ARENISCA CON LUTITAS BITUMINOSAS.	139
FIGURA D.6: DEPÓSITO COLUVIAL.	139
FIGURA D.7: DEPÓSITO ALUVIAL.	140
FIGURA D.8: DEPÓSITO FLUVIAL.	140
FIGURA D.9: ESPEJO DE FALLA EN LA QUEBRADA.	140
FIGURA D.10: RUMBO Y BUZAMIENTO DEL ESPEJJO DE FALLA.	141
FIGURA D.11: ESTRÍAS EN UNA ROCA.	141
FIGURA D.12: PRUEBA DE LA LINEA DE MÁXIMA PENDIENTE.	141
FIGURA D.13: REGLA DE LA MANO DERECHA.	142
FIGURA D.14: PENDIENTES DE LOS CERROS.	142
FIGURA D.15: PENDIENTE ELEVADA EN PIEDEMONTE.	142
FIGURA D.16: DESINTEGRACIÓN DE LA ROCA.	143
FIGURA D.17: VISTA PANORÁMICA DE LA GEOMETRÍA.	143
FIGURA D.18: VISTA DE LA GEOMETRÍA Y PARTES DEL DESLIZAMIENTO.	143
FIGURA D.19: ESCARPE PRINCIPAL (INICIO DEL MOVIMIENTO).	144
FIGURA D.20: ESCARPE SECUNDARIO.	144
FIGURA D.21: VISTA DE LA EXTENSIÓN DEL DESLIZAMIENTO.	144
FIGURA D.22: VISTA DESDE EL PIE DEL DESLIZAMIENTO.	145
FIGURA D.23: REALIZACIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.	145
FIGURA D.24: LEVANTAMIENTO DEL DESLIZAMIENTO ROTACIONAL.	145
FIGURA D.25: ESCASA VEGETACIÓN EN EL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO.	146
FIGURA D.26: VISTA GENERAL DE LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO.	146
FIGURA D.27: EXPLORACIÓN DE LAS CALICATAS.	146

FIGURA D.28: PROFUNDIDAD DE LA CALICATA C-1 = 1.20m.....	147
FIGURA D.29: PROFUNDIDAD DE LA CALICATA C-2 = 1.20m.....	147
FIGURA D.30: CALICATA C-3 = 2.00m., EN EL ESCARPE SECUNDARIO.....	147
FIGURA D.31: CALICATA C-4 = 3.00m. EN EL ESCARPE PRINCIPAL.....	148
FIGURA D.32: TARAS CODIFICADAS CON LAS MUESTRAS HÚMEDAS.....	148
FIGURA D.33: TARAS CODIFICADAS CON LAS MUESTRAS SECAS.....	148
FIGURA D.34: PESO DE TARA CON LAS MUESTRAS SECAS.....	149
FIGURA D.35: MUESTRA TAMIZADA POR LA MALLA N°4.....	149
FIGURA D.36: EXTRACCIÓN DE AIRE MEDIANTE LA BOMBA DE VACÍO.....	149
FIGURA D.37: PESO DE LA FIOLA CON LA SOLUCIÓN DE SUELO Y AGUA.....	150
FIGURA D.38: CUARTEO DE LA MUESTRA.....	150
FIGURA D.39: PESO DE LA MUESTRA C-4.....	150
FIGURA D.40: LAVADO DE LA MUESTRA.....	151
FIGURA D.41: ZARANDEO DE LA MUESTRA.....	151
FIGURA D.42: MATERIAL TAMIZADO MALLA N°60.....	151
FIGURA D.43: MATERIAL DEL ENSAYO.....	152
FIGURA D.44: COPA DE CASAGRANDE Y LA MUESTRA.....	152
FIGURA D.45: ABERTURA REALIZADA CON EL RANURADOR.....	152
FIGURA D.46: GIRO DE LA MANIVELA DE LA COPA DE CASAGRANDE.....	153
FIGURA D.47: CIERRE DE LA RANURA DE SUELO.....	153
FIGURA D.48: ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO.....	153
FIGURA D.49: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.....	154
FIGURA D.50: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	154
FIGURA D.51: TALLADO DE LA MUESTRA.....	154
FIGURA D.52: ENSAMBLAJE DE LA CAJA DE CORTE.....	155
FIGURA D.53: ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	155
FIGURA D.54: FALLA DE CORTE DE LA MUESTRA.....	155
FIGURA D.55: CUENCA HUAYLLAPAMPA.....	156
FIGURA D.56: CAUCE PRINCIPAL HUAYLLAPAMPA.....	156
FIGURA D.57: CARACTERÍSTICAS DE LA CALICATA C-5, CUERPO DEL DESLIZAMIENTO.....	157
FIGURA D.58: EXPLORACIÓN DE LA CALICATA C-5.....	157
FIGURA D.59: PROFUNDIDAD DE LA CALICATA C-5 = 2.50 M.....	158

ANEXOS

GRÁFICO A.1: CURVA GRANULOMÉTRICA C-1.....	109
GRÁFICO A.2: CURVA GRANULOMÉTRICA C-2.....	110
GRÁFICO A.3: CURVA GRANULOMÉTRICA C-3.....	111
GRÁFICO A.4: CURVA GRANULOMÉTRICA C-4.....	112

GRÁFICO A.5: DIAGRAMA DE FLUIDEZ C-1.	113
GRÁFICO A.6: DIAGRAMA DE FLUIDEZ C-2.	114
GRÁFICO A.7: DIAGRAMA DE FLUIDEZ C-3.	115
GRÁFICO A.8: DIAGRAMA DE FLUIDEZ C-4.	116
GRÁFICO A.9: DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS ESFUERZO DE CORTE C-1.	118
GRÁFICO A.10: ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE C-1.	118
GRÁFICO A.11: DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS ESFUERZO DE CORTE C-2.	120
GRÁFICO A.12: ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE C-2.	120
GRÁFICO A.13: DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS ESFUERZO DE CORTE C-3.	122
GRÁFICO A.14: ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE C-3.	122
GRÁFICO A.15: DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS ESFUERZO DE CORTE C-4.	124
GRÁFICO A.16: ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE C-4.	124
GRÁFICO A.17: DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS ESFUERZO DE CORTE C-5.	126
GRÁFICO A.18: ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO DE CORTE C-5.	126
GRÁFICO B.1: HISTOGRAMA DE TIEMPO VS PRECIPITACIONES (mm).	129
GRÁFICO B.2: HISTOGRAMA DE TIEMPO VS PRECIPITACIONES (mm).	130
GRÁFICO B.3: DISTRIBUCIÓN FUNCIÓN NORMAL (ACUMULADO).	133
GRÁFICO B.4: DISTRIBUCIÓN FUNCIÓN NORMAL.	133
GRÁFICO B.5: LLUVIAS ANUALES VS PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA.	134
GRÁFICO B.6: LLUVIAS ANUALES VS PERÍODO DE RETORNO.	135

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo determinar y analizar la influencia de los parámetros condicionantes, tales como los parámetros geométricos, geológicos, geotécnicos; así como los parámetros desencadenantes, tales como los parámetros hidrológicos y sísmicos en el deslizamiento de masas de suelos en la quebrada Huayllapampa utilizando información existente de la zona de estudio, trabajo en campo, laboratorio y gabinete. A lo largo de este trabajo se estudiaron las bases y antecedentes teóricos implicados en el estudio del movimiento de las masas de suelo, y las herramientas que permiten su aplicación, tales como el levantamiento topográfico para obtener la morfología y determinar las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos, la inspección visual de la geología para definir las propiedades internas de la formación geológica y la geomorfología de la zona de estudio, además de datos hidrológicos de la estación Weberbauer para determinar los periodos de lluvias que afectan los movimientos en masas de suelos y la aplicación del software Slide para poder calcular el factor de seguridad de las secciones críticas de la ladera. Posteriormente con el análisis de datos obtenidos en campo se determinaron las propiedades de la estructura interna del suelo, tales como, los contenidos de humedad, pesos específicos, límites de consistencia, granulometría y la resistencia al corte, encontrándose las diferencias entre las calicatas que se realizaron en la zona de estudio y contrastando los resultados en el deslizamiento de las masas del suelo en la quebrada Huayllapampa. Los resultados de esta investigación reflejaron el hecho de que los parámetros desencadenantes tienen mayor influencia sobre los parámetros condicionantes, debido a que la hidrología y los eventos sísmicos afectan directamente la estructura interna de la quebrada Huayllapampa, son causantes de la disminución del esfuerzo cortante e incremento de los esfuerzos actuantes, los cuales provocan que se pierda la resistencia en el suelo; mediante el uso del software Slide se obtuvieron los factores de seguridad de las secciones críticas, en condiciones estáticas para la sección A-A un 1.189, la sección B-B un 1.342 y en la sección C-C un 1.086, mientras que para las condiciones pseudoestáticas se obtuvieron los siguientes factores de seguridad: sección A-A un 0.884, sección B-B un 0.873 y sección C-C un 0.876, se concluye que la influencia de los eventos sísmicos e hidrológicos provocan el deslizamiento.

Palabras claves:

Influencia, parámetros condicionantes, parámetros desencadenantes, deslizamiento de masas de suelos.

ABSTRACT

The present thesis aims to determine and analyze the influence of the conditioning parameters, such as geometric, geological, geotechnical parameters; As well as the triggers, such as the hydrological and seismic parameters in the sliding of soil masses in the Huayllapampa stream using existing information from the study area, field work, laboratory and cabinet. Throughout this work the bases and theoretical antecedents involved in the study of the movement of the ground masses, and the tools that allow its application, such as the topographic survey to obtain the morphology and to determine the forces of gravity that cause Movements, visual inspection of the geology to define the internal properties of the geological formation and the geomorphology of the study area, as well as hydrological data from the Weberbauer station to determine the rainy periods that affect the movements in soils of soil and The application of the Slide software to be able to calculate the safety factor of the critical sections of the slope. Subsequently, with the analysis of data obtained in the field, the properties of the internal structure of the soil were determined, such as moisture contents, specific weights, consistency limits, grain size and cut resistance. Carried out in the study area and contrasting the results in the sliding of the soil masses in the Huayllapampa stream. The results of this investigation reflected the fact that the trigger parameters have a greater influence on the conditioning parameters, because hydrology and seismic events directly affect the internal structure of the Huayllapampa stream, are responsible for the reduction of shear and increment Of the working forces, which cause that the resistance in the ground is lost; Through the use of the Slide software, the safety factors of critical sections were obtained through the equilibrium limit analysis and the Mohr-Coulomb break criterion was considered under static conditions for section AA a 1.189, section BB a 1.342 and section CC a 1.086, while for pseudo-static conditions the following safety factors were obtained: section AA a 0.884, section BB a 0.873 and section CC a 0.876, it is concluded that the influence of the seismic and hydrological events cause the sliding.

Keywords:

Influence, conditioning parameters, triggers parameters, sliding of soil masses.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema.

Los fenómenos naturales han estado y están presentes en toda la historia de nuestro planeta. En la mayoría de los casos causan muchos daños en cuanto a pérdidas de vidas humanas, económicas, colapso de infraestructura, etc.; en diversos países del mundo se han presentado una serie de deslizamientos producidos por muchos factores, ya sean propios del suelo o por factores externos. Uno de los deslizamientos en serie más mortíferos fue causado por un evento sísmico que tuvo lugar en la provincia de Gansu del medio oeste de China, trayendo como consecuencia la muerte de unas 200.000 personas (Derbyshire *et al*, 1991). Los factores condicionantes fueron la morfología del terreno y las lluvias muy intensas.

Por otra parte, en el barrio Aldercrest-Banyan, ubicado al este de Kelso, Washington comenzó a experimentar movimientos brutos de tierra en febrero de 1998, a raíz de precipitaciones superiores a la media, originándose así el movimiento de escarpes de gran magnitud y la formación del cuerpo del deslizamiento, causando alrededor de \$ 40 millones de dólares en daños totales en una comunidad pequeña con una población de menos de 12.000 personas. (Rogers, 1999)

En Centroamérica, tuvo lugar un deslizamiento de suelo, después de varios días de fuertes lluvias ocurrieron deslizamientos de gran escala en el Cerro Musún, Municipio de Río Blanco, Departamento de Matagalpa, en Nicaragua 2004. Los deslizamientos destruyeron casas ubicadas en los flancos del Cerro Musún y causaron la muerte de aproximadamente 25 personas; miles de personas, que habitan en los alrededores, perdieron sus hogares y fueron evacuados a refugios temporales. La montaña es atravesada por fallas geológicas regionales y locales que también debilitan las estructuras de las rocas; La fuerza causante de los deslizamientos es la gravedad que actúa conforme a la inclinación de la pendiente; significa que, es aquí donde movimientos de masas pueden ocurrir cuando se dan los fenómenos desencadenantes como lluvias prolongadas y fuertes. (INETER, 2004)

En América del Sur, se investigó sobre los deslizamientos de suelos más importantes ocurridos en nuestro continente, El deslizamiento ocurrió en una ladera de pendiente fuerte localizada en el escarpe nororiental del barrio Colorados, ubicado al norte de la ciudad de

Bucaramanga, Colombia 2006. En un momento inicial del movimiento se presentaron agrietamientos dentro de las viviendas; este deslizamiento está relacionado con el ascenso de los niveles freáticos, producto de la infiltración de agua en todo el barrio de Colorados. Las viviendas construidas en la corona del talud facilitaron la infiltración de agua, la cual generaba un deterioro en el talud vertical, el cual tuvo un efecto importante en la activación del movimiento. (Suárez Díaz, 2006)

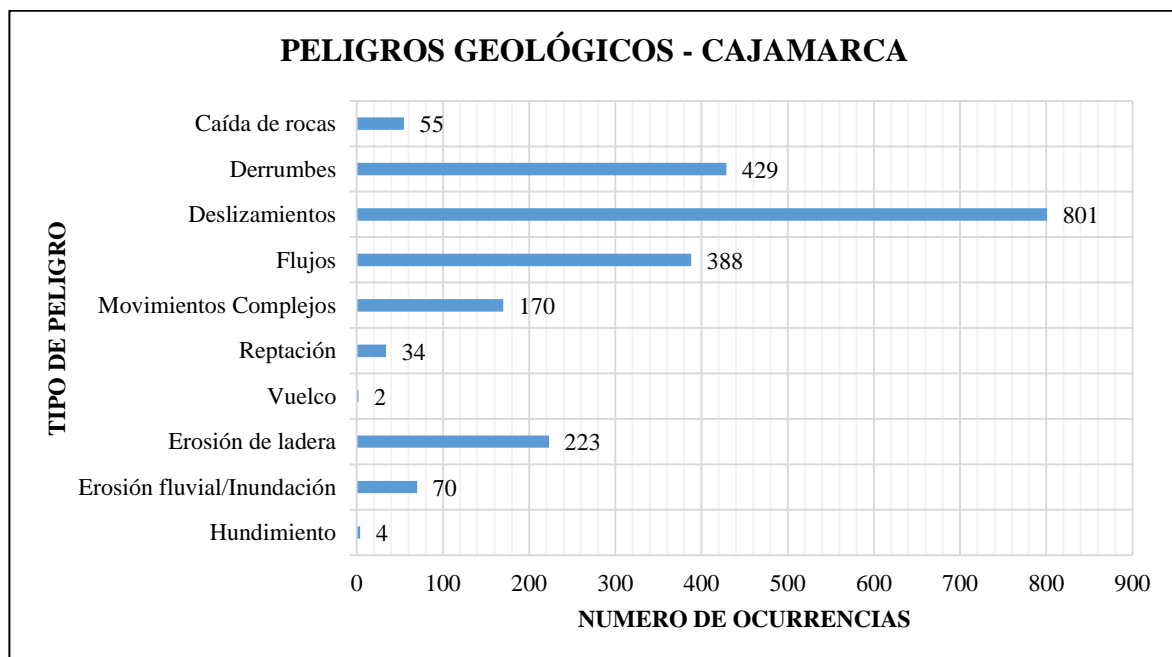
Otro caso registrado en nuestro continente, fue el ocurrido en la comunidad Paccha, Achupallas, Chimborazo, Ecuador en 2004. El deslizamiento fue un movimiento de tipo rotacional que involucró antiguos flujos de detritos volcano-sedimentarios en su mayor parte y en un porcentaje menor rocas metamórficas. El factor detonante en este caso fue el agua que se infiltró en la parte superior del área inestable. Como evidencia de ello se observaron varios puntos de afloramiento de agua al pie del deslizamiento. De manera que, el efecto del agua infiltrada se combinó desfavorablemente con las propiedades físico-mecánicas de los materiales volcánicos y la alta pendiente de la ladera que en este caso estaba entre 25° y 30°. Este deslizamiento dejó 120 personas damnificadas y aún se encuentra activo, amenazando con destruir 25 viviendas y la vía de acceso a la parroquia de Achupallas. (DINAGE, 2004)

En el Perú, uno de los casos más conocidos sucedió el 31 de mayo de 1970, un movimiento en masa de gran escala y altamente complejo ocurrió en el Valle del río Santa, Cordillera Blanca, Perú, se originó por un terremoto de magnitud 7.9 en la escala de Richter; en su proceso de viaje extremadamente rápido vertiente abajo, incorporó un volumen considerable de nieve y material morrénico de las vertientes del Huascarán. Algunas estimaciones sobre el número de víctimas superan las 18.000 personas. El movimiento en masa se desplazó sobre un patrón que ha sido relacionado con un evento similar, pero más pequeño, ocurrido en 1962, el cual destruyó a la población de Ranrahirca y a varios caseríos. El evento de 1962 ocasionó la muerte de unas 4.000 personas, pero los flujos de detritos fueron contenidos en el valle del río Santa. (INGEMMET, 2007)

Actualmente la región de Cajamarca es afectada frecuentemente por inundaciones, huaycos y deslizamientos. Que en relación con otras áreas de Perú, posee un bajo índice de ocurrencia de movimientos en masa en el período histórico o reciente (detonados por sismos y lluvias). Un mayor porcentaje de estos se asocian a eventos extremos hidro-climáticos como el Fenómeno El Niño y menos relacionados a movimientos sísmicos (Zavala & Rosado, 2011).

Se destacan entre los eventos del siglo pasado el deslizamiento de Pimpingos (1928), que ocasionó 28 muertes (Silgado, 1978); el deslizamiento en La Florida en San Miguel de Pallaques en 1998, dejando 16 muertos; el deslizamiento de Choropampa, activado los años 1998 y 2001 (Dávila, 2001); el deslizamiento de La Pucará en el 2000, que provocó 34 muertes. Deslizamientos recientes afectan áreas urbanas en las localidades de Bambamarca y Huambos (Núñez, 2007). La estadística de movimientos en masa se muestra a continuación.

Tabla 1: Estadística de peligros geológicos en la región.



Fuente: INGEMMET, 2010.

Es importante tener en cuenta que en la práctica es difícil asignar un movimiento en masa a una clase en particular, debido a que la mayoría de los procesos son bastante complejos y presentan diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria, debido a las propiedades de los materiales involucrados, mencionadas antes (PMA:GCA, 2007). Por lo anterior expuesto, es necesario y conveniente evaluar los parámetros que influyen en el deslizamiento en la quebrada Huayllapampa en Cajamarca utilizando información existente, que puedan ser de utilidad en proyectos de índole similar, y que sea base para investigaciones futuras.

1.2 Formulación del problema.

¿Cuál es la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelos en la quebrada Huayllapampa?

1.3 Justificación de la investigación.

La presente investigación determinará y analizará la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelos en la quebrada Huayllapampa, la cual será de utilidad en la formulación de estudios similares en Cajamarca.

Servirá de base para investigaciones futuras sobre deslizamientos o análisis de estabilidad de taludes, diagnosticando y diseñando obras de estabilización.

1.4 Hipótesis general.

Los parámetros condicionantes tienen mayor influencia que los parámetros desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelo en la quebrada Huayllapampa.

1.5 Hipótesis específica.

Las propiedades internas de la naturaleza de las laderas tendrán mayor influencia que las propiedades externas de las laderas en el deslizamiento de masas de suelo en la quebrada Huayllapampa.

1.6 Objetivo general.

Determinar y analizar la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelos en la quebrada Huayllapampa.

1.7 Objetivos específicos.

- ❖ Determinar y Analizar el parámetro geológico, geométrico y geotécnico del deslizamiento de suelo.
- ❖ Analizar el parámetro hidrológico de la zona de estudio.
- ❖ Analizar el parámetro sísmico de la zona de estudio.

1.8 Contenido de los capítulos.

La presente tesis se desarrolló en cinco capítulos:

Capítulo I. Introducción: Se aborda la introducción al tema y la justificación de la investigación, se plantea el problema, la hipótesis y los objetivos.

Capítulo II. Marco teórico: Se presentan los antecedentes teóricos de la investigación, destacando los resultados más importantes a las que han llegado investigaciones anteriores, además se exponen los fundamentos teóricos, finalmente se describen los términos usados en el documento.

Capítulo III. Materiales y métodos: Se presenta la ubicación geográfica de la investigación y el tiempo de realización, además se describen a detalle los procedimientos realizados para la obtención de datos de los parámetros de influencia en el deslizamiento de masas de suelo, así como el tratamiento, análisis de datos obtenidos y la presentación de los resultados.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados: Se describe, explica y discute los resultados obtenidos en la investigación y se comparan con los datos de la literatura actual.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: Se presentan las conclusiones más pertinentes para cada objetivo, derivadas de los resultados, además se realizan las recomendaciones necesarias sobre temas y/o aspectos no incluidos en la investigación que sirvan de apoyo o referencia para futuras investigaciones.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos.

En investigaciones sobre análisis de la susceptibilidad a deslizamientos de laderas, se destaca la importancia que tiene para México el conocimiento de la remoción en masa que puede representar un peligro por los efectos que causan al hombre y a su desarrollo; Se reúnen los principales factores que propician un deslizamiento de ladera, entre los que se consideran las formaciones geológicas, la precipitación, la sismicidad, la topografía y las estructuras geológicas que están actuando en un determinado sitio. (Suárez García O. , 2006)

A pesar de que Suárez, (1998), menciona que la susceptibilidad de una determinada zona está en base únicamente a las condiciones locales del área en estudio y que los factores extrínsecos no deben ser considerados; se ha tomado en cuenta la precipitación, ya que es uno de los principales factores que propician la inestabilidad de los taludes, porque la presencia del agua, genera deslizamientos en suelos y rocas.

(Suárez García O. , 2006); hizo referencia a la importancia de la influencia de los factores condicionantes y desencadenantes sobre las masas de suelos y rocas; Adicional a estos factores, consideró las características que influyen en la generación de este fenómeno en México: el clima, la sismicidad y la topografía; existiendo información documental suficiente, que permite formar un concepto de las regiones más vulnerables, para contribuir a la prevención de desastres ocasionados por la remoción de masas. El resultado involucra cinco niveles de susceptibilidad, caracterizados según el grado:

Muy Alta: Zonas en donde se reúnen todas las condiciones del terreno para generar deslizamiento.

Alta: Zonas en donde la mayoría de las condiciones del terreno son favorables para generar deslizamientos.

Media: Zonas en donde el terreno presenta algunas condiciones para generar deslizamientos.

Baja: Zonas en donde únicamente bajo condiciones excepcionales se podría generar un deslizamiento.

Respecto a eventos de susceptibilidad a los deslizamientos en la sierra oriental de México (Ver Tabla 2); finalmente reporta lo siguiente:

Tabla 2: Resultados de susceptibilidad a deslizamientos.

SUBPROVINCIA	SUSCEPTIBILIDAD	FORMACIONES GEOLÓGICAS	PRECIPITACIÓN	SISMICIDAD	TOPOGRAFÍA	ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS Y FALLAS ACTIVAS*	LOCALIZACIÓN Y CASOS REGISTRADOS
SIERRA DEL NORTE	Muy Baja	Aurora Cupido	Menor de 400 mm	Zona A	Cimas de las sierras	-	
	Baja	Tamaulipas Inf.	Menor de 400 mm	Zona A	Cimas de las sierras	-	
	Media	La Casita	Menor de 600 mm	Zona A	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 5 y Sistema 6, pliegues y fallas.	
	Alta	La Peña Taráises Agua Nueva	Menor de 600 mm	Zona A	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 5, Sistema 6 y Fallas inversas y pliegues.	
	Muy Alta	Méndez San Felipe	Entre 600 mm y 800 mm	Zona A	En laderas con pendiente topográfica >20°	Fallas inversas y pliegues recumbentes.	
SIERRAS ATRAVESADAS	Muy Baja	Aurora Cupido	Menor de 400 mm	Zona A	Cimas de las sierras	-	
	Baja	Indidura Cuesta del Cura	Menor de 400 mm	Zona A	Cimas de las sierras	-	
	Media	La Casita	Menor de 600 mm	Zona A	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 6, Fallas normales, Fallas inversas y Pliegues recumbentes.	
	Alta	La Peña Taráises Parras	Menor de 600 mm	Zona A	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 6, pliegues recumbentes y fallas inversas.	
SIERRAS BAJAS	Muy Baja	Doctor El Abra	Menor de 400 mm	Zona A y B	Cimas de las sierras	-	
	Baja	Horizonte Otates Tamaulipas Inf.	Menor de 600 mm	Zona A y B	Cimas de las sierras	-	
	Media	Tobas Terciario Sup. Tamaulipas Sup. Tamán	Menor de 600 mm	Zona A y B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 7 y fallas normales.	
	Alta	Agua Nueva	De 400 mm a 1200 mm	Zona B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 7, pliegues recumbentes y Fallas inversas.	
	Muy Alta	Méndez San Felipe	De 600 mm a 1200 mm	Zona A y B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 8, pliegues recumbentes y fallas inversas.	
SIERRA ALTA	Muy Baja	Doctor El Abra	Menor de 600 mm	Zona A y B	Cimas de las sierras	-	
	Baja	Horizonte Otates Tamaulipas Inf.	Menor de 800 mm	Zona A y B	Cimas de las sierras	-	
	Media	Tobas Terciario Sup. Tamaulipas Sup.	De 600 mm a 4000 mm	Zona A y B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 6, sistema 7, sistema 8, sistema 9, sistema 10, fallas normales. fallas inversas y pliegues recumbentes	Edo. De Puebla (Teziutlán Zepotitlán)
	Alta	Tamán Agua Nueva	De 600 mm a 4000 mm	Zona A y B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 6, sistema 7, sistema 8, sistema 9, fallas normales. fallas inversas y pliegues recumbentes	Monterrey N. L Sierra Norte
	Muy Alta	Méndez San Felipe	De 1200 mm a 4000 mm	Zona A y B	En laderas con pendiente topográfica >20°	Sistema 6, sistema 7, sistema 8, sistema 9, fallas normales. fallas inversas y pliegues recumbentes	

* Sistema de fallas transcurrentes NE-SW

Fuente: Suárez García O., 2006.

Con relación a guías que sirven como base para estudios de la inestabilidad de laderas y taludes, se describieron los factores que generan la inestabilidad en laderas y taludes, además se definieron las técnicas de campo que se deben realizar y el análisis de los distintos tipos de deslizamientos que se generan en los suelos y en rocas, todos estos han sido cuantificados mediante estudios de campo y de laboratorio; Por eso es necesario determinar las propiedades mecánicas que intervienen en el análisis de estabilidad de una ladera o un talud, finalmente mediante ejemplos se llegó a mostrar el empleo de los métodos de análisis de estabilidad de laderas y taludes. (Coliente Tlaxcalteca, 2010)

Del mismo modo obtuvo conclusiones, como: "Se hace notar en este trabajo que los tipos de fallas que se generan en laderas y taludes se deben por factores condicionantes y desencadenantes, que modifican las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, disminuyendo el esfuerzo cortante e incrementando los esfuerzos actuantes, haciendo cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca"; esto da un punto de referencia a la importancia de conocer la influencia de los factores condicionantes y desencadenantes sobre las masas de suelos y rocas.

En trabajos llevados a cabo en la Universidad de Chile, sobre "El desarrollo de una metodología para evaluar el peligro de remociones en masa ante diversos escenarios climáticos y sísmicos, orientada específicamente a los fenómenos catalogados como deslizamientos en roca y en suelo, flujos y caídas de rocas", investigación realizada por (Lara Castillo, 2007), obtuvo como resultado: "La necesidad de realizar planes de mitigación de daños orientados a la población de las zonas aledañas a la quebrada San Ramón.", ésta busca tener cierto aspecto cuantitativo al incorporar la realización de ensayos geotécnicos y la utilización de programas probabilísticos para la evaluación de generación de eventos.

Gonzáles, 2003, reporta que la modelización de la fase de propagación de los deslizamientos rápidos presenta grandes dificultades debido al cambio de comportamiento del material, que puede llegar a asemejarse a un fluido. El papel del agua intersticial es fundamental en muchos casos (flujos de derrubios y de lodos), aunque en otros, se trata de materiales secos (avalanchas de materiales granulares). En estos casos existe un fuerte acoplamiento entre la fase sólida y la fase fluida. El mismo autor obtuvo como conclusión de que la mejor manera de solucionar el problema de deslizamientos rápidos es obtener un conocimiento completo de las causas que pueden provocar estos deslizamientos y del comportamiento del material una vez

que el proceso se ha iniciado. Estos dos objetivos permitirán realizar una planificación efectiva de las medidas preventivas y correctoras que sean necesarias para evitar catástrofes como (deslizamiento de las Colinas en Santa Tecla).

Fernández, (2014), manifiesta que en todo proceso relacionado con la prevención y gestión de desastres naturales demanda la elaboración de una cartografía temática relativa a los aspectos a tratar. En este proyecto se detalla el proceso de producción de mapas de susceptibilidad del suelo a los deslizamientos usando como herramienta fundamental un SIG.

Obtuvo la siguiente conclusión de considerar imprescindible la elaboración previa de un organigrama de trabajo donde figuran los datos de partida necesarios, el análisis de las diferentes variables del proyecto requiere el diseño de una herramienta SIG integrando procesos propios de la evaluación de estas variables, además los análisis que obtuvo sobre los resultados, se concluyen en los siguientes puntos: la metodología propuesta no es única y debería revisarse regionalmente en base a experiencias pasadas y futuras de deslizamientos y el mapa de susceptibilidad, resultado final, muestra la importancia y relevancia que guardan las características geotécnicas de los materiales que componen las laderas.

Tapia, (2016), sostuvo que la importancia de la mecánica de suelos y rocas que proporcionan los parámetros geomecánicos para los análisis de estabilidad de las obras sirven para proponer mejores alternativas a los problemas encontrados; además obtuvo la conclusión fundamental que el reconocimiento geológico superficial es sin duda importante porque delimita las unidades litológicas y las estructuras geológicas mayores en donde se pretende desplantar las obras del proyecto, sin embargo se debe mencionar que sin la exploración directa no se hubiera podido obtener el modelo geológico, ya que las condiciones topográficas y de vegetación dificultan una exploración superficial, aún con la fotogeología.

De modo similar Thomatis, (2005), reportó que su proyecto consiste en el estudio de sostenimiento de tres taludes que se consideran de alto riesgo geológico debido a la alta probabilidad de deslizamiento que los caracteriza; obtuvo grados de riesgo geológico que muestran cuáles son los taludes que presentan un riesgo más elevado. Esta comunidad es entonces la que precisa de una actuación para estabilizar sus taludes con mayor rapidez frente a los demás taludes estudiados ya que sus taludes son aquellos que tienen mayor susceptibilidad al deslizamiento.

Caro, (2005), elaboró una metodología para generar un índice relativo de riesgo múltiple en áreas urbanas, el cual permitirá llevar los mapas de peligros que son más objetivos y se basan en información física poco cambiante, a mapas de riesgo, siendo estos más complejos pues reflejan la interacción entre los fenómenos naturales los sistemas físicos y sociales producidos por el hombre, concluyó que la implementación de un índice relativo de riesgo los cuales son medio para crear una plataforma en la prevención de los peligros y para la planeación de operativos de mitigación. Resulta una herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo, especialmente se combinan con diferentes elementos expuestos.

Perálvarez, (2005), Presentó un inventario de 252 movimientos de ladera y describió tipologías, dinámica, litología, etc. El área afectada por movimientos de ladera representó el 3.21% del área total de la zona de estudio. Analizó los factores determinantes más relevantes para el análisis de la susceptibilidad, por el método de la matriz, mediante el cruce de éstos con el inventario; concluyó que la mayor parte del área está comprendida entre 1500 y 2000 m, presenta pendientes fuertes a muy fuertes y son zonas de mayor susceptibilidad a los movimientos de ladera.

Mena, (2008), sostuvo que para identificar el comportamiento de los factores que promueven la ocurrencia de movimientos mediante técnicas multivariantes, planteó determinar la susceptibilidad de la zona a los movimientos con base en la zonificación del peligro; En consecuencia obtuvo resultados que muestran que es posible obtener mapas satisfactorios y coherentes mediante el uso de técnicas estadísticas multivariante y un SIG. De esta manera resulta importante estudiar el comportamiento y la relación que existe entre los diversos factores que intervienen en el sistema de equilibrio de ladera.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Remociones en masa.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb & Harrod, 1989). El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención y control. (Suárez Díaz, 1998)

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de ‘movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores’ (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente, ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden D. , 1991). Algunos movimientos en masa, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier & Glade, 1999) y (Glade & Crozier, 2005).

En la actualidad se cuenta con una serie de clasificaciones para los distintos tipos de eventos de remoción en masa, los principales estudiosos que proporcionaron las diversas clasificaciones, fueron: Varnes (1978), Hauser (1993) y Cruden & Varnes, (1996). Las remociones en masa han sido clasificadas por estos últimos autores en las siguientes categorías:

- ✓ Desprendimientos o caídas.
- ✓ Deslizamientos (rotacionales y traslacionales).
- ✓ Flujos.
- ✓ Volcamiento o basculamiento.
- ✓ Extensiones laterales.

Es importante tener en cuenta que hay factores externos que influyen en el tipo de movimiento (deslizamiento rotacional y deslizamiento traslacional) en determinada ladera, puede fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (Glade & Crozier, 2005).

Las clasificaciones que se muestran consideran diversos factores (suelo, roca, el mecanismo de ruptura y el grado de saturación) junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de remociones en masa; así como las velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado. Son frecuentes además, los procesos combinados (deslizamientos que derivan en flujos) (Scott *et al.*, 2001).

Si bien es cierto que existe una serie de factores condicionantes para el desarrollo de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es asimismo de crucial importancia identificar el factor que se encarga de desencadenarlo. Entre los principales factores desencadenantes de estos fenómenos se encuentran los sismos, responsables principalmente de deslizamientos y caídas, y lluvias intensas, que generan en su mayoría flujos y deslizamientos, ambos factores son capaces de desencadenar todos los tipos de remociones en masa. (Lara Castillo, 2007)

Existe una serie de factores condicionantes (intrínsecos) que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son propios de las características de la ladera, además para el desarrollo de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es esencial identificar la importancia del factor o factores que se encargan de desencadenarlo. Entre los principales factores desencadenantes (externos) que detonan la inestabilidad de las laderas se encuentran los sismos, causantes principalmente de deslizamientos de suelos y caídas de rocas, otro de los factores detonantes son las lluvias intensas, que generan en su mayoría flujos y deslizamientos, si bien ambos factores son capaces de desencadenar todos los tipos de remociones en masa, existen otras causas naturales o antrópicas que pueden causar el mismo efecto. (Suárez Díaz, 2009).

Se debe tener en cuenta que actualmente no existe ningún método analítico que pueda predecir la probabilidad temporal de ocurrencia de un futuro movimiento en masa. Incluso, los programas de computador que producen “análisis probabilísticos de la estabilidad de taludes”.

(Tarbuck & Lutgens, 2005), exponen que la autotraslación de materiales en las laderas, como cualquier otro desplazamiento, es función de todas las fuerzas implicadas que en este caso son: el peso, la fricción y la cohesión del material. El peso contribuye a la acción motora, mediante su componente tangencial, y a la resistencia, mediante su componente normal o vertical, de acuerdo con el modelo de bloque deslizante sobre un plano inclinado.

Ferrando, (2002) reconoce en la sección andina de la Quebrada San Ramón, ubicada en Santiago de Chile, una serie de situaciones que indican una alta inestabilidad tanto pasada como actual. Entre éstas se cuentan voluminosos depósitos de remoción en masa, de materiales coluviales, de deslizamientos de laderas y de derrumbes de frentes rocosos, los cuales son aportados a los numerosos cauces que fluyen hacia el valle, además de depósitos de granulometría mayor (grandes bloques de roca) en cauces de quebradas, los cuales podrían ser retransportados por potenciales flujos detríticos generados principalmente por eventos de precipitación intensa o sismos de gran magnitud.

El Perú es un país de desastres por excelencia, el desarrollo de una estructura productiva y social cada vez menos articulada a la capacidad de uso mayor de los recursos naturales y culturales del país, hace que los fenómenos geodinámicos ocurran con mayor frecuencia y causan estragos en una sociedad y economía con niveles alarmantes de vulnerabilidad; los fenómenos geodinámicos como los deslizamientos, ocurren desde tiempos geológicos pasados en la superficie terrestre como parte de su evolución natural. Los desastres en el Perú tienen amplia manifestación a lo largo y ancho del territorio debido a las características geológicas, geomorfológicas, climatológicas, etc., que determinan un comportamiento muy activo para los deslizamientos. (Rengifo, 1991)

El departamento de Cajamarca y sus alrededores no son ajenos a este tipo de problemas, por lo que deben contar con estudios geológicos de detalle para prevenir problemas de remoción de masas de suelos y de rocas debido al ámbito bastante complejo y variado que proporciona gran cantidad de problemas a la infraestructura existente en la zona de tal manera que pueden afectar a los pobladores y hacer perder millones de soles y muchas vidas, en este sentido, la zona de Lucmacucho debe de disponer de información geológica y geodinámica para los problemas cotidianos que se derivan de las construcciones mal emplazadas (Cruzado *et al*, 2013).

2.2.1.1 Clasificación de las remociones en masa.

Las remociones en masa han sido clasificadas por los autores Cruden & Varnes (1996), de acuerdo al tipo de movimiento y al material involucrado (Varnes, 1978) (Ver Tabla 3). En esta clasificación se muestra un concepto amplio y sirve como base y guía para la determinación de manera amplia los movimientos en masa de suelos y rocas. De manera simple, la combinación de estos términos dará el nombre a la remoción en masa, sin perder en consideración que pueden existir eventos combinados que le otorguen complejidad tanto al comportamiento del fenómeno como a la clasificación que se pretenda otorgarle.

Tabla 3: Clasificación de remociones en masa

Tipo de movimiento		tipo de material		
		Roca	Suelo	
			De grano grueso	De grano fino
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos	Caídas de suelos
Basculamientos		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamiento	Rotacional	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
	Traslacional	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
Separaciones laterales		Separacion lateral en roca	Separacion lateral en detritos	Separacion lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos		

Fuente: Varnes, 1978.

Suarez Díaz, (1998) reporta que en la tabla 4 se indica la escala de velocidades de movimientos propuesta por la Junta de investigación de transporte de los Estados Unidos, la cual considera como escala única del movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimiento y se requiere definir cada uno de ellos.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable. Por otro lado los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas.

Los movimientos generados presentan diversas tasas de movimientos, van desde extremadamente rápidos a extremadamente lentos. A fin de unificar estos términos, Cruden & Varnes (1996) se asocian valores con términos cualitativos de rapidez (Tabla 4).

El gran número de factores que condicionan los procesos de remoción en masas, sus diversas velocidades de desplazamiento, mecanismo de ruptura, litología, ambientes climáticos y geomorfológicos en que se desarrollan, impone serias dificultades al establecimiento de un sistema unificado de clasificación para establecer una descripción determinada de las remociones, con énfasis en aquellas que alcanzan mayor desarrollo en determinados países.













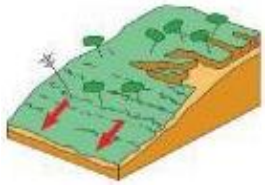
TIPO DE MOVIMIENTOS	VARIANTES	ROCAS	DERRUBIOS	SUELOS
Caídas	Desprendimientos			
	Vuelcos			
Deslizamientos	Rotacionales (slump)			
	Traslacionales			
Expansión Lateral				
Flujos	Corriente de derrubios (debris flow)			
	Colada fangosa (earthflow)			
	Reptación (creep)			
Complejos		Combinación de dos o más tipos de movimientos		

Figura 1: Clasificación para los tipos de movimientos gravitacionales. (Fuente: Varnes, 1978).

Tabla 4: Escala de velocidad de remociones en masa.

Clase según velocidad	Descripción	Velocidad (m/s)	Velocidad Típica
7	Extremadamente rápido	5	5 m/s
6	Muy rápido	0.05	3 m/s
5	Rápido	5×10^{-4}	1.8 m/hr
4	Moderado	5×10^{-6}	13 m/mes
3	Lento	5×10^{-8}	1.6 m/año
2	Muy lento	5×10^{-10}	16 mm/año
1	Extremadamente lento	$< 5 \times 10^{-10}$	<16 mm/año

Fuente: Cruden & Varnes, 1996.

Los deslizamientos de suelos consisten en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, estos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por efecto de los agentes antrópicos; además, estos se pueden dividir en dos grandes subtipos los cuales son denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales es de vital importancia en un análisis geotécnico para diferenciar cada uno, puesto que se puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse, estos dos subtipos implican un concepto específico en lo que concierne a deslizamientos. (Suárez, 1998)

En el caso del Perú, el INGEMMET como colaborador del Grupo de estándares para movimientos en masa (PMA: GCA, 2007) ha adoptado una clasificación similar a la de Varnes; en esta se presenta para las clases de movimientos en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones; se describe además cierto tipo de deformaciones gravitacionales profundas (Tabla 5). De otro lado Suárez (1998) indica que existen varias etapas en el proceso de falla, estas clasificaciones son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas deben adaptarse a las condiciones de los verdaderos movimientos.

La inestabilidad de taludes y laderas están entre las fallas más corrientes de masas de tierra o rocas. El peso de la masa del terreno y del agua que pudiera estar en él, es la fuerza principal que tiende a producir la falla, mientras que la resistencia al esfuerzo cortante del terreno disminuida por la presión de agua es la principal fuerza resistente. (León C, A y Gonzáles O, J, 2013)

Tabla 5: Tipos de movimientos en masa.

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque)
	Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña
	Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta
	Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos
	Crecida de detritos
	Flujo de lodo
	Flujo de tierra
	Flujo de turba
	Avalancha de detritos
	Avalancha de rocas
	deslizamiento por flujo o deslizamientos por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos
	Soliflujión, geliflujión (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

Fuente: PMA: GCA, 2007.

Asimismo Suárez (2009) indica que la velocidad del movimiento tiene una gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos, corresponden a catástrofes de gran violencia. Por otro lado, los movimientos extremadamente lentos son casi imperceptibles y representan un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas. (Tabla 6)

En este sentido, la velocidad del movimiento es lenta al principio y puede aumentar (gradual o instantáneamente) de acuerdo con el tipo de movimiento (un movimiento de volteo en su inicio es extremadamente lento por un largo periodo de tiempo, pero instantáneamente, puede convertirse en un caído extremadamente rápido). Se recomienda monitorear en las áreas urbanas o cuando está amenazada una obra importante. Los análisis cuantitativos clásicos de estabilidad en laderas y taludes arrojan como resultados fundamentales el factor de seguridad contra el deslizamiento y la ubicación y geometría de la superficie de rotura, a partir de estos resultados se puede conocer el volumen de suelo y roca en inminente falla o movimiento. Para el estudio de dicho análisis se utilizan básicamente los parámetros relativos que actúan directamente con las características intrínsecas o internas del talud o ladera (León Castro & González Olhmeir, 2013).

Tabla 6: Poder destructor de acuerdo a la escala de velocidad.

Clase según velocidad del deslizamiento	Poder Destructor
7	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
6	Algunas vidas perdidas, velocidad demasiado grandes para permitir escapar a todas las personas
5	Escape de evacuación posible. Estructuras, propiedades y equipos destruidos
4	algunas estructuras temporales e insensibles se pueden mantener temporalmente
3	Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	algunas estructuras permanentes no se dañan por el movimiento
1	Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción pero teniendo ciertas precauciones.

Fuente: Cruden & Varnes, 1996.

En relación al volumen del deslizamiento fue propuesta por (Fell, 1994) (Ver Tabla 7). El volumen determina la magnitud del riesgo. Generalmente, a mayor volumen, mayor el riesgo, para algunos deslizamientos extremadamente lentos y de gran volumen, representan riesgos relativamente manejables. Sin embargo, en flujos o avalanchas, la velocidad puede ser más importante que el volumen total del deslizamiento. Igualmente, algunos deslizamientos extremadamente lentos y de gran volumen, representan riesgos relativamente manejables. (Suarez, 1998)

Tabla 7: Clasificación de deslizamientos de acuerdo con su volumen

Clase de Tamaño por Volumen	Descripción del Tamaño	Volumen (m3)
1	Extremadamente pequeño	<500
2	Muy pequeño	500 a 5.000
3	Pequeño	5.000 a 50.000
4	Mediano	50.000 a 250.000
5	Medianamente grande	250.000 a 1.000.000
6	Muy grande	1.000.000 a 5.000.000
7	Extremadamente grande	>5.000.000

Fuente: Fell R. (1994).

2.2.2. Deslizamientos.

Según Cruden, 1991, menciona que los deslizamientos (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud”. Además Suárez, 2009, señala que el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales. Es decir, La naturaleza precisa del proceso no está incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, etc. En el presente texto no se utiliza la denominación “Fenómeno de remoción en masa” (Mass Wasting), por considerarlo poco universal.

Debido a lo que menciona Suárez, 2009, los movimientos ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla (caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos). Los fenómenos de inestabilidad incluyen, generalmente, una combinación de procesos erosionales y denudacionales. (la erosión en ríos es un fenómeno activador de movimientos en masa y los dos fenómenos actúan conjuntamente en el proceso de inestabilidad). Los procesos denudacionales pueden activar procesos erosionales y viceversa. Los procesos de erosión actúan generalmente sobre las capas más subsuperficiales del perfil y los denudacionales o de “remoción en masa” afectan el perfil a una profundidad considerable.

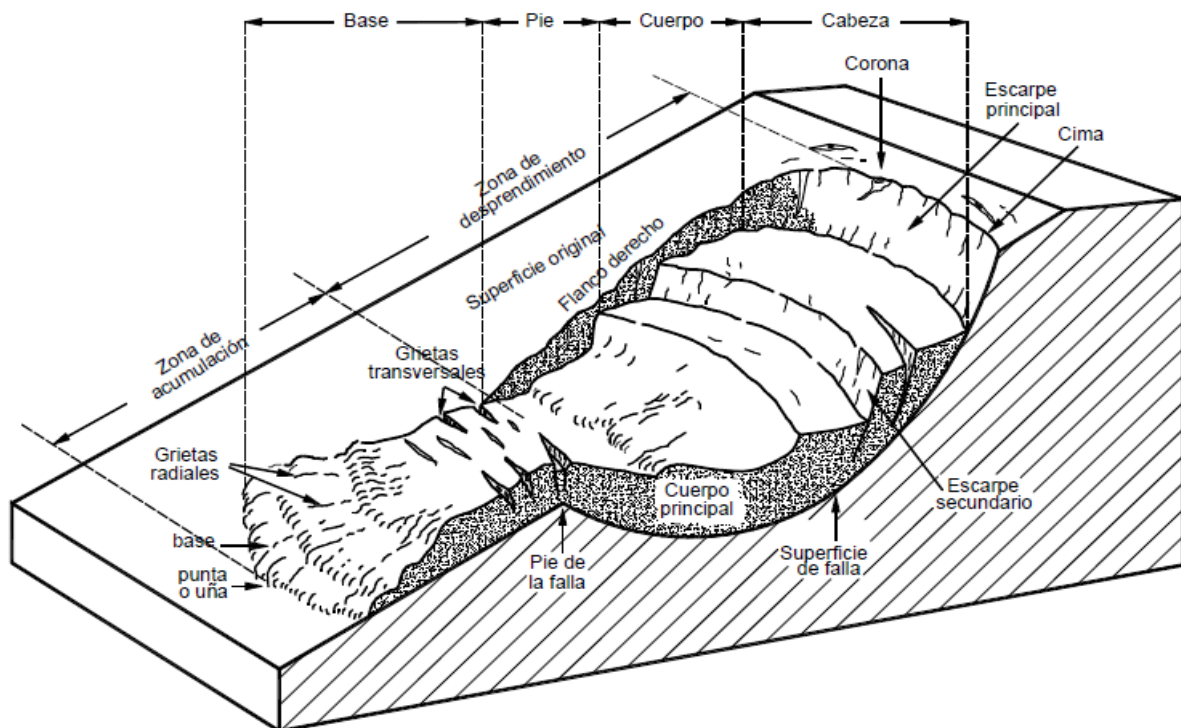


Figura 2: Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.
(Fuente: Suárez, 2009).

2.2.2.1 Partes de un deslizamiento.

Suárez, 2009, menciona que la figura 2 muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa e indica que las partes principales que lo componen son las siguientes:

- Cabeza. Parte superior de la masa que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
- Cima. El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- Corona. El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- Escarpe principal. Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.
- Escarpe secundario. Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- Superficie de falla. Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza.
- Pie de la superficie de falla. La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- Base. Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- Punta o uña. El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- Cuerpo principal del deslizamiento. El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

- Costado o flanco. Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.
- Derecha e izquierda. Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica; pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

2.2.2.2 Dimensiones de los movimientos.

El mismo investigador, menciona que para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología utilizada por el (IAEG, 1990) (Ver Figura 3):

- Ancho de la masa desplazada W_d . Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud L_d .
- Ancho de la superficie de falla W_r . Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .
- Longitud de la masa deslizada L_d . Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- Longitud de la superficie de falla L_r . Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- Profundidad de la masa desplazada D_d . Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- Profundidad de la superficie de falla D_r . Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- Longitud total L . Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- Longitud de la línea central L_c . Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento.

2.2.2.3 Volumen de un deslizamiento.

Estudios de Suárez, 2009, concluye que el volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la expresión:

$$\text{Vol}_{\text{des}} = \left(\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D_r \cdot W_r \cdot L_r \right) \cdot F_{\text{ex}}$$

Donde:

Dr: Profundidad de la superficie de falla.

Wr: Ancho de la superficie de falla.

Lr: Longitud de la superficie de falla.

Fex: Factor de expansión del suelo.

El volumen de material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

El volumen del deslizamiento es importante para determinar la amenaza y el riesgo en los flujos y avalanchas. De acuerdo con el volumen y la concentración de sedimentos se puede determinar la velocidad del flujo.

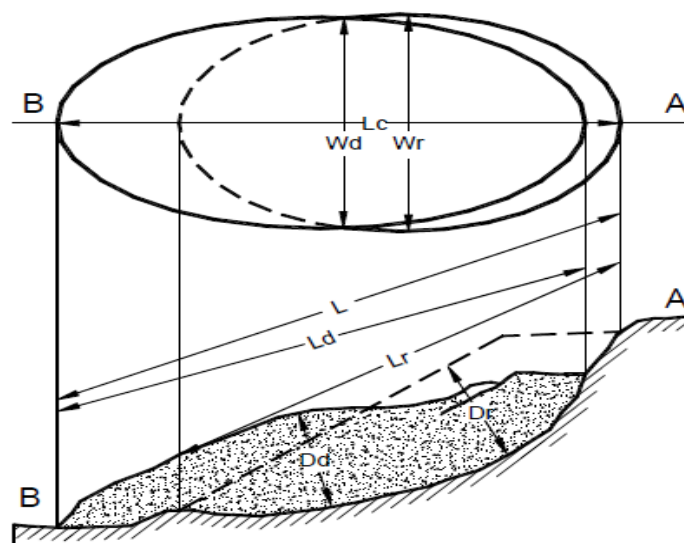


Figura 3: Dimensiones de los movimientos en masa.
(Fuente: IAEG, 1990).

2.2.3. Parámetros condicionantes.

La inestabilidad de taludes y laderas están entre las fallas más corrientes de masas de tierra o rocas. El peso de la masa del terreno y del agua que pudiera estar en él, es la fuerza principal que tiende a producir la falla, mientras que la resistencia al esfuerzo cortante del terreno disminuida por la presión de agua es la principal fuerza resistente. La superficie de falla sobre la cual se desliza la masa de suelo o roca inestable, tiene generalmente forma cóncava y es sin dudas un fenómeno de carácter tridimensional. Cuando la masa está a punto de fallar, las fuerzas que producen el movimiento han llegado a ser iguales a la resistencia que opone la masa a ser movida.

En la mayoría de los casos existen simultáneamente varias causas y tratar de decidir cuál produjo finalmente la falla no es solamente difícil, sino que es también inexacto. A menudo el factor que finalmente puso en movimiento la masa de tierra no es más que el disparador, puesto que ya estaba al borde de fallar. Llamar al factor final la causa es lo mismo que decir que el fósforo que encendió la mecha del cartucho de dinamita que destruyó el edificio, es la causa del desastre (Sowers & Sowers, 1972).

Los parámetros condicionantes son aquellos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998).

Además los parámetros condicionantes son aquellos que generan inestabilidad en las laderas y son relativos a la propia naturaleza; estos pueden actuar en la inestabilidad de las laderas de forma individual como compuesta, es decir actúan controlando la susceptibilidad que se produzca un fenómeno de remoción en masa. (Suárez, 1998)

Para poder establecer un modelo conceptual, se tiene que analizar los parámetros condicionantes que intervienen en los procesos de remociones en masa, y como se relacionan con la inestabilidad de laderas. También hay que analizar la influencia de todos y cada uno de los diversos parámetros que determinan la estabilidad de un talud.

2.2.3.1 Parámetros geométricos.

Respecto al parámetro geométrico o topográfico (León Castro & González Olhmeir, 2013), manifiestan que este parámetro tiene por finalidad determinar a detalle el área afectada (o de potencial afectación) y la geometría de los taludes en el caso de laderas inestables (o con riesgo de inestabilidad), incluyendo para estos últimos su pendiente y altura. En sitios que presenten agrietamientos o hundimientos se determinará la magnitud de los mismos y las distorsiones angulares en las estructuras afectadas. Todo esto, acompañado de imágenes, planos en planta, elevación y secciones transversales representativas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Popescu, 2002).

Con referencia a parámetros condicionantes geotécnicos (Lambe & Whitman, 1972), reportan que para el suelo se generará un deslizamiento en un talud si su ángulo supera el ángulo de fricción interna del material. Efectivamente, para que se produzca una remoción en masa debe existir material susceptible a ser movilizado. En el caso de deslizamientos, se genera una situación naturalmente inestable, donde para el caso de suelo se generará un deslizamiento en un talud, si su ángulo supera el ángulo de fricción interna del material.

Según (Martin, 1996). Indica que a mayor intensidad de pendiente, la velocidad que toma el agua al escurrir es mayor y por lo tanto es mayor la erosión del suelo. Asimismo expresa que, además de la intensidad, es importante la longitud de las pendientes, siendo esta la distancia desde donde empieza a discurrir el agua, hasta donde finaliza. Si la pendiente es más larga, ocasiona que el agua que no infiltra en el perfil comienza a escurrir y adquiere mayor velocidad; al aumentar la velocidad de escurrimiento del agua aumenta la erosión.

En áreas de montañas de alta pendiente y valles semiplanos se pueden identificar las áreas de acuerdo con su relieve, el cual es uno de los factores que más afecta la susceptibilidad a los deslizamientos. La pendiente juega un papel preponderante en el control de los procesos de remoción en masa, toda vez que se tratan de movimientos gravitacionales por excelencia. (Fernández & Lutz, 2003)

Suárez, 2009., indica que para la elaboración del mapa de susceptibilidad es importante dibujar previamente, un mapa de pendientes adicional a los mapas geológicos. El objetivo es generar una planta topográfica del área a estudiar, delimitando las áreas de pendiente diferente, se evaluarán las pendientes de acuerdo a la clasificación (Ver Tabla 8) de la zona de estudio.

Tabla 8: Clasificación utilizada para elaborar mapa de pendientes.

Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)
Muy baja	0 a 5 % (0 a 8.5 grados)
Baja	15 a 30 % (8.5 a 16.7 grados)
Mediana	30 a 50 % (16.7 a 26.6 grados)
Alta	50 a 100 % (26.6 a 45 grados)
Muy alta	Más de 100 % (más de 45 grados)

Fuente: Suárez, 2009.

2.2.3.2 Parámetros geológicos.

Estudios de Suárez, 2009, menciona que la susceptibilidad de los deslizamientos de suelos está relacionado en forma directa con las características geológicas de la zona de estudio. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades que pueden facilitar la ocurrencia de movimientos (Suárez, 1998).

Geología histórica.

Reyes, 1980, manifiesta que después de la transgresión marina del Triásico, a fines del Liásico, se produce una emersión con la retirada del mar, seguido de una intensa erosión, capaz de dar lugar a una discordancia angular entre el grupo Goyllarisquizga y el Grupo Pucará.

A fines del Albiano medio, el mar cubrió totalmente la región llegando hasta el oriente peruano, condiciones que subsistieron hasta el Santoniano, donde se depositaron en la cuenca, rocas calcáreas de las Formaciones Yumagual, Cajamarca, etc. Después del Santoniano, comenzó el levantamiento de grandes sectores de la cuenca y algunos de la plataforma, produciéndose una acumulación clástica en las partes bajas, especialmente sobre la plataforma (formación Chota). Fuera del área, la erosión de las zonas emergidas alcanzó en ciertos sectores hasta el Grupo Gollarisquizga y constituyo el primer movimiento del Ciclo Andino.

Geología regional.

Estudios de Reyes, 1980, mencionan que las formaciones más antiguas del área están representados por sedimentos de la edad permo-triásico, su mayor desarrollo se ha distinguido en las zonas adyacentes como es Cajamarca. Sobreyaciendo a estos depósitos y ocupando el 70% del área se exponen rocas del Mesozoico correspondiendo el 25% a una cobertura Cenozoica, constituida por rocas efusivas que en discordancia angular, descansan sobre los sedimentos anteriores. Finalmente, se distinguen lechos lacustres y suelos de edad Cuaternaria.

Los sedimentos son Fluviales y Deltaicos, especialmente en la parte oriental donde son más delgados. Las areniscas y cuarcitas se interdigitan con las calizas y lutitas marinas de la formación Santa, que sugieren un ambiente de corrientes en aguas salobres. Esta característica continúa con las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Carhuaz, terminando en la parte superior con una predominancia de cuarcitas que conforman la formación Farrat.

2.2.3.2.1 Factores geológicos y problemas geotécnicos.

González *et al.*, (2002), describe la manera que influyen en los parámetros que se estudiarán con la geología. La diversidad del medio geológico y la complejidad de sus procesos, hacen que en las obras de ingeniería se deban resolver situaciones donde los factores geológicos son condicionantes de un proyecto. La influencia de la litología se muestra a continuación.

Cuadro 1: Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno.

Litología	Factores característicos	Problemas geotécnicos
Rocas duras	- Minerales duros y abrasivos.	- Abrasividad. - Dificultad de arranque.
Rocas blandas	- Resistencia media a baja. - Minerales duros y abrasivos.	- Roturas en taludes. - Deformabilidad en túneles. - Cambio de propiedades con el tiempo.
Suelos duros	- Resistencia media a alta.	- Problemas en cimentaciones con arcillas expansivas y estructuras colapsables.
Suelos blandos	- Resistencia baja a muy baja.	- Asientos en cimentaciones. - Roturas en taludes.
Suelos orgánicos y biogénicos	- Alta compresibilidad. - Estructuras metaestables.	- Subsistencia y colapsos.

Fuente: González *et al.*, (2002).

A continuación, se presenta la influencia de la litología y la estructura geológica sobre el comportamiento geotécnico de los materiales rocosos y suelos. En resumen, se concluye:

- ❖ Los factores geológicos son la causa de la mayoría de los problemas geotécnicos.
- ❖ Los procesos geológicos pueden modificar el comportamiento de los materiales, incidiendo sobre el medio físico, y ocasionar problemas geotectónicos.

Cuadro 2: Estructuras geológicas y problemas geotécnicos.

Estructuras geológicas	Factores característicos	Problemas geotécnicos
Fallas y fracturas	- Superficies muy continuas; espesor variable	Roturas, inestabilidades, acumulación de tensiones, filtraciones y alteraciones.
Planos de estratificación	- Superficies continuas; poca separación.	Roturas, inestabilidades y filtraciones.
Discontinuidades	- Superficies poco continuas, cerradas o poco separadas.	Roturas, inestabilidades, filtraciones y alteraciones.
Pliegues	- Superficies de gran continuidad.	Inestabilidad, filtraciones y tensiones condicionadas a la orientación.
Foliación, esquistosidad	- Superficies poco continuas y cerradas.	Anisotropía en función de la orientación.

Fuente: Gonzales *et al.*, (2002).

De igual modo (González *et al.*, 2002), manifiesta que las estructuras abarcan fundamentalmente planos de estratificación, grupos de diaclasas, grietas de tensión y fallas, siendo necesario que éstas sean caracterizadas en cuanto a su abertura, relleno y rugosidad; Además la condición y orientación de las estructuras es bastante relevante, encontrándose que estructuras abiertas con rellenos de minerales blandos o estructuras poco rugosas, tenderán a conformar planos de debilidad en el macizo; por otro lado estructuras en la dirección del manto del talud generarán condiciones inestables para la ladera; sin embargo, dentro de esta categoría se considera también el volcamiento o “toppling”, que se genera cuando los estratos mantean en sentido opuesto a la ladera y se “vuelcan”.

Macial, 1981 manifiesta que los riesgos geológicos, están dados por la geología, así como la morfología de la región, factores que dan a conocer la dinámica interna y externa que

en ella se lleva a cabo; procesos que ponen en riesgo a los seres humanos y el medio ambiente. Además los movimientos de masas de suelo y roca en laderas se presentan frecuentemente en zonas de morfología variable donde los procesos erosivos y de meteorización son intensos, por lo que llegan a constituir riesgos geológicos. (León Castro & González Olhmeir, 2013)

Finalmente recalca que para cada tipo de formación geológica se tiene una susceptibilidad variable a los deslizamientos, por tal razón se deben de estudiarse cada propiedad de las formaciones que se tengan en las rocas, las características de las discontinuidades entre las formaciones y la interacción de las propiedades del conjunto.

2.2.3.3 Parámetros hidrológicos.

Suárez, 1998, indica que se deben de tener en cuenta los parámetros relacionados con el régimen de aguas subterráneas que pueden actuar como detonadores de las laderas o taludes, indirectamente estos se encuentran relacionados con la hidrología superficial y con las lluvias.

El agua se reconoce como un parámetro importante en la estabilidad de las pendientes, casi tan importante como la gravedad. Un suelo saturado presentará variaciones en su cohesión dependiendo de la uniformidad de su granulometría; Pues bien, la incorporación de agua en la estructura interna del suelo, que en algunos casos ésta pueda llegar a saturarse, puede provocar una disminución en la resistencia del material (Lambe & Whitman, 1972).

(Pathak & Nilsen, 2004), aducen que para el caso de flujos, éstos en su gran mayoría se generan por saturación del material, lo cual al provocar un aumento en la presión de poros disminuye su resistencia al cortante, se debe tener en cuenta en el momento de evaluar este parámetro que la distribución de agua subterránea varía de acuerdo a la topografía y a la condición de meteorización de la roca madre.

El parámetro hidrológico, se refiere a la acción de las aguas de escorrentía superficial y agua subterránea que son determinantes entre los parámetros que intervienen en los procesos de erosión en masa de suelo sobre la zona en estudio. Según Hoyos, 2001, concluye que la presencia del agua en el suelo aumenta su peso unitario y, con él, las fuerzas motrices, además puede aumentar la presión intersticial o presión neutra y disminuir en consecuencia los esfuerzos efectivos y la resistencia al cortante.

Cuadro 3: Efectos geológicos relacionados con el agua y su incidencia geotécnica.

Procesos geológicos en relación al agua	Efectos sobre materiales	Problemas geotécnicos
Disolución	- Pérdida de material en rocas y suelos solubles. - Karstificación.	- Cavidades. - Hundimientos. - Colapsos.
Erosión - arrastre	- Pérdida de material y lavado. - Erosión interna. - Acarcavamientos.	- Hundimientos y colapsos. - Asientos. - Sifonamientos y socavaciones. - Aterramientos.
Reacciones químicas	- Cambios en la composición química.	- Ataque a cementos, áridos, metales y rocas.
Alteraciones	- Cambio de propiedades físicas y químicas.	- Pérdida de resistencia. - Aumento de la deformabilidad y permeabilidad

Fuente: Gonzales *et al.*, (2002).

Suárez, 1998, manifiesta que el agua es el factor que más comúnmente se le asocia con las fallas en taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos y el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de deslizamientos. De modo similar Richards, 1985 sostuvo que si el régimen de agua del suelo es alterado drásticamente por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial, puede producir la inestabilidad (Richards, 1985).

2.2.3.4 Parámetros geotécnicos.

El estudio geotécnico tiene por objeto obtener todos los parámetros para modelar los procesos de inestabilidad y diseñar obras de mitigación. Para el estudio geotécnico, se cuentan con diversos factores del suelo que se tienen que estudiar y analizar en el laboratorio; uno de estos es, la composición y granulometría del material, adquieren relevancia al ser determinante de las propiedades de resistencia del suelo y su estabilidad en laderas, así como la plasticidad y humedad de un suelo influirá directamente en su grado de cohesión. Si un suelo fino tiene alta cohesión, la presencia de niveles de poco espesor podría generar superficies potenciales de deslizamientos para el material que lo antecede. (Suárez, 2009)

Según León & Gonzáles, 2013, manifiestan que el estudio de mecánica de suelos. Incluyen trabajos de exploración y muestreo para determinar el perfil estratigráfico detallado del subsuelo y obtener muestras representativas alteradas e inalteradas para efectuar ensayos de laboratorio, con la finalidad de efectuar la clasificación de los suelos, determinación de sus parámetros físicos y mecánicos, incluyendo para estos últimos la resistencia y sus características de compresibilidad; se incluirá información sobre el origen y consistencia en finos.

También se hará la caracterización de los mecanismos de falla presentados o del tipo de inestabilidad existente que justifique el estudio del sitio (deslizamientos, flujos, agrietamientos, hundimientos, etc.).

Suárez, 1998, indica que el área de investigación geotécnica depende del tamaño del proyecto y de la extensión de los factores geológicos y topográficos que afectan el problema a estudiar; en este caso es la influencia que tiene un parámetro sobre otro y la importancia para generar el deslizamiento de suelo.

Suárez, 2009, indica en sus investigaciones que el objetivo del programa de exploración, es establecer con el mejor detalle posible las propiedades de los suelos y rocas que afectan el comportamiento de un talud o la ocurrencia de un deslizamiento.

2.2.3.4.1 Clasificación de las rocas con fines geotécnicos.

Gonzáles *et al.*, (2002), reporta que las clasificaciones geológicas o litológicas son importantes en ingeniería geológica ya que aportan información sobre la composición mineralógica, la textura y la fábrica de las rocas, así como la isotropía o anisotropía estructural en rocas de determinado origen, como es el caso de las rocas masivas frente a rocas laminadas o foliadas. Así, el término de roca ígnea o metamórfica indica (estructura, textura, composición, tamaño de grano, etc.) estos factores, que se emplean para sub clasificar los grupos principales, condicionan las propiedades físicas y resistentes de la roca.

Otras propiedades como la densidad, porosidad, cambios de volumen, compresibilidad, etc., dependen igualmente de los factores geológicos que se enumeran en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Factores geológicos condicionantes de las propiedades geotécnicas del suelo

Factores geológicos	Características principales
Tipo de suelo	- Suelos residuales y roca madre. - Suelos transportados y medio de transporte.
Ambiente de formación	- Granulometría y porosidad. - Contenido de humedad. - Geoquímica del agua intersticial. - Presión de confinamiento y temperatura.
Composición mineralógica	- % minerales de arcilla. - Fórmula estructural. - Superficie específica, carga eléctrica e intercambio iónico. - Composición del agua intersticial.
Fábrica del suelo y transformaciones post-sedimentarias.	- Estructura y microfábrica de suelo. - Discontinuidades. - Meteorización. - Cambios diagenéticos. - Consolidación y carga de sedimentos.

Fuente: Gonzales *et al.*, (2002).

Respecto a la influencia de la mineralogía en las propiedades geotécnicas, Gonzáles, (2002), concluye que los suelos están formados por partículas sólidas, fluidos, gases y espacios vacíos, se pueden clasificar en dos tipos, los cuales son, los suelos granulares y los suelos finos.

Las partículas de los suelos granulares suelen comportarse de forma estable y resistente, mientras que los suelos finos forman estructuras laminares, de comportamiento muy variable, siendo geotécnicamente inestables. Los suelos granulares no son plásticos y la resistencia depende básicamente del ángulo de rozamiento interno, que a su vez está condicionado por la forma, tamaño y grado de empaquetamiento de las partículas sólidas; los suelos finos son plásticos, y la resistencia depende tanto del rozamiento interno entre las partículas sólidas, como de las fuerzas de cohesión existentes entre las mismas, se denomina suelos cohesivos.

La determinación del contenido de humedad es un ensayo de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en un suelo, la humedad es la relación que existe entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca, expresada en porcentaje. (Legoas Speziani, 2007)

La gravedad específica es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la

misma temperatura. El valor del peso específico es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo. (Legoas Speziani, 2007)

La determinación del análisis granulométrico permite cuantificar la distribución de las partículas de un suelo, esta distribución se realiza por un proceso de tamizado luego de haber separado los finos por lavado, dejándose luego secar para pasar a través de los tamices que van de un diámetro mayor a menor. (Legoas Speziani, 2007)

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. El límite plástico es el contenido de agua del material, en el límite inferior de su estado plástico. (Legoas Speziani, 2007)

El ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra, valor que entre otras cosas nos será muy útil para el cálculo de la estabilidad de taludes. La resistencia al esfuerzo cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión, aportada por la fracción fina del suelo y responsable a su vez del comportamiento plástico de este, y el rozamiento interno entre las partículas granulares. (Legoas Speziani, 2007)

2.2.4 Parámetros desencadenantes.

Según Wieczorek, 1996, concluye que el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera, detonan la estabilidad de la ladera y genera una respuesta traducida en una remoción de masa. Los agentes desencadenantes más comunes de remociones en masa pueden ser los agentes naturales que están conformados por las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial sobre el suelo, las variaciones de temperatura y los sismos; el otro agente más importante es el antrópico mediante la deforestación, quemas e incendios forestales, cortes de taludes para construcción de carreteras e infraestructura y el mal uso del suelo.

Cooke & Doornkamp, 1974; Crozier M. , 1984; Chacón *et al.*, 1993; Irigaray, 1995, indican que la inestabilidad de las laderas depende de la acción conjunta de varios factores diferentes. Estos factores se pueden agrupar en factores desencadenantes o activadores, que controlan la actividad en el tiempo, y factores determinantes o condicionantes, que la controlan en el espacio (Hansen, 1984; Crozier, 1984, 1986).

Los factores desencadenantes son aquellos que inician el movimiento debido a la modificación, frecuentemente rápida, de las condiciones preexistentes de estabilidad. Entre estos destacan la precipitación (intensa o acumulada), que implica el aumento del contenido de agua y la presión intersticial del suelo, y la actividad sísmica, que produce aumento del esfuerzo de cizalla. (Perálvarez, 2005)

2.2.4.1 Precipitaciones.

González *et al.* (2002) destacan que las lluvias como parámetros detonantes de remociones en masa se encuentran relacionadas con su intensidad, duración y distribución. Así, las precipitaciones de poca intensidad en periodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello. Dentro de este aspecto, las precipitaciones cortas e intensas serían susceptibles a provocar eventos superficiales, en tanto remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004; Kim *et al.*, 2004). En los cuadros 3 y 4 se indica como el agua y los materiales son afectados por los diferentes procesos geológicos, dando lugar a problemas geotécnicos.

Además, las precipitaciones intensas aumentan la escorrentía superficial, aumentando con esto la erosión del material en laderas con suelo suelto.

Cuadro 5: Influencia de los procesos geológicos en la ingeniería y en el medio ambiente.

Procesos geológicos	Efectos sobre el medio físico	Problemas geoambientales y actuaciones
Sismicidad	<ul style="list-style-type: none"> - Terremotos, tsunamis. - Movimientos de suelo, roturas, deslizamientos, licuefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Daños a poblaciones e infraestructuras. - Diseño antisísmico. - Medidas de prevención. - Planes de emergencia.
Vulcanismo	<ul style="list-style-type: none"> - Erupciones volcánicas. - Cambios en el relieve. - Tsunamis y terremotos. - Colapsos y grandes movimientos en laderas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Daños a poblaciones e infraestructuras. - Sistemas de vigilancia. - Medidas de prevención. - Planes de evacuación.
Levantamientos, subsidencias	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios morfológicos a largo plazo. - Alteraciones en dinámica litoral y en el nivel del mar a largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas de control y vigilancia
Erosión - sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios geomorfológicos a medio - Arrastres y aumento de la escorrentía. - Colmatación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del riesgo de inundaciones y deslizamientos. - Medidas de protección en cauces y costas.
Movimientos de ladera	<ul style="list-style-type: none"> - Deslizamientos, desprendimientos, Hundimientos. - Cambios morfológicos a corto y medio plazo, desvío de cauces. 	<ul style="list-style-type: none"> - Daños a poblaciones e infraestructuras. - Obstrucción de cauces. - Medidas de estabilización, control y prevención.
Cambios del nivel freático	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en los acuíferos. - Cambios de propiedades del suelo. - Deseccación y encharcamientos. - Subsidencias e inestabilidad de laderas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas en cimentaciones. - Afección a cultivos y regadíos. - Medidas de drenaje.
Procesos tectónicos	<ul style="list-style-type: none"> - Tensiones naturales. - Sismicidad. - Inestabilidades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explosiones de roca en minas y túneles profundos. - Deformaciones a largo plazo en obras subterráneas. - Medidas de diseño en túneles y minas.
Procesos geoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> - Altas temperaturas. - Anomalías térmicas. - Presencia de gases. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de explosión. - Dificultad de ejecución en obras subterráneas.

Fuente: Gonzales *et al.*, (2002).

El agua es el parámetro que comúnmente se le asocia con las fallas de los taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos, las lluvias tienen una influencia directa en la infiltración y en el régimen del agua subterránea y a su vez afecta a la estabilidad de las laderas y de los taludes. Las precipitaciones actúan aumentando el grado de saturación de los materiales, tanto en suelo como en fracturas, aumentando temporalmente la presión de fluidos (μ). (Suárez Díaz, 2009)

Finalmente, se concluye que el agua es uno de los factores de mayor incidencia en el comportamiento geotectónico de los materiales.

2.2.4.2 Parámetro sísmico.

Los sismos es otro de los grandes parámetros desencadenantes de remociones en masa, estos actúan en diferentes formaciones geológicas y topográficas, más aún si existe alguna falla de gran magnitud. Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad. (Lara Castillo, 2007)

González *et al.*, 2002, manifiesta que las remociones en masa que involucran material suelto, sin cohesión, saturado y en pendientes de ladera bajas a moderadas comúnmente ocurren como resultado de una licuefacción del suelo inducida por el sismo.

Este proceso es causado por perturbaciones rápidas en suelos saturados, sin cohesión, bajo condiciones de carga no drenada; estas condiciones hacen posible la generación de un exceso de presiones de poros y con ello una disminución de los esfuerzos efectivos actuantes sobre el suelo y su generación está condicionada por agentes de tipo histórico, geológico, composicionales y de estado (material principalmente suelto). Se ha observado y estudiado que este fenómeno puede darse tanto en arenas como gravas y limos.

Suárez Díaz, 2009, concluye que la sismicidad de las zonas montañosas comúnmente es alta. La mayoría de las cadenas de montañas son el producto de los procesos tectónicos o volcánicos. Los movimientos sísmicos a su vez, pueden activar los deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y la deformación asociados con la onda sísmica.

En esta fase, el parámetro sísmico será descrito de manera concisa, ya que en el presente año se instaló un acelerómetro en la ciudad de Cajamarca y aún no hay datos que sirvan para la presente investigación; En tanto (Castillo & Alva, 1993) señalan que el Perú está comprendida entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales; además indican que es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno, mediante predicciones posibles de aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

Un análisis de peligros sísmico detallado debe tener, un marco sismotectónico regional e historia geológica de la zona; razones de la ocurrencia de sismos pasados; estimación de máximas magnitudes y períodos de retorno; caracterización de la atenuación de los movimientos sísmicos; efectos de las condiciones locales a través del análisis de respuesta del suelo y el modelamiento sísmico que incluya las incertidumbres de los modelos sismo tectónicos (VECTOR-PERU, 2008).

Mendoza Loayza, 2016, indica que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), realizaron estudios sobre la falla de la presa de San Fernando después del terremoto de San Fernando del 09 de febrero de 1971. El principal enfoque de estos estudios era el factor de seguridad sísmico de presas con énfasis en rellenos y cimentaciones de presas en arenas saturadas. Mientras que, el propósito de la publicación que se hizo fue discutir el diseño sísmico y el análisis de presas existentes, además de evaluar las posibles acciones que podrían tomar para mitigar el riesgo sísmico.

La publicación estaba limitada a los problemas dinámicos asociadas a presas de tierra. Es así que los autores de dicha publicación sugieren que para los métodos pseudoestáticos de diseños de muros y taludes se utilice coeficientes sísmicos horizontales que varían entre $1/3$ y $2/3$ de la aceleración máxima de diseño (Marcuson, W., & Frankley, A., 1983).

2.2.5 Análisis de estabilidad de taludes en suelos.

Es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al Ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones.

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares principalmente. Sin embargo, el mecanismo de falla en materiales residuales, donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como formaciones aluviales y coluviales no isotrópicas requieren de nuevos enfoques y del estudio de superficies de falla no simétricas.

2.2.5.1 Criterio de rotura: Mohr-Coulomb.

El criterio de rotura Mohr – Coulomb, fue propuesto por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, siendo un criterio lineal. Esto significa que la ecuación que define la superficie de fluencia es una línea recta. Para el criterio, se define la rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano.

$$\tau = c' + \tan \phi'$$

Dónde:

c' = la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

ϕ' = ángulo de rozamiento interno.

τ = la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura.

σ = la tensión normal que actúa en el plano de rotura.

Es un criterio lineal que es ampliamente usado para definir las condiciones de falla en un suelo, asumiendo el comportamiento lineal que éstos generalmente presentan. Entre los términos que lo componen, la cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas que componen el suelo. En suelos granulares secos y saturados la cohesión se supone nula (“suelos no cohesivos”); el caso opuesto lo representan los suelos finos, especialmente las arcillas, en cuyo comportamiento la cohesión juega un rol primordial.

Por otro lado, el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de roce entre partículas ($\mu = \tan\phi$). El ángulo de fricción depende de varios factores como son: tamaño y forma de las partículas, granulometría y densidad (Lambe & Whitman, 1972).

De esta forma, la recta definida genera una envolvente sobre los círculos que representan el comportamiento del suelo ante las solicitaciones a las que es expuesto. Dicha envolvente recibe el nombre de “envolvente de Mohr” (quien plantea la teoría general de la resistencia en 1882) (Figura 4). Como significado físico de la envolvente se plantean los siguientes puntos: La ley de Mohr-Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:

- Resistencia por Fricción ($\tan\phi$): se debe al roce entre partículas cuando están sometidas a esfuerzos normales.
- Resistencia por Cohesión (c): se debe a fuerzas internas físico-químicas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

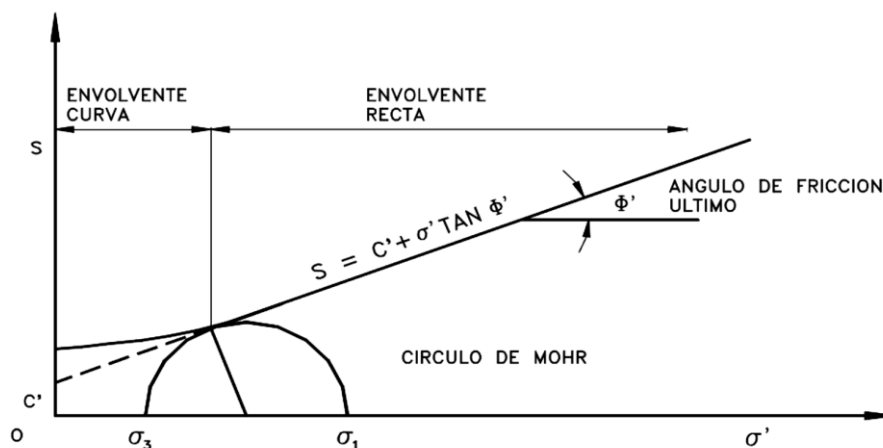


Figura 4: Envolvente de falla, criterio de Mohr - Coulomb.
Fuente: Lambe & Whitman, 1972.

Los suelos no cohesivos como la grava, arena, y limos no plásticos se asumen sin cohesión, y ensayos de laboratorio lo confirman. Casos de suelos típicos que merecen ser mencionados corresponden a los suelos no cohesivos saturados, arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos. El valor de ϕ para suelos no cohesivos saturados varía generalmente entre 27° y 45° grados, dependiendo por ejemplo del aumento de la densidad relativa, de la granulometría y de la forma de las partículas (Wu, 1996).

La distribución de estas tensiones en una talud se asocia al tipo de movimiento que experimenta ésta a lo largo de la superficie de cizalle. La Figura 5 muestra las diferentes condiciones de stress a las que es sometido un elemento de roca y/o suelo en un talud.

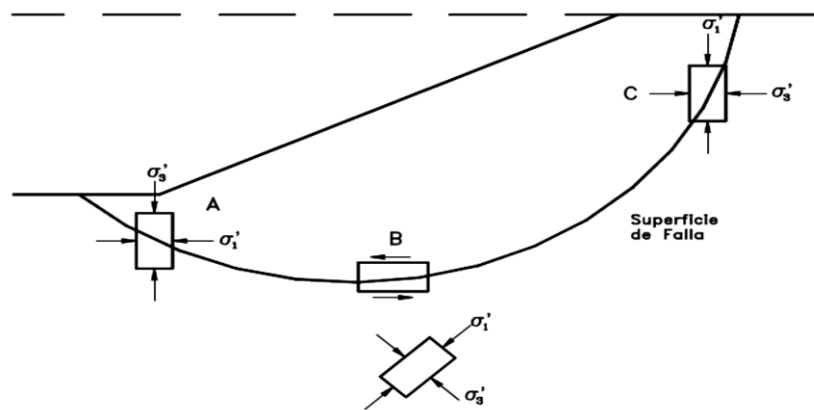


Figura 5: Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud.
Fuente: Lambe & Whitman, 1972.

El efecto de la humedad sobre este valor es solamente de uno o dos grados (Lambe y Whitman, 1972), sin embargo puede influir fuertemente sobre valores de cohesión otorgándole al suelo una cohesión que podría llamarse “aparente”, sobre todo si el suelo se encuentra en condiciones de humedad óptima, donde éste alcanza su densidad seca máxima.

2.2.5.2 Análisis de estabilidad.

El análisis de estabilidad se aplica al diseño de taludes cuando estos presentan problemas de inestabilidad, en el cual se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costos de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura.

Basándose en un método de análisis de inestabilidad en un planeamiento físico - matemático en la que se intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que interactúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Los factores a su vez, son interdependientes entre sí; no se podría ejecutar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes ya sean de campo como los de laboratorio, deberían ser obtenidos en función del método de análisis de estabilidad que vaya a emplearse.

2.2.5.3 Método del Equilibrio Límite.

Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porqué el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

Método de Bishop simplificado:

Bishop desarrolló en el 1955 (Bishop y Morgenstern, 1960) un método de rebanadas, el Método de Bishop, con las siguientes hipótesis:

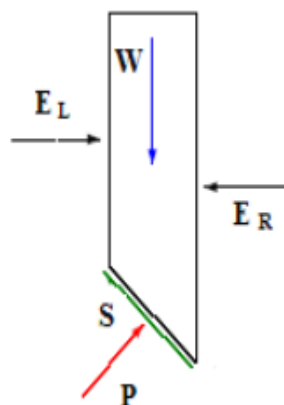


Figura 6: Representación de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Bishop. W cargas verticales externas, EL y ER las fuerzas normales izquierda y derecha entre rebanadas; P y S son la fuerza normal y tangencial a la base de la rebanada.

Se supone una superficie de ruptura circular, luego la masa deslizante se divide en n rebanas o bloques verticales, seguidamente se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo. A partir de la condición de equilibrio de fuerzas verticales de cada rebanada se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de ruptura) y se sustituyen a la ecuación resultante del equilibrio de momentos. Finalmente el Método de Bishop Simplificado ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas. Por otro lado considera las normales (Figura 6).

Es necesario realizar varias iteraciones para obtener el valor de FS, y la convergencia acostumbra a determinarse rápidamente. Una vez se obtiene el valor del Factor de Seguridad de la superficie considerada, se supone una segunda superficie circular y se determina un nuevo valor de FS; y así sucesivamente hasta obtener un mínimo.

Haciendo equilibrio de momentos al centro del círculo se obtiene la estabilidad global y su Factor de Seguridad F_m . Aunque el problema está sobredeterminado, el equilibrio horizontal no se satisface.

Método de Spencer:

Inicialmente pensado para el análisis de superficies de rotura circulares, el método de Spencer (1967) puede ser aplicado a superficies no circulares siempre que se adopte uno centro de rotación friccional. En este método se suponen todas las fuerzas entre elementos (Figura 7).

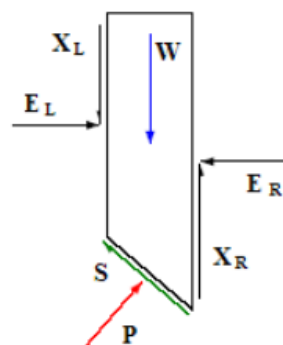


Figura 7: Representación de las fuerzas actuantes en una rebanada consideradas en el método de Spencer y Morgenstern-Price. W cargas verticales externas, E_L y E_R las fuerzas normales izquierda y derecha entre rebanadas; X_L y X_R fuerzas verticales entre rebanadas a izquierda y derecha; P y S son la fuerza normal y tangencial a la base de la rebanada.

También se supone que las fuerzas entre rebanadas tienen una inclinación constante (θ) a lo largo de toda la recta, de forma que:

$$X / E = \tan \theta$$

Dónde: X son las fuerzas verticales y E las horizontales. La fuerza normal en la base del elemento será pues:

$$P = \frac{\left[W \cdot (E_R - E_L) \cdot \tan \theta - \frac{1}{FS} \cdot (c' \cdot l \cdot \sin i - u \cdot l \cdot \tan \phi' \cdot \sin i) \right]}{m_i}$$

$$\text{Dónde: } m_i = \cos i \cdot \left(1 + \tan i \cdot \frac{\tan \phi'}{F} \right)$$

Dónde FS es el factor de Seguridad definido como la tensión de corte movilizada respecto a la disponible; ER y EL son las fuerzas horizontales derecha e izquierda respectivamente, entre los elementos de la rebanada; u es la presión de poro en la superficie de rotura; l es la longitud de la base de la rebanada; i la inclinación de la base del elemento; c' y ϕ' la cohesión y el ángulo de fricción en la superficie de rotura.

Suponiendo que el ángulo θ es constante para todos los elementos de la vertiente, se pueden hacer ambos, el equilibrio global de momentos y el de fuerzas, de manera que se encuentran dos valores del Factor de Seguridad, el del equilibrio de fuerzas (Ff) y el de momentos (Fm). Es posible encontrar un valor de θ tal que ambos factores de seguridad coincidan, que será el Factor de Seguridad de la vertiente. Spencer estudió la relación entre Ff y Fm por un problema tipo. Dedujo que el factor de seguridad resultante del equilibrio de momentos es relativamente insensible a las fuerzas entre elementos. Esta conclusión es coincidente con la de Bishop.

Método de Morgenstern-Price:

El método de análisis desarrollado por Morgenstern y Price (1965) puede ser aplicado tanto a superficies de rotura circulares como no circulares. Es un método parecido al método de Spencer, pero en el caso de Morgenstern-Price permite la especificación de las fuerzas entre rebanadas. El esquema de fuerzas entre rebanadas es el mismo que para el método de Spencer (Figura 7). Considera que las tensiones y las fuerzas varían continuamente en la superficie,

resuelve las componentes normal y paralela a la base para cada elemento formulando ecuaciones de equilibrio de fuerza generales. Supone que existe la siguiente relación entre esta componente vertical y normal:

$$X/E = \lambda \cdot f(x)$$

dónde $f(x)$ es la función que varía de forma continua a lo largo de la línea, y λ es un valor escala. Para una función dada $f(x)$, los valores de λ y F se encuentran de forma que se cumplan los equilibrios globales de Momentos y Fuerzas. De esta forma $F=F_m=F_f$.

Para escoger $f(x)$ se puede hacer considerando la distribución de tensiones normales a los límites de los elementos. En general no tiene que haber tensiones efectivas de tracción y las tensiones de corte deben ser menores a las requeridas por el equilibrio crítico local.

Comparación de los diversos métodos

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos en todo el mundo son los simplificados de Bishop y de Janbú, los cuales en su concepción teórica no satisfacen equilibrios de fuerzas o de momentos. Los valores de factores de seguridad que se obtienen por estos dos métodos generalmente, difieren en forma importante de resultados utilizando procedimientos que satisfacen el equilibrio, como son los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price. (Jaime Suarez.2002)

Tabla 9: Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Bishop simplificado (Bishop, 1955)	Circular	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.

Fuente: Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M., (1996)

2.3 Definición de términos básicos.

2.3.1 Remociones en Masa.

Son procesos de transporte de material definidos como procesos de ‘movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores’ (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

2.3.2 Topográficos.

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Las pendientes, agudeza, amplitud, profundidad de dicho relieve, nos darán la idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que la constituyen, y del modo o mecanismo de los procesos morfodinámicos que se desarrollan en dicha superficie. (Medina Rengifo, 1991)

2.3.3 Litológicos.

Las rocas que afloran en un lugar según sea su naturaleza, composición mineral o propiedades físicas y químicas, van a tener un determinado comportamiento y modo de evolucionar en el ambiente en que se encuentren; estos darán lugar a los materiales de carga que posteriormente serán remociones. (Medina Rengifo, 1991)

2.3.4 Estratigráficos.

Se refiere al modo en que yacen o están dispuestas las rocas, lo que determinará la estabilidad o inestabilidad de los terrenos así por ejemplo, en capas gruesas, delgadas, o alternadas con estratos macizos blandos, deleznable, permeables o impermeables. Las condiciones de estabilidad serán menores donde las condiciones climáticas y las superficies de exposición de las rocas son adversas. (Medina Rengifo, 1991)

2.3.5 Hidrológicos.

Se refiere a la acción de las aguas de escorrentía superficial y subterránea que provocan la saturación y sobrepeso de los materiales rocosos, el socavamiento y erosión de los taludes y la disolución de las rocas solubles. La presión que ejerce el agua sobre los suelos, hace que se alteren las condiciones de estabilidad y se generen deslizamientos. (Medina Rengifo, 1991)

2.3.6 Hidrogeología

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimientos, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado y propiedades; así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. (Suárez Dáz, 1998)

2.3.7 Geotecnia.

Rama de la ingeniería que se ocupa del estudio de las construcciones con el terreno, por tanto se trata de una disciplina no sólo de la Ingeniería Civil, sino también de otras actividades que guardan relación directa con el terreno. (Sagaseta Millán *et al.*, 2010)

2.3.8 Clima.

Debe tenerse en cuenta la precipitación, temperatura y los cambios barométricos y la intensidad, horario y dirección de los rayos solares sobre el talud. (Suárez Díaz, 1998)

2.3.9 Sismicidad y vibraciones.

Incluye la aceleración de diseño y la posibilidad de ocurrencia de estos fenómenos, así como la vibración de máquinas, tránsito de vehículos, etc. (Suárez Díaz, 1998)

2.3.10 Susceptibilidad a los deslizamientos.

Es la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, esta susceptibilidad depende de las condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas, entre otros de cada área específica y del conocimiento de deslizamientos del pasado. (Suárez Díaz, 1998)

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del lugar de investigación.

Ciudad	: Cajamarca
Distrito	: Cajamarca
Centro Poblado	: Huayllapampa
Localización Geográfica	: Zona 17S
Este	: 773850.00 m
Norte	: 9203512.00 m



Figura 8: Ubicación geográfica del lugar de investigación.

Fuente: Google Earth, 2016

3.2 Metodología.

3.2.1 Población.

Quebradas de Cruz Blanca.

3.2.2 Muestra.

Quebrada Huayllapampa.

3.2.3 Unidad de análisis.

Deslizamiento de suelo de la quebrada Huayllapampa.

3.2.4 Alcance del proyecto.

La investigación está orientada sólo a la determinación y análisis de la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en un posible deslizamiento de masas de suelos en la quebrada Huayllapampa.

3.2.5 Tipo de investigación.

Cuantitativo – descriptivo.

3.2.6 Nivel de investigación.

Investigación descriptiva.

3.2.7 Diseño.

No experimental.

3.2.8 Técnicas de recolección de datos.

Información directa.

Investigación documental.

3.3 Procedimiento.

3.3.1 Etapa de gabinete

Esta etapa consiste de dos fases: la primera, antes de comenzar el trabajo, conformada por una planificación de tareas a realizar anexo a una recopilación de información y evaluación de información bibliográfica. La segunda fase lo conforma campañas de campo constituyendo un análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

3.3.2 Etapa de campo

Se realizó la caracterización geológica, geomorfológica, topográfica, así mismo se realizó muestreos principalmente calicatas en diferentes puntos críticos y tomando como referencia un punto estable fuera del deslizamiento; de la ladera de la quebrada Huayllapampa; logrando un análisis comparativo, cuantitativo y descriptivo, permitiendo definir las condiciones de la zona de estudio.

3.3.3 Etapa de laboratorio.

Las muestras de suelo tomadas en campo se analizaron en la Universidad Nacional de Cajamarca (Laboratorio de Mecánica de Suelos de Ingeniería Civil) para hallar los parámetros físicos: granulometría, contenido de humedad, pesos específicos, pesos unitarios, límites de consistencia y parámetros mecánicos: ensayos de corte directo.

3.3.4 Evaluación de la remoción en masa.

Se determinó el alcance que tendría la remoción en masa en caso de desencadenarse. Cada uno de los diferentes eventos tiene su propia evaluación, y se realizó mediante la utilización de herramientas computacionales, o bien de manera cualitativa. Los datos necesarios para dicha evaluación son obtenidos de los ensayos de laboratorio, observaciones de terreno, bibliografía de trabajos anteriores y mediante trabajo con la cartografía existente.

3.3.5 Evaluación de la influencia de los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelo.

Se presentó la forma de cómo influyen los parámetros condicionantes y desencadenantes en el deslizamiento de masas de suelo de la quebrada Huayllapampa. Se analizó de forma individual y conjunta los parámetros que provocan el deslizamiento.

3.3.6 Etapa final.

Se analizó y comparó toda la información obtenida en las etapas anteriores, además se procesó e interpretó, luego se utilizó softwares como: Autocad Civil 3D 2015, Autocad 2015, Slide 6.0, ArcGis 10.3 y Google Earth; con los cuales se logró obtener modelos de la zona estudiada, mapas temáticos y se redactó la tesis final.

3.4 Parámetro geológico.

La importancia de estudiar la geología del terreno sirvió como punto de partida de la investigación, la cual afecta a los materiales rocosos y a los suelos, este último como unidad de análisis de la investigación, además mediante la formación geológica que se presenta en la zona de investigación se determinó la composición y estructura litológica de las rocas; mediante estos componentes se pudo evidenciar el comportamiento litológico en el deslizamiento del suelo. Además se investigó el grado de meteorización que se presenta en la zona, ya que ésta produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.

Para el parámetro geológico se estudió la geología a nivel de la región Cajamarca y la geología de la zona de estudio, para obtener un contraste de ambos y así se definió de manera más precisa las características geológicas del terreno. Estos estudios son realizados por el Gobierno Regional de Cajamarca – Proyecto ZEE y la institución formadora representante INGEMMET; la cual brinda información de campo a nivel de reconocimiento de cada unidad litoestratigráfica en todo el departamento comparando años anteriores y recientes; para el mejor análisis e interpretación de las áreas o zonas en estudio.

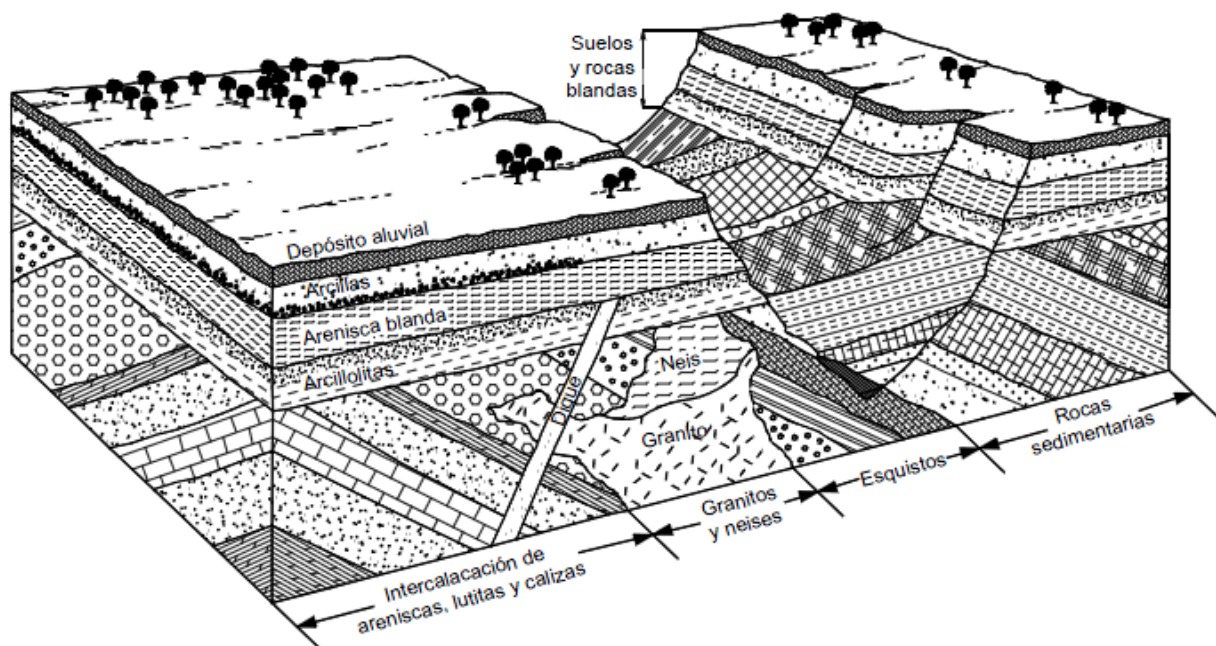


Figura 9: Las características geológicas determinan el relieve y éste es el resultado de la tectónica, la erosión y los deslizamientos

Fuente: Suárez, 2009.

En la Figura 10, se presenta la columna estratigráfica de Cajamarca, ésta es una representación gráfica de las unidades litológicas que afloran en todo el departamento.

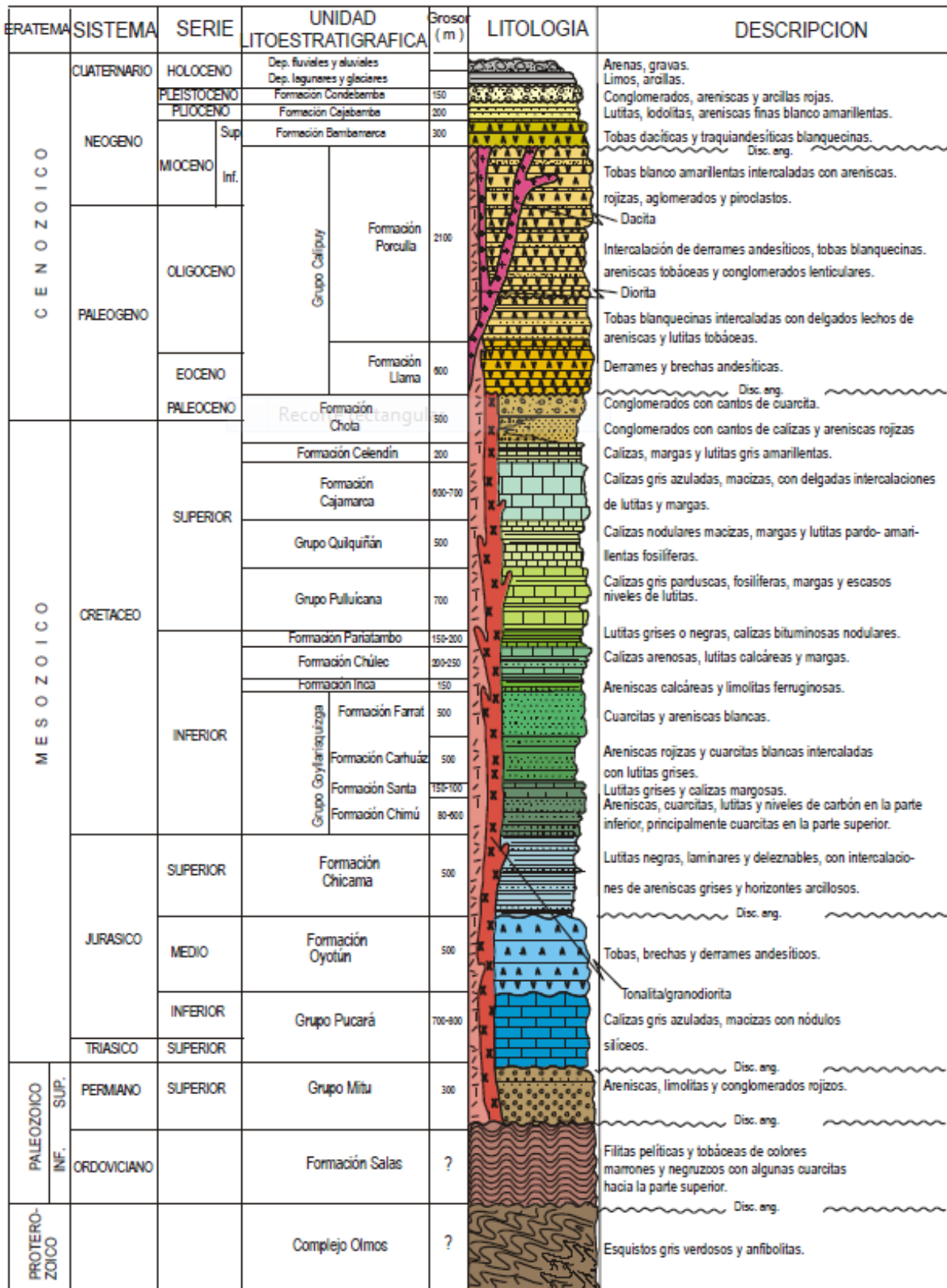


Figura 10: Columna estratigráfica de Cajamarca.
Fuente: Proyecto ZEE, 2012.

3.4.1 Geología local.

La geología local de la quebrada Huayllapampa, la cual tiene una dirección de SE – NW y está marcada por la presencia de las formaciones del Cretáceo Inferior, de acuerdo a la carta geológica del cuadrante 15-f del cuadrángulo de Cajamarca. La zona de estudio perteneciente al Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior es el más notorio, presenta areniscas, calizas y lutitas de las formaciones Chimú, pero también se hallaron características rocosas sobre el cual suprayacen las Formaciones del mismo Grupo Goyllarisquizga, como: Santa y Carhuaz. Sobre estas Formaciones litoestratigráficas, encontramos depósitos cuaternarios (depósitos aluviales y coluviales) en forma heterogénea y desordenada.

El reconocimiento de campo sirvió para obtener la situación actual de la zona y el potencial riesgo que puede ocasionar si llegase a ocurrir el deslizamiento, como consecuencia se colmataría el cauce de la quebrada; ello permitió plantear los estudios a realizarse para la presente investigación.

En la actualidad los afloramientos rocosos en la zona de estudio se encuentran en un avanzado estado de alteración y ocupan áreas rurales de la Quebrada Huayllapampa. Para describir la geología local del área de estudio, se ha tomado en cuenta la geología de la región Cajamarca, Proyecto ZEE - OT, 2009.

Se partió del mapa geológico del área local (Ver Anexo E.1), el cual se contrastó con la geología in-situ y se observó todos los eventos que acontecen en la zona de estudio. A partir de éstas, se identificaron las formaciones geológicas, las estratificaciones, la existencia de discontinuidades, la meteorización que existe en la zona de estudio, la fracturación que se produce en las rocas evaluando ambos lados de la quebrada, así también los tipos de falla para tener un mejor punto de vista de la geología local.

Se identificó en la zona afloramientos de rocas volcánicas (tobas, brechas y lavas) con estructuras continuas y estructuras discontinuas, dentro de dichas estructuras se pudo observar plegamientos, diaclasas y fallamientos. Se encontró intercalaciones de Arenisca y Lutitas oscuras, las cuales predominaban en la zona del problema, estos son rocas profundas por cuerpos de tamaño variable de basaltos, granitos y granodioritas. Estas rocas se encuentran afectadas a distintas escalas por diaclasas, pliegues y zonas de falla, que causan la

fragmentación del macizo rocoso, aportando el material detrítico a los numerosos cauces, en consecuencia aportan material suelto a la quebrada Huayllapampa.

Se han reconocido una serie de lineamientos que podrían asociarse a estructuras mayores, posibles causantes de la morfología que presenta la zona, principalmente del camino de la quebrada y de la configuración de los depósitos cuaternarios recientes. Estos últimos corresponden a depósitos aluviales, coluviales y fluviales; todos estos parámetros actúan conjuntamente con los demás parámetros condicionantes y desencadenantes.

3.4.1.1 Formación Chimú.

Localmente esta Formación conforma la base sedimentaria que se depositó en un ambiente continental deltaico, aflorando en gran parte de la extensión de la cuenca Huayllapampa, comprendiendo la zona de estudio, así la formación Chimú da inicio a las areniscas con algunos niveles de carbón, atraviesa la zona con problemas de deslizamiento en dirección E - W, ésta consiste en intercalaciones de areniscas cuarzosas y lutitas.

Las rocas cuarzosas son de grano mediano a grueso con un perfil redondeado a subredondeado, lo cual nos indica que ha tenido un largo transporte por su granulometría y esfericidad; además tiene una composición más compacta de grano fino la cual indica su ambiente de depositación es más continental, lo cual se puede corroborar con lo que menciona Lagos & Quispe, 2007, 'Por sus características litológicas areniscas de color gris blanquecinas con estratos gruesos, macizos y cuenta con presencia de carbón, éstas son propias de un ambiente Playero Continental'. Finalmente se infiere por la columna estratigráfica (Ver Figura 6) que esta Formación cuenta con un grosor aproximado de 600 m.

3.4.1.2 Rasgo de la Formación Santa.

En la zona de estudio se observó estratos de calizas arcillosas y margosas, con intercalaciones de lutitas de color gris oscuro y rasgos de carbón, también se observó calizas arenosas intercaladas con niveles de limolitas, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos.

3.4.1.3 Rasgo de la Formación Carhuaz.

Aunque en el mapa geológico de la zona de estudio no se detalla esta formación, en el campo se pudo observar que existen rasgos característicos de la Formación Carhuaz, la cual está constituida por la alternancia de areniscas y lutitas grises, las primeras con matices rojizas (característica principal para diferenciarlas en campo), las que efecto de la geología estructural en este caso la falla inferida que se identifica en el área haya producido que esta formación geológica aflorara a la superficie; presentando en el tope bancos de cuarcitas con lutitas y areniscas.

3.4.1.4 Depósitos Cuaternarios Recientes.

3.4.1.4.1 Coluviales.

Están representados por escombros de laderas que sin mayor transporte se han depositado sobre las paredes de la quebrada. Se encuentran en forma dispersa sobre la quebrada; caracterizándose por contener bloques, gravas angulosas a subangulosas distribuidas en una escasa matriz limoarcillosa y arenosa la cual se distribuye de forma irregular, algunas veces forman depósitos de deslizamiento que varían desde superficiales hasta de mediana profundidad (Ver Anexo D.6).

3.4.1.4.2 Aluviales.

Los depósitos aluviales (Ver Anexo D.7) se evidencian en gran parte de la zona de estudio por eso se consideró los materiales con poco transporte, estos depósitos que se acumulan en áreas desfavorables en las paredes de la quebrada, están constituidas por gravas angulosas y redondeadas que van desde 8” hasta gravas regulares, arena gruesa, englobada en una matriz de limos y arcillas. Presentando suelos muy anisotrópicos con propiedades estrechamente relacionadas con su granulometría.

3.4.1.4.3 Fluviales.

Materiales transportados por cursos fluviales (Ver Anexo D.8), depositados en el fondo de la quebrada. En nuestra zona de estudio se evidenciaron rocas de diferente diámetro con

perfil redondeado y subredondeado, a lo largo de toda la quebrada, puesto a que sufren la erosión hídrica y es por eso que con el transcurso del tiempo pierden las aristas producto del desgaste y el transporte propiamente dicho.

3.4.2 Geología Estructural.

La quebrada Huayllapampa, se encuentra en una zona emplazada sobre un sistema de plegamientos (sinclinal – anticlinal) de dirección SE – NW, estructuralmente cuenta con una falla inferida de dirección NW – SE y una falla normal que abarca gran parte de la cuenca Huayllapampa de dirección E – W; para un mejor detalle de la geología estructural se tiene que cartografiar las unidades litoestratigráficas Mesozoicas (Cretáceo Inferior – Cretáceo Superior) y Cenozoicas (Holoceno).

En la quebrada se manifiesta el espejo de falla (Ver Anexo D.9) en el cual se identifican estrías en la roca, esto se produce por que al momento que la falla se ha desplazado, está a generado un pequeña fricción ocasionando así las estrías, además se conoce que existen pequeñas microfallas que no se han graficado en el plano geológico del INGEMMET.

Las estrías (Ver Anexo D.11) se ocasionan debido a que la falla se ha desplazado, la cual por efectos de la fricción crea los rasguños en la roca; además este espejo de falla corta la estratificación natural de la zona de estudio, cuenta con muy baja resistencia a la resistencia al corte y es por esta razón que aumenta la inestabilidad del talud.

En un evento geológico se requiere cuantificar su rumbo y buzamiento y compararlo con el del talud, esto definirá junto con el ángulo de pendiente del talud y su rumbo la ocurrencia o no de ciertos tipos de movimiento, especialmente en rocas. En campo se dejó caer una piedra pequeña con el fin de determinar la línea de máxima pendiente del espejo de falla, una vez realizado este procedimiento se realizó la regla de la mano derecha y se determinó el buzamiento de N 56° y un rumbo de N 24° W, estas dos medidas ayudan a determinar la orientación de la superficie de falla identificada en campo.

En la quebrada también se realizó la orientación de una discontinuidad para relacionarla con el espejo de falla, esta queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento

(inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). En campo se dejó caer una piedra pequeña con el fin de determinar la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad (Ver Anexo D.12), una vez realizado este procedimiento se realizó la regla de la mano derecha para determinar el buzamiento y rumbo (Ver Anexo D.13), estas dos medidas ayudan a determinar la orientación de un estrato rocoso o de una superficie de falla, se obtuvo un buzamiento de N 65° y un rumbo de S 50° E.

3.4.3 Geomorfología.

La zona de estudio se forma en el centro poblado de Huayllapampa, es aquí donde se forma la quebrada y esta discurre aguas abajo atravesando el centro poblado de Cruz Blanca, finalmente sus aguas se vierten sobre el río Mashcón.

El mapa geomorfológico del proyecto ZEE, señala que la unidad geomorfológica de la quebrada Huayllapampa es una Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y superior, esta es una unidad geomorfológica con relieves muy accidentados y de gran magnitud, propia de la morfología de la Cordillera Andina, también incluye laderas plegadas, el fondo de la quebrada Huayllapampa se ubica a 3046 m.s.n.m.

Litológicamente están constituídas por rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior y Superior; La pendiente dominante fluctúa entre el 25 y 50%, las máximas alturas de la hoya se alcanzan en las cumbres del cerro Hualango, con 3400 m.s.n.m.; la quebrada Huayllapampa presenta pendientes fuertes del orden de 15° a 20° como promedio, desarrollando algunos saltos rápidos de agua. Esto asociado a los depósitos de remoción en masa que se encuentran en la zona puede provocar un grado de susceptibilidad alto al desprendimiento de la masa de suelo.

3.4.3.1 Unidades geomorfológicas.

La geomorfología de la zona es importante, puesto que se puede evaluar de forma gráfica las formas del relieve e identificar así las principales acciones geodinámicas que pueden significar el riesgo para las viviendas y actividades humanas que se generan en la zona de investigación. La complejidad de reflejar la distribución espacial de las formas del relieve actual que existe en la zona, es producto de la ocurrencia de procesos endógenos y exógenos.

Morfológicamente se distinguen tres zonas; la primera zona con presencia de depósitos aluviales, esta se compone de una matriz limo – arcillosa con clastos angulosos y sub angulosos, y con un clima seco, temperaturas altas y presencia de vegetación contribuyendo a una meteorización biológica y la erosión que origina una extensa cubierta conformada por laderas inestables en la margen izquierda de la quebrada, geomorfológicamente se clasifica como una montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y superior son unidades geomorfológicas con relieves muy accidentados y de gran magnitud, que corresponden a la morfología de la cordillera andina incluyendo también laderas plegadas. El desnivel topográfico supera fácilmente los 300 metros sobre el nivel de las llanuras circundantes.

En la segunda zona que se encuentra a menor altura, tenemos un valle más maduro que cuenta con presencia de depósitos aluviales y coluviales con fragmentos de rocas de diámetros variados en algunos casos mayores al metro de formas angulares a subredondeadas, transportadas durante muchos años, también encontramos presencia de depósitos por cárcavas y deslizamientos, los cuales han generado fuertes pendientes, geomorfológicamente se denomina como montaña fuertemente empinada en rocas del paleógeno corresponde a zonas montañosas donde la topografía es muy accidentada, con laderas expuestas a una erosión fuerte.

En la tercera zona se encuentra la quebrada, esta presenta depósitos aluviales y coluviales con fragmentos de rocas de formas diversas desde angulosas hasta esféricas, esto demuestra el grado elevado de la meteorización, el resultado de esta meteorización y erosión ha generado pendientes empinadas en las paredes laterales de la quebrada. Litológicamente está constituida por los depósitos de las rocas volcánicas que forman la quebrada, además se ubicó un espejo de falla, producto de la geodinámica interna y externa de la zona de estudio.

Es en esta última zona se viene desarrollando el deslizamiento rotacional y una serie de deslizamientos simples de las paredes laterales de la quebrada, los cuales podrían provocar un desastre en las zonas aledañas debido al gran volumen de masa de suelo que se viene desprendiendo, incluso dañar la infraestructura de saneamiento que abastece al centro poblado.

3.4.3.1.1 Quebradas.

En la zona de estudio, se ubica la quebrada Huayllapampa, el cual es un valle estrecho con poco caudal, esta sufre fuertes procesos de erosión lateral y de fondo conformando canales de descarga del tipo angosto pero profundo como ya se describirá en el modelo geotécnico que en tiempos de estiaje se encuentra sin presencia de agua, la geometría del canal de la quebrada es poca sinuosa por su condición juvenil y debido a la variabilidad de la descarga pluvial, relacionándose con la profundización del cauce a lo largo de toda su longitud. El comportamiento cinético es más notorio cuando se observa una mayor erosión de fondo que lateral en los meses de altas precipitaciones y por lo tanto se aceleran los procesos de erosión de las laderas desde las partes altas que conforman las paredes laterales de la quebrada.

3.4.3.1.2 Cárcavas.

Se encuentran ubicadas alrededor de los cerros que cubren la zona de estudio, se encuentran principalmente en las partes más altas, aunque no muy frecuentes ni con tanta notoriedad en el recorrido desde Aylambo hasta la quebrada Huayllapampa. La erosión profunda facilita el avance de las cárcavas, algunas de ellas se observan en forma de “V” y otras de mayor erosión en forma de “U” producto de la erosión acelerada, por la escasa cobertura vegetal y las precipitaciones lluviosas.

3.4.3.1.3 Terrazas.

Son fáciles de distinguir en campo debido a las acumulaciones de sedimentos y rocas de diámetro variable como bloques, gravas, arenas, depósitos coluvio – aluviales en las pendientes y márgenes de la quebrada. Estas geoformas son materiales producto de varios procesos erosivos relacionados con la quebrada en las zonas bajas, están marcados por una matriz anisotrópica sin una estratificación definida.

3.4.3.1.4 Laderas.

Sobre las Formaciones del Grupo Goyllarisquizga y las secuencias sedimentarias de las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, compuestas principalmente por areniscas calcáreas con limolitas ferruginosas, calizas arenosas, lutitas grises y calizas bituminosas

nodulares mencionadas correspondiente a cada formación, que se presentan fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas en estas laderas se tienen pendientes desde 20° hasta 70°.

Están formadas por las inclinaciones de los cerros, los cuales convergen en la quebrada y cuyo comportamiento es mayormente empinado en toda el área de estudio. Los depósitos Cuaternarios que se encuentran en la zona de estudio se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Los distintos medios de sedimentación originan una serie de depósitos cuyas características geotécnicas están relacionadas con las condiciones de formación de estos sedimentos. Así, la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño, dependen del medio de transporte. Conociendo los factores geomorfológicos y climáticos, es posible prever la disposición y geometría del depósito, propiedades físicas y otros aspectos de interés.

3.4.4 Geodinámica.

El entorno de la quebrada Huayllapampa proporciona una apreciación más clara de la inestabilidad que está ocurriendo. Los procesos geodinámicos que acontecen en la zona de estudio se clasifican en movimientos de masas por deslizamientos, fenómenos que están condicionados por los agentes y causas externas e internas.

Considerando estos conceptos, en la zona están accionando causas internas que podrían colapsar las laderas que conforman las paredes laterales de la quebrada, produciéndose una remoción de masas, las cuales cambiarían la geometría de la ladera y que se relacionan con la disminución de la resistencia del material, la cual depende de la presión de poros producto de la presión hidrostática del suelo de la ladera, disminuyendo el ángulo de fricción interna y la cohesión del material.

Se distinguieron dos vertientes principales (Ingacorrall y Huayllapampa) las cuales convergen en la quebrada, se observó secuencias de deposición típica de flujos de detritos, así como secuencias con bloques de perfil redondeado producto de la erosión hídrica y bloques de perfil subanguloso, de tamaños irregulares dispuestos de manera desordenada inmersas en matrices limo – arcillosas, estas se ubican en capas superpuestas; en general todas estas diferencias en el tamaño de la granulometría y los bloques de roca nos indican la existencia y la variación de energía de flujos de detritos (huaycos).

Cuadro 6: Descripción del grado de meteorización.

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Fuente: Gonzales *et al.*, 2002.

La ocurrencia de estos flujos de detritos en la quebrada Huayllapampa se manifiesta por la geomorfología existente, tratándose de pequeños depósitos con pendientes inferiores a 5° y 10° que aportan material al cauce principal, este a su vez ha ido aportando materiales a los depósitos aluviales de la quebrada. Además se observa la disposición de bloques de grandes dimensiones, algunos superan 1 metro de diámetro y se ubican en el cauce principal de la quebrada.

El último factor que se analizó para evaluar la susceptibilidad de las rocas a los deslizamientos de acuerdo a Nicholson & Hencher, 1997, fue la meteorización de la roca, la cual es una observación importante en cuanto a que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. Se identifica el grado de meteorización de la matriz rocosa a partir de la observación de la roca.

En la zona de estudio se ubicaron grados de meteorización del tipo decolorado, desintegrado e incluso material descompuesto (Ver Anexo D.16), esto debido a las condiciones climáticas y al intemperismo que se produce, uno de los fenómenos de meteorización que se identificó fue la descamación de la roca debido a los cambios de temperatura que se presenta en rocas volcánicas, debido a los feldespatos se meteorizan y se convierten en arcillas y debido a esta desintegración se producen los deslizamientos en la laderas.

3.5 Parámetro geométrico.

La información topográfica, consiste en mapas a escala adecuada, de los cuales se puede determinar la altura de la ladera, la pendiente (natural) y los cambios bruscos de su geometría, estos son parámetros principales para proceder al análisis y estudio de la estabilidad del talud.

Se han inventariado un total de 03 deslizamientos, estos deslizamientos tienen su origen en la parte media de la Quebrada Huayllapampa. Desde el punto de vista del análisis de la peligrosidad y el riesgo es importante conocer el grado de actividad y la fase de desarrollo de los deslizamientos (Chacón et al., 1996). De acuerdo a los deslizamientos inventariados presentan un grado de actividad suspendido, pero si ocurre algún evento de carácter detonante como una fuerte lluvia o un sismo, estos se pueden activar. A continuación se presentará la geometría y forma de la ladera de cada deslizamiento identificado.

En el anexo D.18, se presenta el deslizamiento de mayor peligro y riesgo de colapso, puesto que contiene un gran volumen de material suelto, en la parte superior de color guinda se muestra el escarpe principal del deslizamiento (Ver Anexo D.19), el cual tiene una dimensión de 5 metros de longitud, el material que forma parte del escarpe principal está constituido de grandes bloques de roca y material arcillo, del cual se obtuvieron análisis de mecánica de suelos que fueron ensayados en el laboratorio.

Del anexo D.18, también se pueden identificar la otras partes del deslizamiento, como las líneas largas punteadas de color verde que indican los límites de la masa movida del deslizamiento, las magnitudes de las dimensiones se indicarán más adelante (datos tomados con estación total), además se muestra con color naranja el frente de avance de la masa del deslizamiento rotacional, otro de los elementos interiores de la masa del deslizamiento son los vectores de movimiento del deslizamiento los cuales se indican con flecha de color rojo, finalmente se observa el escarpe secundario (Ver Anexo D.20), el cual tiene una dimensión de 3 metros de longitud, el material que forma parte del escarpe principal está constituido de material arcillo gravoso.

Los suelos desarrollados en las laderas estudiadas de la quebrada Huayllapampa, los cuales han sido identificados e involucrados con los fenómenos gravitacionales resultan ser

elementos condicionados estrechamente en su desarrollo por el material originario del suelo, la situación climática actual y el relieve de la zona.

Los depósitos cuaternarios recientes encontrados en las partes bajas y medias de los taludes (zona de premontaña), resultan debido a que dentro de estas fueron identificados los procesos erosivos del suelo. Aunque gran parte de las formaciones de la zona son predominantemente sedimentarias el desarrollo superficial de suelos en este tipo de elementos es pobre, lo que hace que sea marcada la susceptibilidad a la inestabilidad en los materiales volcánicos sin restar importancia a la meteorización diferencial que existe en las secuencias sedimentarias con presencia de lutitas y que a profundidad desarrollan superficies de debilidad.

Por otro lado la asociación de suelos que puede observarse de acuerdo al factor relieve está dada por las formas topográficas de la zona, de esta manera, las partes altas y más accidentadas presentan el menor desarrollo de suelo debido a la exposición directa de las formaciones sedimentarias, a la pendiente y plegamiento. La parte media de las laderas que en algunos lugares presenta formas más cóncavas debido a los depósitos volcánicos permite un mejor desarrollo de los suelos y debido a las elevadas pendientes existe una mayor acción erosiva en ellos. La parte de ladera inferior aloja a los suelos coluviales que de alguna forma evidencian la acción de los procesos erosivos de la zona.

Dentro del estudio de los procesos gravitacionales de la zona de estudio resultó de mayor importancia la descripción y análisis de los suelos residuales por considerarse el inicio de la actividad erosiva y es posible encontrar las condiciones mecánicas de los materiales.

En el anexo D.22 se muestra al deslizamiento visto desde el pie de la ladera, en esta se observa el escarpe secundario y todo el desarrollo del desprendimiento de la masa de suelo generalizado por los efectos geodinámicos internos y externos de la ladera en estudio; Por las características observadas en la zona de estudio este deslizamiento rotacional se encuentra en la fase de desarrollo del movimiento muestra un despliegue del escarpe claramente delimitado, además se observa un potencial de daño elevado puesto que se extiende a toda la masa movilizada y a las zonas situadas bajo el frente.

3.5.1 Estudio topográfico.

La topografía de la zona de estudio donde se producen los deslizamientos, produce información básica para el análisis de los movimientos rotacionales y simples que se generan. Los mapas topográficos precisos son esenciales para la elaboración de los modelos y el diseño de las obras de mitigación, remediación o estabilización.

Los reconocimientos preliminares utilizan los planos topográficos existentes o las fotografías aéreas; sin embargo, se requiere un detalle topográfico para localizar muchos elementos críticos, es por esta razón que se realizó el levantamiento topográfico con la ayuda de una estación total y dos prismas para representar la superficie donde se están generando los deslizamientos de suelos; Además el estudio topográfico tiene por finalidad detallar el área afectada (o de potencial afectación) y la geometría de los taludes en el caso de laderas inestables (o con riesgo de inestabilidad), incluyendo para estos últimos su pendiente y altura.

El análisis de la estabilidad de taludes se realiza básicamente a través de perfiles topográficos longitudinales y transversales del área de estudio. En el caso particular de este estudio se requirió conocer la topografía de la ladera de la quebrada Huayllapampa, para esto se realizó el levantamiento topográfico con la estación total (Ver Anexo D.23). Los planos de curvas de nivel como los perfiles longitudinales de toda la zona de estudio, donde se están produciendo los movimientos de masas se presentarán en el anexo E.2.

Se han observado en el campo pendientes muy abruptas en las laderas estas producen una fuerza que provocan la pérdida del esfuerzo del material de suelo, a esto se suma la orientación de las laderas ante la exposición al sol, lo cual influirá, junto con acciones de deshielos, efectos erosivos y meteorización del material; además provocan que se reduzca la presencia de vegetación producto de la sequedad de la zona (Ver Anexo D.24).

El trabajo topográfico de campo consistió en el levantamiento de un conjunto de 379 puntos que fueron distribuidas en toda el área de estudio sobre el área de la ladera afectada. Se utilizó una estación total, la cual facilitó la obtención de las coordenadas y cotas de los respectivos puntos, siendo los objetivos fundamentales la generación del plano de curvas, el mapa de elevación, el mapa de pendientes y el plano del perfil longitudinal de los tres deslizamientos inventariados en la zona de estudio.

3.5.1.1 Elevaciones.

El modelo digital de elevación (MDE) (Figura 7) muestra la superficie real de la zona de estudio, en el cual se observa la elevación del terreno, la cual ha sido tomada de los datos en campo, mediante el levantamiento topográfico. Debido a la alta complejidad del estudio topográfico, se realizó la clasificación por intervalos del MDE se ha realizado de 15 en 15 metros que se considera representativa para la escala de trabajo.

El primer intervalo que abarca desde la altura inferior de la zona de estudio 3060 a 3075 m, y el último que abarca desde 3105 m. a 3120 m.. La tabla 9 muestra la distribución real expresada en metros cuadrados de cada intervalo de altitud considerado. La quebrada Huayllapampa presenta una topografía bastante irregular con pendientes de moderadas a fuertemente inclinadas de acuerdo a lo que se observa en las imágenes en este parámetro geométrico.

3.5.1.2 Pendientes.

La geometría de las laderas y por ende su pendiente (Tabla 10), son factores determinantes en la estabilidad general de las mismas ya que su inclinación está asociada a la efectividad de la fuerza de la gravedad, lo que hace que generalmente las pendientes más inclinadas tengan más probabilidad de deslizamientos, sin embargo esto no excluye la posibilidad de que pudieran generarse deslizamientos en zonas de pendientes suaves. (Abril, 2011)

3.6 Parámetro geotécnico.

En esta fase, el parámetro geotécnico será descrito de manera básica, en cada depósito ubicado en la zona de estudio y tomando en cuenta las consideraciones de investigadores para el estudio del deslizamiento de suelos. Esta caracterización será reforzada más adelante por los ensayos de laboratorio realizados en la Universidad Nacional de Cajamarca, posteriormente se analizó las zonas que sean calificadas como críticas para la generación de remociones en masa.

Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio identificándose las características del suelo; con ello se determinaron parámetros físicos, también se realizó el ensayo de corte directo, a partir del cual fue posible describir el comportamiento en la inestabilidad de la ladera.

Caracterización geotécnica de suelo:

Las propiedades geotécnicas de un suelo a determinar en terreno corresponden a su distribución granulométrica, límites de consistencia, densidad, humedad, peso unitario y la resistencia al corte. Todas estas propiedades fueron obtenidas mediante ensayos realizados en laboratorio.

El análisis granulométrico por tamizado permite cuantificar la distribución de tamaños de las partículas de suelo, describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el tamiz N° 200, de acuerdo a los rangos de tamaños dados por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con porcentajes en peso de cada tamaño. En tanto, para los límites de consistencia, se determinó el límite líquido, el cual expresa el valor del contenido de agua en el punto de transición entre el estado plástico y el estado líquido; por otro lado se determinó el límite plástico del suelo, el cual representa el contenido de agua en el punto de transición entre el estado semisólido a plástico.

Además se determinó el peso específico, el cual es necesario para calcular la relación de vacíos del suelo; también se calculó el contenido de humedad del suelo, el cual expresa la relación entre el peso de agua de una masa de suelo y el peso de las partículas sólidas. Finalmente se determinó la cohesión y el ángulo de fricción de las muestras del suelo, con la finalidad de obtener la resistencia al corte del suelo.

3.6.1 Trabajos de Exploración, Muestreo y Gabinete.

Se partió por realizar el reconocimiento de la zona inestable, al estudiar el área afectada por el deslizamiento, se hizo más extensa el área de investigación de lo que se presumía inicialmente; además se incluyeron áreas donde existen fuentes de agua subterránea, finalmente se relacionaron con estructuras geológicas que afectan directamente la estabilidad del suelo.

3.6.1.1 Exploración de Campo.

Se realizó la excavación de dos (02) calicatas a cielo abierto, excavadas manualmente hasta la profundidad de 1.20 m, adicionalmente se excavó una (01) calicata hasta una profundidad de 2.50 m., la cual fue analizada en un laboratorio calibrado con el fin de comparar y obtener las muestras del suelo superficial; además se extrajo las muestras adicionales del escarpe secundario con una profundidad de 2.00 m. y del escarpe principal hasta la profundidad de 3.00 m.; con la finalidad de comparar y analizar los resultados.

Con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la ladera en estudio que forma parte de la quebrada Huayllapampa, se efectuaron ensayos de laboratorio los cuales fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la finalidad de analizar el comportamiento del suelo ante un efecto detonante que se pueda producir en la zona de estudio, generándose así el deslizamiento.

Las propiedades geotécnicas para suelo y roca han sido obtenidas mediante el trabajo de terreno y mediante ensayos de laboratorio efectuados en materiales muestreados en la zona de estudio. Los detalles de estos resultados se presentan en el Anexo A (resultados de laboratorio). Las zonas donde se realizó el muestreo fueron dentro y fuera del deslizamiento.

La exploración y extracción de las muestras en campo, se ejecutaron para obtener la clasificación y otros parámetros; se realizaron en diferentes fechas, las cuales se ubicaron de la siguiente manera: la C-1 se ubicó fuera del deslizamiento, la C-2 se ubicó en la zona del deslizamiento; luego se extrajeron dos (02) muestras, las cuales se extrajeron del escarpe principal C-4 y secundario C-3; adicionalmente se hizo una calicata en el cuerpo del deslizamiento de 2.50 m., corresponde a C-5, se realizaron ensayos de Corte directo, de las muestras de las cinco calicatas, obteniendo los parámetros del ángulo de fricción y la cohesión.

En forma general los primeros depósitos de suelo encontrados en las calicatas, a partir de la superficie del terreno fueron arcilla de baja plasticidad (CL), arena arcillosa (SC), hasta una profundidad aproximada de 1.20 m., continuando con el escarpe secundario el cual se ubica un depósito de arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML), finalmente en el escarpe principal se ubica un depósito de grava arcillosa (GC), mientras que en el cuerpo del deslizamiento se excavó una calicata con una profundidad de 2.50 m.

Los detalles de estos resultados se presentan en el Anexo A (resultados de laboratorio). Las zonas de muestreo se observan a simple vista que son suelos arcillosos y limosos, además se observan zonas gravo-arenosas las cuales definen principalmente las unidades que rellenan los cauces y los depósitos coluviales. En tanto los suelos arcillosos conforman principalmente las laderas adyacentes a la quebrada y las laderas de los cerros, en estado denso a medianamente denso, y su compacidad permite la existencia de taludes de alta pendiente.

3.6.2 Contenido de Humedad (ASTM D2216).

En las calicatas antes mencionadas (C-1, C-2, C-3 y C-4), se obtuvieron las muestras para hallar los contenidos de humedad, los cuales se llevaron al laboratorio en taras. Luego se colocaron las muestras húmedas en taras, se determinaron los pesos de cada recipiente y muestra húmeda usando una balanza Kern de 400g. de capacidad y una aproximación de 0.1g. y se registró este valor. Asimismo se colocaron las taras con el material húmedo en el horno; se dejó secar durante 24 horas en el horno a 110 ± 5 °C.

Luego que el material se secó, se retiraron las taras del horno. Se dejó que la muestra y las taras se enfríen a temperatura. También se determinaron los pesos de las taras y las muestras secadas al horno usando la misma balanza usada al inicio del ensayo. Finalmente se registraron todos los valores y se realizó el cálculo de los mismos, estos registros y resultados se muestran en el anexo A.

3.6.3 Gravedad Específica (ASTM D854).

Se obtuvo una muestra representativa de cada calicata, se dejó secar totalmente el suelo en el horno por 24 horas; una vez secada la muestra se procedió a tamizar mediante la malla N°4 el material, trabajándose para el ensayo con el material que pasa esta malla.

Se determinó y registró la masa de cada tara limpia y seca, también se registraron las masas de las muestras de suelo. Una vez realizado este proceso se continuó pesando la fiola limpia y vacía de 500 cm³. de capacidad, se llenó la fiola con agua hasta que el menisco coincida con la marca de calibración, registrándose las masas para los cálculos posteriores.

Después de pesado, se ingresó el suelo a la fiola con mucho cuidado de no perder material durante la operación. Se llenó la fiola hasta la mitad de su contenido con agua sin burbujas de aire, se mezcló bien lográndose obtener una solución homogénea, luego se conectó la fiola a la bomba de vacío para extraer por completo las burbujas de aire, seguidamente se retiró, se completó el volumen con agua hasta los 500 cm³, finalmente se pesó.

3.6.4 Análisis granulométrico (ASTM D422-98).

Se secó el material y se procedió a mezclar la muestra para obtener una masa homogénea, cuando se alcanzó tener la muestra uniforme se realizó la división de la muestra en cuatro partes iguales logrando así el cuarteo de la muestra, de éstas se toman dos de las cuatro partes y se mezclan; reduciendo la muestra hasta completar el peso requerido para el ensayo.

Una vez seleccionada la muestra representativa se registró su peso y se procedió al lavado de la muestra, se usó la malla N° 200, se realizó este procedimiento con el fin de separar los finos; una vez lavadas todas las muestras se secan en el horno durante 24 horas y luego se pesan. Se llevó la muestra al juego de tamices (los más gruesos arriba y finos abajo, ordenadamente) y se sacudió con movimientos, luego del tamizado se procedió a pesar el material retenido en cada malla.

3.6.5 Límites de consistencia (ASTM D4318).

3.6.5.1 Límite líquido.

Este proceso se repitió 3 veces, se mezcló el material con agua, se colocó sobre la copa de Casagrande, luego se tomó un poco de muestra de la copa de Casagrande y determinamos su humedad. Después se proyectó en una gráfica el número de golpes respecto la humedad registrada cada vez obtendremos una recta de 25 golpes con tal de conocer el límite líquido.

Se tomó muestras de cada calicata (C-1, C-2, C-3 y C-4), de estas porciones de material completamente mezclado se hizo que las muestras pasen por el tamiz N° 40 sin secarlas al horno previamente, se colocó una masa considerable de la muestra de suelo en un recipiente y se mezcló con agua mediante una espátula hasta formar una textura uniforme y cremosa, luego se colocó en la copa de Casagrande para el ensayo de límite líquido.

La porción de la mezcla se extendió con la espátula sobre la copa de Casagrande, teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa, luego se niveló hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo; la masa sobrante se regresó al recipiente.

Se hizo una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta ranuradora curva, y se formó así una ranura limpia con una profundidad de 1cm en el punto de espesor máximo. Se giró la manivela y luego se golpeó hasta que cierre la ranura en una longitud de 1.27 cm, se realizó el procedimiento con diferentes contenidos de humedad. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. Finalmente se registran los contenidos de humedad de cada ensayo, para su cálculo posterior.

3.6.5.2 Limite plástico.

Se tomó parte de la muestra tamizada por la malla N°40, se agregó agua a la muestra hasta formar una esfera con la masa del suelo, luego se moldeó la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rodó con los dedos de la mano sobre una superficie lisa. Se hacen cilindros de un diámetro de 3mm hasta que se observó notoriamente fisuras en los cilindros, se pesó la tara con la muestra y se determinó el contenido de humedad, el proceso se repite otra vez.

3.6.6 Resistencia al cortante (ASTM D3080).

Se usó muestras inalteradas extraídas de las calicatas (C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5), estas muestras fueron lo suficientemente grandes para proveer de un mínimo de tres muestras por calicata, la preparación de la muestra se efectuó de manera que pierda la mínima cantidad de

humedad, ver anexo D.50; luego se tallaron las muestras con mucho cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural, el ensayo se realizó tomando como referencia las dimensiones del dispositivo de corte directo.

Se verificó el ensamblaje de la caja de corte con los marcos alineados y la nivelación del pistón de carga y se introdujo la muestra de ensayo con cuidado (Ver Anexo D.61). Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir la deformación durante el corte; Posteriormente se le aplicó un esfuerzo normal de 1.00 kg/cm² y se colocó el dial para determinar el desplazamiento vertical (con precisión a 0.01 mm por división).

Fueron separadas las dos partes de la caja de corte, desplazando los tornillos espaciadores que se encuentran en la parte superior de la caja de corte. Se ajustó el deformímetro del equipo (0.01 mm/división) para medir el desplazamiento en cortante, tiene como constante de anillo 0.446379 kg/N°div. y se procedió a tomar las lecturas del deformímetro de carga, del deformímetro cortante y del deformímetro vertical.

El ensayo se repitió para esfuerzos normales de 2.00 y 4.00 kg/cm² siguiendo el mismo procedimiento ya mencionado. Finalmente se tomaron registros de todas las lecturas de los diales del equipo para realizar el cálculo y así se obtuvieron los parámetros de la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ).

3.7 Parámetro hidrológico.

El parámetro hidrológico de la quebrada Huayllapampa tiene su origen en las partes elevadas del centro poblado Huayllapampa a 3533 msnm y una elevación de 3035 msnm en la zona de estudio. Además tiene un área aproximada de 3.49 Km², contribuye con las aguas de escorrentía superficial, recorriendo una distancia total de 2.36 km., con una pendiente promedio a lo largo de su recorrido de 21.06 %. La estación de lluvias intensas se da entre los meses de diciembre a marzo que pertenece al verano costeño, de acuerdo al mapa hidrológico la zona de estudio está comprendida entre el bosque húmedo montano tropical y el bosque muy húmedo montano tropical.

Las características de estas dos zonas se describen a continuación: el bosque húmedo montano tropical tiene un clima húmedo-templado frío con temperaturas medias de 8°C y 6°C, con precipitaciones promedios anuales de 750mm., esta zona se ubica entre las cotas 3500 y 3900 msnm.; mientras que el bosque muy húmedo montano tropical tiene una precipitación promedio anual 1500 mm., con cubierta vegetal constituida por especies arbóreas, se encuentra entre los 2900 y los 3900 msnm.; estas zonas de vida son descritas en el estudio hidrológico de la región Cajamarca del Proyecto ZEE, 2012.

La cuenca hidrográfica de Huayllapampa (Ver Anexo D.55), se delimitó a partir de la divisoria de aguas de la zona de estudio, estas desembocan sobre la quebrada Huayllapampa y tiene un orden de cuenca del tercer orden, es decir se forman de la unión de cauces de segundo orden, las líneas de color celeste muestran cauces de primer orden, las de color turquesa oscuro son cauces de segundo orden y la línea azul es de tercer orden.

En el anexo D.56, se muestra el cauce principal de Huayllapampa, con un recorrido total de 2.36 km y una pendiente promedio a lo largo de su recorrido de 21.06 %, tomado desde el punto más alto del cauce principal hasta la zona de estudio de la presente investigación

La quebrada Huayllapampa que conforma parte del río Mashcón, en su confluencia aguas arriba del centro poblado Huayllapampa, presenta una pendiente de 21.06 %; este valor disminuye en el curso inferior de la quebrada, más en donde la pendiente es nula a la altura del puente los Shilcos II, donde el valle se empieza a extender.

Los análisis hidrológicos que se encuentran dentro del parámetro hidrológico, se elaboró con base en los registros de precipitaciones diarias de la ciudad de Cajamarca, durante el período comprendido entre el mes de enero del año 1973 y el mes de diciembre del año 2016 (Ver Anexo B). La información pluviométrica se obtuvo de primera fuente, mediante la estación meteorológica Augusto Weberbauer. Esta estación se encuentra a una altitud de 2536 m.s.n.m., a $07^{\circ}10'$ de latitud sur y en $78^{\circ}30'$ en longitud oeste.

A pesar de que en la ciudad de Cajamarca existen estaciones con datos de las precipitaciones, muchas de ellas no poseen una buena calidad de los registros o en el peor de los casos simplemente no están funcionando; para la presente investigación se consideró las condiciones de calidad de la información, se escogió como estación base para el estudio hidrológico, la existente en la Universidad Nacional de Cajamarca (44 años de registro), cuyos datos son obtenidos, almacenados y procesados por las personas encargadas de la estación Augusto Weberbauer, la cual permite estimar los fenómenos atmosféricos a través de equipos que miden las variables atmosféricas.

En las tablas y en los gráficos (Ver Anexo B), se relacionan y grafican algunos parámetros de importancia relacionados con las precipitaciones anuales y mensuales, los cuales están directamente asociados con los objetivos de esta investigación. Además de los valores numéricos totales, parciales y representativos, se calculan las probabilidades de excedencia, y se especifican algunas variables estadísticas de interés. Por último y luego de efectuar el análisis individual e independiente de las lluvias anuales y mensuales, se realizó un ajuste de bondad para los datos, mediante la prueba de Smirnov-Kolmogorov, ajustándose a una distribución normal, de las cuales se establecieron relaciones entre las mismas, las cuales permiten observar el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio.

3.8 Parámetro sísmico.

3.8.1 Zonificación sísmica.

Según la norma E.030 - Diseño Sismorresistente (2016) del Reglamento Nacional de Edificaciones, la zona de estudio se encuentra en la zona 3 con valor de Z máximo de $0.35g$, donde g es la aceleración de la gravedad.



Figura 11: Zonificación Sísmica (Norma E.030).

El territorio nacional, se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 11. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

3.8.2 Aceleración máxima de diseño.

Para el análisis de peligro sísmico se tomó como referencia la sismotectónica regional y la geología histórica en la región de Cajamarca, además de la ocurrencia de sismos pasados en la zona de influencia. La norma sismorresistente E.030 establece que en el caso de considerar la influencia de la componente vertical en el movimiento sísmico esta deberá ser estimada como los $2/3$ del valor de aceleración horizontal máxima. En conclusión para realizar el análisis pseudoestático se ha considerado $1/3$ de la aceleración sísmica horizontal de $0.35g$, el cual ha sido ingresado en el programa Slide para las condiciones pseudoestáticas con $0.12g$.

3.9 Análisis de Estabilidad.

En la presente investigación se muestra el análisis de la estabilidad de las laderas, ubicadas en la zona de estudio. Se presentó factores de seguridad de las laderas en condiciones estáticas y pseudoestáticas; además de los conseguidos con los parámetros estudiados.

Para los nuevos parámetros de diseño, se evaluaron en distintos escenarios y criterios. Por otra parte, se empleó el análisis por equilibrio límite considerando el criterio de rotura de Mohr-Coulomb. Los parámetros geométricos, geotécnicos y el parámetro sísmico fueron utilizados en el análisis de estabilidad, mediante el programa Slide.

3.9.1 Condiciones del análisis.

Los parámetros utilizados para el análisis de la inestabilidad de las laderas, fueron obtenidos mediante procedimientos realizados en campo, para obtener resultados más reales en la presente investigación, el parámetro hidrogeológico el cual define la ubicación del nivel freático no se tomará en cuenta, ya que son ensayos costosos, sólo se asumirán parámetros que están bien definidos en la presente investigación.

3.9.2 Obtención de los parámetros geotécnicos.

Los parámetros geotécnicos fueron obtenidos a través de los resultados de ensayos de peso específico, granulometría, límites de Atterberg y corte directo, obtenidos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.9.3 Análisis de equilibrio límite.

Para realizar el análisis de la estabilidad de laderas de los suelos en la zona de estudio, previamente se determinó el tipo de depósito de la zona en estudio, las características geotécnicas del suelo en análisis, la obtención de las secciones del deslizamiento mediante la topografía in-situ y las características sísmicas de la región.

Para la ejecución del análisis de la inestabilidad se usó la teoría del equilibrio límite, el cual fue obtenido a partir de las secciones (topografía de la zona de estudio) las cuales, fueron obtenidas del software Autocad Civil 3D. Asimismo, el análisis se llevó a cabo con el programa computacional Slide v.6.0 de la empresa Rocscience, por el método de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern-Price/GLE.

3.9.4 Secciones topográficas para el análisis de la inestabilidad.

En el análisis de la inestabilidad de la ladera, se modela el comportamiento de la ladera. Para ello se emplea el equilibrio límite. Son 03 las secciones que se utilizaron para el análisis de la inestabilidad y estas son las secciones más críticas de la ladera. Los análisis que se ejecutaron fueron realizados para la ladera de la zona de estudio, siendo la sección A-A la más representativa (Ver Tabla C.1); mientras que las secciones B-B (Ver Tabla C.2) y C-C (Ver Tabla C.3) tienen menor altura con respecto a la primera sección.

3.10 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.

3.10.1 Análisis e interpretación de datos

Para recopilar la información se usaron los métodos cuantitativos y cualitativos, el método cuantitativo se usó para medir las variables cuantitativas de estudio de los parámetros geométricos, hidrológicos y geotécnicos; para los cuales se emplearon equipos topográficos, datos históricos del SENAHMI y el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil respectivamente.

El método cualitativo se usó para describir las variables cualitativas de estudio; para lo cual se obtuvo información existente, y se determinó los parámetros geológicos y sísmicos; El análisis e interpretación de los datos obtenidos se realizó con el fin de entender el proceso de deslizamiento de masas de suelos. Obteniendo la evaluación de las posibles superficies de falla del suelo en estudio.

3.10.2 Técnicas de procesamiento y análisis de información.

La información cuantitativa que se obtuvo de los parámetros geométricos, hidrológicos y geotécnicos, fue procesada mediante diversos métodos como la planimetría y altimetría, métodos estadísticos como la determinación de promedios, histogramas y gráficos. Para lo cual se empleó el programa computarizado Microsoft Excel 2013, con el que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficos representativos.

3.10.3 Análisis de los resultados.

Se realizaron los análisis estadísticos de las variables cuantitativas, tales como: el parámetro geotécnico e hidrológico; mientras que los parámetros geológicos, geométricos y sísmicos son el resultado de los procesos internos y externos a la superficie terrestre, de los cuales se correlacionan con los parámetros cuantitativos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultado de la investigación y análisis de la información.

Los resultados de los parámetros de la investigación han determinado los factores de seguridad de la ladera de suelo en estudio, ubicada en el centro poblado de Huayllapampa, distrito de Cajamarca. Así mismo se han determinado medidas de estabilización de acuerdo a las condiciones: geológicas, geométricas, geotécnicas, hidrológicas y sísmicas; los cuales permiten tener un conocimiento más amplio del comportamiento de la ladera, siendo el ingeniero el responsable de realizar el diseño de la obra de estabilización más conveniente para la zona de estudio.

4.2 Procesamiento de la información.

Para la interpretación de la información de las laderas, se han elaborado modelamientos de perfiles 2D para las laderas de suelo, en las partes críticas de la zona de estudio ubicado en el centro poblado Huayllapampa. Las secciones elaboradas son producto de la topografía in situ del lugar, analizando así su composición geológica y sus características geotécnicas de la ladera y se determinó una fuerza sísmica para la zona en estudio, además se establecieron 3 secciones críticas de la ladera, dividiéndose cada una en dos condiciones establecidas para su análisis, como: tensiones efectivas y tensiones efectivas + sismicidad; determinando así sus factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos en función de los parámetros estipulados para el análisis de la ladera de suelo en estudio.

4.3 Análisis y evaluación de parámetros.

La investigación del deslizamiento de las masas de suelo en la quebrada Huayllapampa consistió en obtener información de la zona de estudio sobre los parámetros geológicos, geométricos, geotécnicos, hidrológicos y sísmicos, los cuales se correlacionan y permiten conocer la influencia condicionante y desencadenante en el deslizamiento de las masas de suelo; además las características de estos parámetros permitió realizar un diagnóstico más preciso, debido al trabajo de campo se obtuvo un mejor análisis conjuntamente con los resultados de laboratorio, determinando la evaluación de la inestabilidad de las laderas.

4.3.1 Análisis del parámetro Geológico.

La zona de estudio se ubica en la Formación Chimú, la cual está conformada por lutitas, areniscas y niveles de carbón, estos fueron contrastadas en el campo, además se encontró rasgos de estratos pertenecientes a otras formaciones; también se identificó depósitos cuaternarios recientes, los cuales son:

Depósitos coluviales que están representados por los escombros de las laderas, se caracterizan por contener bloques, gravas angulosas y subangulosas distribuidas de forma heterogénea en una escasa matriz limoarcillosa y arenosa; depósitos aluviales que atraviesan gran parte de la zona de estudio y están constituidas por gravas angulosas y redondeadas con arena gruesa, englobadas en una matriz de limos y arcillas, por lo que se obtienen suelos anisotrópicos; finalmente se encontró depósitos fluviales, los cuales se evidenciaron en el fondo de la quebrada que contenían rocas de diferente diámetro de perfil redondeado y subredondeado producto de la erosión hídrica.

En la quebrada Huayllapampa se logró evidenciar una falla inferida en dirección NW – SE y una falla normal que abarca gran parte de la cuenca en dirección E – W, además se ubica en una zona emplazada por un sistema de plegamientos en dirección SE – NW.

La geomorfología de la zona de estudio permite evaluar las formas del relieve y así se pudo identificar las principales acciones geodinámicas; la complejidad de la distribución de las formas del relieve que existe en la zona, es producto de la ocurrencia de procesos endógenos y exógenos. La geomorfología está formada por las inclinaciones de los cerros, los cuales convergen en la quebrada (zona de estudio) el cual genera los depósitos Cuaternarios y se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización del lugar. Así la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño dependen del medio de transporte.

Finalmente el parámetro geológico representa una inestabilidad permanente, debido a la susceptibilidad a los deslizamientos que posee la formación chimú y a la geomorfología que actúa sobre la zona de estudio, se pudo concluir que las masas de suelo son el producto de la meteorización de las rocas y su comportamiento depende de las propiedades de la roca original, además las superficies de falla pueden ubicarse entre el suelo residual y el depósito aluvial.

4.3.2 Análisis del parámetro geométrico.

Las laderas con pendientes fuertes y desprovistas de vegetación son los que, con mayor facilidad, sufren deslizamientos. Este es un parámetro condicionante ya que genera una situación en la zona de estudio potencialmente inestable, aunque para algunos casos de rocas no se considera como condicionante debido a las bajas pendientes. La geometría del lugar es afectada por procesos geológicos y geomorfológicos de la zona de estudio.

En campo se identificó el escarpe principal del deslizamiento, el cual cuenta con una dimensión de 5 metros de longitud, el material que conformaba parte del escarpe principal se encontró constituido por grandes bloques de roca englobada por una matriz arcillosa; además se logró identificar el escarpe secundario, el cual tiene una dimensión de 3 metros de longitud, siendo material arcillo gravoso el que conforma parte de este escarpe; también se pudo analizar que los suelos desarrollados en las laderas estudiadas de la quebrada Huayllapampa están directamente involucrados con los fenómenos gravitacionales resultan ser elementos condicionados por el material originario del suelo, la situación climática y el relieve de la zona.

Asimismo se realizó el levantamiento topográfico obteniéndose un total de 379 puntos los cuales se tomaron en gran parte del área afectada en la zona de estudio donde se producen los deslizamientos, la cual nos aporta información básica para el análisis de los movimientos identificados en el campo, además los mapas topográficos precisos son esenciales para la elaboración de las secciones críticas identificadas, el análisis de la inestabilidad y su posterior control y obras de contención ingenieril.

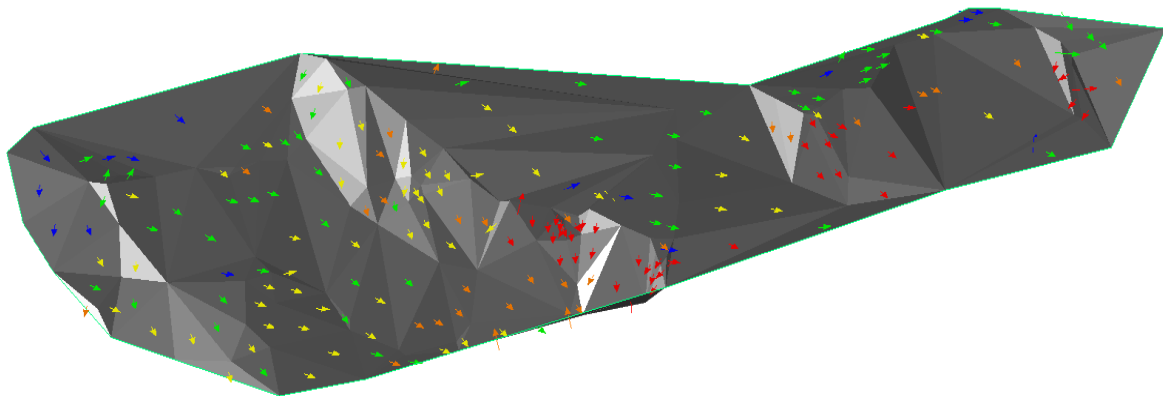


Figura 12: Vectores de movimiento.

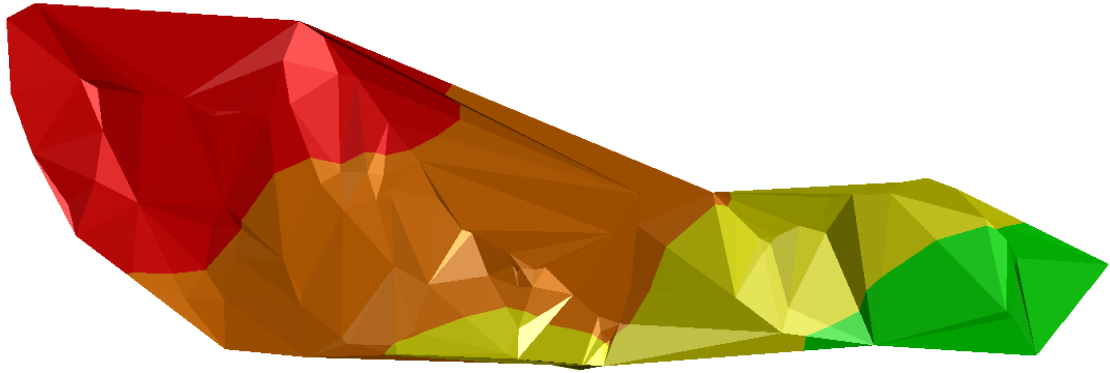






Figura 13: MDE del deslizamiento.

Tabla 10: Tabla de elevaciones.

RANGO	COTA MÍNIMA	COTA MÁXIMA	ÁREA (M2)	COLOR
1	3060.00	3075.00	798.28	
2	3075.00	3090.00	1896.12	
3	3090.00	3105.00	3065.22	
4	3105.00	3120.00	2641.12	

Fuente: Elaboración propia.

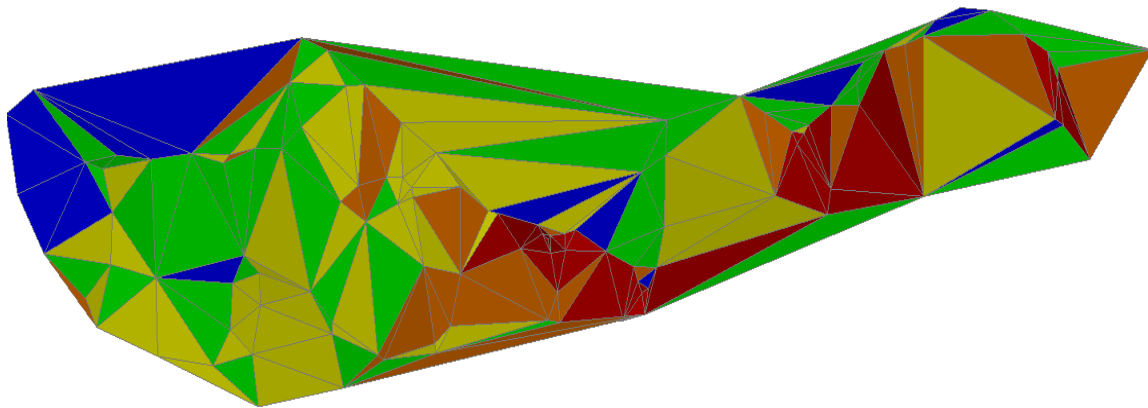







Figura 14: Pendientes de la zona del deslizamiento.

Tabla 11: Tabla de pendientes.

RANGO	PENDIENTE MÍN.	PENDIENTE MÁX.	ÁREA (M2)	COLOR
1	4.00%	26.79%	1040.73	
2	26.80%	46.63%	2507.89	
3	46.64%	70.02%	2582.59	
4	70.03%	100.00%	1380.53	
5	100.01%	1199.88%	889.01	

Fuente: Elaboración propia.

En la zona de estudio predominan las pendientes medias y altas. Casi la totalidad de los movimientos identificados se produjeron en pendientes superiores a 45%, mientras que en las pendientes menores a 45° se agrupó en un área menor.

Se debe tener en cuenta que las pendientes varían en toda la superficie de la zona de estudio, por lo que los taludes con pendientes fuertes y desprovistos de vegetación son los que se encuentran más propensos y con mayor facilidad de que se generen deslizamientos, de igual manera las pendientes suaves son suficientes para originar movimientos debido al agua infiltrada en el suelo.

Finalmente se utilizó toda la información obtenida del levantamiento topográfico para generar un modelo digital de elevación el cual muestra una superficie aproximada a la realidad en el campo, con el fin de obtener la distribución de las elevaciones; también se generó un modelo digital de pendientes para clasificar el área donde predominan las pendientes medias y altas y se concluyó que cuanto mayor es la pendiente en el suelo, es más propenso a deslizarse.

4.3.3 Análisis del parámetro geotécnico.

Calicata C-1, compuesta por un tipo de depósito cuaternario:

Aluvial, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), está compuesta por: Grava: 9.64%, Arena: 31.70% y Finos: 58.66%; clasificándose como una arcilla de mediana plasticidad (CL), englobando una matriz arenosa con bajo porcentaje de gravas, además presentó límites de consistencia: Líquido: 31%, Plástico: 20% y un I.P: 11%, representando un suelo heterogéneo.

Calicata C-2, compuesta por un tipo de depósito cuaternario:

Aluvial, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), está compuesta por: Grava: 1.18%, Arena: 60.13% y Finos: 38.70%; clasificándose como una Arena arcillosa (SC), englobando una matriz de finos con muy bajo porcentaje de gravas, además presentó límites de consistencia: Líquido: 30%, Plástico: 22% y un I.P: 8%, representando un suelo muy heterogéneo.

Calicata C-3, compuesta por un tipo de depósito cuaternario:

Aluvial, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), está compuesta por: Grava: 0.03%, Arena: 43.48% y Finos: 56.50%; clasificándose como una Arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML), englobando una matriz arenosa con insignificante porcentaje de gravas, además presentó límites de consistencia: Líquido: 30%, Plástico: 26% y un I.P: 5%, representando un suelo homogéneo.

Calicata C-4, compuesta por un tipo de depósito cuaternario:

Coluvión, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), está compuesta por: Grava: 44.70%, Arena: 28.33% y Finos: 26.98%; clasificándose como una Grava arcillosa (GC), englobando una matriz arenosa con finos, además presentó límites de consistencia: Líquido: 34%, Plástico: 20% y un I.P: 14%, representando un suelo heterogéneo.

A partir de los análisis de laboratorio se obtuvo los parámetros geotécnicos descritos anteriormente, clasificando el tipo de material de cada calicata extraída. Analizando los factores de seguridad en función de las unidades geotécnicas y el tipo de litología del suelo. Para esta clasificación se tuvo en cuenta el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

De acuerdo a las características geológicas de los suelos estudiados en el capítulo 3.4, a las características de los materiales y a la clasificación de cada uno de ellos, la Tabla 12 se obtuvo de los resultados del ensayo de corte directo, peso unitario y la clasificación SUCS. Todos estos parámetros forman parte del análisis de las características del suelo, además estos permitieron evaluar el factor de seguridad para cada sección analizada.

Tabla 12: Parámetros geotécnicos.

DESCRIPCIÓN	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Cohesión (kN/m ²):	62.76	18.63	12.75	60.80	20.60
Ángulo de fricción (°):	11.90	11.20	18.70	8.30	10.90
Peso Unitario (kN/m ³):	17.24	17.18	17.06	17.58	17.46
Clasificación SUCS:	CL	SC	CL-ML	GC	SC

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Formación, sedimentología y clasificación de suelos.

Formación	Sedimentología	Leyenda	Clasificación	$\gamma(\text{kg/m}^3)$	Calicata
Chimú	Aluvial		CL	1757.99	C1
			SC	1751.87	C2
			CL-ML	1739.64	C3
			GC	1792.66	C4
			GC	1780.43	C5

Fuente: Elaboración propia.

Las Tablas 12 y 13 muestran las propiedades y características de las calicatas, la cuales se ubican en el cuerpo de la zona del deslizamiento y uno fuera del deslizamiento, sin embargo sus propiedades sirven para contrastar su estabilidad con las propiedades de las otras calicatas.

4.3.4 Análisis del parámetro hidrológico.

La zona de estudio (quebrada Huayllapampa), cuenta con una elevación de 3035 msnm en la zona de estudio. Además tiene un área aproximada de 3.49 Km², con una pendiente promedio a lo largo de su recorrido de 21.06 %. La estación de lluvias intensas se da entre los meses de diciembre a marzo, periodo de mayor cantidad de deslizamientos de suelos.

Se efectuó el análisis individual e independiente de las lluvias anuales y mensuales, además se realizó un ajuste de bondad para los datos, mediante la prueba de Smirnov-Kolmogorov, ajustándose a una distribución normal, de las cuales se establecieron relaciones entre las mismas. Observándose el comportamiento de las precipitaciones.

4.3.5 Análisis del parámetro sísmico.

La norma E.030 - Diseño Sismorresistente (2016) del Reglamento Nacional de Edificaciones, indica que la zona de estudio se encuentra en la zona 3 con valor de Z máximo de 0.35g. Asimismo se investigó el análisis que realizan autores sobre la estabilidad de taludes para los métodos pseudoestáticos de diseños de muros y taludes, los cuales indican que se utilicen coeficientes sísmicos horizontales que varían entre 1/3 y 2/3 de la aceleración máxima de diseño (Marcuson, W., & Frankley, A., 1983). En conclusión para realizar el análisis pseudoestático se ha considerado 0.12g en la aceleración sísmica horizontal.

4.3.6 Análisis de Estabilidad.

Los parámetros que se utilizó para el análisis de la inestabilidad de las secciones críticas, se obtuvo mediante la determinación y el análisis de los procedimientos realizados en campo, con la finalidad de contar con resultados más reales en la presente investigación, sólo se asumieron los parámetros bien definidos en la presente investigación.

Para el análisis de la inestabilidad de las laderas de suelos en la zona de estudio, se determinó las propiedades geológicas, el tipo de depósito de la zona en estudio, las características geotécnicas del suelo en análisis, la obtención de las secciones críticas del deslizamiento mediante la topografía in-situ y las características sísmicas de la región.

Se realizó la ejecución del análisis de la inestabilidad mediante la teoría del equilibrio límite, la cual fue obtenida a partir del software Autocad Civil 3D, resultando así las secciones topográficas críticas de la ladera de suelo. Asimismo, el análisis se llevó a cabo con el programa computacional Slide de la empresa Rocscience, mediante los métodos de Bishop Simplificado, Spencer y Morgenstern-Price/GLE; los cuales son los métodos más conservadores.

De acuerdo a los análisis ejecutados en la zona de estudio, conseguidos a partir de los parámetros estudiados anteriormente y con el fin de obtener los factores de seguridad para las secciones críticas en la ladera, se realizó el análisis por equilibrio límite considerando el criterio de rotura de Mohr-Coulomb tanto para condiciones estáticas y pseudoestáticas los cuales corresponden a las secciones críticas ejecutadas, obteniéndose la Tabla 13.

Tabla 13: Factores de seguridad, criterio Mohr-Coulomb.

Sección	Factor de Seguridad				Rotura
	Análisis Estático			Análisis Pseudoestático	
	Bishop Simplificado	Spencer	Morgenstern -Price/GLE	Spencer- Sísmico	
A - A	1.192	1.189	1.186	0.884	Circular
B - B	1.352	1.342	1.342	0.873	
C - C	1.098	1.086	1.085	0.876	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Metodología Slide.

Primero vamos a definir los límites del área de dibujo, ingresando los valores mínimos y máximos “X” y “Y” en el cuadro de diálogo “View Limits”, una vez ingresados los valores, colocamos aceptar.

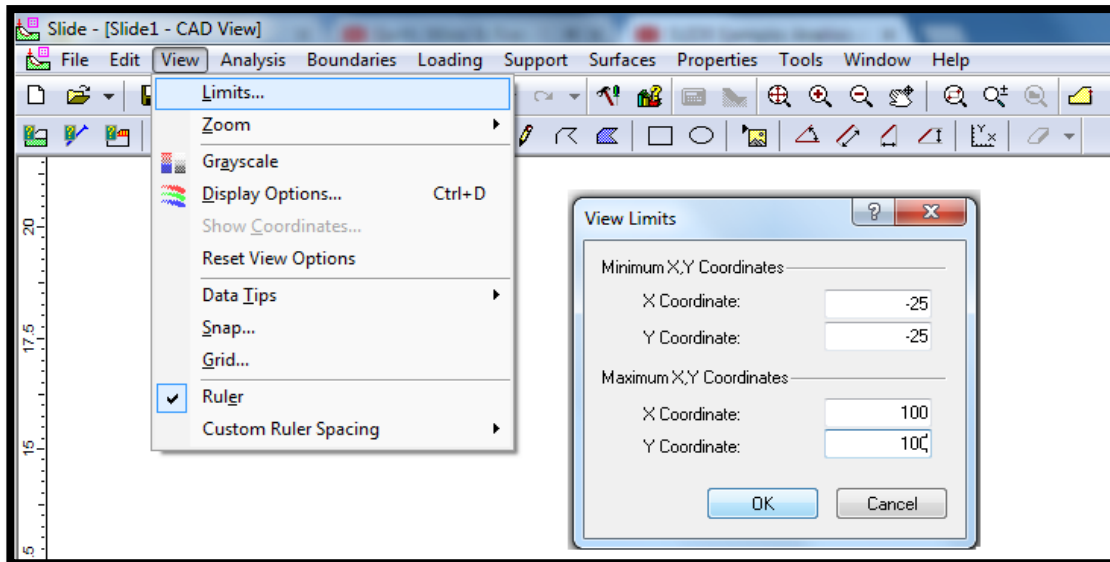


Figura 15: Límites del proyecto.

Luego seleccionamos “Analysis”, a continuación seleccionamos “Project Settings...”, en el cual se establece la configuración del proyecto, varias opciones importantes de modelado y análisis se establecen en este cuadro, los cuales son: unidades de medida, métodos de análisis, dirección del talud, etc.

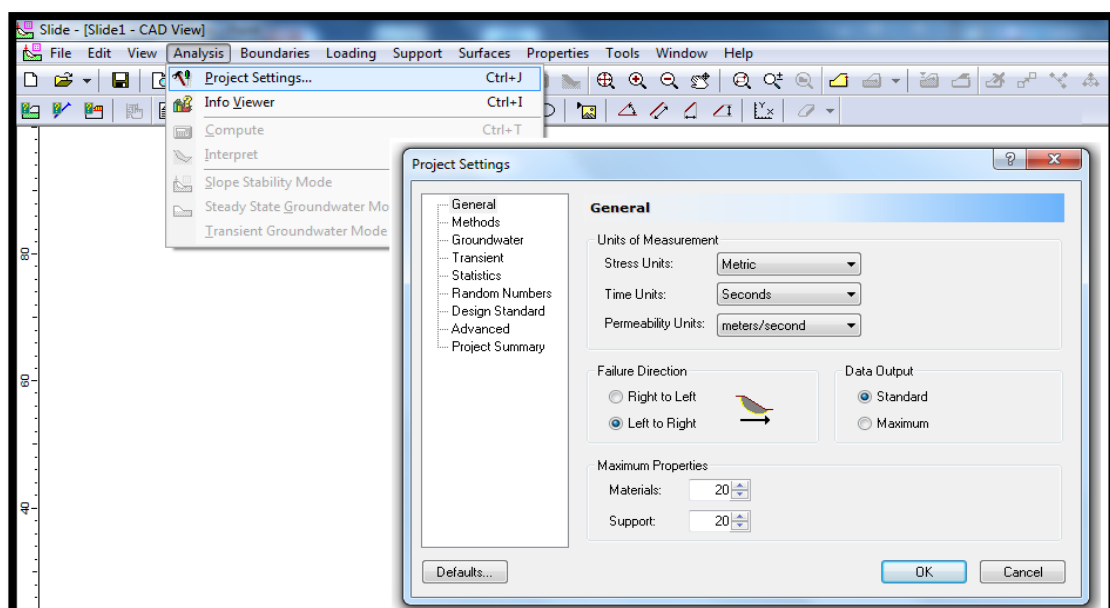


Figura 16: Configuración del proyecto.

En la segunda pestaña del Project Settings, se configuran los métodos de análisis del modelado, seleccionamos los métodos adecuados para cada análisis, en este caso se analizará con los métodos “Bishop simplified”, “GLE/Morgenstern-Price” y “Spencer”. Seleccionamos OK.

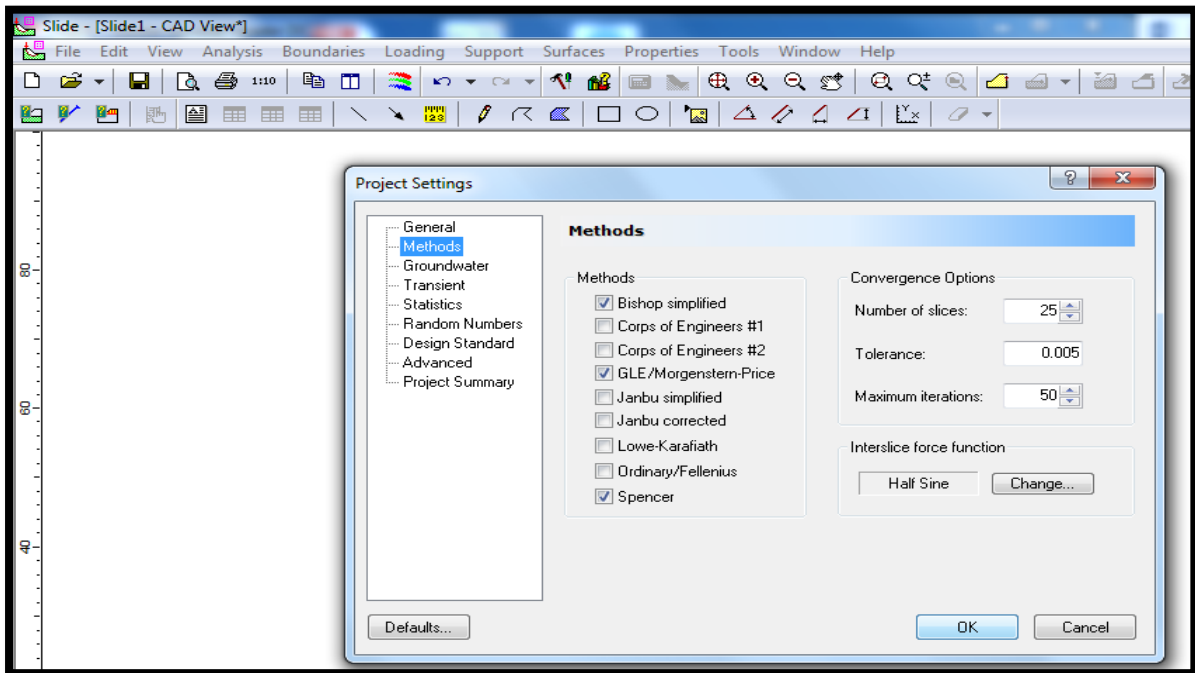


Figura 17: Configuración del método de análisis.

Para agregar el borde externo del talud a analizar, se selecciona “Add External Boundary” de la barra de herramientas, luego en el área de trabajo se coloca clic derecho y se selecciona “Coordinate table...”, y se introducen los valores “X” y “Y” en el cuadro de coordenadas.

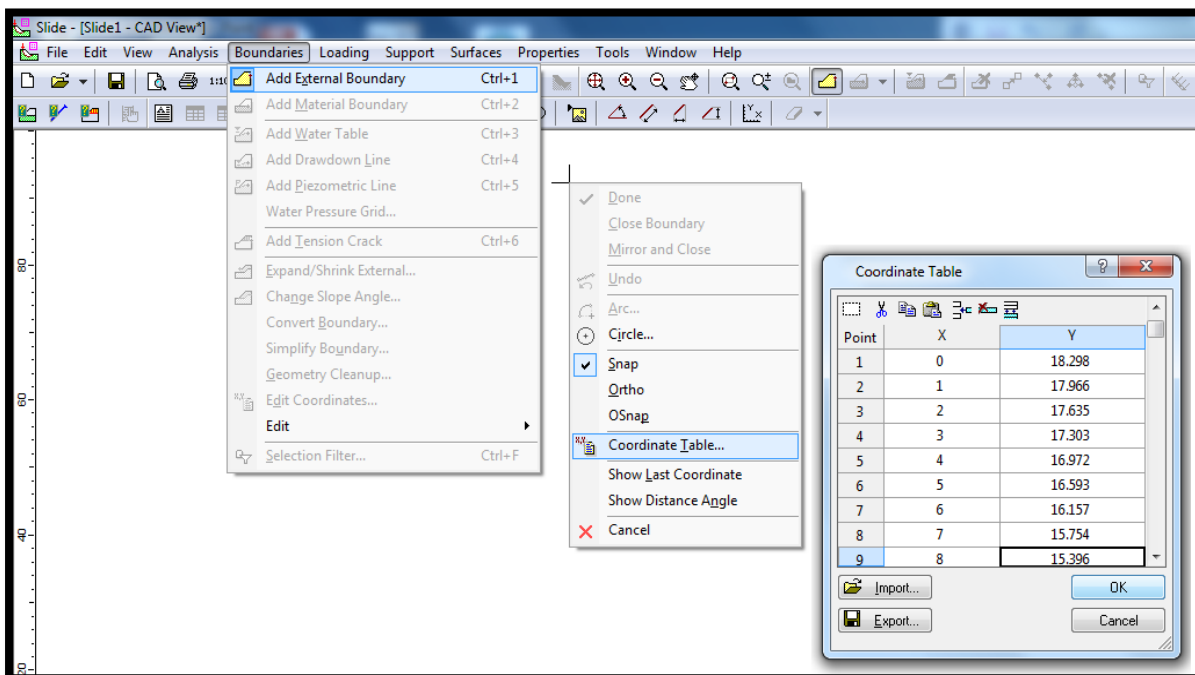


Figura 18: Borde externo del talud.

Una vez que ya se tiene el borde externo, se procede a definir las propiedades de los materiales, se introducen: nombre del material, peso unitario (kN/m³), tipo de fuerza (Para suelos se analiza con Mohr-Coulomb), cohesión (kN/m²), ángulo de fricción (Grados). Cuando se haya terminado de introducir las propiedades, se selecciona “OK”.

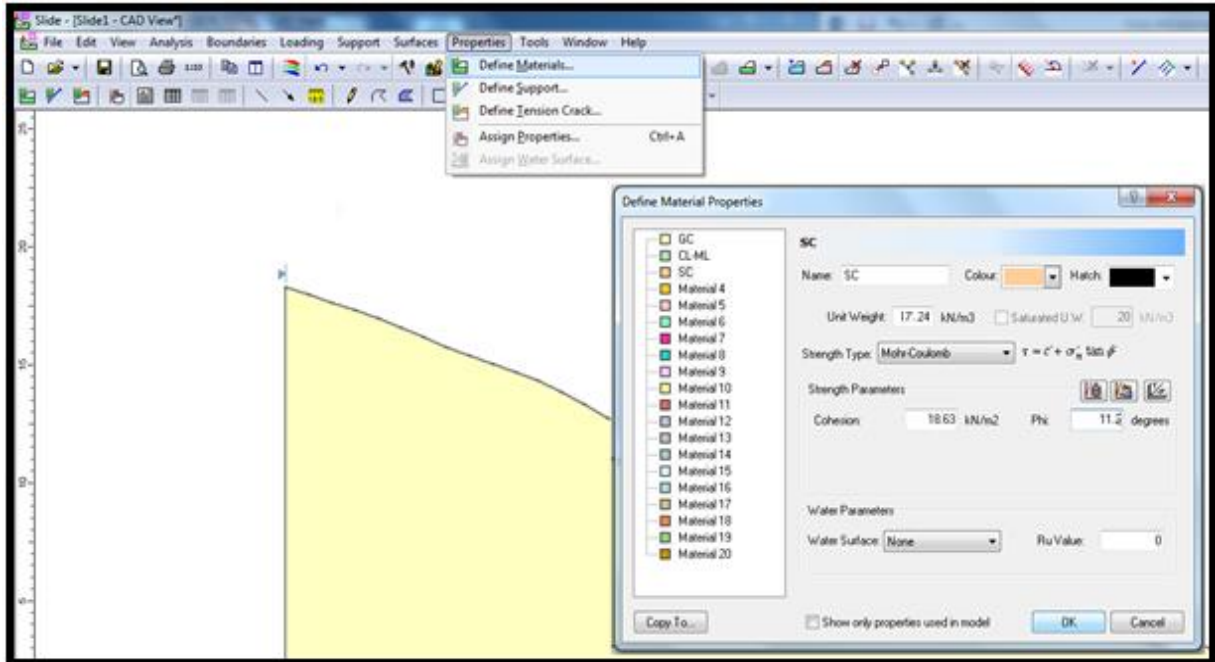


Figura 19: Propiedades del material.

Puesto que se han definido tres materiales, es necesario asignar las propiedades de los materiales a las regiones correctas del modelo, utilizando la opción “Assign Properties”, aparecerá el cuadro de Asignación de materiales (Assign Materials).

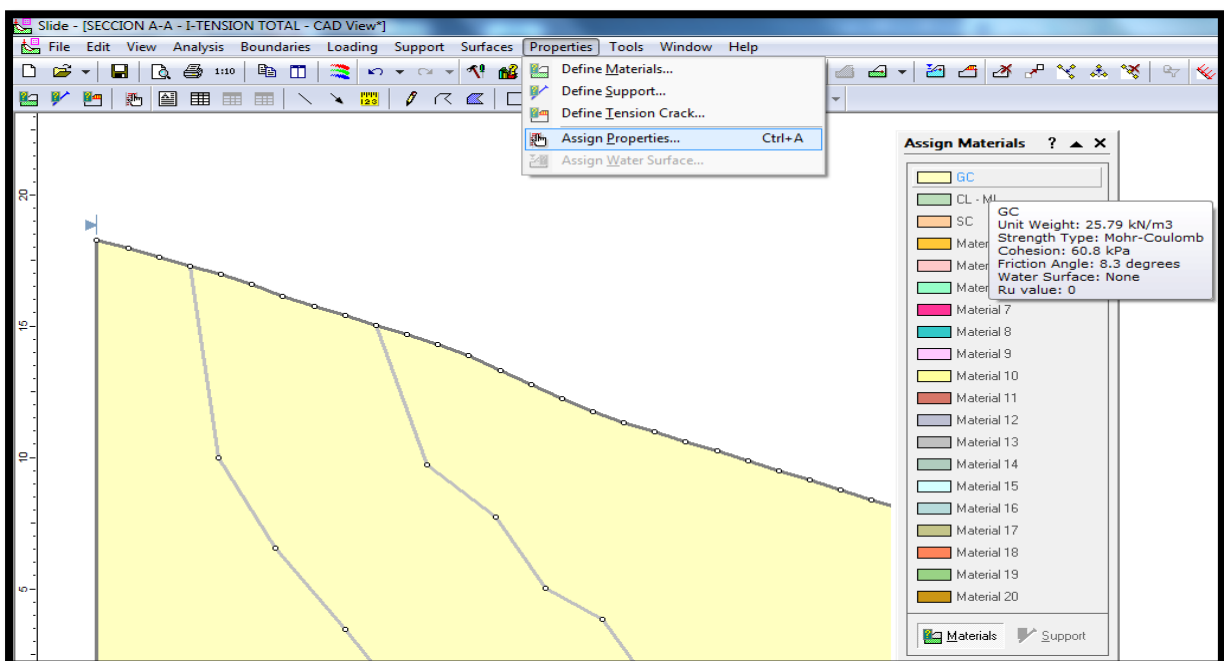


Figura 20: Asignación de propiedades.

Eso es todo, las propiedades son asignadas. Cerramos el cuadro de diálogo de Propiedades, se selecciona Asignar la X en la esquina superior derecha del cuadro de diálogo. Ahora se tiene terminado el modelo, y se puede proceder a ejecutar el análisis y la interpretación de los resultados.

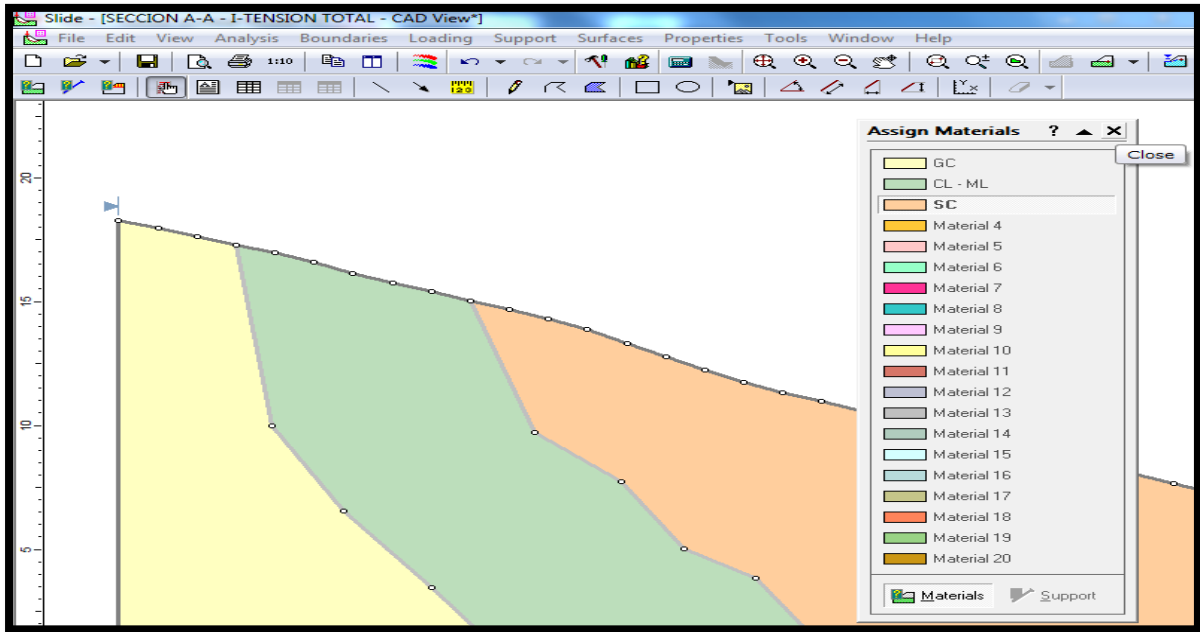


Figura 21: Asignación del material.

Definidas y asignadas las propiedades de los materiales en las regiones del talud, se continua por crear una superficie de rejilla circular, con el fin de tratar de localizar la superficie de deslizamiento crítico, esta es una red de centros de deslizamiento (es decir, la superficie de deslizamiento con diferentes factores de seguridad).

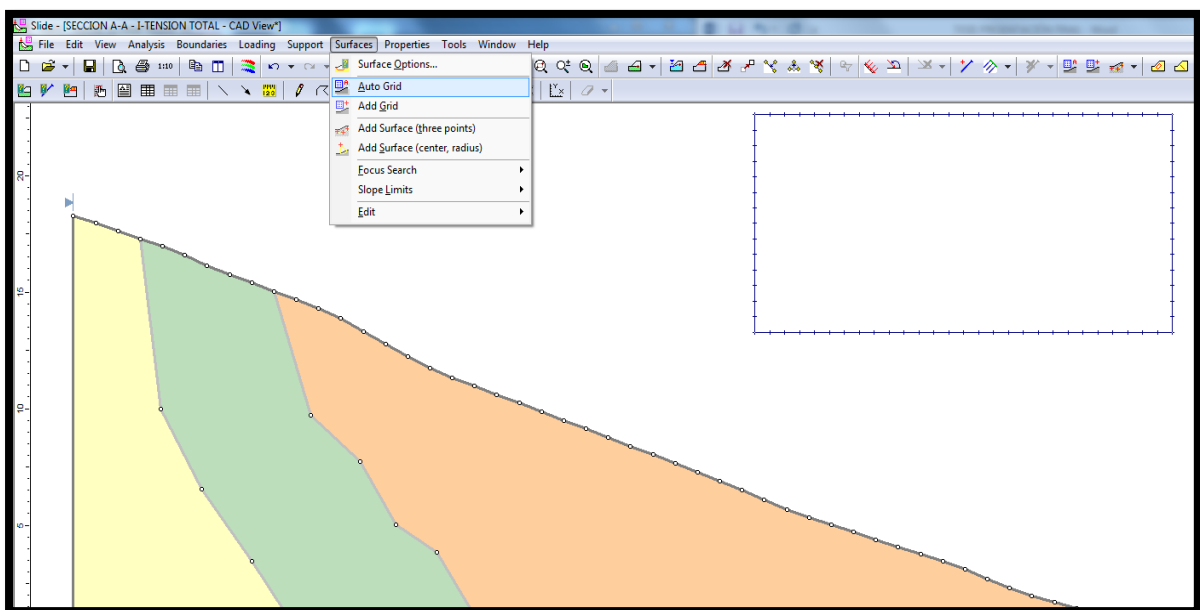


Figura 22: Cuadrícula de superficie circular.

Antes de analizar el modelo, se guarda; Ahora está listo para ejecutar el análisis, se selecciona “Analysis”, luego la pestaña “Compute”, la cual procederá a ejecutar el análisis. Cuando se haya completado, estará listo para ver los resultados de interpretar.

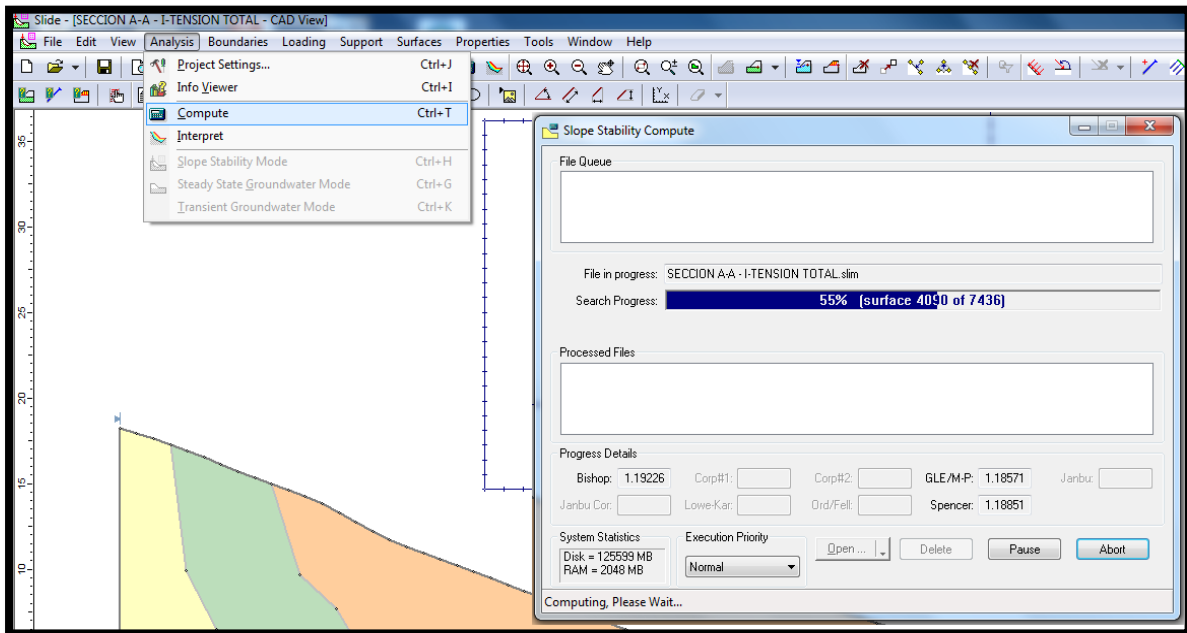


Figura 23: Análisis del modelo.

Se selecciona “Analysis”, luego “Interpret”. Esto iniciará que el programa Interprete los resultados del análisis, como se puede ver, el círculo mínimo del deslizamiento, para el método de análisis Bishop, la superficie de falla pasa a través de los materiales débiles, los cuales tienen influencia en la estabilidad de este modelo y en el factor de seguridad que es 1.192.

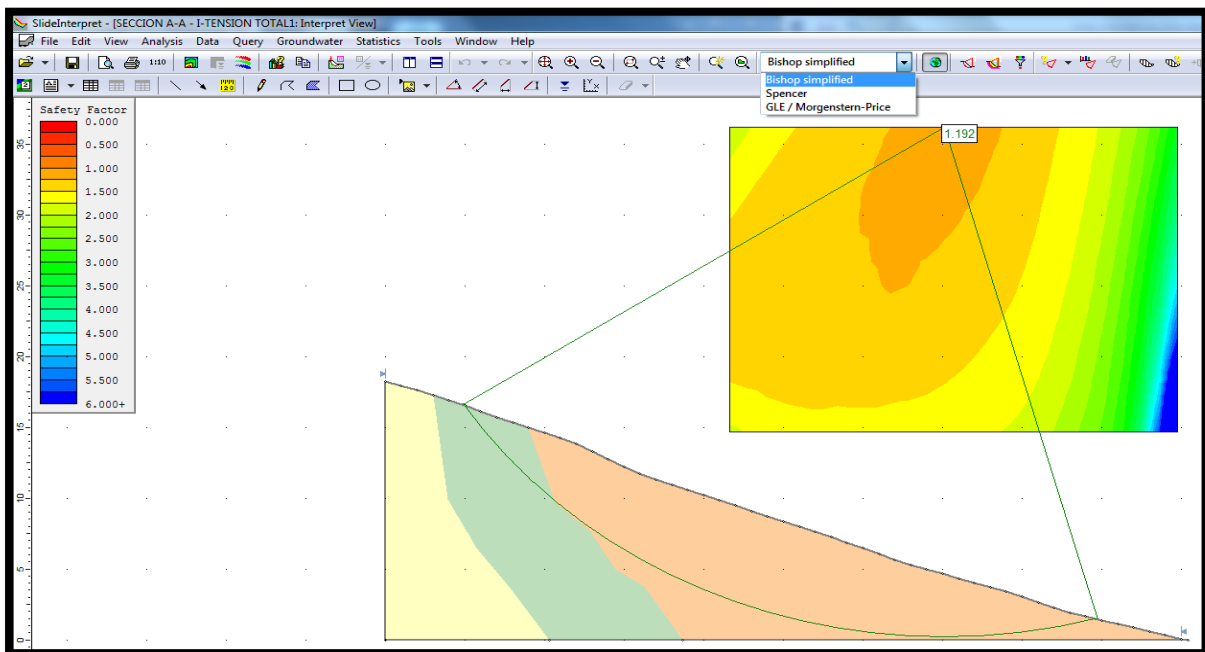


Figura 24: Interpretación de resultados del modelo.

Se generó cuadros diálogo de tablas de propiedades de los materiales que se tienen en la ladera, estos cuadros muestran el resumen de todo el conjunto de materiales, y no es necesario colocar uno por uno.

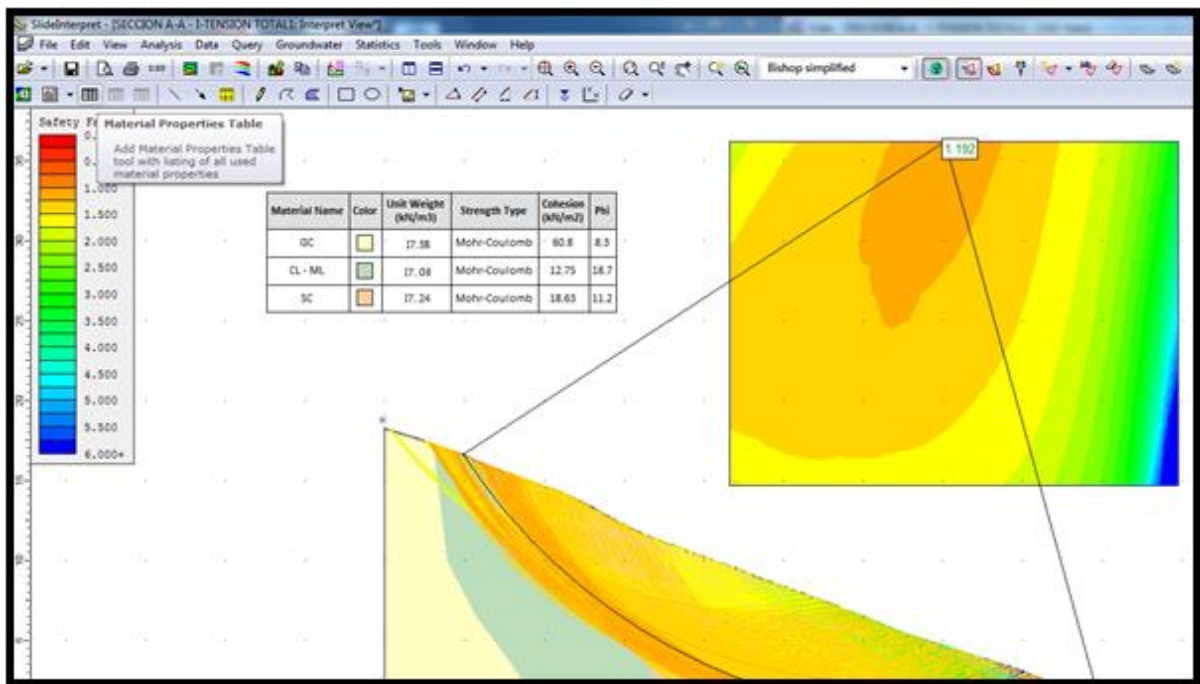


Figura 25: Tabla de propiedades de materiales.

Se muestra como se agregan cuadros de textos resumen de los resultados en la presentación de las secciones del talud.

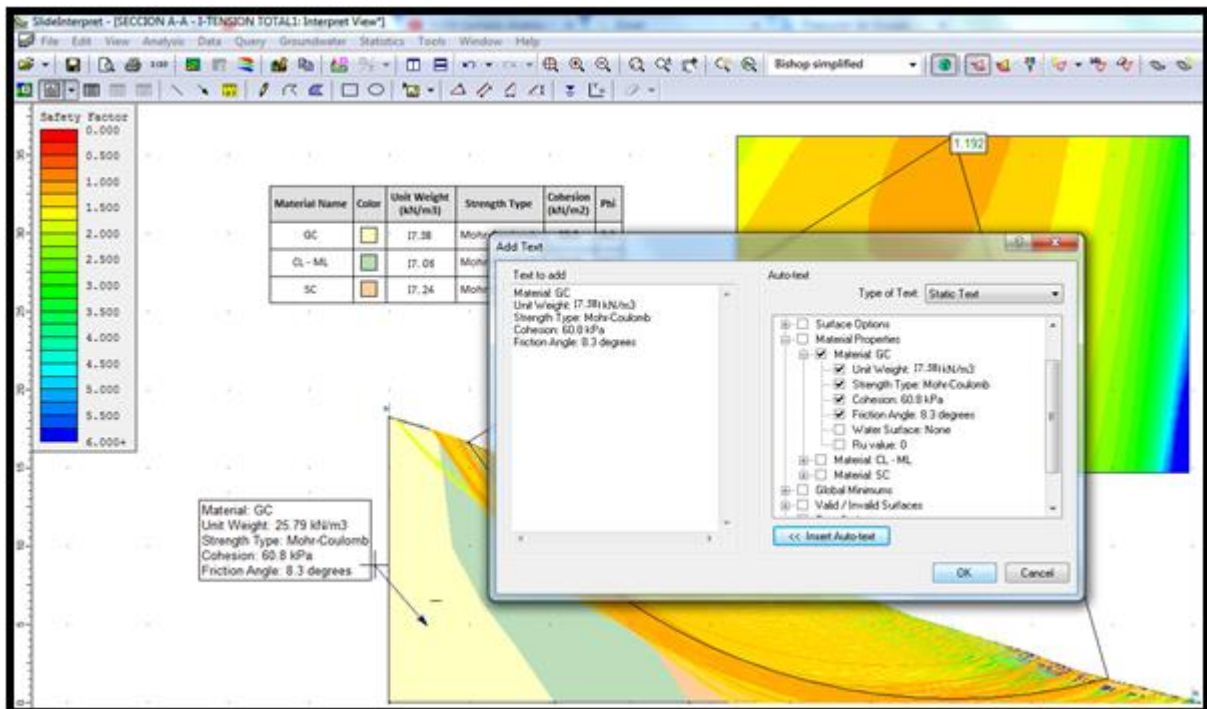


Figura 26: Insertando cuadros resumen de resultados.

4.3.8 Análisis Slide.

- TENSIONES EFECTIVAS.

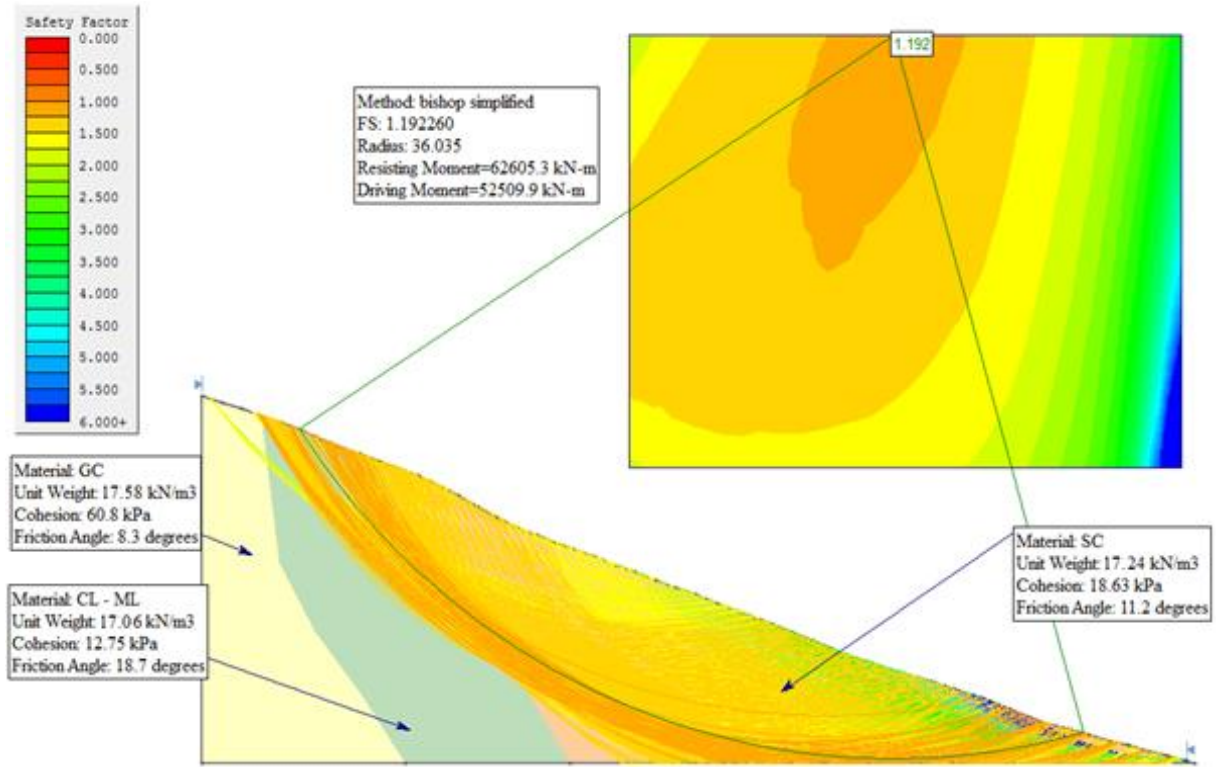


Figura 27: Método Bishop simplificado, SECCIÓN A-A, FS = 1.192.

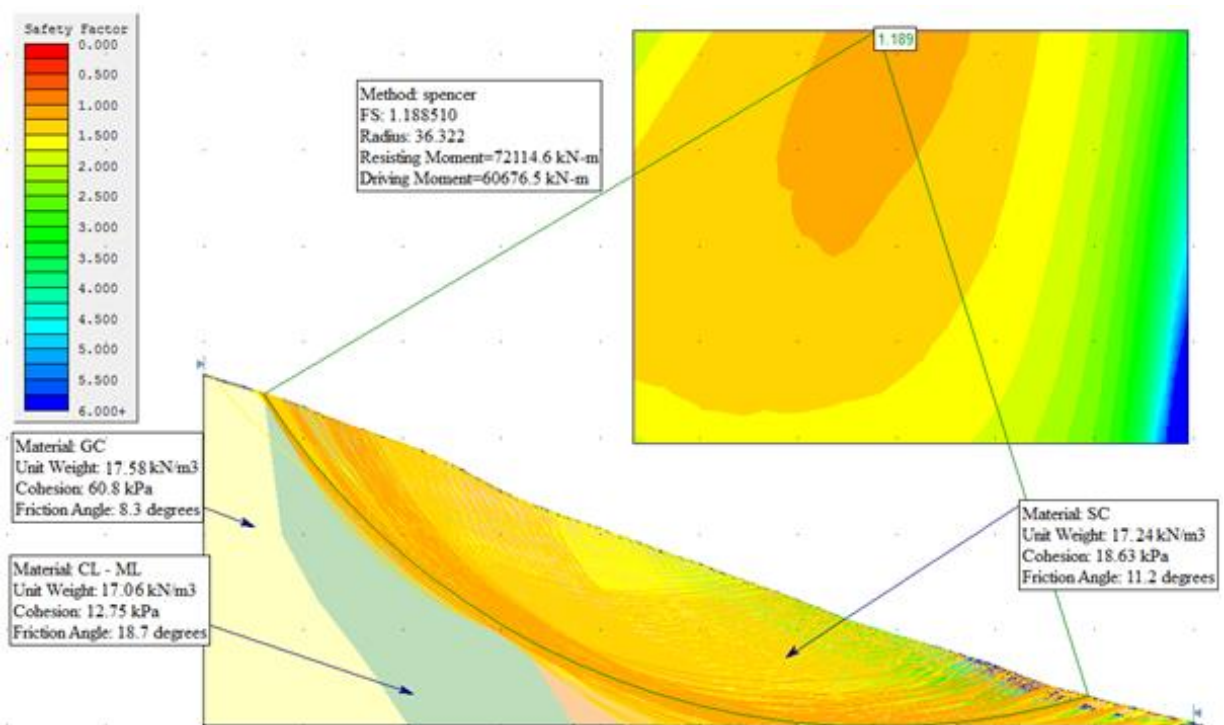


Figura 28: Método Spencer, SECCIÓN A-A, FS = 1.189.

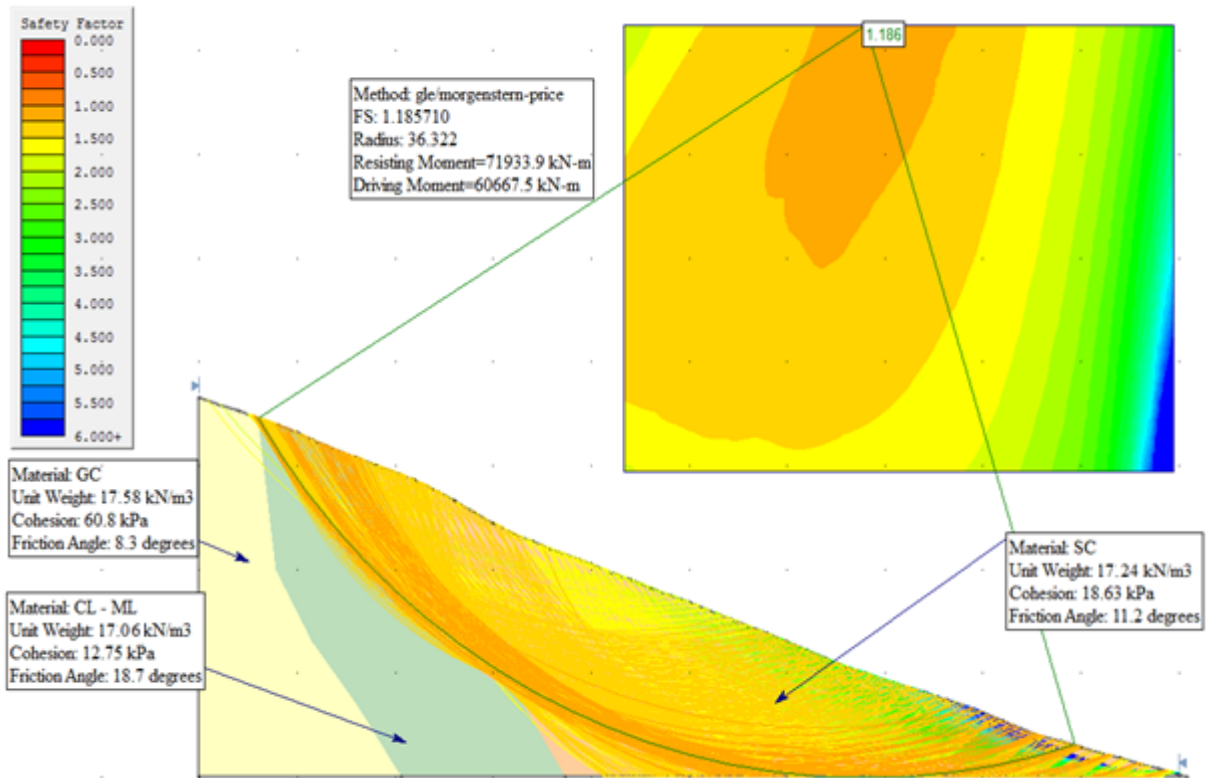


Figura 29: Método Morgenstern-Price/GLE, SECCIÓN A-A, FS = 1.186.

- **TENSIONES EFECTIVAS + NIVEL FREÁTICO.**

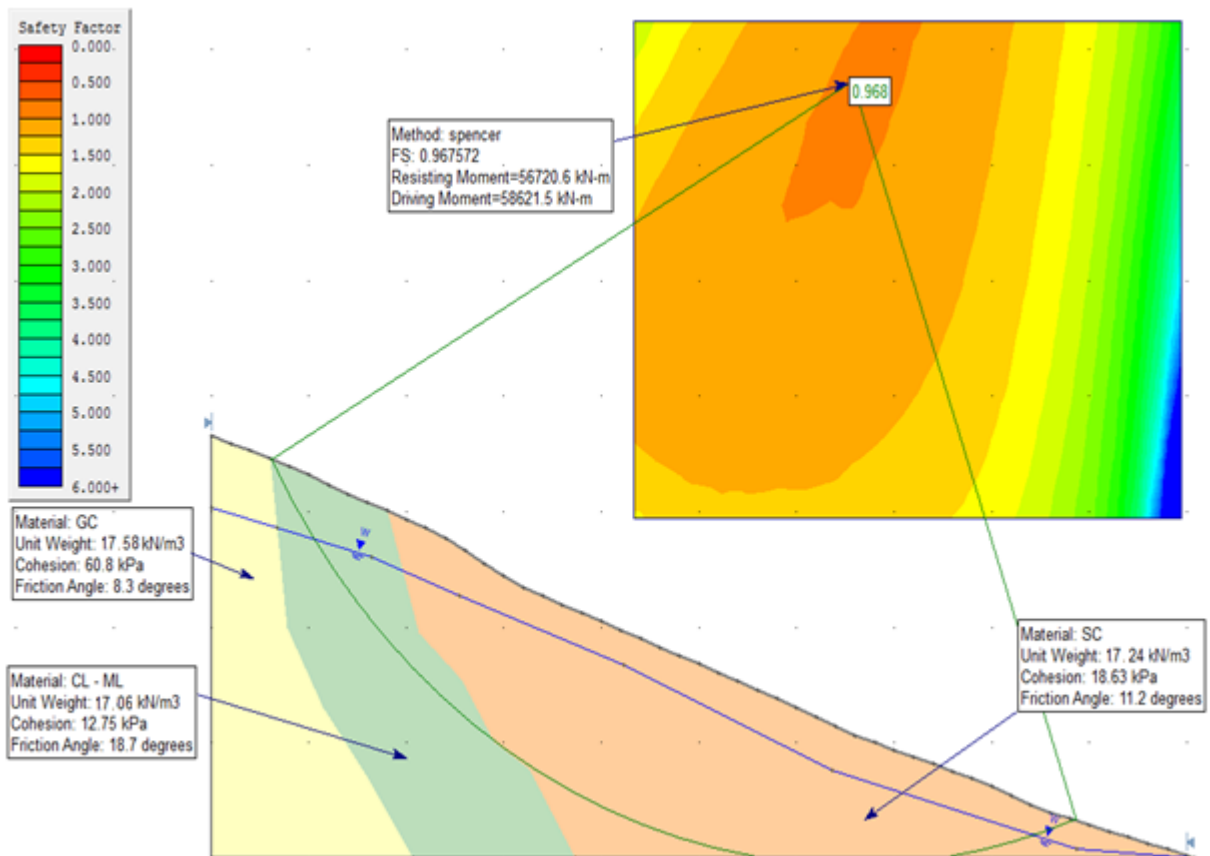


Figura 30: Método Spencer, SECCIÓN A-A, FS = 0.968.

- **TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD.**

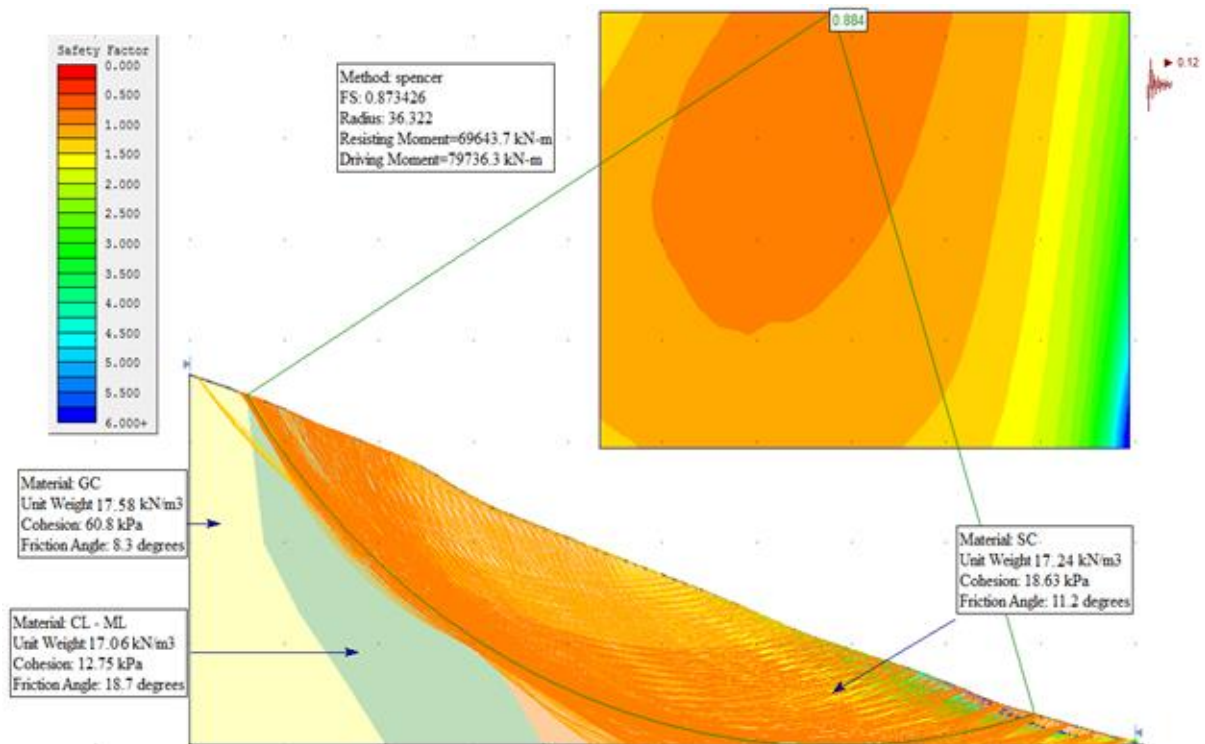


Figura 31: Método Spencer, SECCIÓN A-A, FS = 0.873.

- **TENSIONES EFECTIVAS + NIVEL FREÁTICO + SISMICIDAD.**

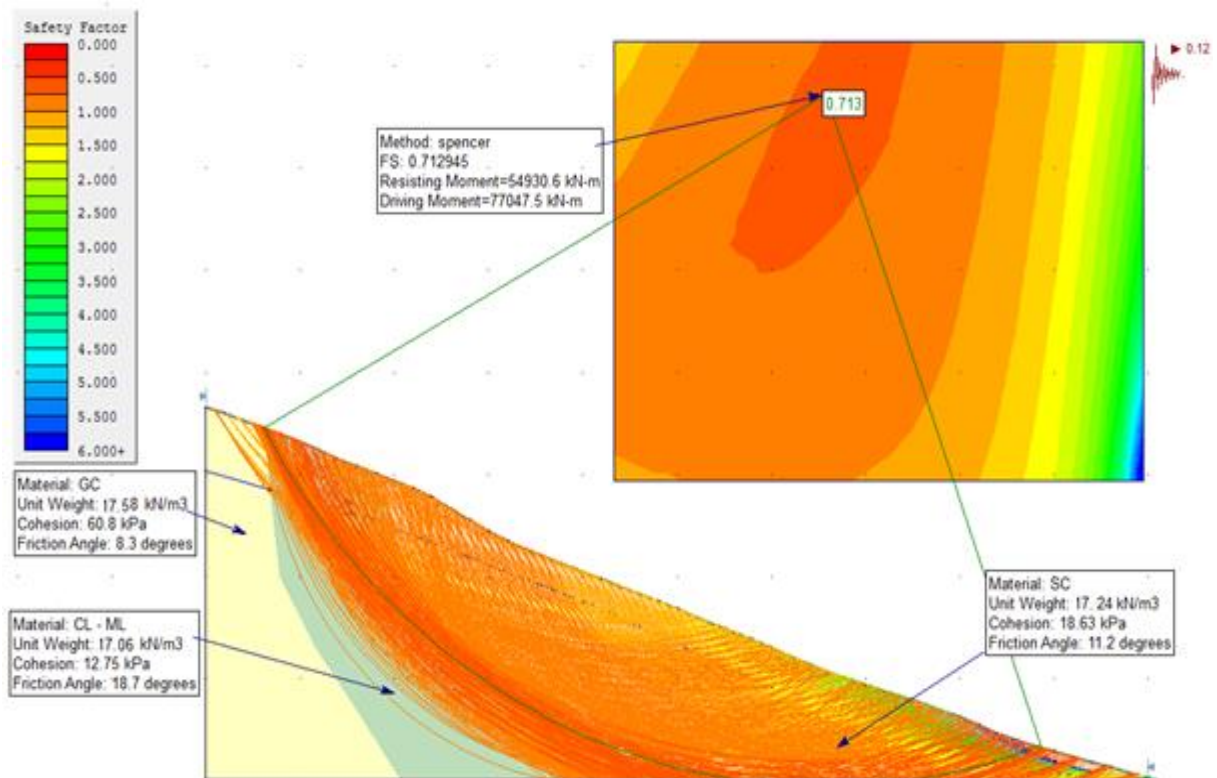


Figura 32: Método Spencer, SECCIÓN A-A, FS = 0.713.

- **SOPORTE TIEBACK LECHADA.**

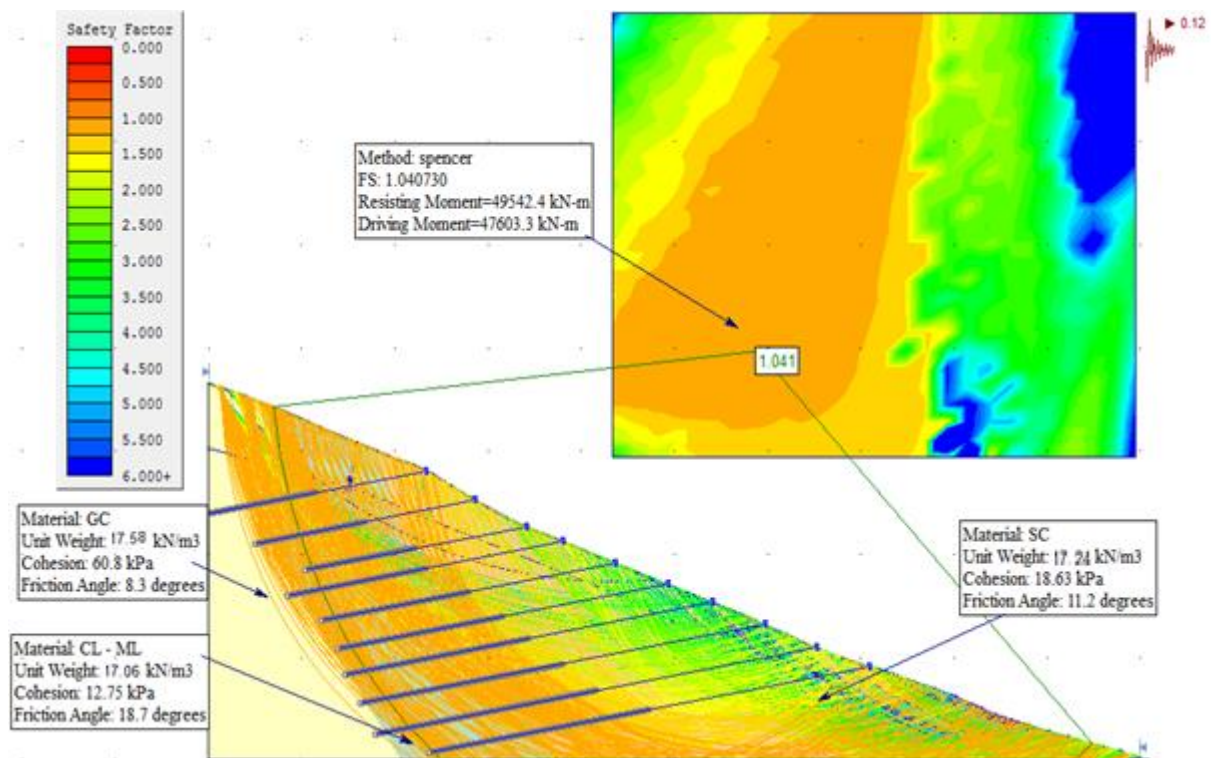


Figura 33: Método Spencer, SECCIÓN A-A, FS = 1.041.

- TENSIONES EFECTIVAS.

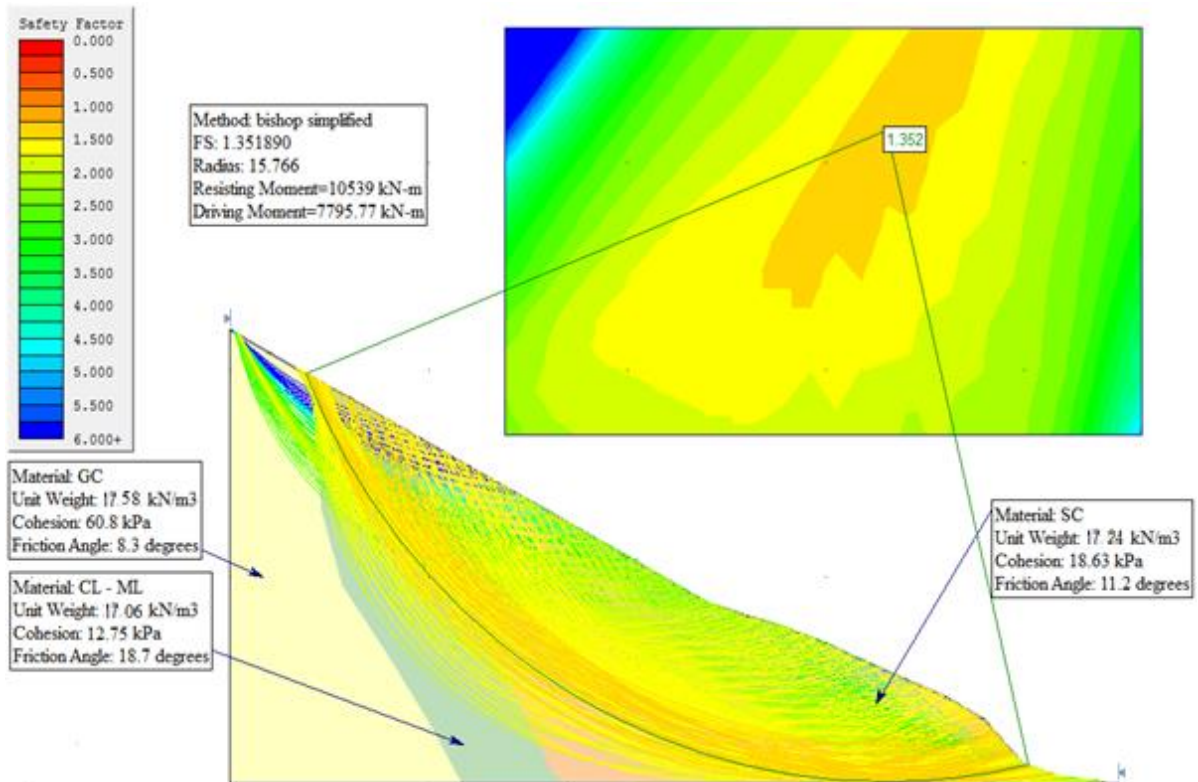


Figura 34: Método Bishop simplificado, SECCIÓN B-B, FS = 1.352.

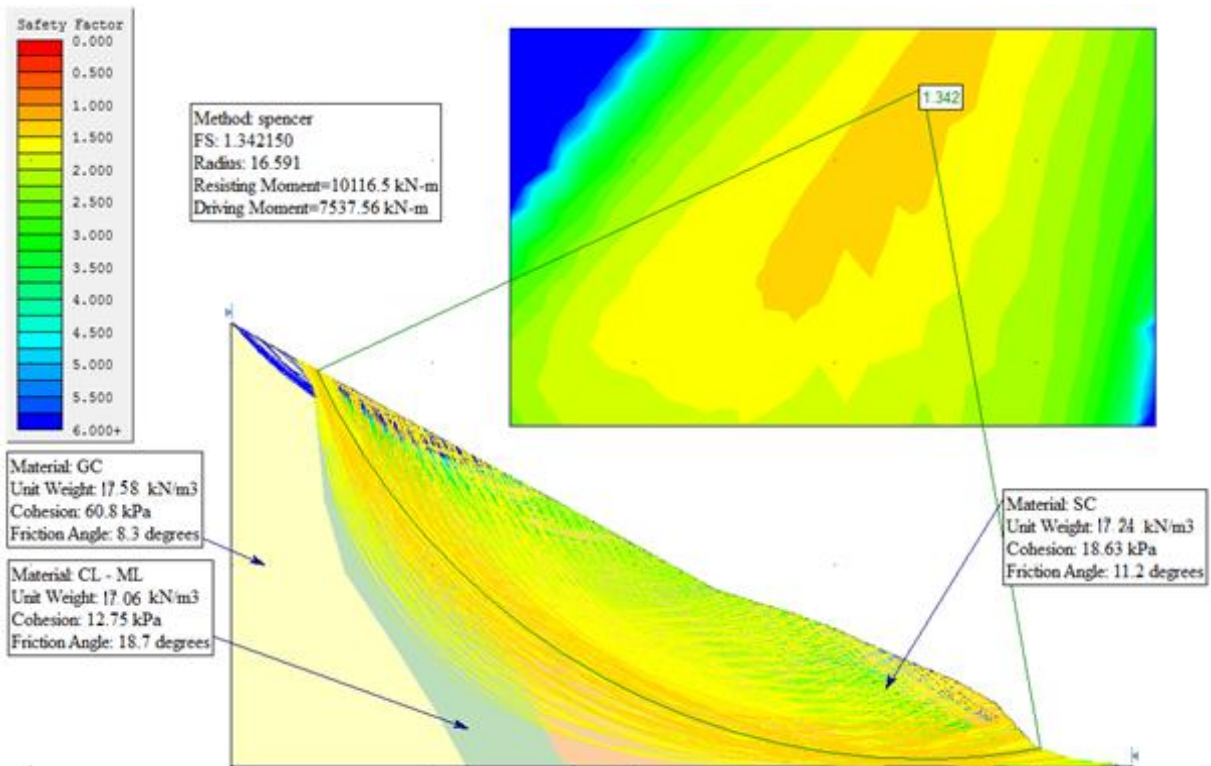


Figura 35: Método Spencer, SECCIÓN B-B, FS = 1.342.

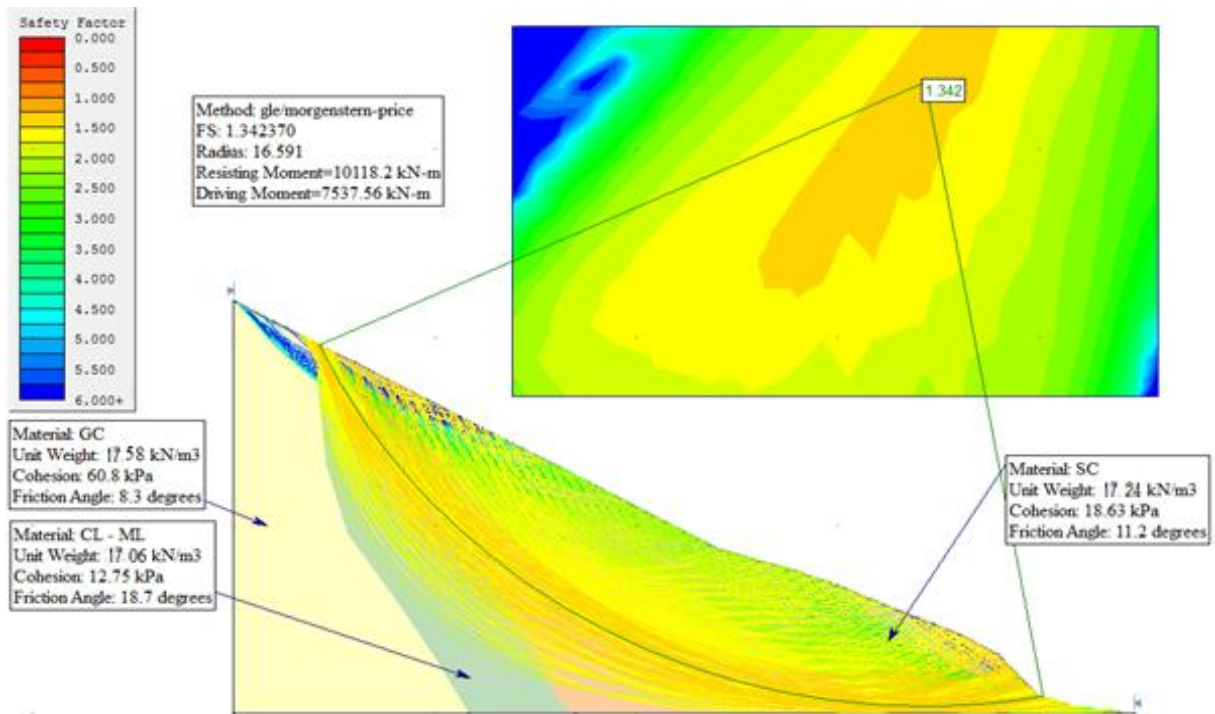


Figura 36: Método Morgenstern-Price/GLE, SECCIÓN B-B, FS = 1.342.

- **TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD.**

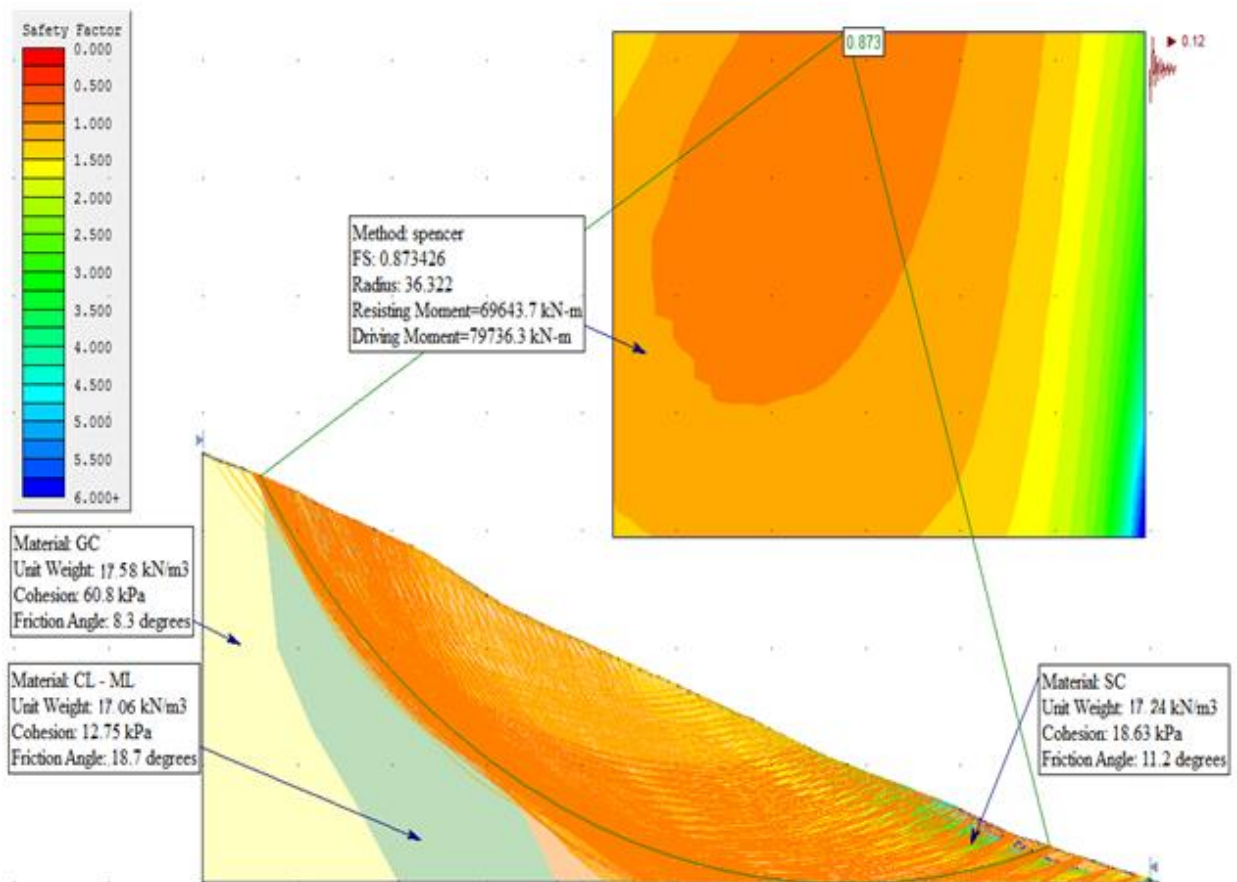


Figura 37: Método Spencer, SECCIÓN B-B, FS = 0.873.

- TENSIONES EFECTIVAS.

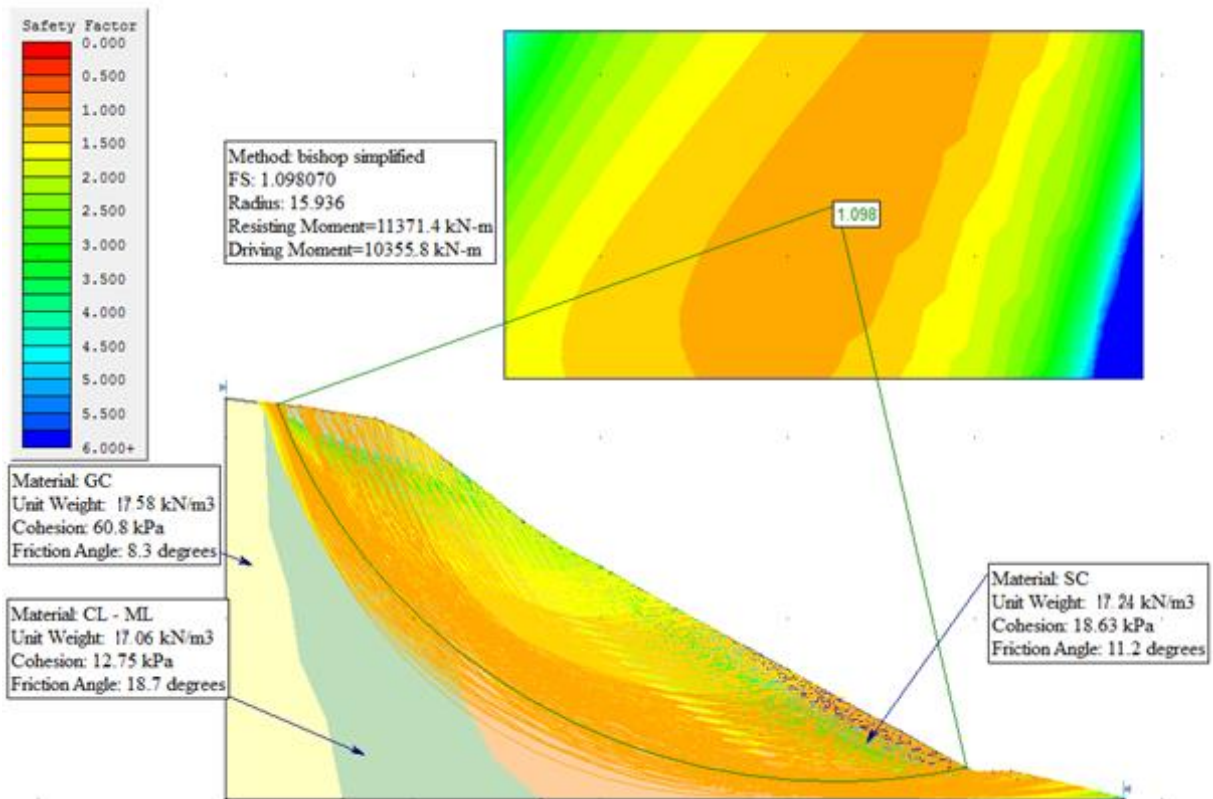


Figura 38: Método Bishop simplificado, SECCIÓN C-C, FS = 1.098.

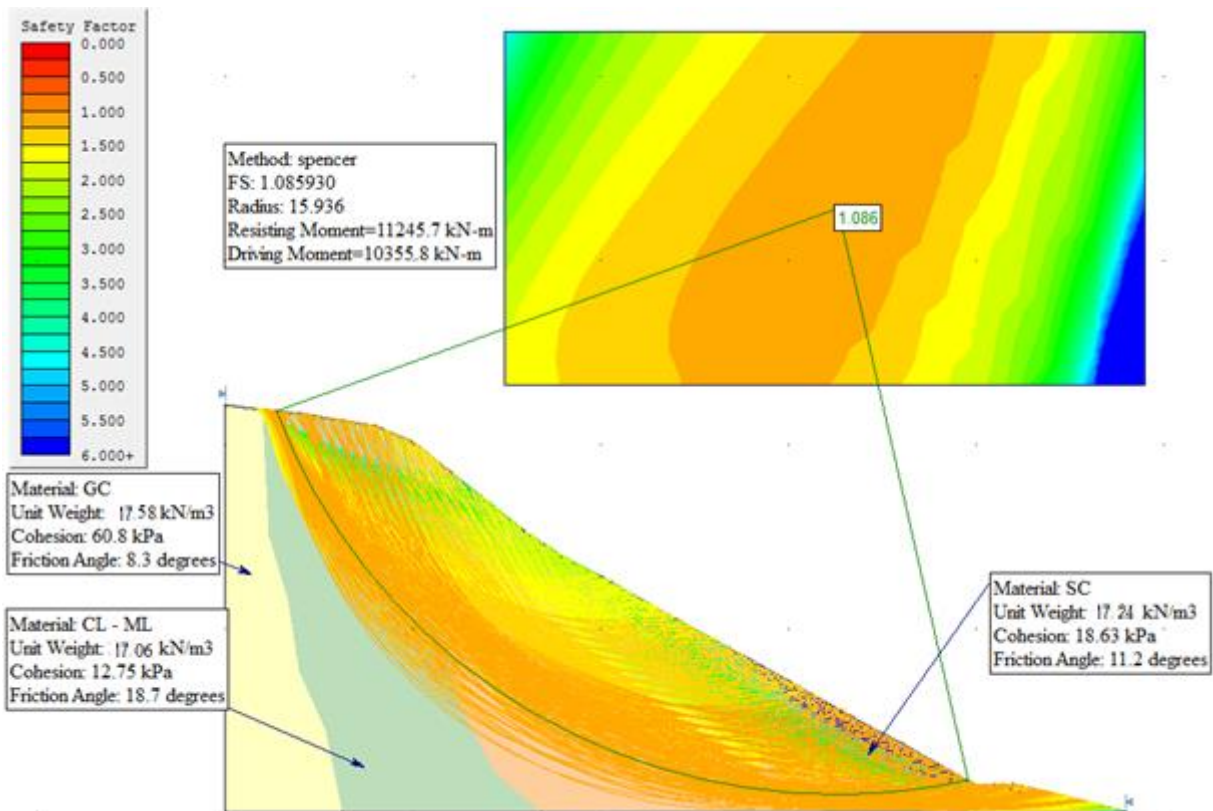


Figura 39: Método Spencer, SECCIÓN C-C, FS = 1.086.

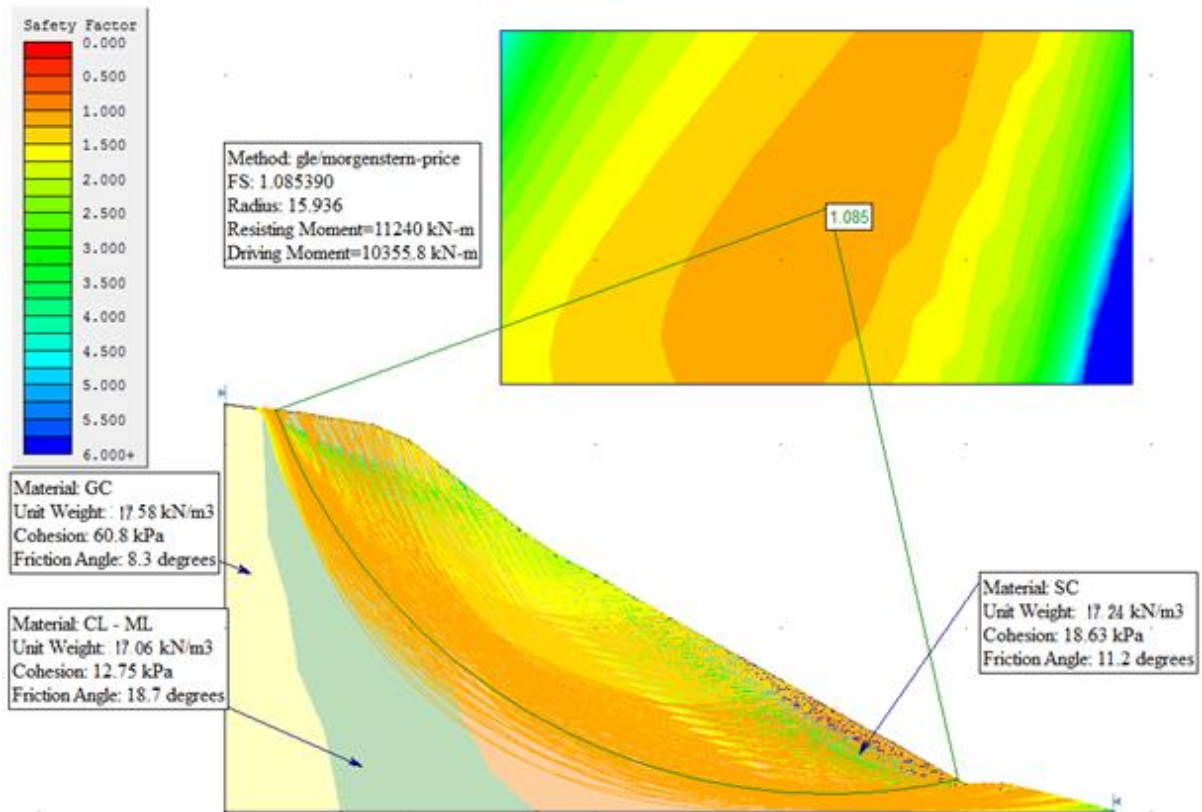


Figura 40: Método Morgenstern-Price/GLE, SECCIÓN C-C, FS = 1.085

- **TENSIONES EFECTIVAS + SISMICIDAD.**

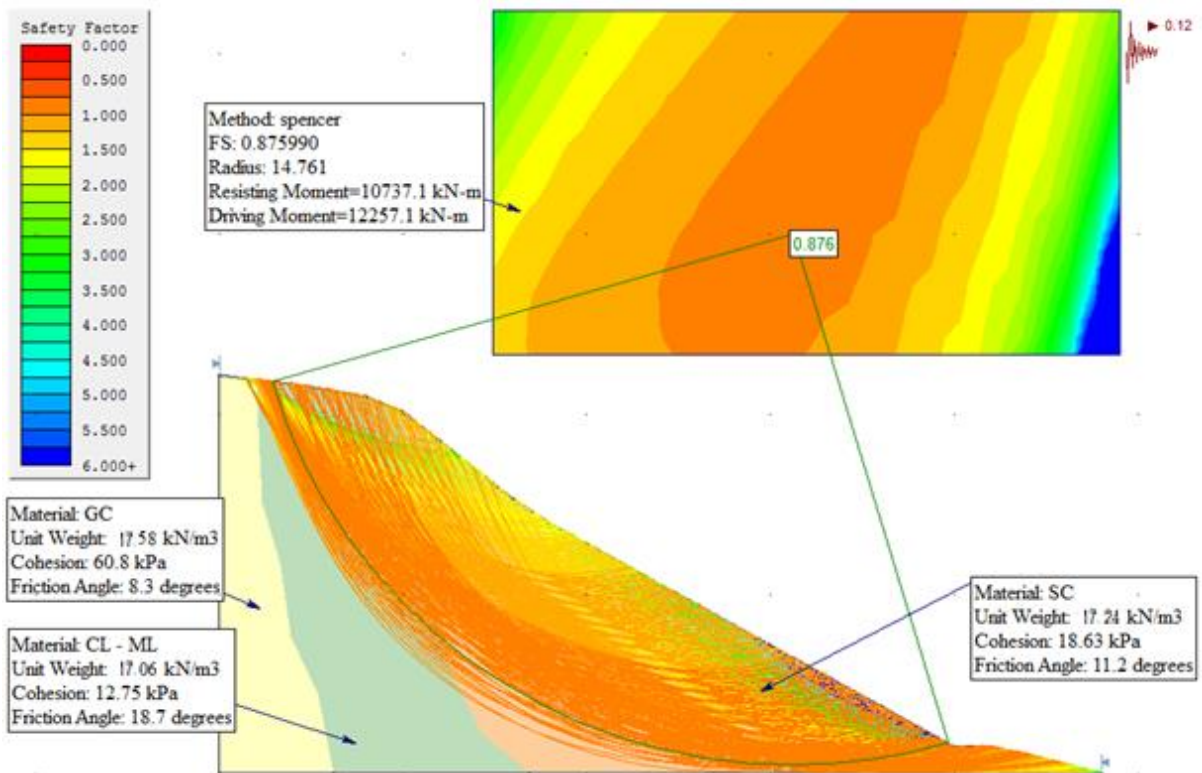


Figura 41: Método Spencer, SECCIÓN C-C, FS = 0.876.

4.3.9 Estabilidad de Laderas.

4.3.9.1 Muros de Piedras.

Se propone remover parte de la base de la ladera e implementar un Pedraplén (Muro de Piedra), la cual es una estructura construida con bloques o cantos de grandes rocas, los cuales se colocan uno sobre otros en forma manual o mediante maquinaria pesada, estabilizando en forma interna y externa la ladera. El tamaño de los bloques se recomienda que sea mayor a 3” de diámetro, hasta mayores a 1m cuando se cuenta con un equipo adecuado para su colocación. El diseño consiste en determinar las dimensiones exteriores del deslizamiento y en base a esto calcular el ancho de la base del pedraplén la cual es superior a su altura. Además se recomienda colocarle un geotextil en la interfase entre el pedraplén y el suelo, y un subdren en forma similar a los muros gaviones.



Figura 42: Estabilización de la sección C-C de la ladera en Estudio.

4.3.9.2 Banquetas.

Se recomienda remover el suelo en la base de la ladera e implementar banquetas, que estarán ubicadas en diferentes secciones críticas de la ladera, las que están en función de la altura y la pendiente. Entre banquetas se construirá cunetas o zanjas de coronación, para evitar la formación de cárcavas y erosión. Las que irán recubiertas con biomantas, que servirán para estabilizar la ladera.



Figura 43: Estabilización mediante banquetas en la ladera en estudio.

4.3.9.3 Combinación de gaviones y relleno estabilizador.

Otra posible solución económica consiste en construir un pequeño tacón al pie del deslizamiento y un relleno de tierras sobre este tacón, de manera que ascienda lo necesario en la ladera como para que el efecto de su peso sea beneficioso para la estabilidad general de la estructura que se desea plantear. La ladera restante del terreno natural se puede reperfilear, quedando una ladera de menor altura y probablemente más suave, es decir más seguro. Para que esta solución sea operativa desde el punto de vista de la ejecución, la anchura del relleno del suelo sobre el muro del pie tiene que ser suficiente como para que circule sobre esta una compactadora convencional, finalmente se plantea dotar de una zanja de coronación y prever de cunetas para la conducción del agua.

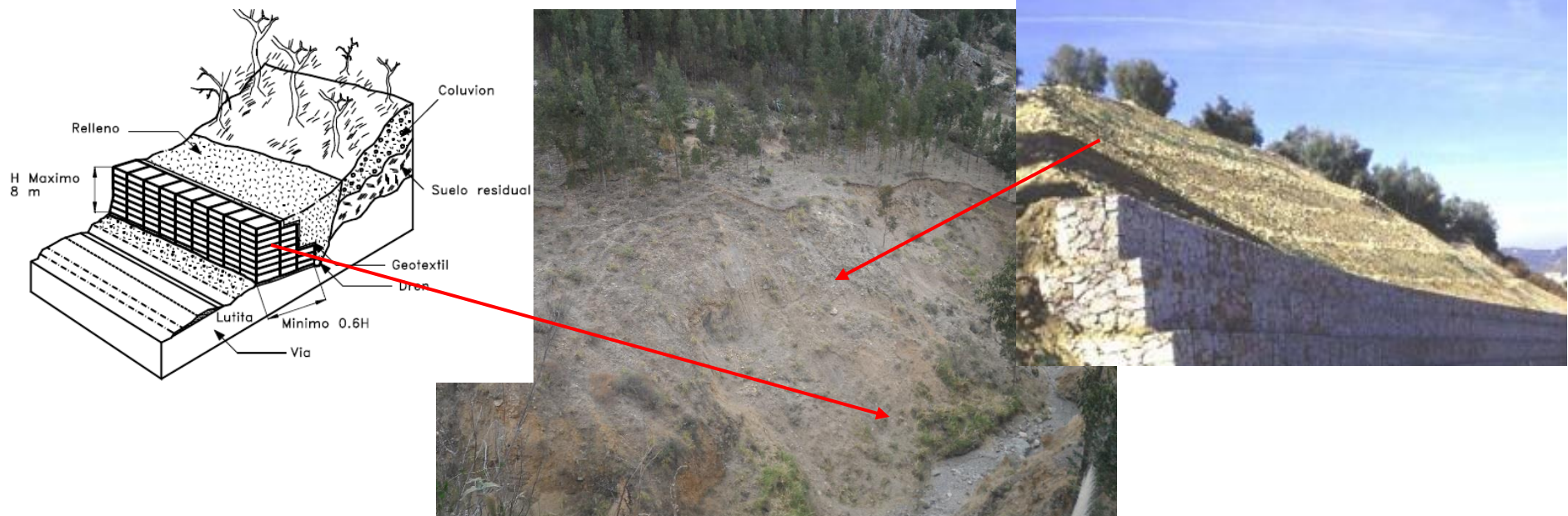


Figura 44: Estabilización mediante combinación de gaviones y relleno estabilizador.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

1. Los parámetros desencadenantes tienen mayor influencia sobre los parámetros condicionantes, debido a que la hidrología y la sismicidad afectan directamente la estructura interna del suelo, estos parámetros causan el incremento en la presión de poros, la disminución del esfuerzo cortante e incremento de los esfuerzos actuantes; los cuales provocan que se pierda la resistencia en el suelo. Todas estas modificaciones en la estructura interna de la quebrada provoca la inestabilidad de la zona de estudio y por ende genera el deslizamiento de masas de suelo.
2. La zona de estudio corresponde a la Formación Chimú la cual está constituida por rocas cuya descomposición produce arcillas y limos, además presenta condiciones geológicas, que al ser modificados por la meteorización y descomposición química del basamento rocoso, originan depósitos que tienen un comportamiento geotécnico negativo en consecuencia ocasionan el deslizamiento de masas de suelos.
3. La morfología de la zona de estudio corresponde a una quebrada, el cual es un lecho joven, con marcados procesos erosivos laterales y de fondo, con una geometría sinuosa debido a su condición juvenil y a la variabilidad en la descarga pluvial, relacionada con la profundidad del cauce a lo largo de su longitud.
4. Los suelos que se desarrollan en el área de estudio, están relacionados con las formas topográficas, de manera que en la partes altas y más accidentadas presentan menor desarrollo de suelo, debido a la exposición directa de las formaciones sedimentarias, a la pendiente y plegamientos; la parte media presenta una forma más cóncava, debido a los depósitos volcánicos que permiten un mejor desarrollo de los suelos y debido a las elevadas pendientes existe mayor acción erosiva; mientras que la zona baja aloja a los depósitos que se generan de la acción erosiva.
5. La topografía de la zona de estudio se utilizó para generar las curvas de nivel y las secciones críticas de la ladera, estas influyen en la estabilidad, puesto que a mayor

pendiente y mayor altura aumenta el efecto gravitacional; finalmente en la mayoría de movimientos identificados se produjeron en pendientes superiores a 37%.

6. Las características geotécnicas obtenidas de los ensayos de laboratorio reportan que la calicata C-1, es una Arcilla de mediana plasticidad (CL), con una cohesión de 0.64 kg-f/cm^2 (62.76 kPa) y ángulo de fricción de 11.9° ; la calicata C-2, es una Arena arcillosa (SC), con una cohesión de 0.19 kg-f/cm^2 (18.63 kPa) y ángulo de fricción de 11.2° ; la calicata C-3, es una Arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML), con una cohesión de 0.13 kg-f/cm^2 (12.75 kPa) y ángulo de fricción de 18.7° ; la calicata C-4 es una Grava arcillosa (GC), con una cohesión de 0.62 kg-f/cm^2 (60.80 kPa) y ángulo de fricción de 8.3° ; Finalmente la calicata C-5, es una Grava arcillosa (GC), con una cohesión de 0.21 kg-f/cm^2 (20.60 kPa) y ángulo de fricción de 10.9° ; mediante estos resultados se llegó a la conclusión que las características geotécnicas de las calicatas 2 y 3 son más propensas a deslizarse debido a su baja cohesión y fricción.
7. La hidrología muestra que los periodos más lluviosos se dan entre los meses de enero y abril, estos son los meses donde se producen la mayor cantidad de movimientos de masas de suelo, además el registro de lluvias se ajusta a una distribución normal, mediante un ajuste de bondad de Smirnov-Kolgomorov.
8. Se realizó el análisis del parámetro sísmico, el cual actúa triplicando el aumento del esfuerzo cortante, disminuyendo así la resistencia por aumento de la presión de poros y la deformación del suelo. Debido a que el área donde se efectuó esta investigación se ubica en la zona 3 del mapa sísmico, siendo el valor de Z máximo de 0.35g, por ende se utilizó 0.12g de la aceleración sísmica horizontal.
9. Al comparar los factores de seguridad por el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, se concluye que el método de Spencer es el método más conservador de los métodos de análisis de la estabilidad de laderas.
10. Se concluye que la sección C-C, es la sección más crítica del análisis por mostrar un $F.S = 1.085$, indica un estado de equilibrio en esta sección de la ladera, el cual está propenso a deslizarse mediante la influencia de algún parámetro desencadenante.

5.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ Se recomienda implementar una cuneta de coronación en la ladera, además implementar drenes horizontales en los estratos que se ubiquen en la base de la ladera, además colocar canaletas en la base de la ladera para trasladar el agua drenada y evitar que esta percole en los demás estratos. De este modo, se reduciría los riesgos de inestabilidad de los taludes.
- ✓ Se recomienda colocar soportes Tieback lechada (Ver figura 33), a lo largo del cuerpo del deslizamiento con un espaciamiento de 3m, con una capacidad de tracción de 10197.16 kg-f (100 kN) y una capacidad de placa de 10197.16 kg-f (100 kN); con longitudes entre 16 y 22 metros, estos tendrán que colocarse de tal forma que los soportes crucen la superficie de falla para que aumente el factor de seguridad.
- ✓ Realizar estudios sobre el análisis integral del riesgo a los movimientos en masa e inundaciones en la zona media y baja de la Quebrada Huayllapampa.
- ✓ Realizar un estudio del análisis de la susceptibilidad del movimiento en masa mediante un SIG en la zona media y baja de la Quebrada Huayllapampa.
- ✓ Realizar investigaciones sobre la evaluación geotécnica de los taludes de carreteras y toda estructura terrea utilizando parámetros condicionantes y desencadenantes.
- ✓ Realizar ensayos geofísicos de la zona de estudio para obtener un perfil estratigráfico de mayor calidad y así también determinar las propiedades sísmicas de la zona de estudio, con el fin de aproximar el análisis del movimiento en masa.
- ✓ Realizar ensayos hidrogeológicos de la zona de estudio, para obtener un perfil del nivel freático del agua, ésta determinará la influencia del agua sobre las propiedades geotécnicas de la zona de estudio, con el fin de analizar la poro-presión en el suelo.
- ✓ Se recomienda obtener una base de datos de los deslizamientos generados en la ciudad de Cajamarca en conjunto con el registro de lluvias y sismos, con la finalidad de obtener correlaciones entre estos parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, A. (2011). Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha. Universidad de Cuenca.
- Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. . En *Engineering Geology* No. 73 (págs. 247-265). Elsevier.
- B.G., R. (1985). "Geotechnical aspects of Residual Soils". En *Southeast Asian Geotechnical*. Hong Kong: Society, Scorpion Press.
- Brabb, E., & Harrod, B. (1989). *Landslides: extent and economic significance*. . Washington.
- Caro, J. R. (2005). Estimación de un índice relativo de riesgo múltiple en áreas urbanas. Colima.
- Castillo, J., & Alva, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú. En VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*. . Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Cruzado, G., Urteaga, M., & Martos, Y. (2013). Estudio de la geodinámica de la quebrada Huayllapampa. Cajamarca, Perú: Trabajo de Investigación, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Dávila, S. (2001). Peligro geológico por deslizamiento en la ladera de Choropampa. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito).
- Derbyshire, E., Jingtai, W., Zexian, J., Billard, A., Egels, Y., Kasser, M., . . . Owen, L. (1991). *LANDSLIDES IN THE GANSU LOESS OF CHINA*. Germany: Catena Verlag.
- Ferrando, F. (2002). La Ciudad sin Urbanismo: Instalación Residencial junto a secciones Andinas Inestables, Dunas Activas, Bancos de Arena y Rodados Fluviales. *Revista Electrónica* N° 5, Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile.
- Glade, T., & Crozier, M. (2005). *The nature of landslide and hazard impact*. England.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Hansen, M. (1984). "Strategies for classification of landslides" *Slope Stability*; Brundsen. New York: John Wiley & Sons Ltd.

- IAEG Commission on Landslides. (1990). "Suggested nomenclature for landslides". Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41.
- INGEMMET. (2007). Los movimientos en masa de 1962 y 1970 en el nevado de Huascarán, Valle del Río Santa, Cordillera Blanca. Lima, Perú.
- Kim, J., Jeong, S., Park, S., & Sharma, J. (2004). Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils. En Engineering Geology No. 75 (págs. 251-262). Elsevier.
- Lara Castillo, M. (2007). Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en Quebrada San Ramon, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Santiago de Chile.
- Rogers, J. (1999). Aldercrest-Banyon Landslide Kelso. Washington.
- Scott, K., Macías, J., Naranjo, J., Rodríguez, S., & McGeehin, J. (2001). Catastrophic Debris Flows Transformed from Landslides in Volcanic Terrains: Mobility. Hazard Assessment and Mitigation Strategies. U.S. Geological Survey Professional Paper 1630.
- Sepúlveda, S. (1998). Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1972). "Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones". Vol II. México: Limusa-Wiley.
- Suárez Díaz, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia.
- Suárez García, O. (2006). Susceptibilidad a Deslizamientos de Laderas en la Sierra Madre Oriental. México, D.F.
- Tapia, M. G. (2016). Estudio geológico-geofísico-geotécnico del proyecto hidroeléctrico río frío en San Lucas. Chiapas.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física. Madrid: Pearson Educación S. A.
- VECTOR-PERU. (2008). Estudio peligros sísmico Proyecto Antapaccay. Lima.
- Wieczorek, G. F. (1996). Landslide Triggering Mechanisms in Landslides – Investigations and Mitigation. En Special Report 247. Washington, DC: National Academic Press.
- Zavala, B., & Rosado, M. (2011). Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

ANEXO A: RESULTADOS DE LABORATORIO.

ANEXO A.I: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216) Y PESO UNITARIO DE LAS CALICATAS.

A.I.1. Determinación del Contenido de Humedad y Peso Específico.

Tabla A.1: Contenido de Humedad y Peso Unitario.

CONTENIDO DE HUMEDAD:											
Observaciones :		Ubicación : C - 1		Ubicación : C - 2		Ubicación : C - 3		Ubicación : C - 4		Ubicación : C - 5	
		Estrato : E - 2		Estrato : E - 1		Estrato : E - 1		Estrato : E - 2		Estrato : E - 3	
		Potencia : 1.2 m		Potencia : 1.2 m		Potencia : 2.0 m		Potencia : 3.0 m		Potencia : 2.5 m	
Tara Número	Unidades	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
Peso Tara + Muestra Húmeda	g	57.90	34.20	69.00	59.10	43.90	48.10	59.10	55.10	244.27	248.59
Peso Tara + Muestra Seca	g	52.50	31.50	64.10	57.70	42.90	47.00	57.70	53.90	237.00	242.30
Peso de la Tara	g	24.00	18.60	28.30	27.20	27.50	29.00	27.20	27.10	210.00	218.00
Peso de la Muestra Seca	g	28.50	12.90	35.80	30.50	15.40	18.00	30.50	26.80	27.00	24.30
Peso del Agua	g	5.40	2.70	4.90	1.40	1.00	1.10	1.40	1.20	7.27	6.29
Contenido de Humedad	%	18.95	20.93	13.69	4.59	6.49	6.11	4.59	4.48	26.90	25.90
Promedio		19.94		14.01		6.30		4.53		26.40	
PESO UNITARIO:											
Observaciones :		Ubicación : C - 1		Ubicación : C - 2		Ubicación : C - 3		Ubicación : C - 4		Ubicación : C - 5	
		Estrato : E - 2		Estrato : E - 1		Estrato : E - 1		Estrato : E - 2		Estrato : E - 3	
		Potencia : 1.2 m		Potencia : 1.2 m		Potencia : 2.0 m		Potencia : 3.0 m		Potencia : 2.5 m	
Tara Número	Unidades	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
Peso del Suelo Seco	g	200.00	150.00	176.00	170.00	180.00	175.00	170.00	175.00	180.00	150.00
Peso Frasco Vacío	g	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00	145.00
Peso Frasco + Agua	g	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00	642.00
Peso Frasco + Agua +Suelo	g	763.00	733.00	748.00	748.00	747.00	743.00	748.00	750.00	752.23	734.75
Volumen de Suelo	cm ³	79.00	59.00	70.00	64.00	75.00	74.00	64.00	67.00	69.77	57.25
Peso Unitario de Suelo	g/cm ³	1.75	1.77	1.74	1.76	1.72	1.76	1.78	1.80	1.76	1.80
Promedio		1.76		1.75		1.74		1.79		1.78	

ANEXO A.II: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE LAS CALICATAS (ASTM D 422).

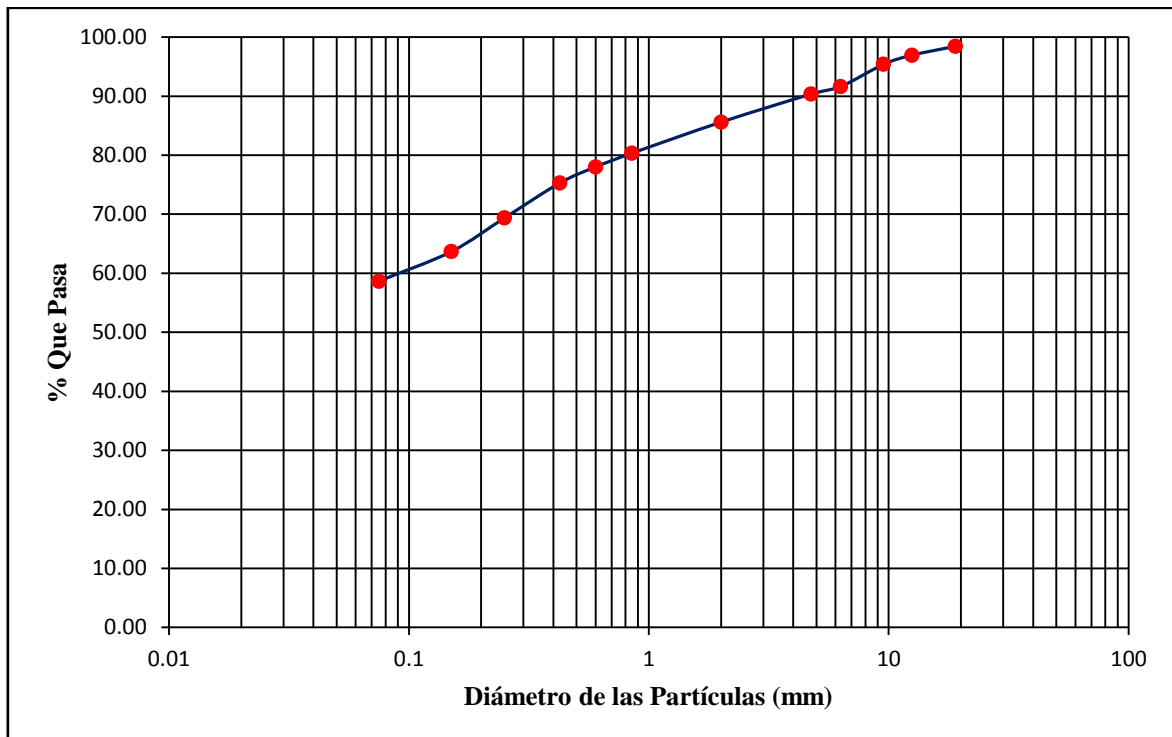
A.II.1. Análisis Granulométrico por Tamizado.

CALICATA: C-1
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: CL

Tabla A.2: Análisis granulométrico por tamizado C-1.

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO (g)	%			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
3/4"	7.70	1.54	1.54	98.46	HUMED.NAT = 9.94% L.L. = 31% L.P. = 20% I.P. = 11%
1/2"	7.60	1.52	3.06	96.94	
3/8"	7.80	1.56	4.62	95.38	
1/4"	18.80	3.76	8.38	91.62	
# 4	6.30	1.26	9.64	90.36	
# 10	23.80	4.76	14.40	85.60	
# 20	26.30	5.26	19.66	80.34	
# 30	11.60	2.32	21.98	78.02	
# 40	13.70	2.74	24.72	75.28	OBSERVACIONES
# 60	29.60	5.92	30.64	69.36	FRACC. DE GRAVA : 9.64%
# 100	28.50	5.70	36.34	63.66	FRACC. DE ARENA : 31.70%
# 200	25.00	5.00	41.34	58.66	PASA MALLA N°200: 58.66%
Cazoleta	293.30	58.66	100.00	0.00	

Gráfico A.1: Curva granulométrica C-1.



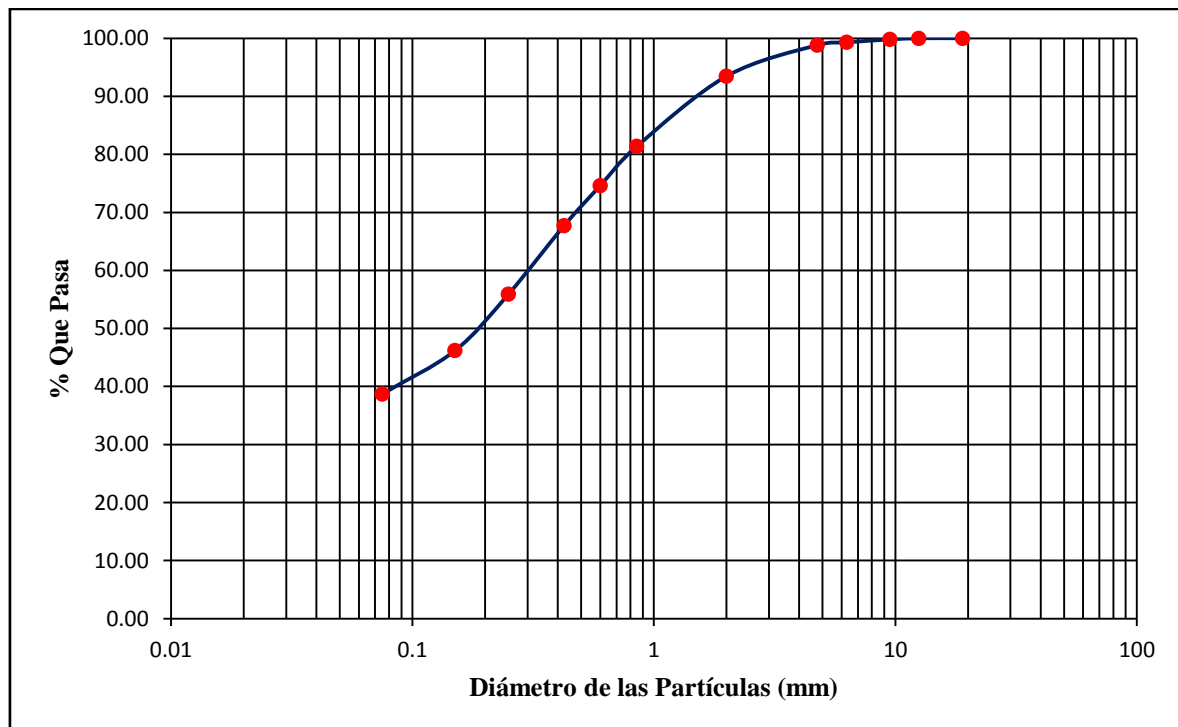
A.II.2. Análisis Granulométrico por Tamizado.

CALICATA: C-2
 CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: SC

Tabla A.3: Análisis granulométrico por tamizado C-2.

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO (g)	%			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	HUMED.NAT = 14.01% L.L. = 30% L.P. = 22% I.P. = 8%
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	0.80	0.20	0.20	99.80	
1/4"	2.00	0.50	0.70	99.30	
# 4	1.90	0.48	1.18	98.83	
# 10	21.40	5.35	6.53	93.48	
# 20	48.40	12.10	18.63	81.38	
# 30	27.00	6.75	25.38	74.63	
# 40	27.60	6.90	32.28	67.73	OBSERVACIONES
# 60	47.20	11.80	44.08	55.93	FRACC. DE GRAVA : 1.18%
# 100	39.00	9.75	53.83	46.18	FRACC. DE ARENA : 60.13%
# 200	29.90	7.48	61.30	38.70	PASA MALLA N°200: 38.70%
Cazoleta	154.80	38.70	100.00	0.00	

Gráfico A.2: Curva granulométrica C-2.



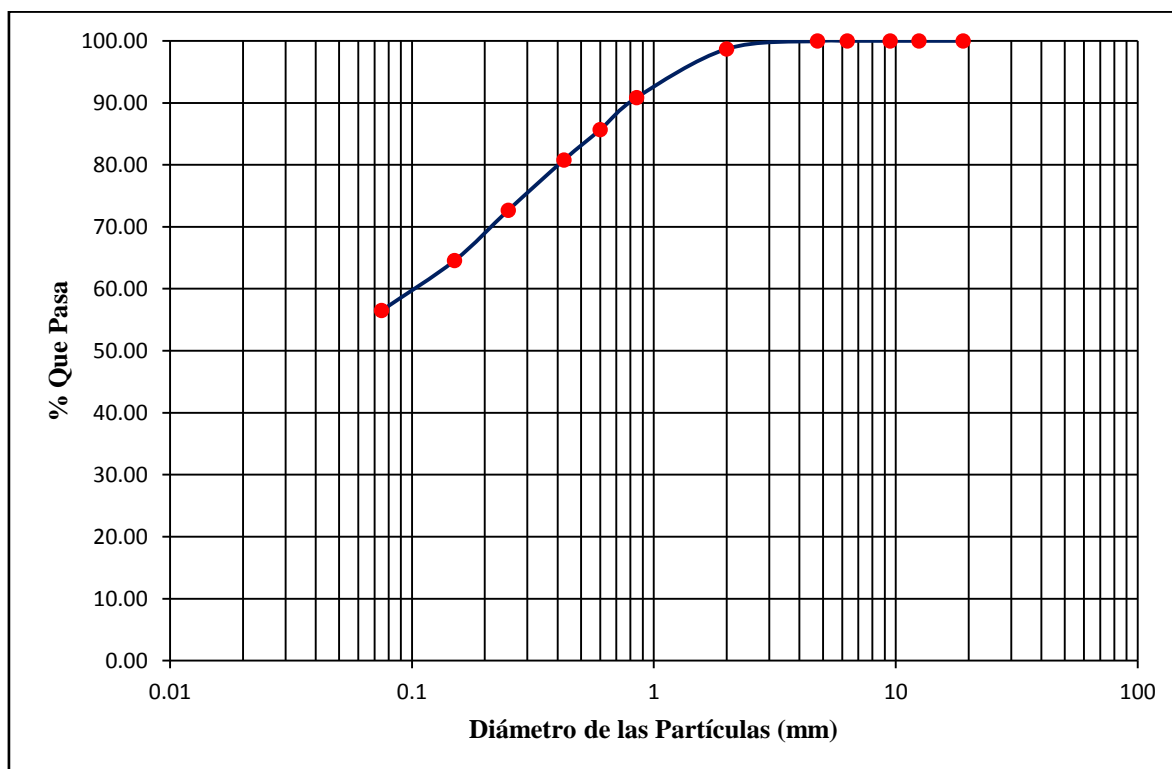
A.II.3. Análisis Granulométrico por Tamizado.

CALICATA: C-3
 CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: CL-ML

Tabla A.4: Análisis granulométrico por tamizado C-3.

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO (g)	%			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	HUMED.NAT = 6.30% L.L. = 30% L.P. = 26% I.P. = 5%
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	
# 4	0.10	0.03	0.03	99.98	
# 10	5.10	1.28	1.30	98.70	
# 20	31.30	7.83	9.13	90.88	
# 30	20.80	5.20	14.33	85.68	
# 40	19.50	4.88	19.20	80.80	
# 60	32.50	8.13	27.33	72.68	
# 100	32.50	8.13	35.45	64.55	
# 200	32.20	8.05	43.50	56.50	
Cazoleta	226.00	56.50	100.00	0.00	

Gráfico A.3: Curva granulométrica C-3.



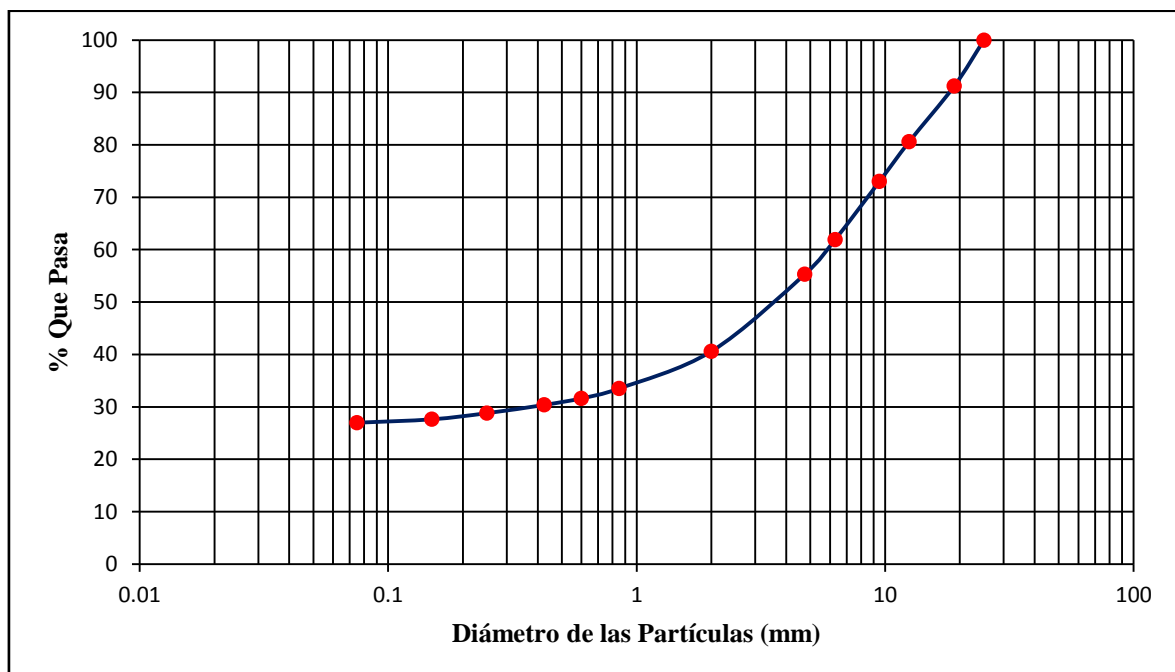
A.II.4. Análisis Granulométrico por Tamizado.

CALICATA: C-4
 CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: GC

Tabla A.5: Análisis granulométrico por tamizado C-4.

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO (g)	%			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	HUMED.NAT = 4.53% L.L. = 34% L.P. = 20% I.P. = 14%
3/4"	35.00	8.75	8.75	91.25	
1/2"	42.60	10.65	19.40	80.60	
3/8"	30.20	7.55	26.95	73.05	
1/4"	44.40	11.10	38.05	61.95	
# 4	26.60	6.65	44.70	55.30	
# 10	58.80	14.70	59.40	40.60	
# 20	28.40	7.10	66.50	33.50	
# 30	7.50	1.88	68.38	31.63	
# 40	5.00	1.25	69.63	30.38	
# 60	6.30	1.58	71.20	28.80	OBSERVACIONES FRACC. DE GRAVA: 44.70% FRACC. DE ARENA: 28.33% PASA MALLA N°200: 26.97% CLASIF. S.U.C.S. = GC
# 100	4.70	1.18	72.38	27.63	
# 200	2.60	0.65	73.03	26.97	
Cazoleta	107.90	26.97	100.00	0.00	

Gráfico A.4: Curva granulométrica C- 4.



ANEXO A.III: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIMITES DE CONSISTENCIA DE LAS CALICATAS (ASTM D 4318).

A.III.1. Límite Líquido y Límite Plástico.

CALICATA: C-1
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: CL

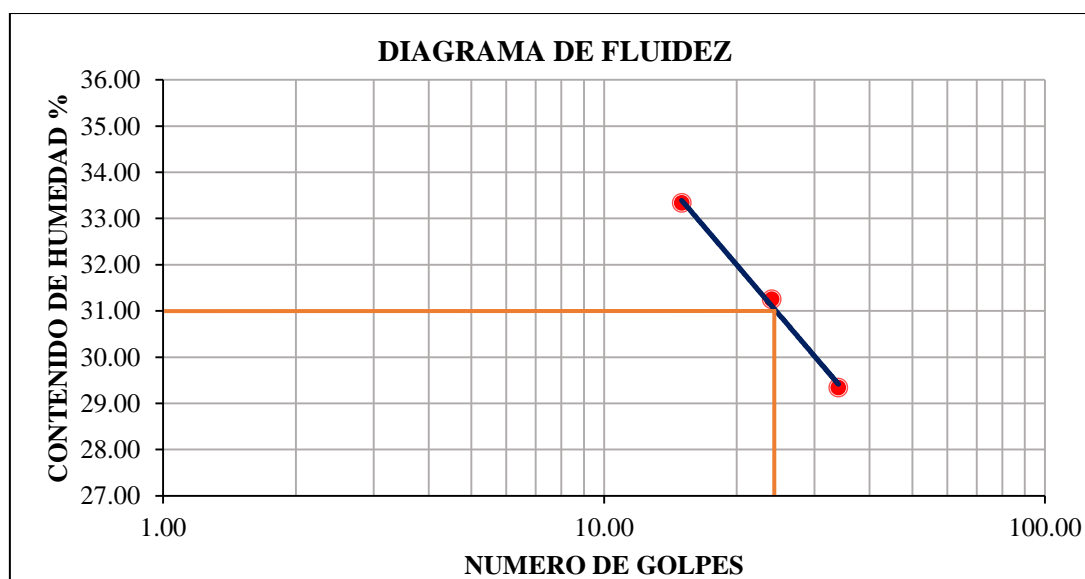
Tabla A.6: Límite Líquido y Límite Plástico C-1.

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	4	1	2	3
Tara Número							
Peso Tara + Muestra Húmeda (g)	45.40	45.80	45.70	45.80	35.60	33.60	34.49
Peso Tara + Muestra Seca (g)	41.00	41.30	40.90	41.30	34.60	32.50	33.34
Peso de la Tara (g)	26.00	26.90	26.50	26.90	29.50	27.10	27.60
Peso de la Muestra Seca (g)	15.00	14.40	14.40	14.40	5.10	5.40	5.74
Peso del Agua (g)	4.40	4.50	4.80	4.50	1.00	1.10	1.15
Contenido de Humedad (%)	29.33	31.25	33.33	31.25	19.61	20.37	20.03
Número de Golpes	34	24	15	24	20.00		

Tabla A.7: Límites de Consistencia C-1.

Calicata :	C1	LIMITES DE CONSISTENCIA	
Potencia (m):	1.2	Límite Líquido:	LL = 31%
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)	Límite Plástico:	LP = 20%
		Indice de Plasticidad :	IP = 11%
34	29.33	Contenido de Humedad:	W _n = 21.26%
24	31.25		
15	33.33		

Gráfico A.5: Diagrama de Fluidez C- 1.



A.III.2. Límite Líquido y Límite Plástico.

CALICATA: C-2
 CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: SC

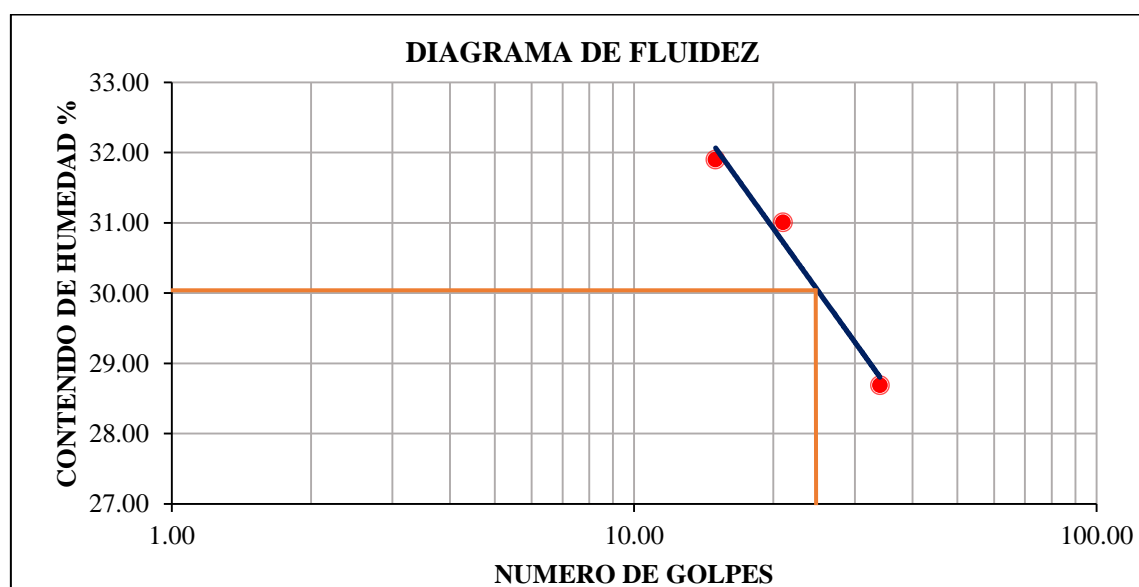
Tabla A.8: Límite Líquido y Límite Plástico C-2.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
Tara Número						
Peso Tara + Muestra Húmeda (g)	43.30	43.90	42.40	33.50	35.60	33.45
Peso Tara + Muestra Seca (g)	39.80	39.90	38.70	32.40	34.40	32.28
Peso de la Tara (g)	27.60	27.00	27.10	27.30	29.00	27.00
Peso de la Muestra Seca (g)	12.20	12.90	11.60	5.10	5.40	5.28
Peso del Agua (g)	3.50	4.00	3.70	1.10	1.20	1.17
Contenido de Humedad (%)	28.69	31.01	31.90	21.57	22.22	22.16
Número de Golpes	33	21	15	22.00		

Tabla A.9: Límites de Consistencia C-2.

Calicata :	C2	LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Potencia (m):	1.2	Límite Líquido:	LL = 30%
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)	Límite Plástico:	LP = 22%
		Índice de Plasticidad:	IP = 8%
33	28.69	Contenido de Humedad:	W _n = 14.01%
21	31.01		
15	31.90		

Gráfico A.6: Diagrama de Fluidez C- 2.



Observaciones: La fracción fina corresponde a CL.

A.III.3. Límite Líquido y Límite Plástico.

CALICATA: C-3
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: CL-ML

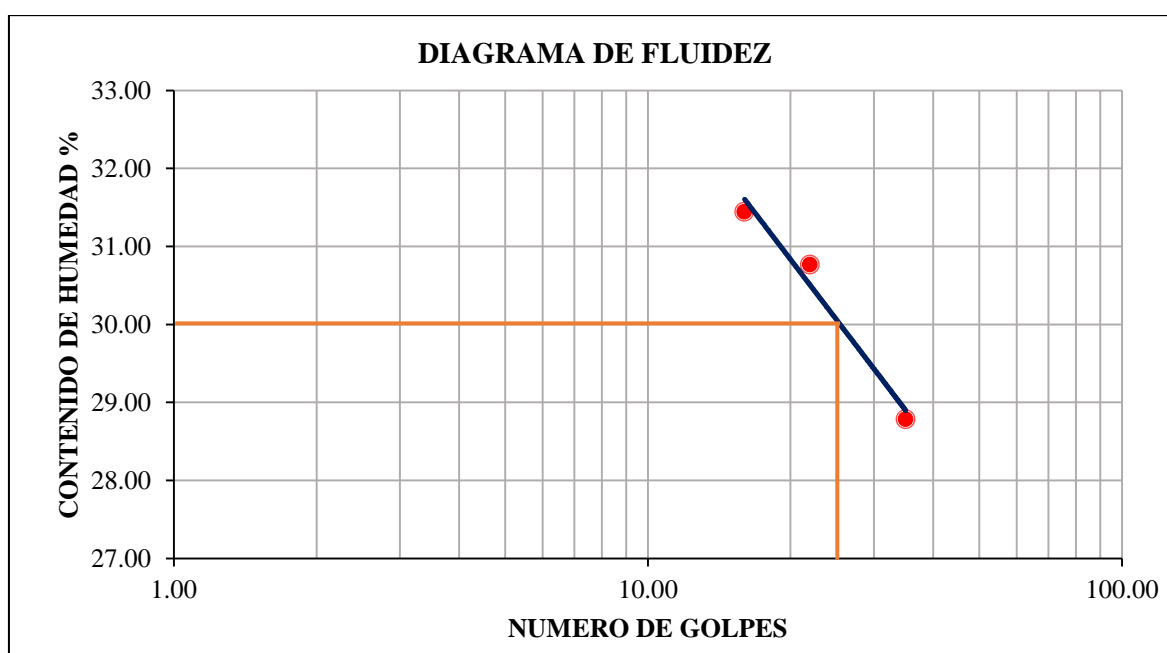
Tabla A.10: Límite Líquido y Límite Plástico C-3.

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
Tara Número						
Peso Tara + Muestra Húmeda (g)	44.10	41.20	47.90	34.10	32.80	33.68
Peso Tara + Muestra Seca (g)	40.30	37.60	42.90	32.80	31.60	32.18
Peso de la Tara (g)	27.10	25.90	27.00	27.70	26.90	26.50
Peso de la Muestra Seca (g)	13.20	11.70	15.90	5.10	4.70	5.68
Peso del Agua (g)	3.80	3.60	5.00	1.30	1.20	1.50
Contenido de Humedad (%)	28.79	30.77	31.45	25.49	25.53	26.41
Número de Golpes	35	22	16	26.00		

Tabla A.11: Límites de Consistencia C-3.

Calicata :	C3	LIMITES DE CONSISTENCIA	
Potencia (m):	2.00	Límite Líquido:	LL = 30%
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)	Límite Plástico:	LP = 26%
		Índice de Plasticidad :	IP = 5%
35	28.79	Contenido de Humedad:	W _n = 5.74%
22	30.77		
16	31.45		

Gráfico A.7: Diagrama de Fluidez C- 3.



A.III.4. Límite Líquido y Límite Plástico.

CALICATA: C-4
 CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: GC

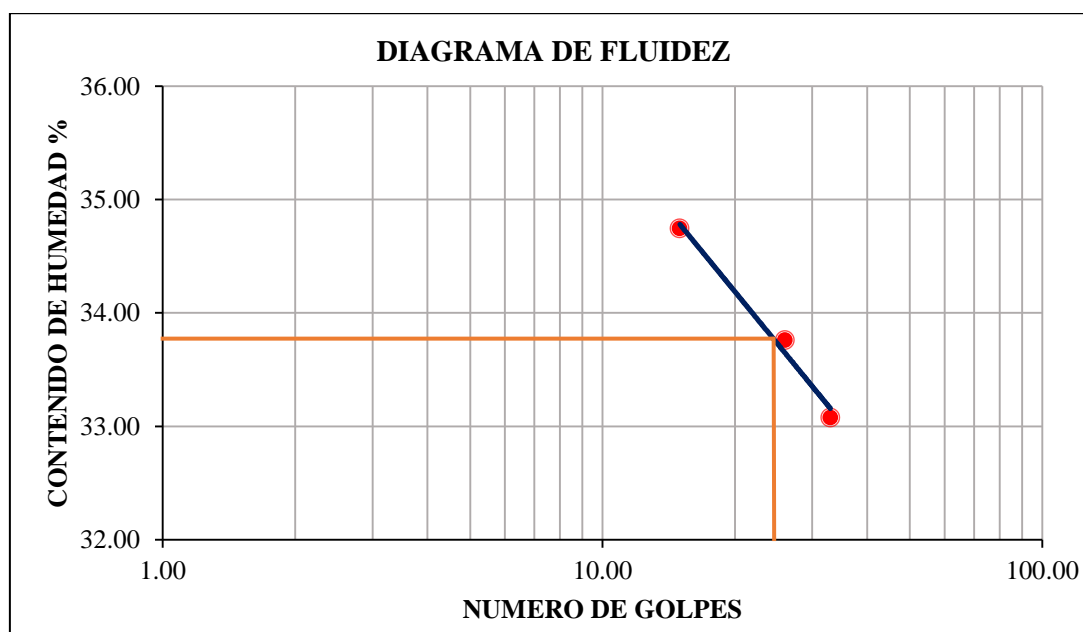
Tabla A.12: Límite Líquido y Límite Plástico C-4.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	1	2	3
Tara Número						
Peso Tara + Muestra Húmeda (g)	43.60	43.00	41.80	33.00	33.60	34.73
Peso Tara + Muestra Seca (g)	39.30	39.10	37.70	31.90	32.70	33.43
Peso de la Tara (g)	26.30	27.40	25.90	26.30	28.10	26.90
Peso de la Muestra Seca (g)	13.00	11.70	11.80	5.60	4.60	6.53
Peso del Agua (g)	4.30	3.95	4.10	1.10	0.90	1.30
Contenido de Humedad (%)	33.08	33.76	34.75	19.64	19.57	19.91
Número de Golpes	33	26	15	20.00		

Tabla A.13: Límites de Consistencia C-4.

Calicata :	C4	LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Potencia (m):	3.0	Límite Líquido:	LL = 34%
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)	Límite Plástico:	LP = 20%
		Índice de Plasticidad :	IP = 14%
33	33.08	Contenido de Humedad :	W _n = 4.26%
26	33.76		
15	34.75		

Gráfico A.8: Diagrama de Fluidez C- 4.



Observaciones: La fracción fina corresponde a CL.

ANEXO A.IV: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO DE LAS CALICATAS (ASTM D 3080).

A.IV.1. Corte Directo.

Muestra:	C-1	Lado (cm):	6.00
Clasificación S.U.C.S:	CL	Altura (cm):	2.00
Muestra Húmeda (g):	16.50	Volumen (cm ³):	72.00
Muestra Seca (g):	13.80	D. Húmeda (g/ cm ³):	1.74
Peso Agua (g):	2.70	Vel. Carga (mm/min):	0.50
w (%)	19.57		

Tabla A.14: Aplicación de carga para la calicata C-1.

Esf. Normal = 1.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 2.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 4.00 kg/cm ²	
Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)
0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.012	0.03	0.037	0.03	0.062	0.03
0.050	0.05	0.100	0.05	0.138	0.05
0.100	0.08	0.163	0.08	0.226	0.08
0.164	0.10	0.252	0.10	0.328	0.10
0.215	0.13	0.329	0.13	0.443	0.13
0.267	0.15	0.407	0.15	0.547	0.15
0.307	0.18	0.473	0.18	0.639	0.18
0.359	0.20	0.539	0.20	0.731	0.20
0.399	0.23	0.605	0.23	0.812	0.23
0.440	0.25	0.673	0.25	0.893	0.25
0.481	0.28	0.728	0.28	0.975	0.28
0.522	0.30	0.783	0.30	1.044	0.30
0.551	0.33	0.826	0.33	1.101	0.33
0.593	0.35	0.882	0.35	1.159	0.35
0.622	0.38	0.926	0.38	1.217	0.38
0.651	0.40	0.957	0.40	1.262	0.40
0.667	0.43	0.988	0.43	1.308	0.43
0.697	0.45	1.019	0.45	1.340	0.45
0.714	0.48	1.050	0.48	1.373	0.48
0.744	0.50	1.069	0.50	1.393	0.50
0.761	0.53	1.087	0.53	1.413	0.53
0.778	0.55	1.119	0.55	1.433	0.55
0.795	0.58	1.125	0.58	1.440	0.58
0.799	0.60	1.130	0.60	1.447	0.60
0.789	0.63	1.121	0.63	1.453	0.63

Observaciones: Material Inalterado.

Gráfico A.9: Desplazamiento Horizontal vs Esfuerzo de Corte C- 1.

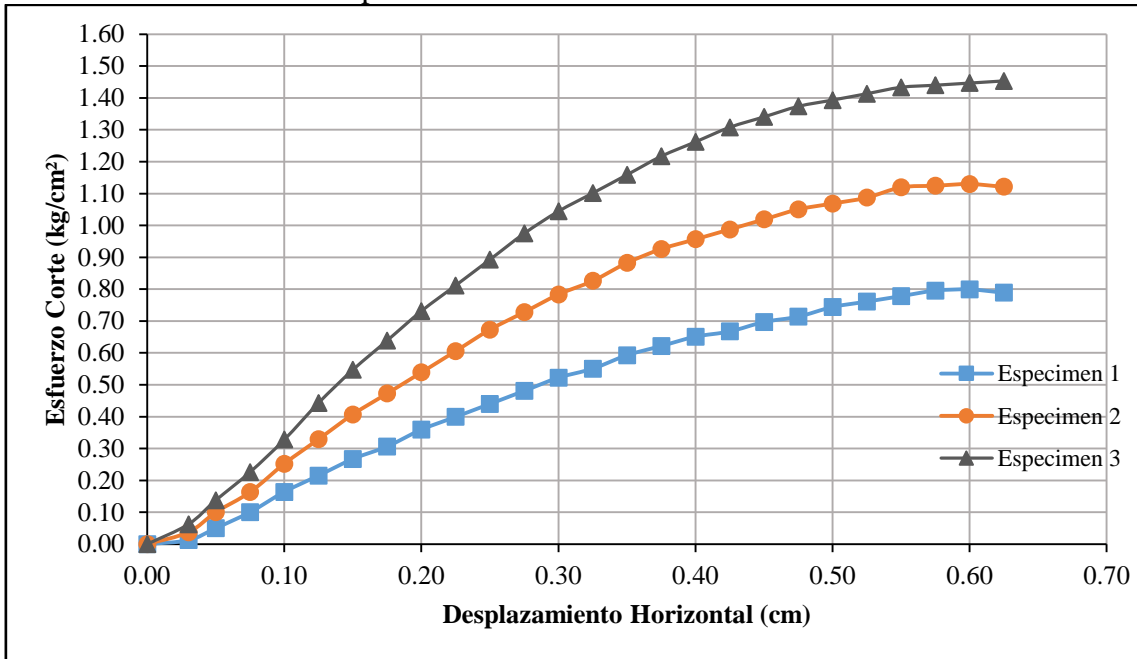


Gráfico A.10: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte C- 1.

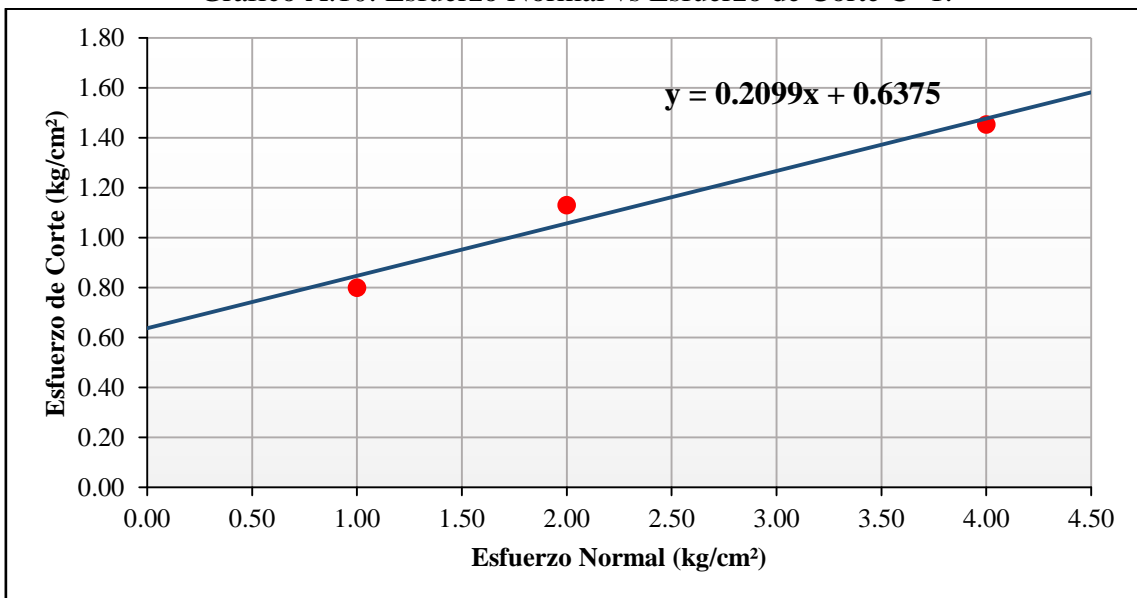


Tabla A.15: Envoltente de falla Esf. Cortante vs Esf. Normal (C-1).

ENSAYO	ESF. NORM.	ESF.CORT.
1	1	0.799
2	2	1.130
3	4	1.453

Tabla A.16: Cohesión y Ángulo de Fricción (C-1).

COHESIÓN (kg/cm²):	0.64
ÁNGULO DE FRICCIÓN:	11.9°

A.IV.2. Corte Directo.

Muestra:	C-2	Lado (cm):	6.00
Clasificación S.U.C.S:	SC	Altura (cm):	2.00
Muestra Húmeda (g):	37.16	Volumen (cm ³):	72.00
Muestra Seca (g):	32.60	D. Húmeda (g/ cm ³):	1.74
Peso Agua (g):	4.56	Vel. Carga (mm/min):	0.50
w (%)	13.99		

Tabla A.17: Aplicación de carga para la calicata C-2.

Esf. Normal = 1.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 2.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 4.00 kg/cm ²	
Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)
0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.012	0.03	0.050	0.03	0.087	0.03
0.025	0.05	0.100	0.05	0.175	0.05
0.050	0.08	0.151	0.08	0.251	0.08
0.063	0.10	0.189	0.10	0.328	0.10
0.089	0.13	0.241	0.13	0.405	0.13
0.102	0.15	0.280	0.15	0.471	0.15
0.128	0.18	0.332	0.18	0.524	0.18
0.141	0.20	0.372	0.20	0.590	0.20
0.155	0.23	0.412	0.23	0.644	0.23
0.181	0.25	0.453	0.25	0.686	0.25
0.195	0.28	0.481	0.28	0.728	0.28
0.209	0.30	0.509	0.30	0.770	0.30
0.223	0.33	0.537	0.33	0.800	0.33
0.237	0.35	0.566	0.35	0.816	0.35
0.251	0.38	0.595	0.38	0.846	0.38
0.252	0.40	0.611	0.40	0.864	0.40
0.267	0.43	0.627	0.43	0.881	0.43
0.268	0.45	0.643	0.45	0.898	0.45
0.283	0.48	0.646	0.48	0.916	0.48
0.284	0.50	0.663	0.50	0.920	0.50
0.299	0.53	0.666	0.53	0.938	0.53
0.300	0.55	0.669	0.55	0.942	0.55
0.302	0.58	0.672	0.58	0.946	0.58
0.317	0.60	0.648	0.60	0.951	0.60
0.318	0.63	-	-	0.955	0.63
0.334	0.65	-	-	-	-
0.335	0.68	-	-	-	-

Observaciones: Material Inalterado.

Gráfico A.11: Desplazamiento Horizontal vs Esfuerzo de Corte C- 2.

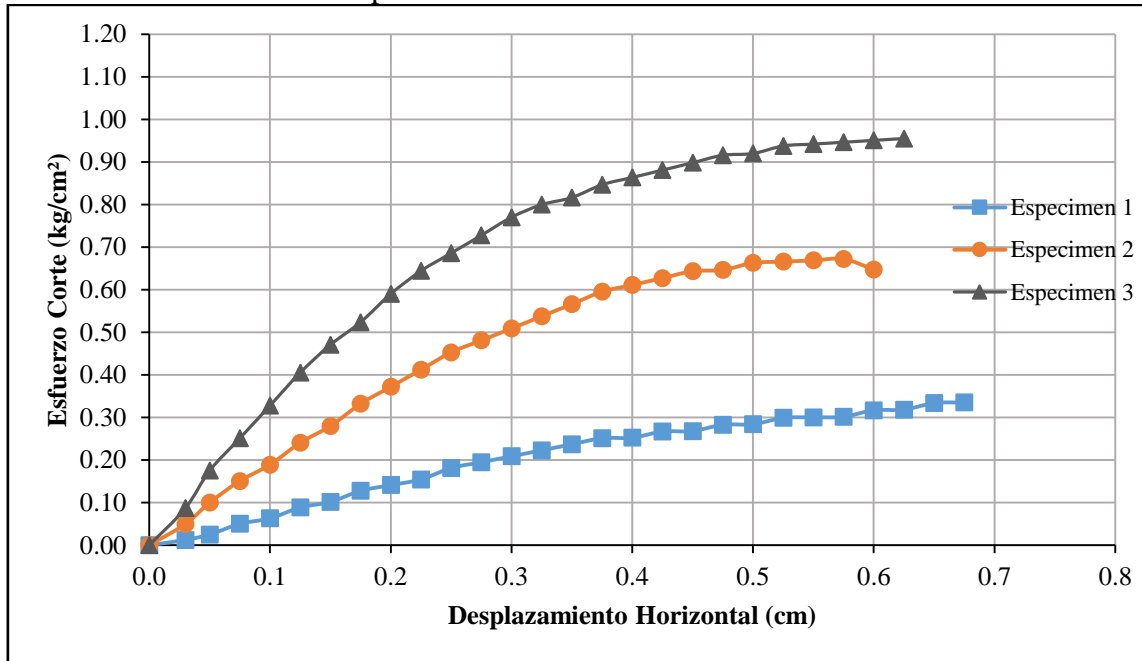


Gráfico A.12: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte C- 2.

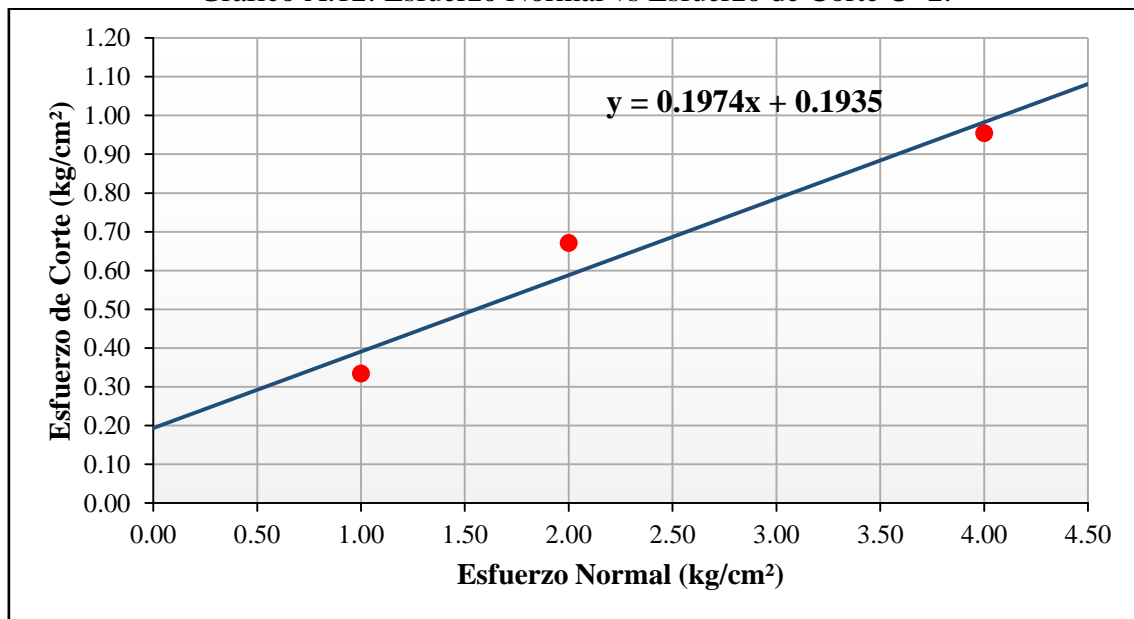


Tabla A.18: Envoltente de falla Esf. Cortante vs Esf. Normal (C-2).

ENSAYO	ESF. NORM.	ESF.CORT.
1	1	0.335
2	2	0.672
3	4	0.955

Tabla A.19: Cohesión y Ángulo de Fricción (C-2).

COHESIÓN (kg/cm²):	0.19
ÁNGULO DE FRICCIÓN:	11.2°

A.IV.3. Corte Directo.

Muestra:	C-3	Lado (cm):	6.00
Clasificación S.U.C.S:	CL-ML	Altura (cm):	2.00
Muestra Húmeda (g):	20.26	Volumen (cm ³):	72.00
Muestra Seca (g):	19.16	D. Húmeda (g/ cm ³):	1.74
Peso Agua (g):	1.10	Vel. Carga (mm/min):	0.50
w (%)	6.30		

Tabla A.20: Aplicación de carga para la calicata C-3.

Esf. Normal = 1.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 2.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 4.00 kg/cm ²	
Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)
0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.012	0.03	0.087	0.03	0.212	0.03
0.063	0.05	0.188	0.05	0.438	0.05
0.113	0.08	0.276	0.08	0.640	0.08
0.164	0.10	0.353	0.10	0.769	0.10
0.203	0.13	0.443	0.13	0.937	0.13
0.254	0.15	0.534	0.15	1.043	0.15
0.281	0.18	0.588	0.18	1.188	0.18
0.321	0.20	0.667	0.20	1.283	0.20
0.361	0.23	0.734	0.23	1.340	0.23
0.401	0.25	0.815	0.25	1.397	0.25
0.429	0.28	0.858	0.28	1.442	0.28
0.418	0.30	0.822	0.30	1.462	0.30
0.380	0.33	0.773	0.33	1.455	0.33
-	-	-	-	1.448	0.35

Observaciones: Material Inalterado.

Gráfico A.13: Desplazamiento Horizontal vs Esfuerzo de Corte C- 3.

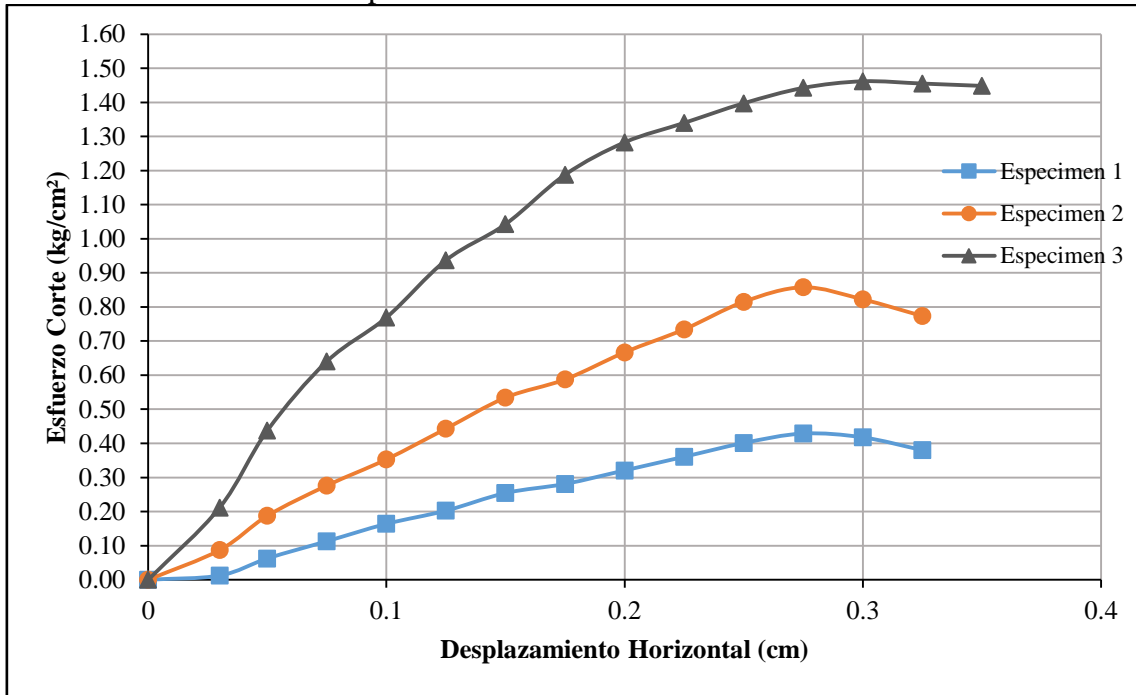


Gráfico A.14: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte C- 3.

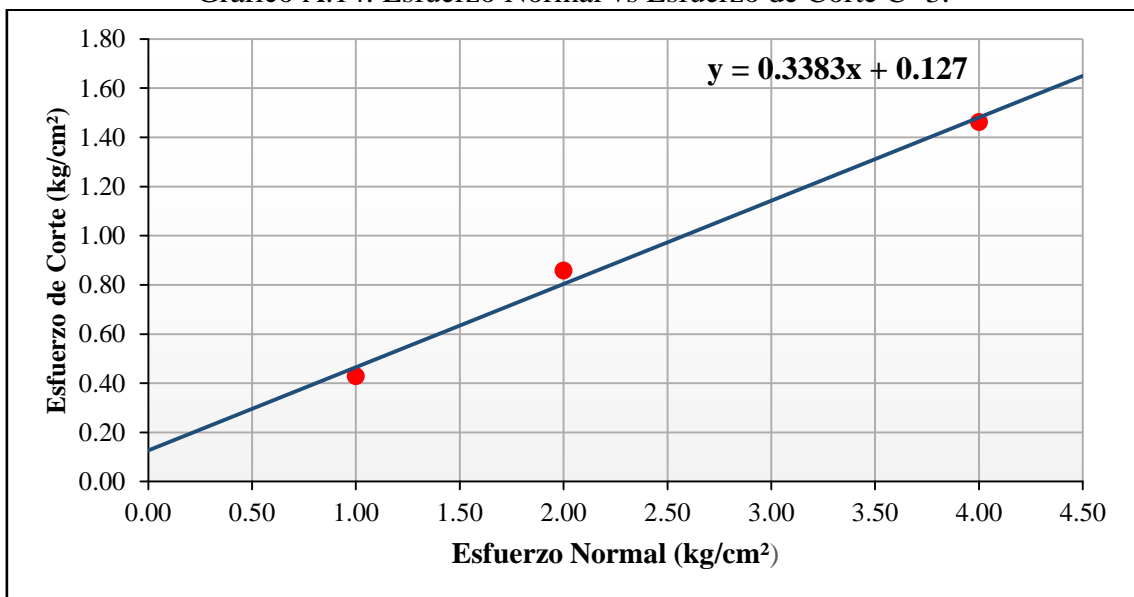


Tabla A.21: Envolvente de falla Esf. Cortante vs Esf. Normal (C-3).

ENSAYO	ESF. NORM.	ESF.CORT.
1	1	0.429
2	2	0.858
3	4	1.462

Tabla A.22: Cohesión y Ángulo de Fricción (C-3).

COHESIÓN (kg/cm²):	0.13
ÁNGULO DE FRICCIÓN:	18.7°

A.IV.4. Corte Directo.

Muestra:	C-4	Lado (cm):	6.00
Clasificación S.U.C.S:	GC	Altura (cm):	2.00
Muestra Húmeda (g):	159.80	Volumen (cm ³):	72.00
Muestra Seca (g):	144.80	D. Húmeda (g/ cm ³):	1.74
Peso Agua (g):	15.00	Vel. Carga (mm/min):	0.50
w (%)	10.36		

Tabla A.23: Aplicación de carga para la calicata C-4.

Esf. Normal = 1.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 2.00 kg/cm ²		Esf. Normal = 4.00 kg/cm ²	
Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)
0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.03	0.050	0.03	0.112	0.03
0.063	0.05	0.150	0.05	0.250	0.05
0.151	0.08	0.251	0.08	0.377	0.08
0.227	0.10	0.353	0.10	0.479	0.10
0.304	0.13	0.431	0.13	0.583	0.13
0.369	0.15	0.521	0.15	0.687	0.15
0.434	0.18	0.613	0.18	0.766	0.18
0.500	0.20	0.680	0.20	0.847	0.20
0.554	0.23	0.734	0.23	0.915	0.23
0.608	0.25	0.776	0.25	0.983	0.25
0.663	0.28	0.819	0.28	1.040	0.28
0.692	0.30	0.874	0.30	1.083	0.30
0.721	0.33	0.905	0.33	1.127	0.33
0.737	0.35	0.922	0.35	1.146	0.35
0.741	0.38	0.939	0.38	1.164	0.38
0.744	0.40	0.930	0.40	1.182	0.40
-	-	0.907	0.43	1.188	0.43
-	-	0.871	0.45	1.193	0.45
-	-	-	-	1.171	0.48
-	-	-	-	1.150	0.50
-	-	-	-	1.114	0.53
-	-	-	-	1.078	0.55

Observaciones: Sólo se ensayó la matriz de la muestra.

Gráfico A.15: Desplazamiento Horizontal vs Esfuerzo de Corte C- 4.

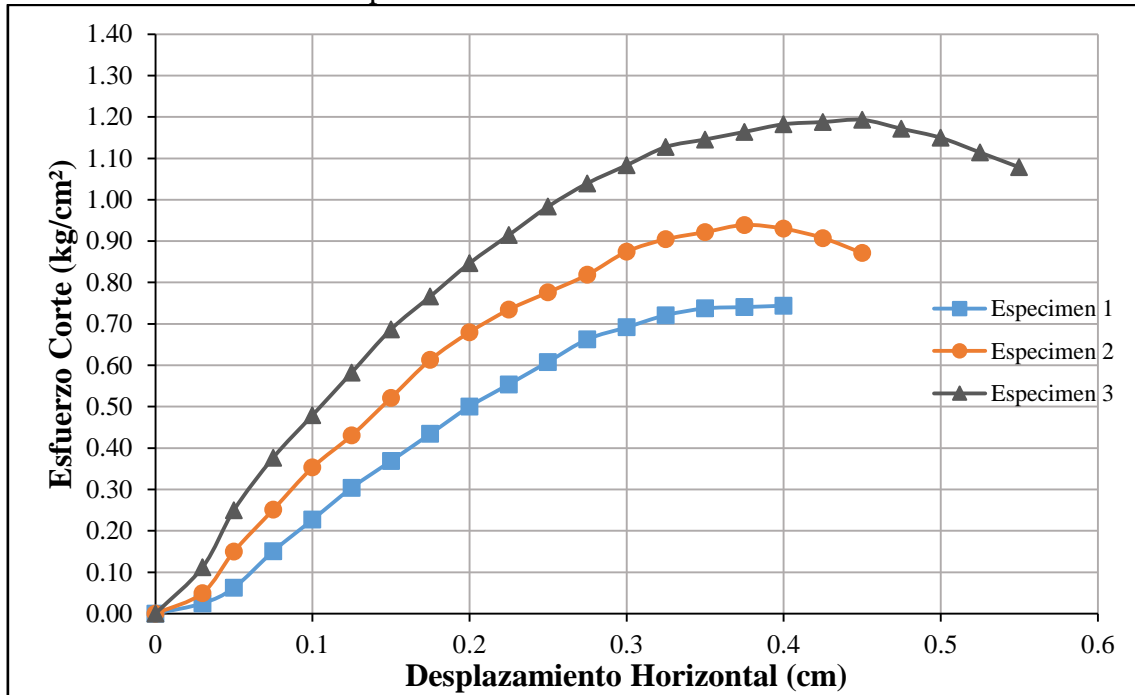


Gráfico A.16: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte C- 4.

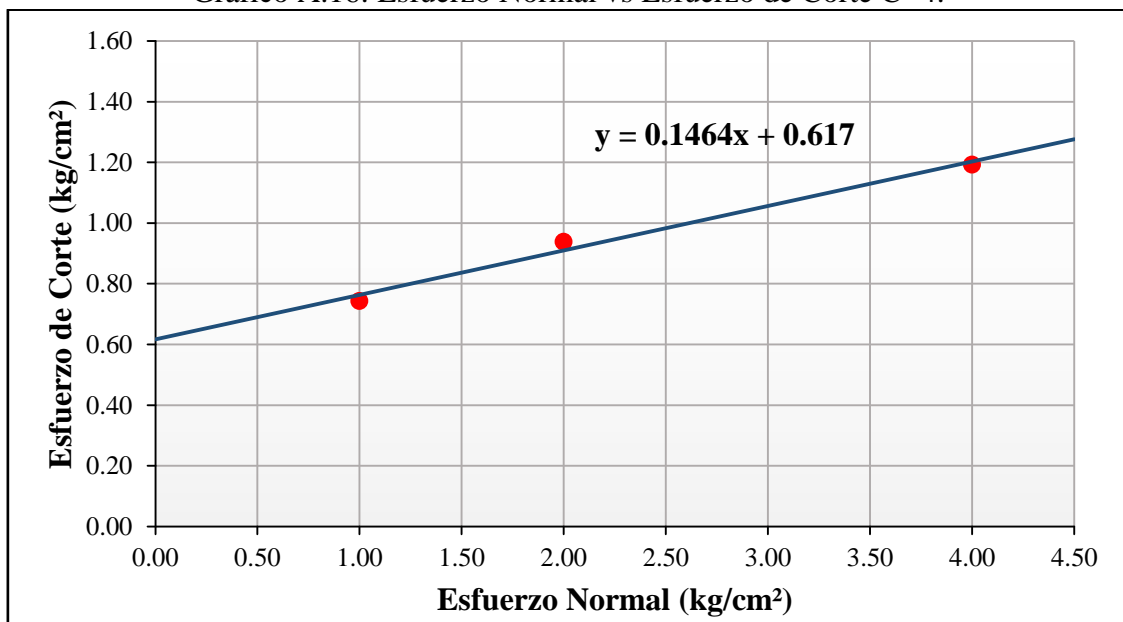


Tabla A.24: Envoltente de falla Esf. Cortante vs Esf. Normal (C-4).

ENSAYO	ESF. NORM.	ESF.CORT.
1	1	0.744
2	2	0.939
3	4	1.193

Tabla A.25: Cohesión y Ángulo de Fricción (C-4).

COHESIÓN (kg/cm²):	0.62
ÁNGULO DE FRICCIÓN:	8.3°

A.IV.5. Corte Directo.

Muestra:	C-5	Diámetro (cm):	6.00
Clasificación S.U.C.S:	SC	Altura (cm):	2.00
Muestra Húmeda (g):	34.27	Volumen (cm ³):	56.55
Muestra Seca (g):	27.00	D. Húmeda (g/ cm ³):	2.12
Peso Agua (g):	7.27	Vel. Carga (mm/min):	0.50
w (%)	26.40		

Tabla A.26: Aplicación de carga para la calicata C-5.

Esf. Normal = 1.275 kg/cm ²		Esf. Normal = 2.550 kg/cm ²		Esf. Normal = 5.100 kg/cm ²	
Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)	Desplazamiento Horizontal (cm)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	0.010	0.030	0.010	0.050	0.010
0.070	0.020	0.140	0.020	0.230	0.020
0.150	0.040	0.300	0.040	0.440	0.040
0.240	0.060	0.430	0.060	0.760	0.060
0.280	0.075	0.520	0.075	0.940	0.075
0.330	0.100	0.580	0.100	1.070	0.100
0.360	0.150	0.650	0.150	1.150	0.150
0.400	0.175	0.670	0.175	1.180	0.175
0.430	0.200	0.680	0.200	1.190	0.200
0.430	0.250	0.690	0.250	1.190	0.250
0.440	0.300	0.700	0.300	1.200	0.300
0.440	0.350	0.700	0.350	1.200	0.350
0.450	0.400	0.700	0.400	1.200	0.400
0.450	0.450	0.700	0.450	1.200	0.450
0.450	0.500	0.700	0.500	1.200	0.500
0.450	0.550	0.700	0.550	1.200	0.550
0.450	0.600	0.700	0.600	1.200	0.600

Observaciones: Material Inalterado.

Gráfico A.15: Desplazamiento Horizontal vs Esfuerzo de Corte C- 5.

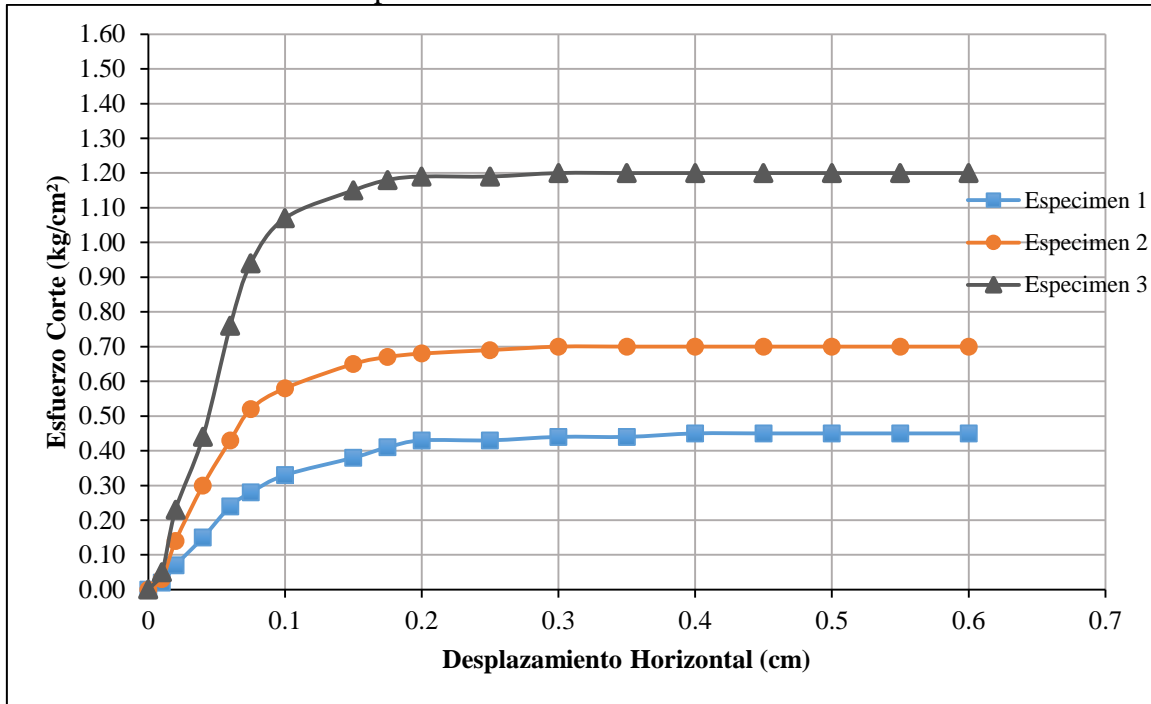


Gráfico A.16: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte C- 5.

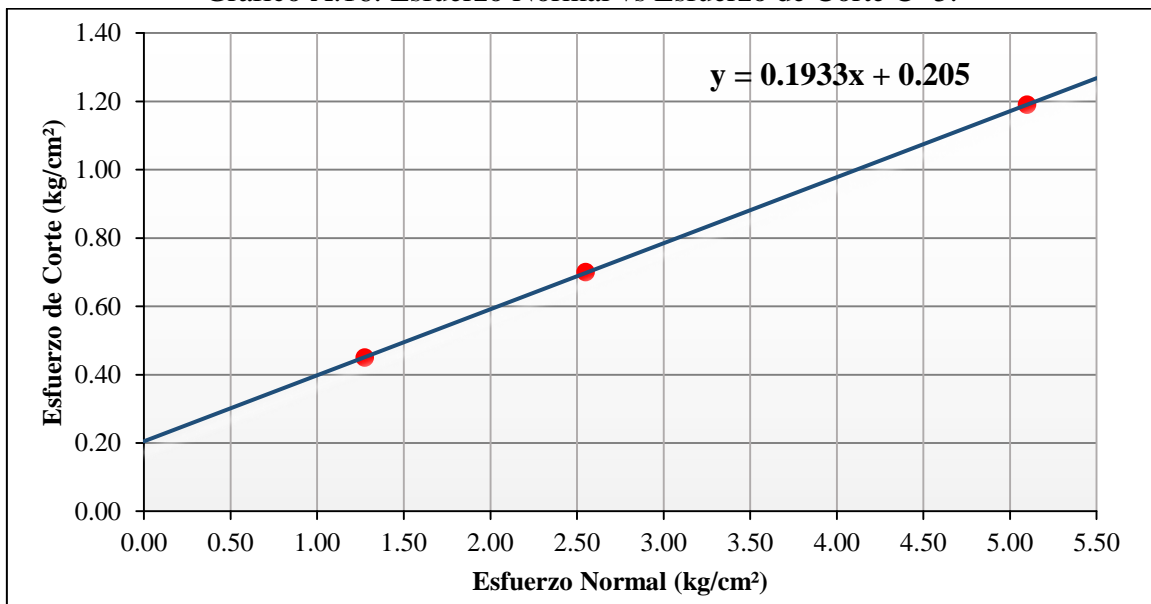


Tabla A.27: Envoltente de falla Esf. Cortante vs Esf. Normal (C-5).

ENSAYO	ESF. NORM.	ESF.CORT.
1	1.275	0.450
2	2.550	0.700
3	5.100	1.190

Tabla A.28: Cohesión y Ángulo de Fricción (C-5).

COHESIÓN (kg/cm²):	0.21
ÁNGULO DE FRICCIÓN:	10.9°

ANEXO B: RESULTADOS DE HIDROLOGÍA.

ANEXO B.I: PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL HISTÓRICA, EN mm/mes.

Tabla B.1: Precipitación Media Mensual Histórica.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ACUM.
1973	95.3	70.7	91.6	98.4	27.9	29.3	8.4	18.3	87.2	65.5	68.2	72.3	733.1
1974	64.1	128.2	95.2	58.5	4.6	17.3	6.5	23.6	38.7	70.5	53.9	76.4	637.5
1975	91.6	158.1	199.4	70.7	66.8	10.0	7.2	19.3	45.1	80.2	65.1	80.9	894.4
1976	130.4	62.9	81.3	55.2	43.0	23.0	0.1	4.4	12.3	32.2	71.6	44.8	561.2
1977	129.9	146.4	141.9	42.6	25.5	8.0	7.5	0.1	16.1	53.4	54.8	68.2	694.4
1978	12.7	34.4	48.8	37.0	65.6	3.9	4.4	3.8	23.8	24.4	54.0	44.8	357.6
1979	84.1	81.6	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.3	33.6	24.4	26.3	46.6	534.3
1980	34.9	42.4	65.0	29.3	6.9	15.1	3.2	5.6	2.3	130.4	111.0	106.7	552.8
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.1	22.0	111.9	45.6	111.3	735.5
1982	71.7	102.9	75.7	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4	717.1
1983	116.6	75.7	152.8	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4	756.9
1984	24.7	233.6	123.8	80.0	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1	905.8
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53.0	0.4	4.8	18.3	37.3	50.0	23.9	40.3	374.1
1986	84.4	47.7	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	51.8	544.6
1987	98.2	95.2	39.2	52.2	11.1	4.0	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	61.5	535.5
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0.0	0.4	32.9	69.2	65.2	63.4	602.7
1989	87.0	158.8	113.6	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	2.7	699.3
1990	101.0	95.3	101.8	623.0	28.0	10.7	6.8	10.3	28.7	73.3	61.2	64.2	1204.3
1991	43.8	90.0	133.7	55.2	19.7	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9	509.2
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10.0	40.8	64.0	32.0	31.4	420.4
1993	61.0	112.2	245.0	102.9	29.6	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1	872.0
1994	116.9	103.4	170.2	144.9	35.3	3.3	0.0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6	825.7
1995	44.7	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4	514.9
1996	65.2	124.0	121.0	50.4	13.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.6	34.1	584.2
1997	63.8	152.9	26.5	40.4	17.0	15.9	0.2	0.0	27.4	50.8	111.9	129.4	636.2
1998	103.0	116.5	257.0	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.6	29.1	47.9	765.2
1999	94.8	242.7	69.5	64.4	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77.0	68.8	820.1

...Continúa Tabla B.1: Precipitación Media Mensual Histórica.

2000	46.0	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	10.7	44.5	122.3	717.6
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0.0	34.4	46.2	93.4	90.9	908.6
2002	27.0	60.8	133.1	77.2	23.0	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1	634.9
2003	51.1	61.4	103.6	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46.0	63.8	80.7	528.9
2004	36.1	56.9	44.5	42.4	2.1	18.8	29.4	19.0	65.4	92.6	123.7	102.0	632.9
2005	84.9	119.3	136.0	54.0	7.2	4.5	0.0	3.5	31.2	92.3	30.0	87.8	650.7
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7	689.7
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29.0	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8	751.3
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.5	2.3	11.7	34.7	96.5	72.0	69.5	756.0
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2	795.0
2010	49.5	112.9	154.0	88.4	31.6	1.1	2.6	1.3	29.0	43.4	52.5	70.9	637.3
2011	76.6	73.3	125.2	102.0	16.7	0.4	8.3	0.0	47.1	31.5	24.4	109.7	615.4
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.2	0.0	2.5	19.1	83.2	120.3	58.3	823.4
2013	63.0	98.0	213.6	73.8	62.6	7.5	5.7	8.9	3.7	110.7	17.0	51.9	716.5
2014	74.7	62.4	143.2	78.8	26.9	5.2	2.0	3.9	27.7	26.3	45.7	114.9	611.8
2015	186.2	55.6	203.3	64.0	76.6	3.0	4.5	0.1	28.2	16.8	99.6	39.5	777.4
2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7.0	1.6	2.1	1.1	25.1	60.0	17.1	63.1	522.8

Gráfico B.1: Histograma de Tiempo vs Precipitaciones (mm).

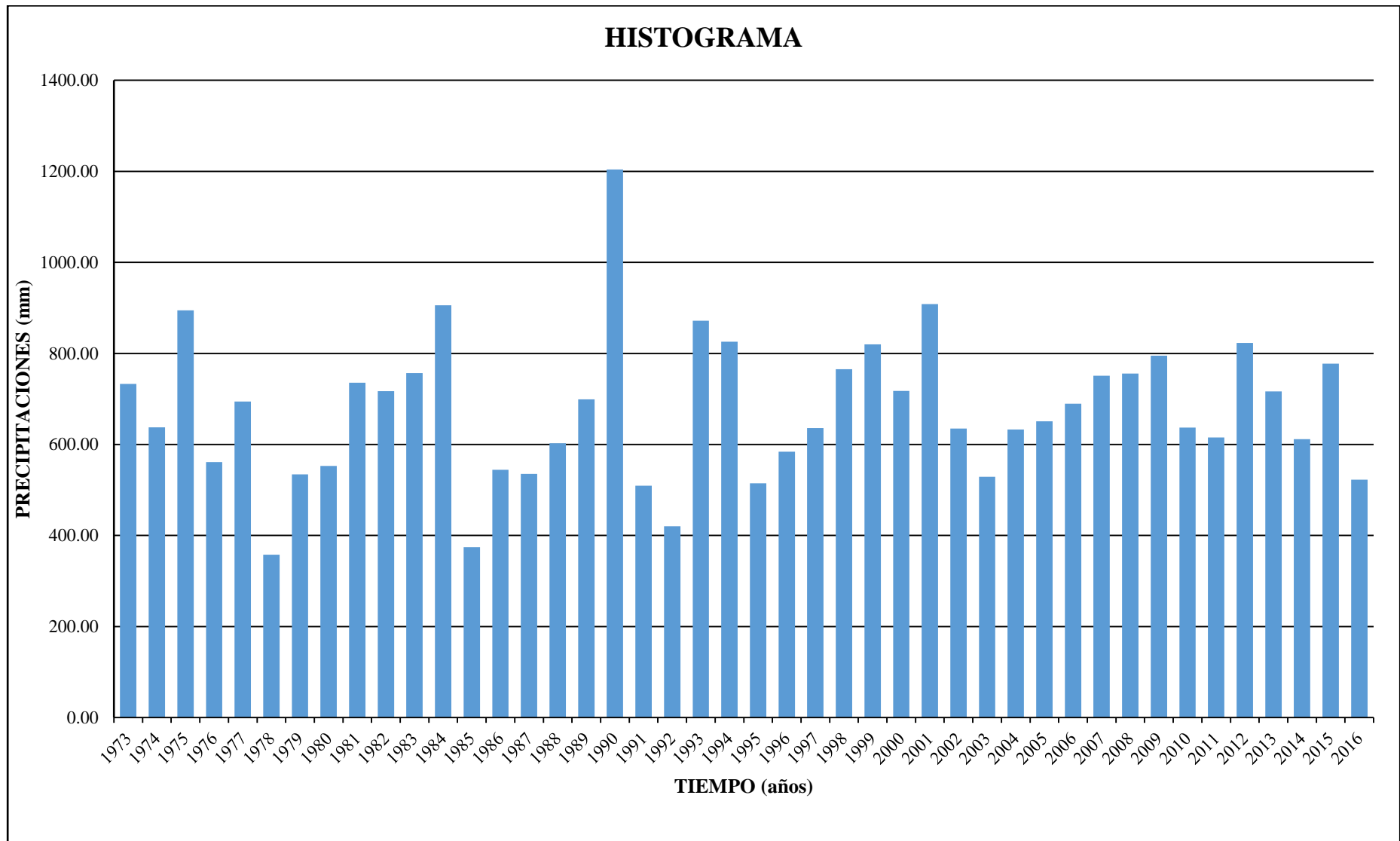
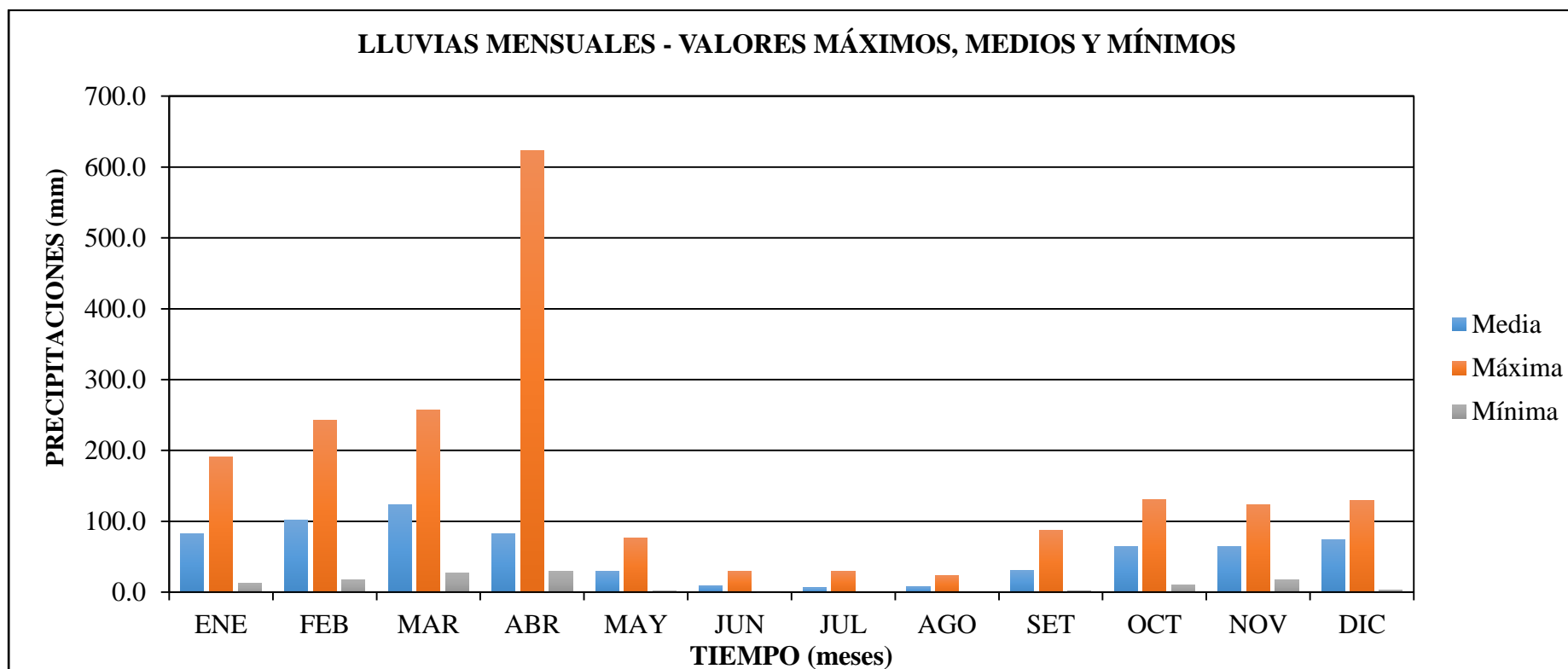


Tabla B.2: Precipitación Media, Mínima y Máxima Anual.

Descrip.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Media	82.9	101.4	123.0	82.9	29.6	9.5	6.1	7.6	30.2	64.0	64.5	74.7
Máxima	191.2	242.7	257.0	623.0	76.6	29.3	29.4	23.6	87.2	130.4	123.7	129.4
Mínima	12.7	17.5	26.5	29.3	2.1	0.2	0.0	0.0	1.3	10.7	17.0	2.7

Gráfico B.2: Histograma de Tiempo vs Precipitaciones (mm).



ANEXO B.II: MODELO FUNCIÓN NORMAL.

Tabla B.3: Distribución Función Normal.

AÑO	PRECIPITACIÓN	ORDENADO (mm)	F(x)	f(x)
1973	733.10	1204.30	0.9995833	0.000009515
1974	637.50	908.60	0.9292164	0.0008571
1975	894.40	905.80	0.9267851	0.0008796
1976	561.20	894.40	0.9162232	0.0009742
1977	694.40	872.00	0.8922043	0.0011729
1978	357.60	825.70	0.8277475	0.0016151
1979	534.30	823.35	0.8239253	0.0016378
1980	552.80	820.10	0.8185515	0.0016691
1981	735.50	794.96	0.7735973	0.0019048
1982	717.10	777.40	0.7387863	0.0020579
1983	756.90	765.20	0.7130761	0.0021556
1984	905.80	756.90	0.6949262	0.0022172
1985	374.10	756.00	0.6929278	0.0022236
1986	544.60	751.28	0.6823546	0.0022563
1987	535.50	735.50	0.6459544	0.0023540
1988	602.70	733.10	0.6402889	0.0023672
1989	699.30	717.60	0.6030042	0.0024403
1990	1204.30	717.10	0.6017836	0.0024423
1991	509.20	716.51	0.6003419	0.0024446
1992	420.40	699.30	0.5577667	0.0024984
1993	872.00	694.40	0.5454988	0.0025085
1994	825.70	689.68	0.5336403	0.0025159
1995	514.90	650.70	0.4355416	0.0024919
1996	584.20	637.50	0.4029084	0.0024498
1997	636.20	637.26	0.4023206	0.0024489
1998	765.20	636.20	0.399727	0.0024447
1999	820.10	634.90	0.3965522	0.0024396
2000	717.60	632.90	0.3916813	0.0024313
2001	908.60	615.37	0.3497898	0.0023438
2002	634.90	611.79	0.3414364	0.0023228
2003	528.90	602.70	0.3205802	0.0022651
2004	632.90	584.20	0.2798913	0.0021301
2005	650.70	561.20	0.2330826	0.0019361
2006	689.68	552.80	0.2171376	0.0018599
2007	751.28	544.60	0.2021983	0.0017835
2008	756.00	535.50	0.1863602	0.0016971
2009	794.96	534.30	0.1843305	0.0016856
2010	637.26	528.90	0.1753684	0.0016337
2011	615.37	522.80	0.1655829	0.0015747
2012	823.35	514.90	0.1534454	0.0014981
2013	716.51	509.20	0.1450634	0.0014430
2014	611.79	420.40	0.0526308	0.0006799
2015	777.40	374.10	0.0278805	0.0004052
2016	522.80	357.60	0.0218307	0.00033

Tabla B.4: Prueba de Smirnov - Kolmogorov.

Nº	DATOS	EMPIRICA	NORMAL	NORMAL
1	733.10	0.0222222	0.00041666	0.0218056
2	637.50	0.0444444	0.07078362	0.0263392
3	894.40	0.0666667	0.07321488	0.0065482
4	561.20	0.0888889	0.08377682	0.0051121
5	694.40	0.1111111	0.10779566	0.0033154
6	357.60	0.1333333	0.17225252	0.0389192
7	534.30	0.1555556	0.17607473	0.0205192
8	552.80	0.1777778	0.18144852	0.0036707
9	735.50	0.2000000	0.22640266	0.0264027
10	717.10	0.2222222	0.26121368	0.0389915
11	756.90	0.2444444	0.28692388	0.0424794
12	905.80	0.2666667	0.30507385	0.0384072
13	374.10	0.2888889	0.30707219	0.0181833
14	544.60	0.3111111	0.31764536	0.0065342
15	535.50	0.3333333	0.35404558	0.0207123
16	602.70	0.3555556	0.35971106	0.0041555
17	699.30	0.3777778	0.39699578	0.019218
18	1204.30	0.4000000	0.39821642	0.0017836
19	509.20	0.4222222	0.39965807	0.0225642
20	420.40	0.4444444	0.44223335	0.0022111
21	872.00	0.4666667	0.45450121	0.0121655
22	825.70	0.4888889	0.46635974	0.0225291
23	514.90	0.5111111	0.56445836	0.0533472
24	584.20	0.5333333	0.59709158	0.0637582
25	636.20	0.5555556	0.59767942	0.0421239
26	765.20	0.5777778	0.60027303	0.0224953
27	820.10	0.6000000	0.60344785	0.0034478
28	717.60	0.6222222	0.60831874	0.0139035
29	908.60	0.6444444	0.6502102	0.0057658
30	634.90	0.6666667	0.65856358	0.0081031
31	528.90	0.6888889	0.67941985	0.009469
32	632.90	0.7111111	0.72010874	0.0089976
33	650.70	0.7333333	0.76691742	0.0335841
34	689.68	0.7555556	0.78286238	0.0273068
35	751.28	0.7777778	0.79780174	0.020024
36	756.00	0.8000000	0.81363984	0.0136398
37	794.96	0.8222222	0.81566947	0.0065528
38	637.26	0.8444444	0.82463161	0.0198128
39	615.37	0.8666667	0.83441709	0.0322496
40	823.35	0.8888889	0.8465546	0.0423343
41	716.51	0.9111111	0.85493659	0.0561745
42	611.79	0.9333333	0.94736917	0.0140358
43	777.40	0.9555556	0.97211946	0.0165639
44	522.80	0.9777778	0.97816933	0.0003916

...Continúa Tabla B.4: Prueba de Smirnov - Kolmogorov.

$$\Delta_{\text{crítico}} = 1.36 / \sqrt{n}$$

Δ máximo	0.0637582
ACEPTADO	
Δ crítico	0.2050277

Mediante el ajuste de Smirnov-Kolmogorov, la cual consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica; se concluye que los datos de las precipitaciones anuales, se ajustan a la distribución normal, con un nivel de significación del 5% o una probabilidad del 95%.

Gráfico B.3: Distribución Función Normal (Acumulado).

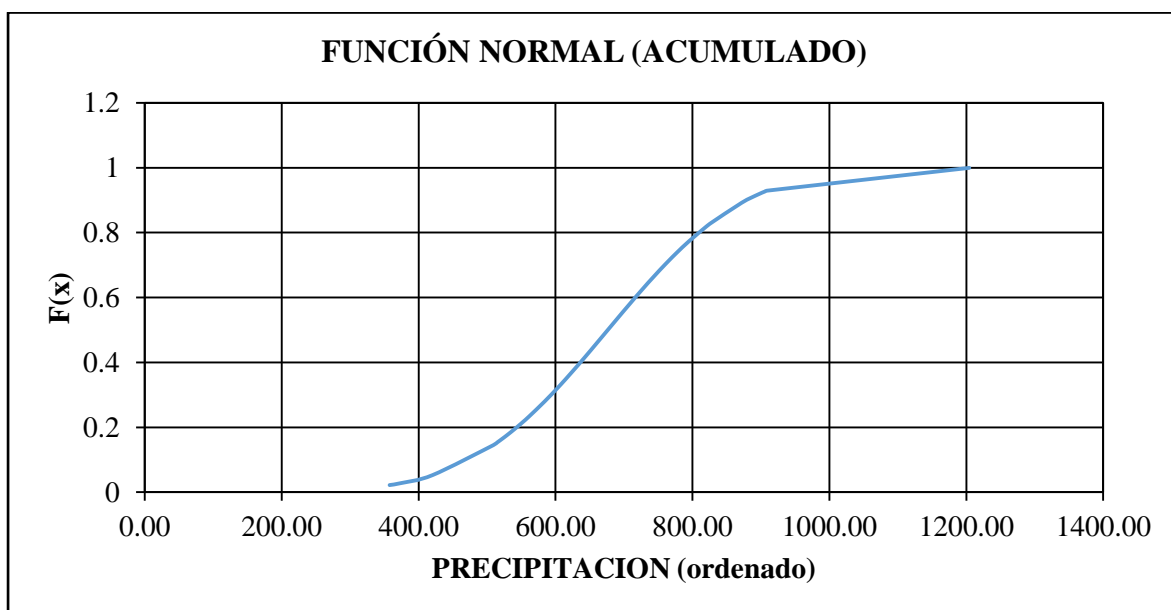
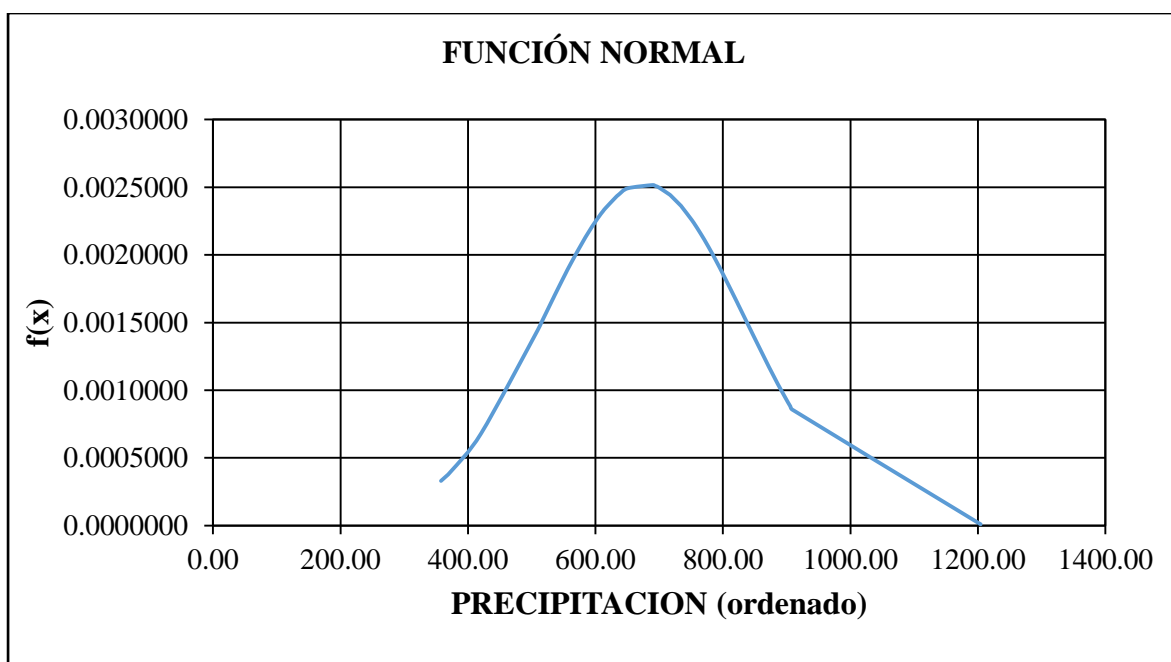


Gráfico B.4: Distribución Función Normal.



ANEXO B.III: PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA.

Tabla B.5: Probabilidad de Excedencia en Lluvias Anuales.

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%)	PERIODO DE RETORNO (años)	F(Z)	Z (interpolado)	PRECIPITACIÓN (mm)
95	1.10	0.0909091	0.000	676.3409091
90	1.10	0.0909091	0.000	676.3409091
85	1.20	0.1666667	0.000	676.3409091
80	1.30	0.2307692	0.000	676.3409091
75	1.30	0.2307692	0.000	676.3409091
70	1.40	0.2857143	0.000	676.3409091
65	1.50	0.3333333	0.000	676.3409091
60	1.70	0.4117647	0.000	676.3409091
55	1.80	0.4444444	0.000	676.3409091
50	2.00	0.5000000	0.000	676.3409091
45	2.20	0.5454545	0.125	696.0911037
40	2.50	0.6000000	0.253	716.3153031
35	2.90	0.6551724	0.399	739.3835304
30	3.30	0.6969697	0.515	757.7117111
25	4.00	0.7500000	0.676	783.1499618
20	5.00	0.8000000	0.841	809.2202187
15	6.70	0.8507463	1.033	839.5565177
10	10.00	0.9000000	1.281	878.7409039
5	20.00	0.9500000	1.642	935.7794661

Gráfico B.5: Lluvias Anuales vs Probabilidad de Excedencia.

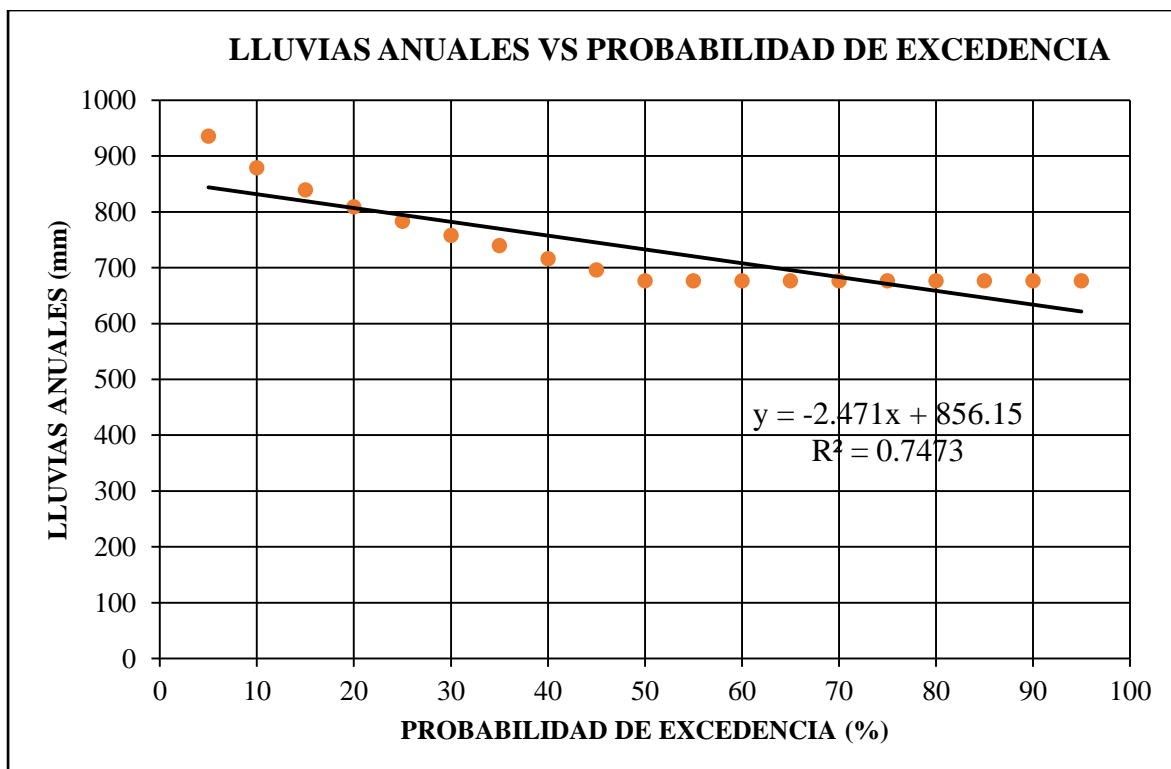
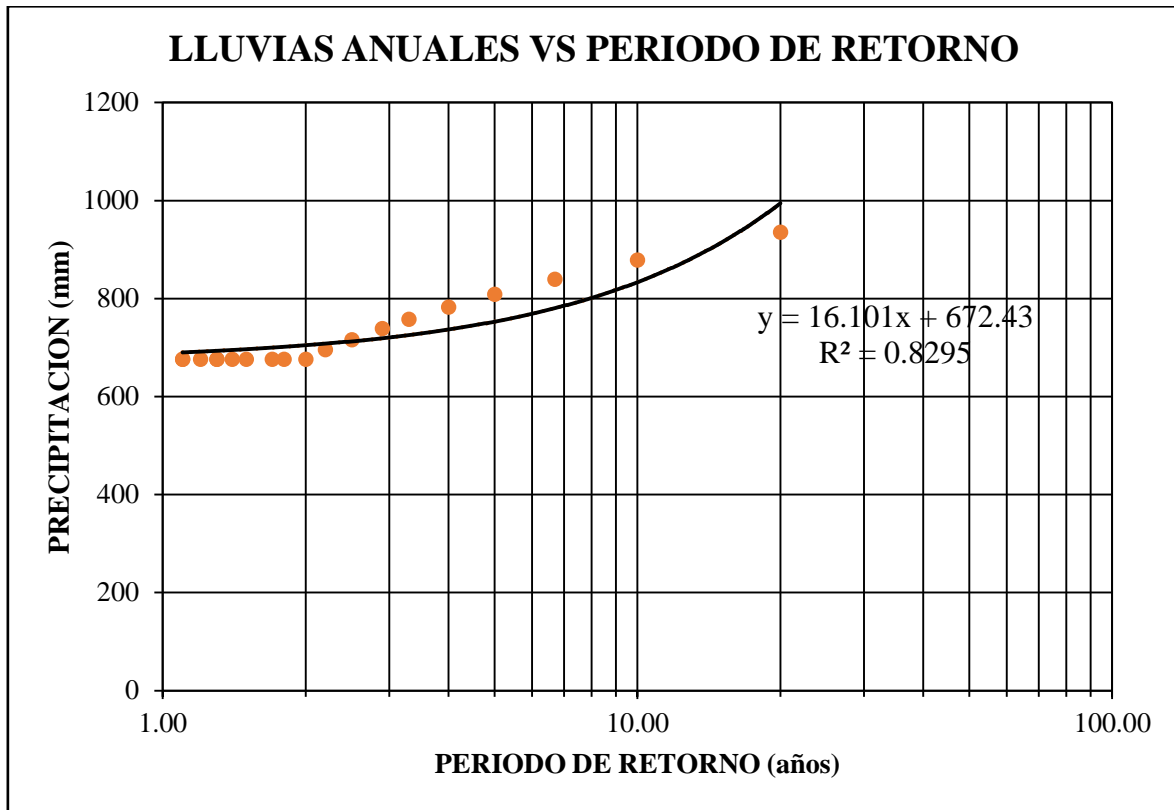


Gráfico B.6: Lluvias Anuales vs Período de Retorno.



**ANEXO C: RESULTADOS GEOMÉTRICOS.
ANEXO C.I: LÍMITES EXTERNOS DE LA GEOMETRÍA.**

Tabla C.1: Límite externo – Sección A-A.

SECCIÓN A-A			
DISTANCIA	COTA	ALTURA	ALT. ACUM.
0.00	3113.248	0.332	18.298
1.00	3112.916	0.331	17.966
2.00	3112.585	0.332	17.635
3.00	3112.253	0.331	17.303
4.00	3111.922	0.379	16.972
5.00	3111.543	0.436	16.593
6.00	3111.107	0.403	16.157
7.00	3110.704	0.358	15.754
8.00	3110.346	0.359	15.396
9.00	3109.987	0.358	15.037
10.00	3109.629	0.359	14.679
11.00	3109.270	0.451	14.320
12.00	3108.819	0.551	13.869
13.00	3108.268	0.550	13.318
14.00	3107.718	0.525	12.768
15.00	3107.193	0.508	12.243
16.00	3106.685	0.396	11.735
17.00	3106.289	0.363	11.339
18.00	3105.926	0.363	10.976
19.00	3105.563	0.364	10.613
20.00	3105.199	0.368	10.249
21.00	3104.831	0.371	9.881
22.00	3104.460	0.370	9.510
23.00	3104.090	0.371	9.140
24.00	3103.719	0.371	8.769
25.00	3103.348	0.371	8.398
26.00	3102.977	0.370	8.027
27.00	3102.607	0.371	7.657
28.00	3102.236	0.371	7.286
29.00	3101.865	0.401	6.915
30.00	3101.464	0.413	6.514
31.00	3101.051	0.413	6.101
32.00	3100.638	0.373	5.688
33.00	3100.265	0.310	5.315
34.00	3099.955	0.309	5.005
35.00	3099.646	0.310	4.696
36.00	3099.336	0.310	4.386
37.00	3099.026	0.309	4.076
38.00	3098.717	0.310	3.767
39.00	3098.407	0.350	3.457
40.00	3098.057	0.406	3.107
41.00	3097.651	0.401	2.701
42.00	3097.250	0.337	2.300
43.00	3096.913	0.264	1.963
44.00	3096.649	0.265	1.699
45.00	3096.384	0.264	1.434
46.00	3096.120	0.265	1.170
47.00	3095.855	0.264	0.905
48.00	3095.591	0.265	0.641
49.00	3095.326	0.264	0.376
50.00	3095.062	0.112	0.112
50.42	3094.950	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.2: Límite externo – Sección B-B.

SECCIÓN B-B			
DISTANCIA	COTA	ALTURA	ALT- ACUM.
0.0	3090.959	0.546	10.954
1.0	3090.413	0.547	10.408
2.0	3089.866	0.547	9.861
3.0	3089.319	0.546	9.314
4.0	3088.773	0.547	8.768
5.0	3088.226	0.547	8.221
6.0	3087.679	0.547	7.674
7.0	3087.132	0.546	7.127
8.0	3086.586	0.547	6.581
9.0	3086.039	0.547	6.034
10.0	3085.492	0.546	5.487
11.0	3084.946	0.547	4.941
12.0	3084.399	0.341	4.394
13.0	3084.058	0.263	4.053
14.0	3083.795	0.397	3.790
15.0	3083.398	0.427	3.393
16.0	3082.971	0.427	2.966
17.0	3082.544	0.427	2.539
18.0	3082.117	0.550	2.112
19.0	3081.567	1.090	1.562
20.0	3080.477	0.329	0.472
21.0	3080.148	0.103	0.143
22.0	3080.045	0.040	0.040
22.4	3080.005	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.3: Límite externo – Sección C-C.

SECCIÓN C-C			
DISTANCIA	COTA	ALTURA	ALT. ACUM.
0.00	3079.097	0.146	11.097
1.00	3078.951	0.110	10.951
2.00	3078.841	0.159	10.841
3.00	3078.682	0.185	10.682
4.00	3078.497	0.412	10.497
5.00	3078.085	0.815	10.085
6.00	3077.270	0.815	9.270
7.00	3076.455	0.815	8.455
8.00	3075.640	0.657	7.640
9.00	3074.983	0.566	6.983
10.00	3074.417	0.566	6.417
11.00	3073.851	0.567	5.851
12.00	3073.284	0.566	5.284
13.00	3072.718	0.566	4.718
14.00	3072.152	0.567	4.152
15.00	3071.585	0.566	3.585
16.00	3071.019	0.566	3.019
17.00	3070.453	0.567	2.453
18.00	3069.886	0.566	1.886
19.00	3069.320	0.566	1.320
20.00	3068.754	-0.026	0.754
21.00	3068.780	0.223	0.780
22.00	3068.557	0.262	0.557
23.00	3068.295	0.282	0.295
24.00	3068.013	0.013	0.013
24.05	3068.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO.



Figura D.1: Reconocimiento de la zona de Estudio



Figura D.2: Vista frontal de la quebrada Huayllapampa.



Figura D.3: Característica de la Formación Chimú.



Figura D.4: Rasgo de la Formación Santa.



Figura D.5: Arenisca con Lutitas Bituminosas.



Figura D.6: Depósito coluvial.



Figura D.7: Depósito aluvial



Figura D.8: Depósito Fluvial.



Figura D.9: Espejo de falla en la quebrada.



Figura D.10: Rumbo y Buzamiento del espejo de falla.



Figura D.11: Estrías en una roca.



Figura D.12: Prueba de la línea de máxima pendiente.



Figura D.13: Regla de la mano derecha.



Figura D.14: Pendientes de los cerros.



Figura D.15: Pendiente elevada en Piedemonte.



Figura D.16: Desintegración de la roca.



Figura D.17: Vista panorámica de la geometría.

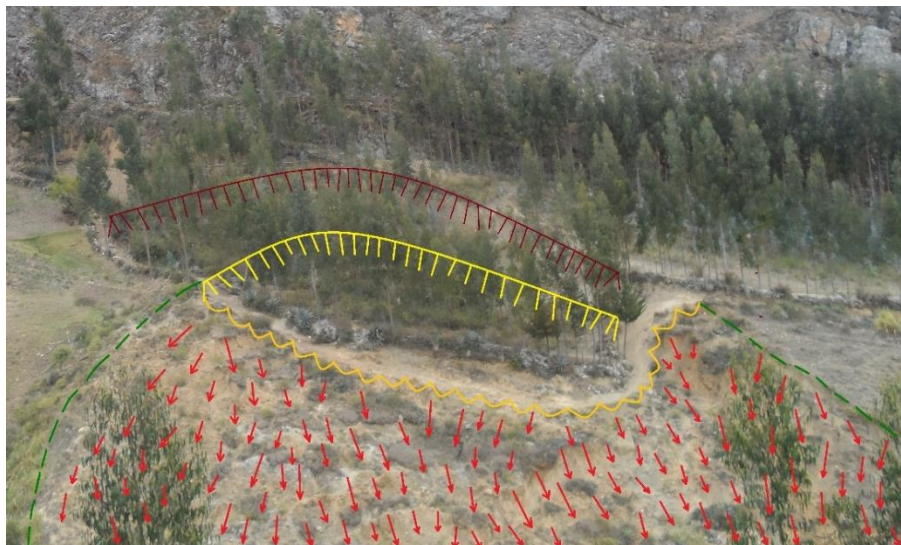


Figura D.18: Vista de la geometría y partes del deslizamiento.



Figura D.19: Escarpe principal (Inicio del movimiento).



Figura D.20: Escarpe secundario.



Figura D.21: Vista de la extensión del deslizamiento.



Figura D.22: Vista desde el pie del deslizamiento.



Figura D.23: Realización del levantamiento topográfico.



Figura D.24: Levantamiento del deslizamiento rotacional.



Figura D.25: Escasa vegetación en el cuerpo del deslizamiento.



Figura D.26: Vista general de la zona del deslizamiento.



Figura D.27: Exploración de las calicatas.



Figura D.28: Profundidad de la calicata C-1 = 1.20m.



Figura D.29: Profundidad de la calicata C-2 = 1.20m.



Figura D.30: Calicata C-3 = 2.00m, en el escarpe secundario.



Figura D.31: Calicata C-4 = 3.00m, en el escarpe principal.



Figura D.32: Taras codificadas con las muestras húmedas.



Figura D.33: Taras codificadas con las muestras secas.



Figura D.34: Peso de tara con las muestras secas.



Figura D.35: Muestra tamizada por la malla N°4.



Figura D.36: Extracción de aire mediante la bomba de vacío.



Figura D.37: Peso de la fiola con la solución de suelo y agua.



Figura D.38: Cuarteo de la muestra.



Figura D.39: Peso de la muestra C-4.



Figura D.40: Lavado de la muestra.



Figura D.41: Zarandeo de la muestra.

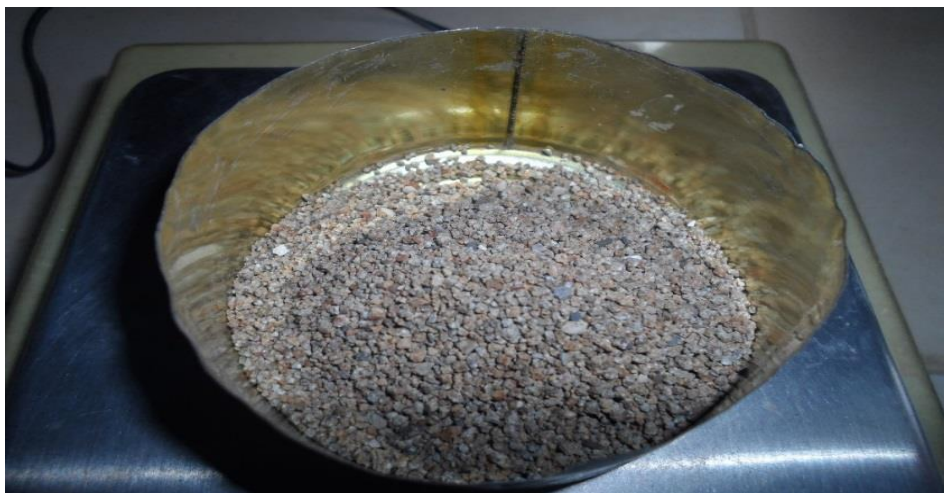


Figura D.42: Material tamizado malla N° 60.



Figura D.43: Materiales del ensayo.



Figura D.44: Copa de Casagrande y la muestra.



Figura D.45: Abertura realizada con el ranurador.



Figura D.46: Giro de la manivela de la copa de Casagrande.



Figura D.47: Cierre de la ranura de suelo.



Figura D.48: Ensayo de limite plástico.



Figura D.49: Determinación del límite plástico.



Figura D.50: Preparación de la muestra.



Figura D.51: Tallado de la muestra.



Figura D.52: Ensamblaje de la caja de corte.



Figura D.53: Ensayo de corte directo.

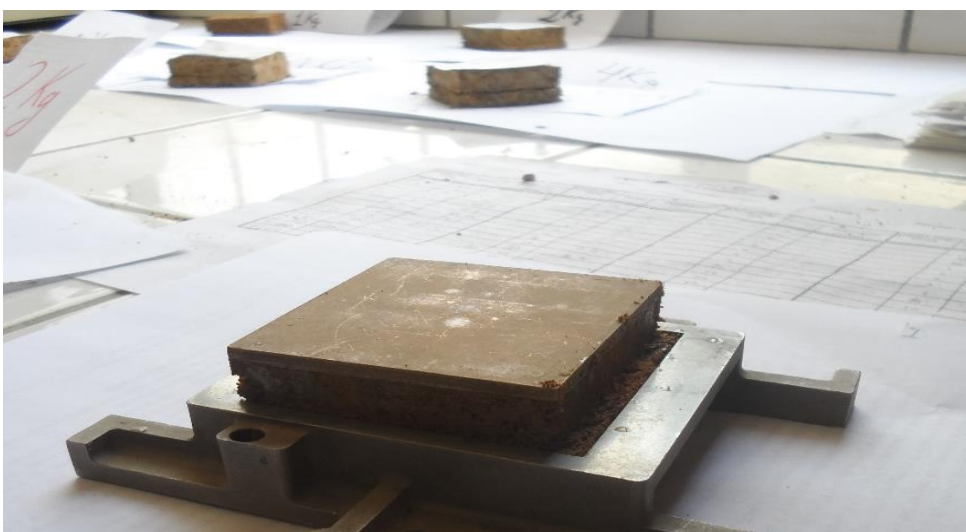


Figura D.54: Falla de corte de la muestra.

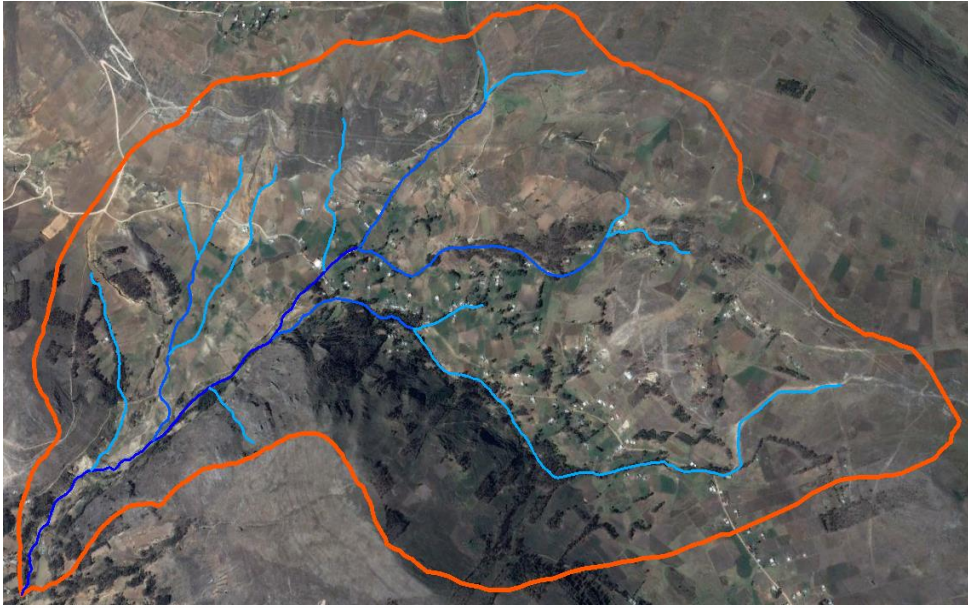


Figura D.55: Cuenca Huayllapampa.

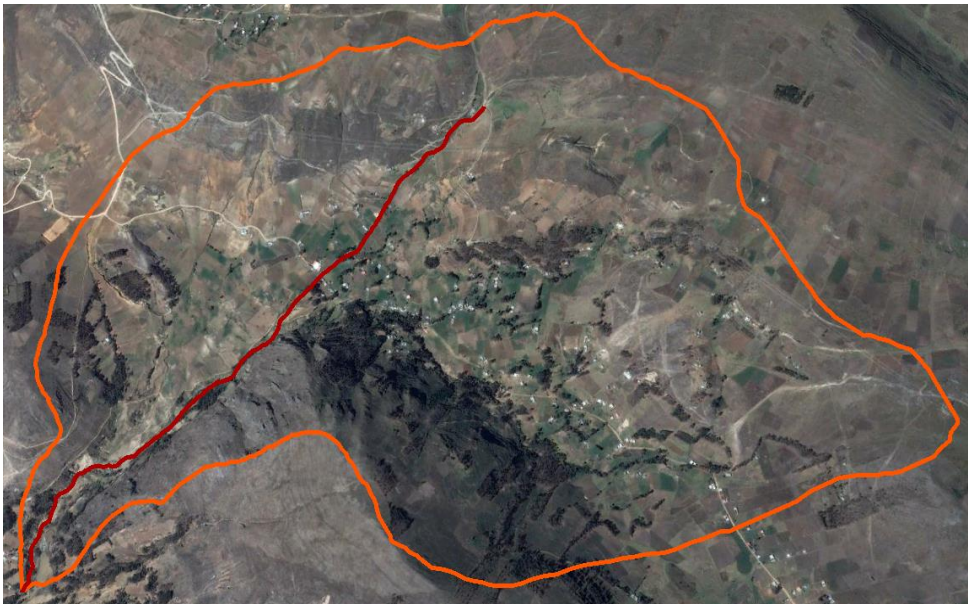


Figura D.56: Cauce principal Huayllapampa.



Figura D.57: Características de la calicata C-5, cuerpo del deslizamiento.

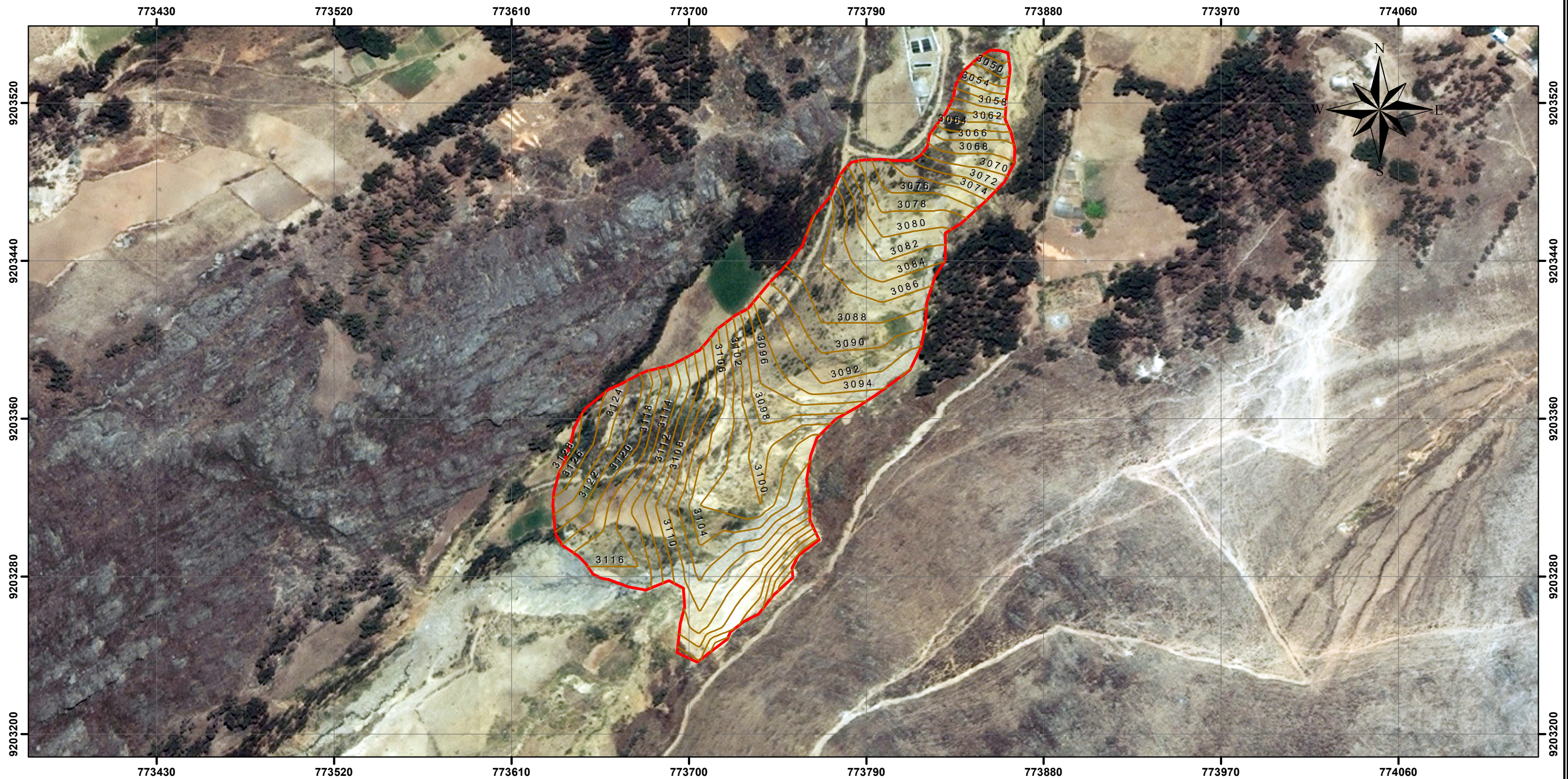


Figura D.58: Exploración de la calicata C-5.

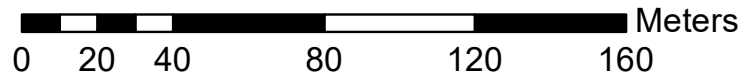


Figura D.59: Profundidad de la calicata C-5 = 2.50m..

ANEXO E: MAPAS.

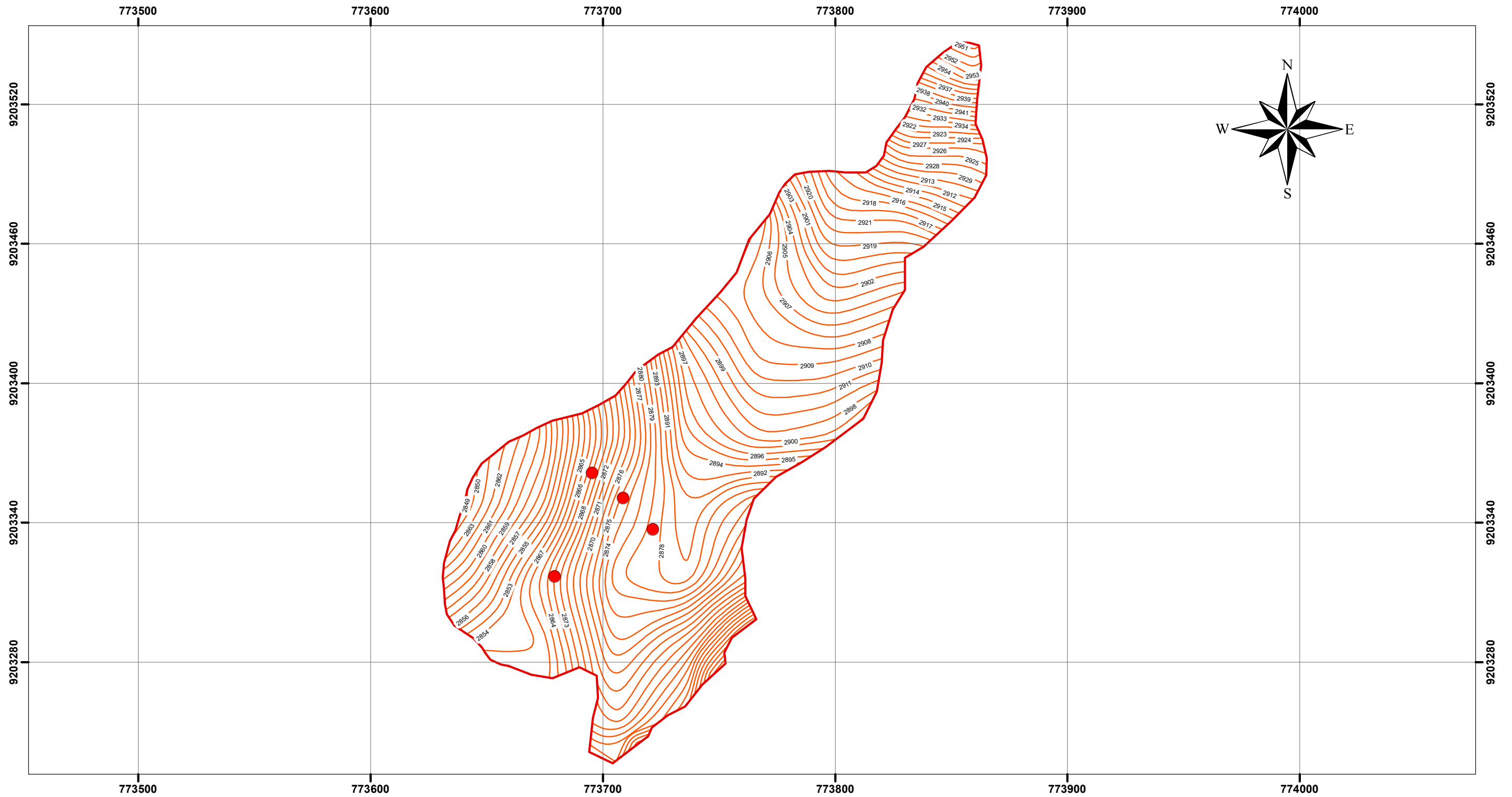


SIMBOLOGIA	
	CURVAS DE NIVEL
	AREA DE TRABAJO

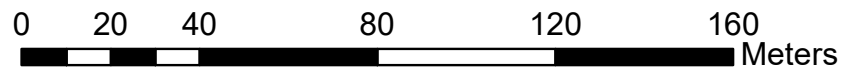


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
		TESIS: INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*.	
PLANO: SATELITAL		PLANO N°: 01	
TESISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André			
DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	ESCALA: 1:2,000	
ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			

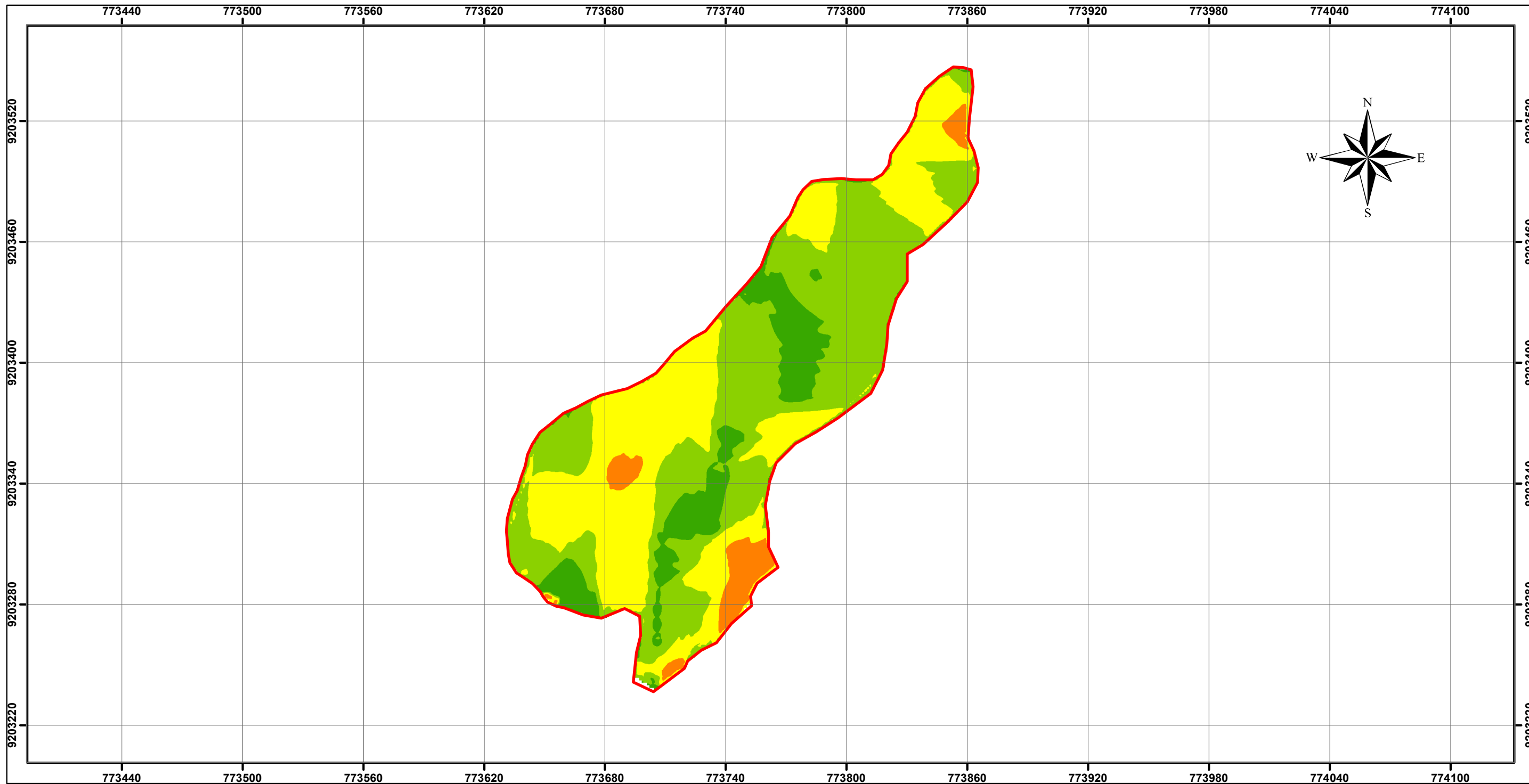


SIMBOLOGIA	
●	CALICATA
	AREA DE TRABAJO
—	CURVAS DE NIVEL



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
	TESIS: INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*		
	PLANO: PERFIL GEOTECNICO	PLANO N°: 02	
TESISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	
ASESOR: Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			



SIMBOLOGIA

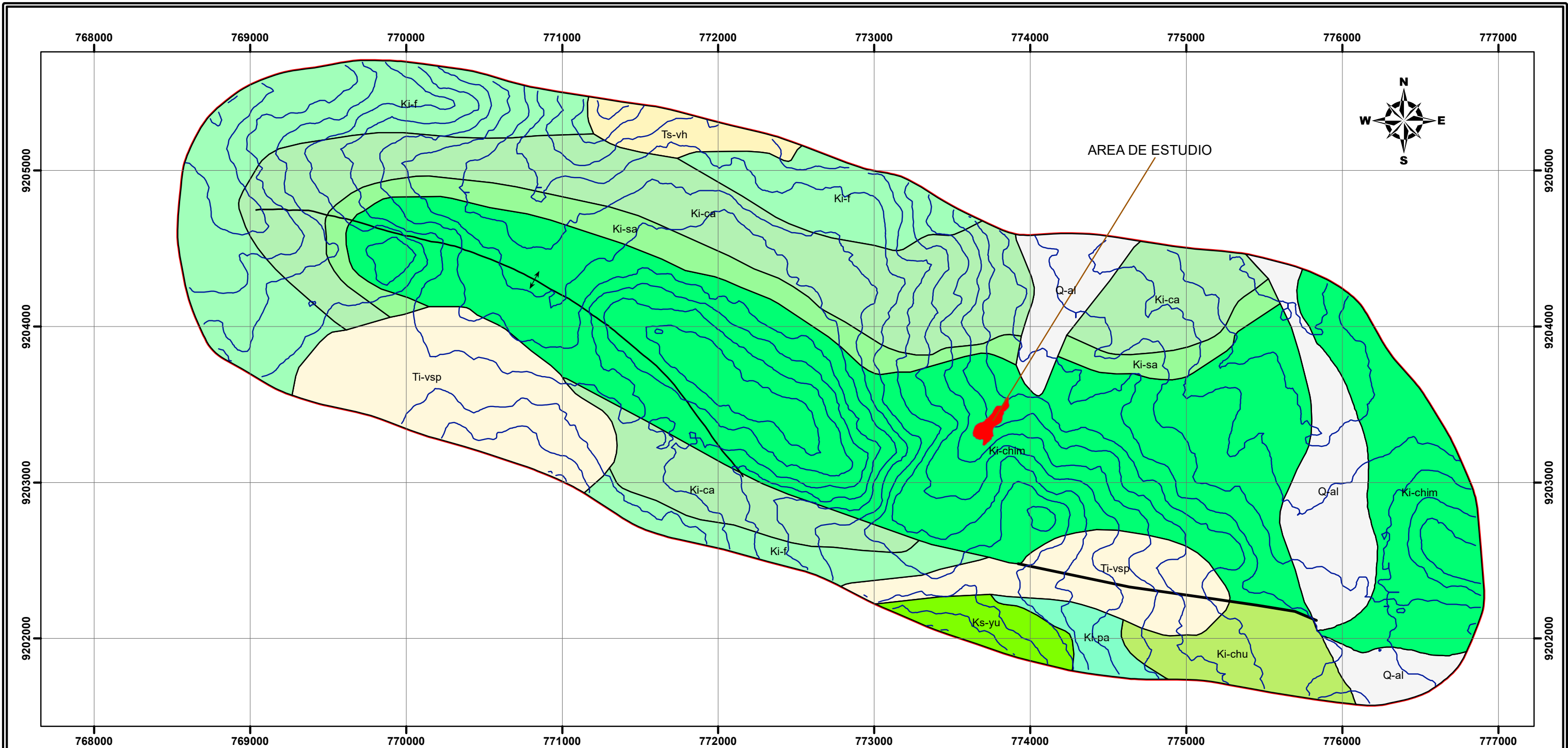
	Area de trabajo
clasificacion	
<VALUE>	
	0 - 8.5
	8.5 - 16.7
	16.7 - 26.6
	26.6 - 45
	45 >



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
TESIS: INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*.		PLANO N°: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">03</div>	
PLANO: PENDIENTES		TESISISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André	
DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	ESCALA: 1:2,000	
ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			





SIMBOLOGIA

- ZONA DE ESTUDIO
- CURVAS DE NIVEL
- FALLA AGOCUCHO
- ↕ ANTICLINAL AMOSHULCA

LEYENDA

GEOLOGIA

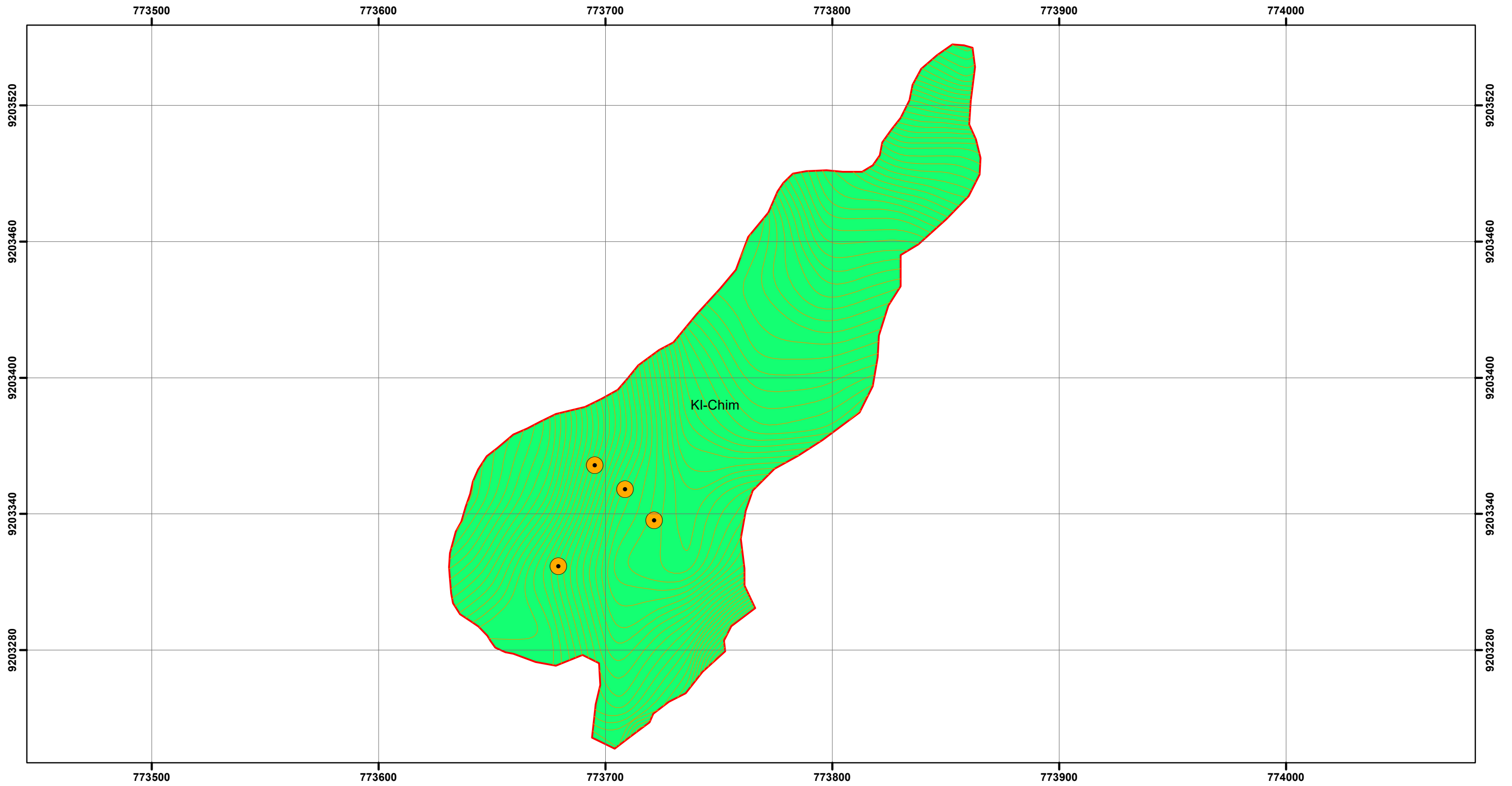
- Ki-Ca : Fm. Cajamarca
- Ki-chim : Fm. Chimú
- Ki-chu : Fm Chulec
- Ki-f : Fm. Farrat
- Ki-pa : Fm. Pariatambo
- Ki-sa : Fm. Santa
- Ks-yu : Fm. Yumagual
- Q-al : Depositos aluviales
- Ti-vsp : Volcánico San Pablo
- Ts-vh : Volcánico Huambos






Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

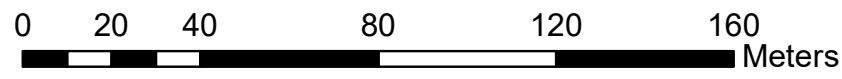
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
TESIS INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*		PLANO N°: 04	
PLANO: INFLUENCIA GEOLOGICA		PLANO N°: 04	
TESISISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André		ESCALA: 1:25,000	
DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	ESCALA: 1:25,000	
ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			





SIMBOLOGIA

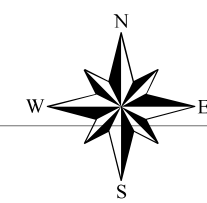
-  CALICATA
-  CURVAS DE NIVEL
-  KI-Chim



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
	TESIS INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*		
	PLANO: GEOLOGICO	PLANO N°: 05	
TESISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	ESCALA: 1:1,700
ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			

Sección	Factores de seguridad			
	Bishop modificado	Spencer	Morgenstern – Price / GDL	Spencer Sísmico
A - A	1.192	1.189	1.186	0.884
B - B	1.352	1.342	1.342	0.873
C - C	1.098	1.086	1.085	0.876

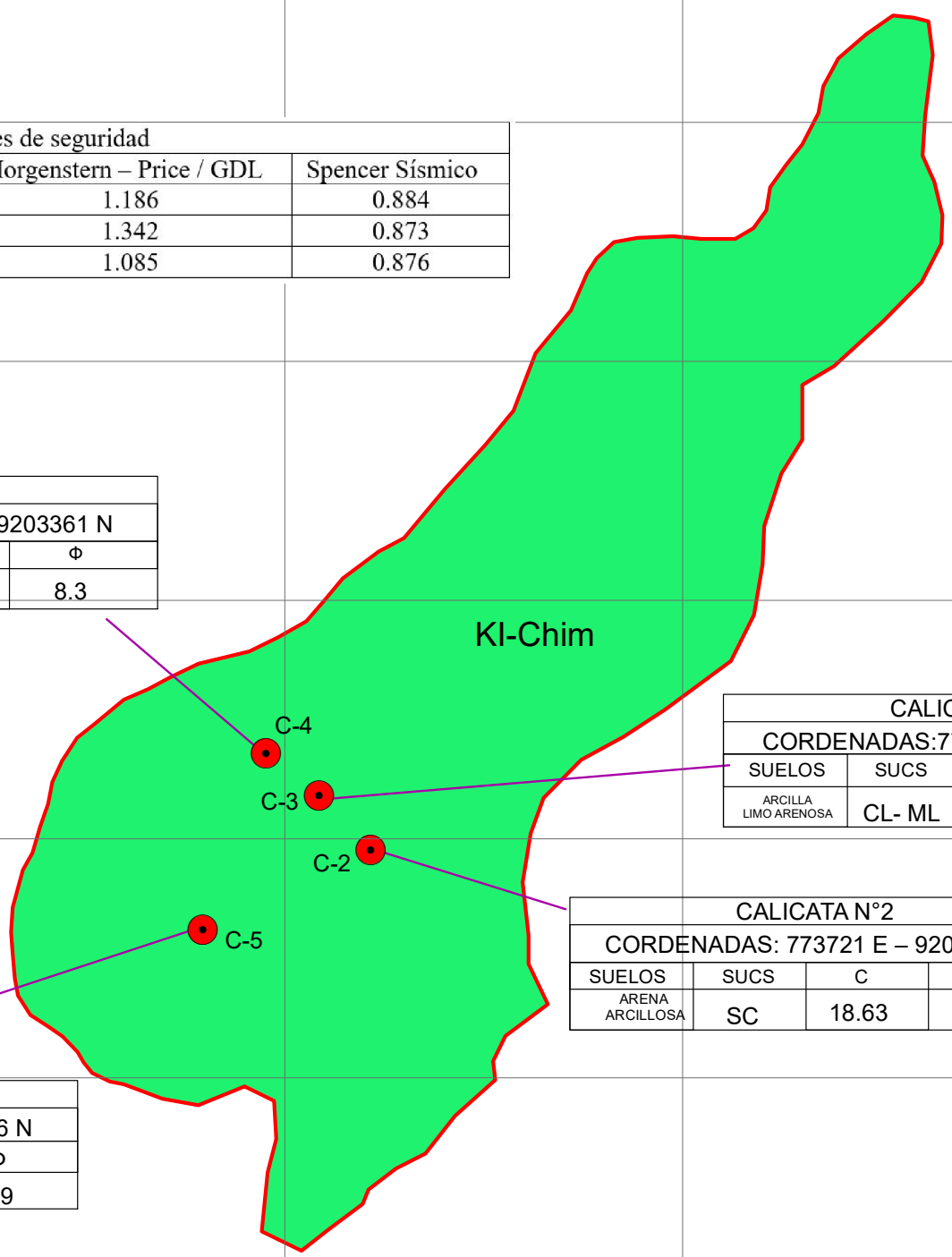


CALICATA N°4			
CORDENADAS: 773695 E – 9203361 N			
SUELOS	SUCS	C	Φ
GRAVA ARCILLOSA CON ARENA	GC	60.8	8.3

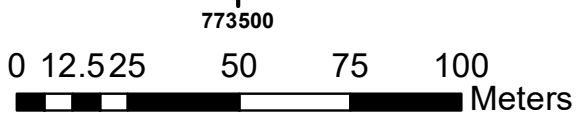
CALICATA N°3			
CORDENADAS: 773708 E – 9203350 N			
SUELOS	SUCS	C	Φ
ARCILLA LIMO ARENOSA	CL- ML	12.75	18.7

CALICATA N°2			
CORDENADAS: 773721 E – 9203337 N			
SUELOS	SUCS	C	Φ
ARENA ARCILLOSA	SC	18.63	11.2

CALICATA 5		
CORDENADAS: 773679 E – 9203316 N		
SUCS	C	Φ
CH	20.6	10.9



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



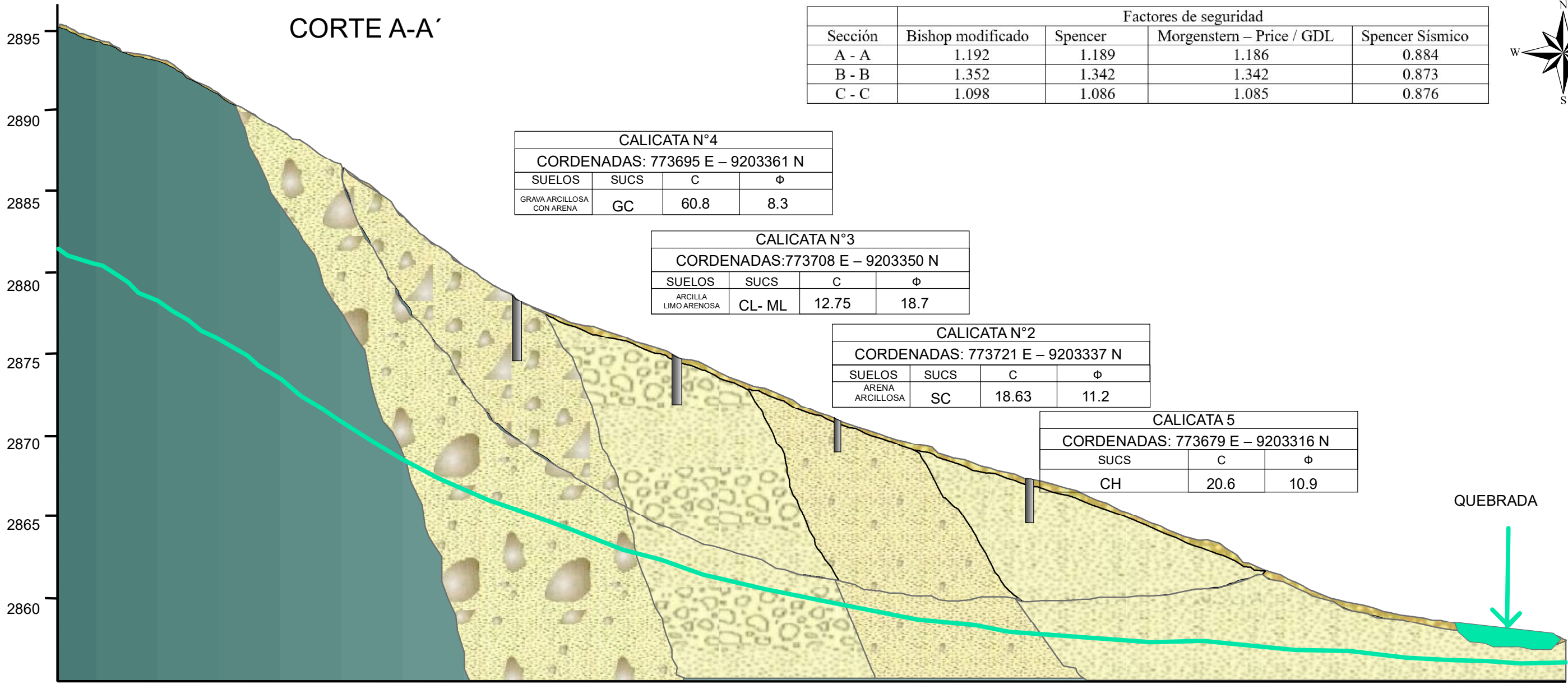
SIMBOLOGIA	
	CALICATAS
	ESTACIONES
	Ki - Chim

CALICATA	PROFUNDIDAD	LL	LP	IP
CALICATA 5	1.20 mts	--	--	--
CALICATA 2	1.20 mts	30	22	8
CALICATA 3	3 mts	30	22	10
CALICATA 4	5 mts	34	20	14

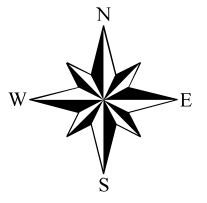
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
TESIS: INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*.			
PLANO: GEOMECANICO			PLANO N°: 06
TESISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André			
DATUM: WGS 84-ZONA 17S		FECHA: AGOSTO, 2017	ESCALA: 1:1,700
ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			



CORTE A-A'



Sección	Factores de seguridad			
	Bishop modificado	Spencer	Morgenstern – Price / GDL	Spencer Sísmico
A - A	1.192	1.189	1.186	0.884
B - B	1.352	1.342	1.342	0.873
C - C	1.098	1.086	1.085	0.876

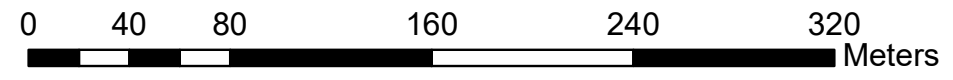


CALICATA N°4			
CORDENADAS: 773695 E – 9203361 N			
SUELOS	SUCS	C	φ
GRAVA ARCILLOSA CON ARENA	GC	60.8	8.3

CALICATA N°3			
CORDENADAS: 773708 E – 9203350 N			
SUELOS	SUCS	C	φ
ARCILLA LIMO ARENOSA	CL- ML	12.75	18.7

CALICATA N°2			
CORDENADAS: 773721 E – 9203337 N			
SUELOS	SUCS	C	φ
ARENA ARCILLOSA	SC	18.63	11.2

CALICATA 5		
CORDENADAS: 773679 E – 9203316 N		
SUCS	C	φ
CH	20.6	10.9



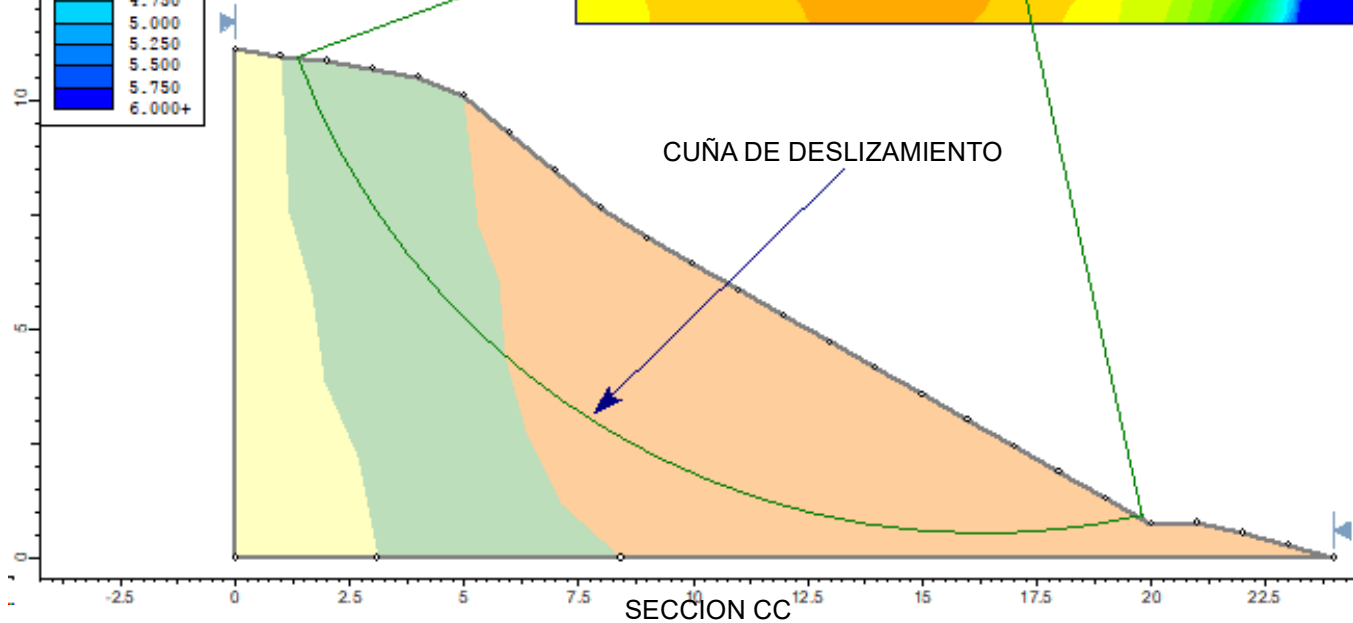
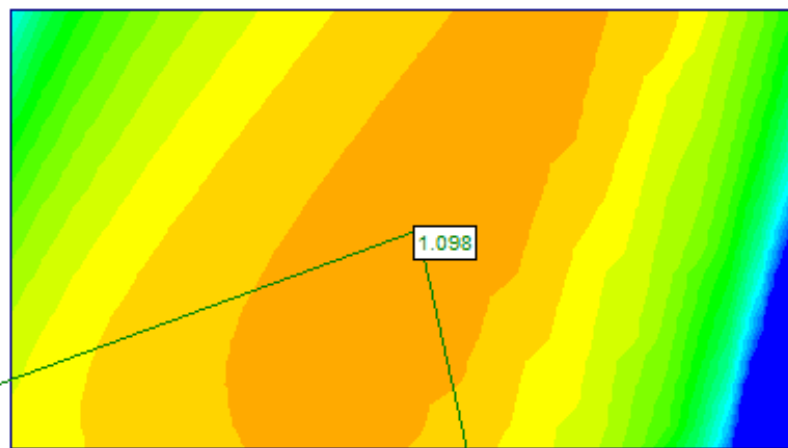
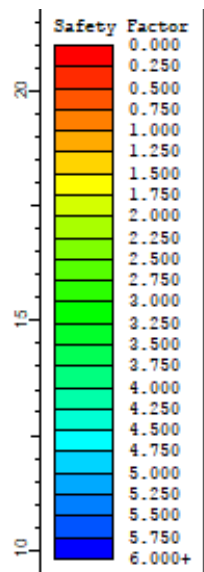
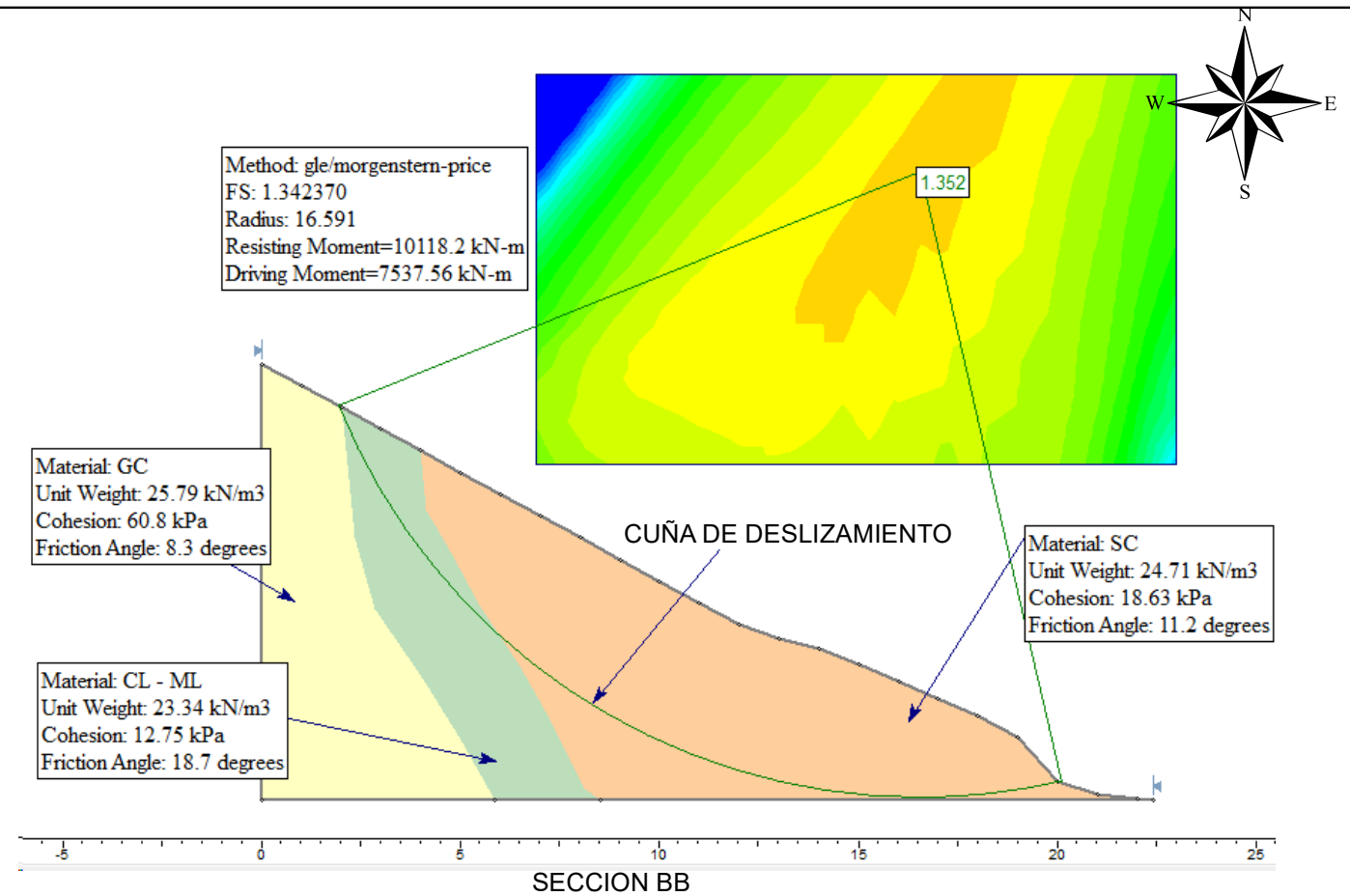
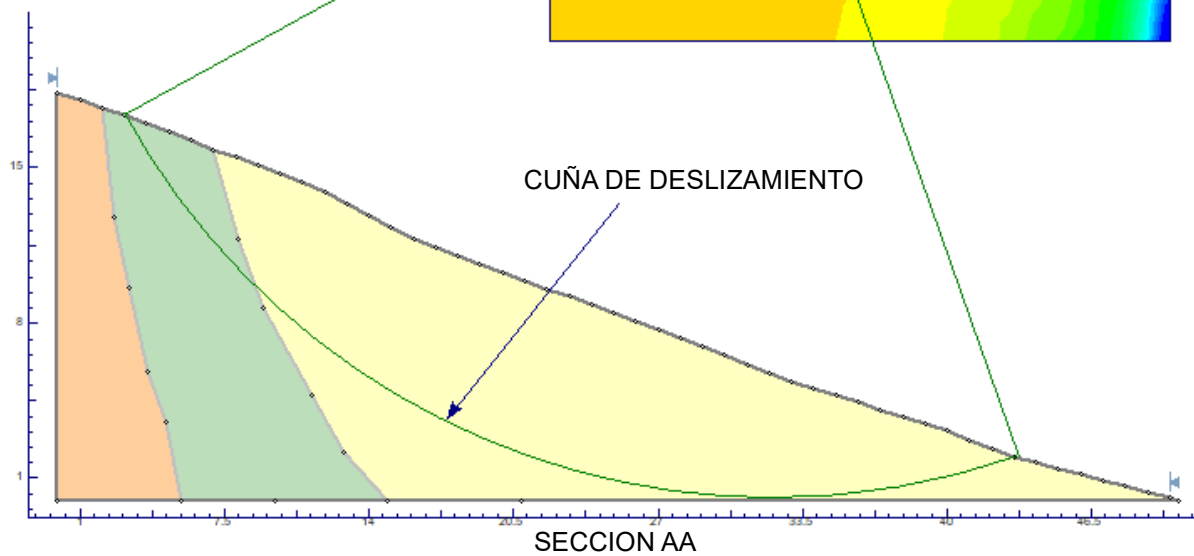
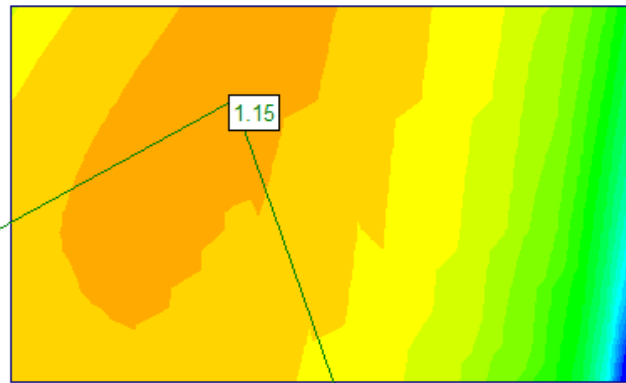
LITOLOGIA DEL BASAMENTO ROCOSO : ARENISCAS Y CUARCITAS

ANGULO DE INCLINACION DEL TALUD :		37°		
CALICATA	PROFUNDIDAD	LL	LP	IP
CALICATA 5	1.20 mts	--	--	--
CALICATA 2	1.20 mts	30	22	8
CALICATA 3	3 mts	30	22	10
CALICATA 4	5 mts	34	20	14

SIMBOLOGIA	
	NIVEL FRATICO
	PERFIL
	QUEBRADA
	CALICATAS
	BASAMENTO ROCOSO
	GC
	CL-ML
	SC
	CH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil		
TESIS: INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*.		PLANO N°: 07
PLANO: PERFIL GEOTECNICO		
TESISTA: CARRASCO VICTORIA, Fernando André		
DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO, 2017	ESCALA: 1:3,000
ASESOR: Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón		

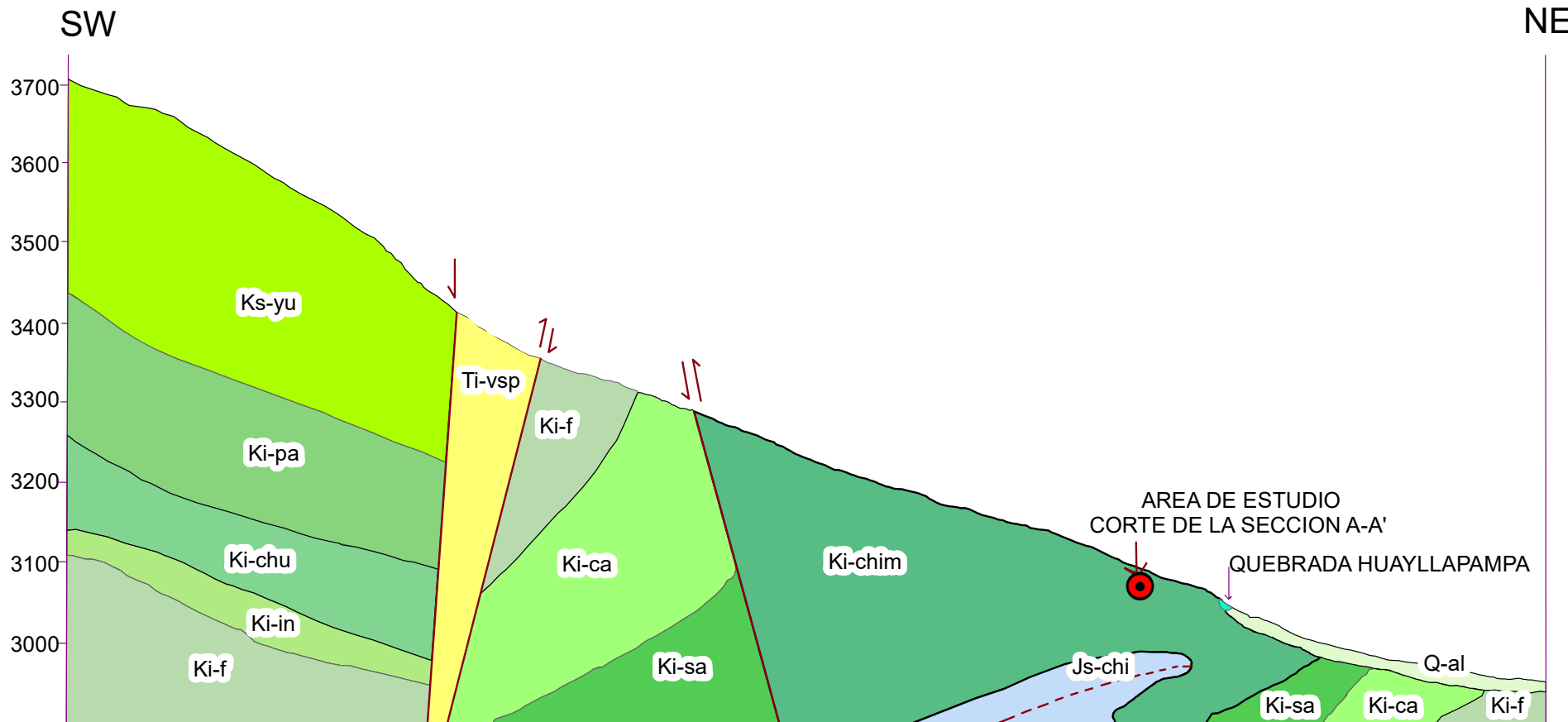
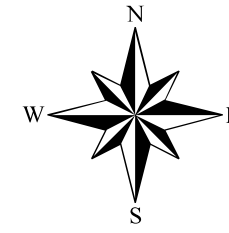
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
SC	Yellow	24.71	Mohr-Coulomb	18.63	11.2
CL-ML	Green	23.34	Mohr-Coulomb	12.75	18.7
GC	Orange	25.79	Mohr-Coulomb	60.8	8.3



ANGULO PROMEDIO DE INCLINACION DE LAS SECCIONES 37°

LITOLOGIA DEL BASAMENTO ROCOSO
ARENISCA Y CUARCITA

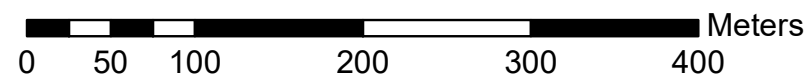
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
	TESIS INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA*.		
	PLANO: PLANO CUÑA DEL DESLIZAMIENTO	PLANO N°: 08	
TESISISTA: CARRASCO VICTORIA, André			
DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO, 2017	ESCALA: 1:250,000,000	
ASESOR: Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón			





LEYENDA

- Area de estudio
- Fallas
- perfil
- Ti-vsp
- Q-al
- Js-chi
- Ki-chim
- Ki-sa
- Ki-ca
- Ki-f
- Ki-in
- Ki-chu
- Ki-pa
- Ks-yu

ESCALA VERTICAL : 1:7500



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil			
	TESIS INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN EL DESLIZAMIENTO DE MASAS DE SUELOS EN LA QUEBRADA HUAYLLAPAMPA.		
	PLANO: PERFIL GEOLOGICO DE CRUZ BLANCA		PLANO N°: 09
	TESISISTA: CARRASCO VICTORIA ,Fernado André		
	DATUM: WGS 84-ZONA 17S	FECHA: AGOSTO,2017	ESCALA: 1:4,500
	ASESOR Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón		