Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

"Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos" caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Gerson Gairzhiño CARPIO ROTTIERS

ASESOR

Dr. Tomás Ezequiel GALLARDAY BOCANEGRA

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Carpio, G. (2020). *"Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos" caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código ORCID del autor	—
DNI o pasaporte del autor	48069914
Código ORCID del asesor	0000-0003-2716-7419
DNI o pasaporte del asesor	08085704
Grupo de investigación	—
Agencia financiadora	—
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lugar (Peru, Departamento de Cusco, Provincia de Chumbivilcas, Distrito de Llusco) Coordenadas geográficas (14° 23’ 27” Sur, 72° 06’ 34” Oeste.)
Disciplinas OCDE	Geotecnia http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.02

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

De acuerdo a la Resolución Rectoral Nº 01242-R-20, usando la plataforma virtual Google Meet el día jueves 17 de setiembre del año 2020 siendo las 16:00 horas, y luego de instalar el acto académico protocolar el Vicedecano Mg. Alfonso Alberto Romero Baylon en la presencia de los miembros del Jurado Calificador:

Dr. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN	(Presidente de Jurado)
Ing. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL	(Miembro de Jurado)
Ing. CÉSAR JORGE GARCÍA MILLA CUADROS	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico virtual público de colación de la Tesis del Bach. **GERSON GAIRZHIÑO CARPIO ROTTIERS**, quien sustentará virtualmente la Tesis titulada: **"ANALIZAR LA ESTABILIDAD DE LADERAS DE LOS DESLIZAMIENTOS EN SUELOS ARCILLOSOS" CASO DE LOS POBLADOS DE LUTTO, KUTUTO Y LLUSCO, REGIÓN CUSCO** su asesor fue el docente Dr. Tomas Ezequiel Gallarday Bocanegra, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación virtual respectiva, plantearon virtualmente al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A **SATISFACCIÓN DEL JURADO**
El Jurado procedió a la calificación virtual, cuyo resultado fue:
APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (16) Dieciséis.

Habiendo sido aprobada la Sustentación virtual de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **GERSON GAIRZHIÑO CARPIO ROTTIERS.**
Siendo las 17:30 horas se dio por concluido el acto académico virtual, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 17 de setiembre de 2020

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
PRESIDENTE DE JURADO

ING. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL
MIEMBRO DE JURADO

ING. JORGE CÉSAR GARCÍA MILLA CUADROS
MIEMBRO DE JURADO

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 9
RESUMEN EJECUTIVO 10
1. INTRODUCCIÓN 12
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
1.2.1. Problema General 15
1.2.2. Problemas Específicos 15
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 15
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 17
1.4.1. General 17
1.4.2. Específicos 17
2. MARCO TEÓRICO 17
2.1. ANTECEDENTES 17
2.1.1. Evaluación de daños 19
2.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO 20
2.2.1. Ubicación 20
2.2.2. Accesibilidad 22
2.2.3. Geografía 22
2.2.4. Clima 22
2.2.5. Vegetación 24
2.2.6. Hidrografía 24
2.3. GEOMORFOLOGÍA 25
2.4. GEOLOGÍA REGIONAL 26
2.4.1. Estratigrafía 26
2.4.2. Tectónica 26
2.5. HIDROGEOLOGÍA 27
2.6. GEODINÁMICA INTERNA 27
2.6.1. Riesgo Sísmico 27
2.7. BASES TEÓRICAS 31
2.7.1. Criterio de Mohr-Coulomb 31
2.7.2. Criterio de Hoek & Brown 33
2.7.3. Rock Mass Rating (Bieniawski) 35
2.7.4. Coeficiente de Permeabilidad 45
2.7.5. Relación del ensayo de DPL y SPT para el cálculo de parámetros geotécnicos 45

2.8. MÉTODOS USADOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES 46
2.8.1. Método de Equilibrio Límite en Taludes 49
2.9. GLOSARIO DE TÉRMINOS 52
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES 55
3.1. GENERAL 55
3.2. ESPECÍFICAS 55
3.3. VARIABLES DEL ESTUDIO 55
4. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTUDIO 56
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 56
4.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN 57
4.2.1. Etapa 1: Recopilación de la información 57
4.2.2. Etapa 2: Procesamiento de data preliminar 57
4.2.3. Etapa 3: Trabajo de campo 57
4.2.4. Fase 4: Trabajo de gabinete 58
4.3. TRABAJOS GEOTÉCNICOS DE CAMPO 58
4.3.1. Geología del área de estudio 59
4.3.2. Geodinámica externa 64
4.3.3. Trabajos Geotécnicos de campo 69
4.4. ANÁLISIS EN GABINETE 78
4.4.1. Aceleraciones Sísmicas según la Norma E.030 78
4.4.2. Constante de la Roca Intacta 80
4.4.3. Condiciones Geotécnica de las Laderas 81
4.4.4. Secciones de Estabilidad de las Laderas 86
Bibliografía 110

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación de la localidad de Llusco 20
Imagen 2. Foto de la localidad de Lutto tomada por un Drone sector Campanayocpata 21
Imagen 3. Mapa de ubicación del distrito de Llusco Fuente: (Mellado, 2011) 21
Imagen 4. Clasificación del clima distrito de Llusco. 23
Imagen 5. Ubicación de las Estaciones meteorológicas 24
Imagen 6. Mapa de curvas de isoaceleraciones del Perú considerando una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. unidades de Gals. 30
Imagen 7. Envolvente del Criterio de rotura lineal de Morh – Coulomb, entre la tensión normal y tangencial 31
Imagen 8. Envolvente de Hoek y Brown, comparando los esfuerzos máximos y minimos ($\sigma 1$, y $\sigma 3$,) y de los esfuerzos normal y tangencial (b). Representación de las condiciones de esfuerzo en una rotura por roca intacta. 34
Imagen 9. Índice Geológico de resistencia 44
Imagen 10. Subdrenes transversales de penetración 48
Imagen 11. Métodos de análisis de estabilidad de taludes 50
Imagen 12. Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas 52
Imagen 13. Afloramiento de roca caliza - formación Arcurquina 60
Imagen 14. Columna estratigráfica Localizada de los poblados de Lutto, Llusco y Kututo 61
Imagen 15. Afloramiento de Tonalita al lado derecho de la quebrada España 63
Imagen 16. Caída de rocas en las laderas del rio Santo Tomas. 65
Imagen 17. Deslizamiento del Sector de Campanayocpata, Localidad de Lutto 66
Imagen 18. Imagen satelital extraído de Google Earth en el año 2016 y 2019, donde se observa el deslizamiento rotacional en el sector de Campanayocpata. 67
Imagen 19. Reptación de suelos Poblado de Llusco 68
Imagen 20. Filtraciones de agua en el distrito de Llusco 69
Imagen 21. Registro de calicata de 2.5 m 70
Imagen 22. Registro de calicata en zonas mapeadas con alto riesgo 70
Imagen 23. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera en el Poblado de Lutto 73
Imagen 24. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera localidad de Lutto 74
Imagen 25. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera en la localidad de Lutto 75
Imagen 26. Valoración del GSI, en base a una Descripción Geológica del Macizo Rocoso 77
Imagen 27. Zonas sísmicas 79
Imagen 28. Mapa de Ubicación del Perfil de estabilidad de laderas en la Localidad de Kututo 88
Imagen 29. Sección de ladera en condiciones estáticas Localidad de Kututo 91
Imagen 30. Sección de ladera en condiciones Pseudo-estáticas en localidad de Kututo 91
Imagen 31. Alternativa de estabilización corte y relleno combinado con Subdren interceptor 92
Imagen 32. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición estática 92
Imagen 33. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición pseudo - estática Norma E0.30. 93
Imagen 34. Secciones de las laderas en la localidad de Lutto 94
Imagen 35. Sección topográfica del 2016 Poblado de Lutto para realizar el Back Analysis. 96
Imagen 36. Análisis retrospectivo del deslizamiento sector Campanayocpata 96
Imagen 37. Análisis de Estabilidad Sección 2, localidad de Lutto para un nivel de freático con una profundidad promedio de 12 metros. 97
Imagen 38. Análisis de estabilidad sección 2, condiciones pseudo – estáticas Norma E0.30 97

Imagen 39. Alternativa de estabilización en la localidad de Lutto, Corte y relleno de enrocado combinado con subdren interceptor.....98
Imagen 40. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición estática98
Imagen 41. Análisis de estabilidad en condiciones pseudo – estaticas Norma E0.30, aplicando la alternativa de estabilización.....99
Imagen 42. ubicación de las lineas de estabilidad de laderas en la localidad de Llusco......100
Imagen 43. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones estáticas, nivel de agua a 5 metros.....102
Imagen 44. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones pseudo - estáticas valor de aceleración máxima horizontal de la Norma E.030, nivel de agua a 5 metros.....103
Imagen 45. Diseño de corte y relleno para la estabilización del talud natural sección 6.....103
Imagen 46. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones estáticas con alternativa de estabilidad, nivel de agua a 5 metros.....104
Imagen 47. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones pseudo – estáticas aplicando la alternativa de estabilidad de corte y relleno combinado con un subdren horizontal, nivel de agua a 5 metros.....104
Imagen 48. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones estáticas, nivel de agua a 11 metros.....105
Imagen 49. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones pseudo - estáticas valor de aceleración máxima horizontal de la Norma E.030, nivel de agua a 11 metros......105
Imagen 50. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones estáticas con alternativa de estabilidad, nivel de freático a 11 metros.....106
Imagen 51. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones pseudo – estáticas aplicando la alternativa de estabilidad de corte y relleno combinado con un subdren horizontal, nivel de agua a 11 metros.....106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Personas y viviendas afectadas en el distrito de Llusco 19
Tabla 2. Impacto en la agricultura en el distrito de Llusco 19
Tabla 3. Rutas de acceso al norte del distrito de Llusco 22
Tabla 4. Tipo de roca y de la constante mi 35
Tabla 5. Rock Mass Rating - Roca Tonalita 38
Tabla 6. Ajuste de Valoración por la orientación de fisuras. 39
Tabla 7. Resultado con la corrección por orientación de discontinuidades 39
Tabla 8. Clasificación del macizo rocoso según la valoración RMR. 39
Tabla 9. Rock Mass Rating - Roca Caliza 40
Tabla 10. Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras 41
Tabla 11. Resultado con la corrección por orientación de discontinuidades 41
Tabla 12. Clasificación del macizo rocoso según la valoración RMR. 41
Tabla 13. Ajuste por Orientación de las Discontinuidades 42
Tabla 15. Relación de la resistencia de la roca intacta con métodos de estimación en campo. 43
Tabla 16. Rangos de Permeabilidad intrínseca y Conductividad Hidráulica para sedimentos no consolidados 45
Tabla 17. Valores empíricos para suelos granulares basados en el ensayo SPT 46
Tabla 18. Correlación de Ensayo SPT con suelos cohesivos 46
Tabla 19. Diferentes métodos de cálculo 51
Tabla 20. Resumen de los registros de calicatas 72
Tabla 21. Resultados de la prueba de Cono de Arena 76
Tabla 23. Factor Z según la zona de estudio. 80
Tabla 24. Valores de la constante mi de la Roca Intacta para los distintos tipos de roca. 81
Tabla 25. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Kututo 82
Tabla 26. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Kututo 83
Tabla 27. Clasificación geomecánica de la Tonalita en el Poblado de Kututo 83
Tabla 28. Clasificación geomecánica de la Caliza en el Poblado de Kututo 83
Tabla 29. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Lutto 84
Tabla 30. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Lutto 85
Tabla 31. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Llusco 85
Tabla 32. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Llusco 86
Tabla 33. Constantes de la Caliza, Criterio de falla de Hoek y Brown 89
Tabla 34. Constantes del macizo rocoso de Tonalita, Criterio de falla de Hoek y Brown 90
Tabla 35. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Kututo 90
Tabla 36. Factor de seguridad talud natural del Poblado de Kututo 93
Tabla 37. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Lutto 95
Tabla 38. Parámetros obtenidos del back analysis 99
Tabla 39. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-2 100
Tabla 40. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-3 100
Tabla 41. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-4 100
Tabla 42. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Llusco 101
Tabla 43. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Llusco SC-5 102
Tabla 44. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Llusco SC-6 102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Registros de calicata
ANEXO 2. Ensayos de laboratorio
ANEXO 3. Ensayos in situ
ANEXO 4. Asentamiento en Lutto 2017
ANEXO 5. Grietas en el colegio de Lutto
ANEXO 6. Ensayo Cono de arena N°1. Determinar la densidad del suelo
ANEXO 7. Grietas tensionales en la Losa de Futbol de Lutto
ANEXO 8. Casas con grietas registro de asentamientos en el poblado de Kututo
ANEXO 9. Casas con grietas registro de asentamientos en el poblado de Lutto
ANEXO 10. Grietas en la carretera de Kututo a Lutto.
ANEXO 11.Grieta tensional registrada antes del deslizamiento del año 2018
ANEXO 12. Deslizamiento ocurrido en Marzo del 2018 desapareciendo parte de la carretera Lutto-Llusco
ANEXO 13. Estudio de los horizontes de suelos en los cortes del Poblado de Kututo.
ANEXO 14. Suelos Arcillosos en los cortes de carretera del poblado Kututo
ANEXO 15. Reptación de Suelos en el Poblado de Llusco
ANEXO 16. Grietas tensionales talud natural del Poblado de Llusco
ANEXO 17. Pie del deslizamiento de Lutto, Sector de campanayocpata
ANEXO 18. Una de las casas destruidas por el deslizamiento en Lluto, se observa el suelo removido
ANEXO 19. Fisuras en las casas de los poblados cercanos que indican el movimiento del suelo
ANEXO 20. Posta medica de Lluto destruida por el deslizamiento en Llusco
ANEXO 21. Casas ubicadas en el cuerpo principal del deslizamiento
ANEXO 22. Escarpes secundarios, grietas transversales y longitudinal
ANEXO 23. Diaclasas registradas con un espaciamiento de 5cm, sin relleno
ANEXO 24. Diaclasas registradas con un espaciamiento de 10cm sin relleno
ANEXO 25. Grietas tensionales al costado entre el colegio de Lutto y el deslizamiento
ANEXO 26. Grieta de 50 cm de Abertura en el poblado de Lutto
ANEXO 27. Estación geomecánica afloramiento de calizas de la formación Arcurquina
ANEXO 28. Vista Panorámica del Salto del Deslizamiento de Lutto.
ANEXO 29. Suelo arcilloso englobando clastos de caliza poblado de Lutto
ANEXO 30. Saltos de deslizamientos en arco de 40 cm
ANEXO 31. Grietas tensionales Poblado de Kututo
ANEXO 32. Filtración de agua
ANEXO 33. Registro de calicata zonas mapeadas con alto riesgo
ANEXO 34. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera Poblado de Lutto, Distrito de Llusco
ANEXO 35. Ensayo de Cono de arena horizonte arcilloso
ANEXO 36. Escarpe del deslizamiento de Lutto sector de Campanayocpata.
ANEXO 37. Grietas tensionales poblado de Llusco
ANEXO 38. Horizontes del poblado de Lutto, Material arcilloso sobre Conglomerados encerrados en una matriz limo arcillosa.
ANEXO 39. Registro de calicatas ladera abajo horizonte de gravas arcillosas del poblado de Kututo
ANEXO 40. Ensayo de cono de arena en el horizonte de arcillas
ANEXO 41. Toma de muestra calicata 7 para ensayos de laboratorio
ANEXO 42. Reunión con las Autoridades del Distrito de Llusco para coordinar trabajos de campo

Dedicatoria

En primer lugar agradezco a Dios por permitirme realizarme y seguir creciendo profesionalmente.

A mis padres Nicolas Carpio y Rosa Rottiers por todo su apoyo incondicional en todas las etapas de mi formación académica. A mis hermanos, Rafael Carpio y Grecia Carpio.

A mi abuela Juana Carpio, que desde el cielo siempre me manda fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Municipalidad Distrital de Llusco, área de Defensa civil, por permitirme realizar este estudio y por su apoyo en la ejecución de los ensayos de campo y la disposición su personal durante la etapa de investigaciones geotécnicas.

Dr. Tomas Gallarday Bocanegra, Director de la escuela profesional de Ingeniería Geológica, por su dirección constante en la realización de esta tesis.

Ermitaño Alvis Cuba, Alcalde del distrito de Llusco, por el permiso y apoyo recibido en la ejecución del estudio en el norte del distrito de Llusco.

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Ing. Briant Garcia Fernandez Baca, por su apoyo en el inicio de la investigación brindándome pautas e información levantada en campo.

Ing. Olimpio Angeles Girón, por su apoyo y orientación en el modelamiento y evaluación en la estabilidad de taludes

Ing. Christian Obregón, por su apoyo en la parte técnica del desarrollo de la tesis y las sugerencias en la aplicación de soportes para estabilizar los taludes.

Ing.Gary Olivo, por su apoyo y orientación en el planeamiento y ejecución de las investigaciones de campo, así como también en el modelamiento de las laderas de Llusco.

Ing. Anthony Vila Vila, por su apoyo en campo en la recopilación de datos de campo y ejecución de ensayos durante las investigaciones geotécnicas.

Ing. Yallitza Loncharich, por su apoyo al realizar las gestiones y permisos para poder realizar las investigaciones y obtención de muestras.

A todos mis compañeros de estudio, a mis distinguidos profesores y a todos mis amigos que me han apoyado en el transcurso de mi desarrollo profesional.

RESUMEN EJECUTIVO

El poblado de Lutto fue afectado por un deslizamiento en forma de cuchara de gran dimensión, el cual ha dejado grandes pérdidas materiales y ha afectado a obras que involucraron fuertes inversiones como la nueva posta médica de Lutto. Estas construcciones y los proyectos se realizaron sin tener en cuenta los riesgos naturales y posibles indicadores de deslizamientos, como es el caso de este último evento.

El presente trabajo involucra una evaluación de estabilidad de laderas o taludes naturales en la zona norte del Distrito de Llusco, esto ya que por estudios preliminares se observó el afloramiento del mismo tipo de suelos y litología rocosa de mantos de tobas o tufos volcánicos de gran porosidad, conformando así un escenario similar al del último deslizamiento ocurrido.

Asimismo, se ha realizado un mapeo geológico – geotécnico en veinte días, donde se pudo identificar ciertos indicadores de posibles futuros deslizamientos, como son las grietas tensionales y topografía ondulada en ciertas laderas de la localidad de Llusco. Además, se marcaron los puntos de muestreo para ensayos in situ y ensayos de laboratorio, así como también la clasificación geomecánica de los macizos rocosos y registro de los suelos mediante calicatas.

Los resultados de este estudio se ven reflejados en las secciones de análisis de estabilidad, para lo cual el modelo geotécnico se basó en tres trabajos de campo que comprenden los al mapeo geotécnico hecho en campo, interpretación geológica y tomografía geoeléctrica. Este último, se realizó con el objetivo de conocer mejor la disposición de los suelos y rocas.

Para obtener los parámetros de los materiales geotécnicos se han realizado ensayos de laboratorio y ensayos in situ, como es el ensayo de corte directo, ensayo de granulometría, límites de Atterberg, ensayo de DPL y ensayo de cono de arena, con lo cual se ha obtenido el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción de los horizontes de suelos.

El análisis de estabilidad se ha realizado usando las propiedades mecánicas obtenidas del laboratorio y los ensayos in situ. Sin embargo, en los casos donde se identificaron rasgos de movimiento como grietas tensionales, se ha realizado una análisis retrospectivo o Back Analysis para poder ajustar las propiedades mecánicas a la realidad, para ello se utilizó el método de Morgenstern Price, ejecutado en el paquete de rocscience 6.0. Finalmente se obtuvo el factor de seguridad de las diferentes secciones, antes y después de realizar las medidas de

reforzamiento o modificaciones de la geometría de los taludes. Los análisis se realizaron con el criterio de rotura de Morh-Coulomb (para suelos y rocas muy fracturadas)

Los análisis de estabilidad se han realizado en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, en el caso de condiciones pseudo-estáticas se ha considerado la aceleración horizontal de 0.11g y 0.17g, tomando como referencia las isoaceleraciones del IGP y la norma E.030 de Diseño sismo resistente respectivamente, en el caso de la aceleración vertical no se ha considerado ya que la zona de estudio no se encuentra en una zona de hipocentros, las aceleraciones horizontales se han considerado para un 10% de excedencia en 50 años.

Finalmente, los principales problemas de inestabilidad en la zona de estudio se desencadenan por factores desfavorables como es la sismicidad de la zona sumado a esto el aumento del nivel freático que ocasiona una mayor presión de poros y las discontinuidades mapeadas en campo obteniendo en las zonas taludes naturales con medio a alto riesgo a remociones de masas.

Las soluciones que se presentan para poder remediar las laderas inestables que se están considerado para poder darle una solución económica y viable para la zona es la modificación geométrica de los taludes naturales, construcción de banquetas, muros de contención, subdrenes horizontales (Izquierdo & Niño, 2012), los que son posibles de realizar de acuerdo a los análisis efectuados, y como resultado nos presenta un factor de seguridad adecuado.

1. INTRODUCCIÓN

Las laderas inestables en masas de suelos y rocas es un problema muy común en zonas de alta pendiente, por lo que constituye una parte muy estudiada en las llamadas geociencias de la tierra, como es la geotecnia, una especialidad que nos ofrece y explica métodos para evaluar la estabilidad y corregir las futuros movimientos en las laderas o zonas con indicadores de movimientos constantes. (Oliva, 2015)

La evaluación de laderas y fenómenos de remoción de masa en lugares de alta pendiente, analizando la sismicidad, precipitación pluvial, topografía, y parámetros geotécnicos de los suelos y rocas es muy importante al momento de ejecutar obras o realizar proyectos como los que están en marcha actualmente, como es la construcción del nuevo colegio en Lutto y la nueva posta médica, en la cual se ha presupuestado millones de soles que se podrían perder de un inadecuado estudio de geodinámica externa.

Este estudio se basa en una investigación geológica – geotécnica realizada en los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, debido a que son los poblados con mayor población en el norte del distrito de Llusco. Se realizó este estudio con el fin de evaluar la interacción entre la estabilidad de las laderas con los procesos de geodinámica externa y recomendar soluciones seguras y estables con el fin de minimizar la exposición a fenómenos de remoción de masa.

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El distrito de Llusco, ubicado dentro de la Provincia de Chumbivilcas con una población de aproximadamente 4,368 habitantes (INEI, 2017) presenta zonas muy inestables en donde se han manifestado diversos tipos de remoción de masas convirtiéndose así en una zona de alto riesgo. Este sector no presenta un correcto estudio de riesgos, por lo que es muy vulnerable ante cualquier desastre por deslizamientos. Un claro ejemplo fue el último deslizamiento ocurrido en el poblado de Lutto, el cual afectó directamente a alrededor de 400 personas en el sector de Campanayocpata, en el año 2018. Este deslizamiento presentó un escarpe de falla de aproximadamente 38 metros (García & Aguilar, 2018),

siendo este considerado como su máximo salto de falla, ya que un año antes del deslizamiento era de 1 metro. En ese sentido, el presente estudio nos permitirá determinar los riesgos de que ocurra una falla en las laderas del norte del distrito de Llusco, sectorizando el estudio en las zonas con rasgos geodinámicos como reptación de suelos, aludes, movimientos en masa, sismos del basamento rocoso y materiales cuaternarios que hayan sido impactados por obras civiles (carreteras, canales, plataformas, catastro urbano); es decir, por acción del hombre. Asimismo, se tiene como objetivo contribuir en brindar los resultados del presente estudio y una copia del mismo a las autoridades de este distrito para que puedan tomar decisiones con respecto a la situación actual que atraviesan.

Por las características del sector y los eventos de movimientos de masas mencionados en el párrafo anterior, se plantea realizar una investigación evaluando la estabilidad de las laderas en sectores que puedan comprometer la integridad de las poblaciones del norte del distrito de Llusco.

Cabe resaltar que en este sector ya se han realizado algunos estudios geológicos y caracterización de los suelos, en tanto a los tipos de roca se han identificado materiales volcánicos y depósitos cuaternarios bajo arcillas orgánicas (García Fernández, 2018). Asimismo, el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa, generado por el Ingemmet (INGEMMET, 2010), demuestra que existe un peligro alto a lo largo de toda la quebrada España que involucra al área del deslizamiento que afecta al distrito de Llusco.

Uno de los temas principales, en este presente informe, es el estudio de los principales parámetros que afectan a la estabilidad de las laderas del distrito de Llusco y delimitación de las zonas que se verían afectadas ante una ocurrencia de remoción de masa. Por esta razón, se busca identificar las principales variables que afectan la estabilidad de la zona, los principales fenómenos que podrían ocurrir, el volumen de masa a deslizarse y la huella del deslizamiento que ocuparía en las peores condiciones según los parámetros que la afectan.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El distrito de Llusco está asentado en rocas calizas y areniscas altamente fracturadas y muy alteradas aflorando también un intrusivo tonalítico alterado entre la quebrada España y el río Santo Tomás. Cuando estos materiales son saturados debido a las altas precipitaciones que presenta la zona hacen que ciertos sectores sean susceptibles a generar movimientos de masa, por lo que es necesario realizar un estudio de riesgos geológicos y delimitar las zonas de alto riesgo a eventos de remoción de masa.

Existen varios tipos de remociones de masas considerando diversos factores, como por ejemplo, los tipos de materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura, el grado de saturación que alcanza. Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de remociones de masa, así como las velocidades de desplazamiento y el volumen del material desplazado. Además, son frecuentes los procesos combinados, como por ejemplo deslizamientos que derivan en flujos (Lara & Sepúlveda, 2008).

En el Sector de estudio, se producen intensos procesos, tanto exógenos como endógenos que van modelando el territorio, constituyendo diferentes geoformas en este medio. Producto de la interacción de aspectos ambientales geológicos y antrópicos se generan eventos de movimientos en masa, los cuales en un contexto de cambio climático tienden a intensificarse por efecto principalmente de lluvias intensas que en varias ocasiones han producido importantes daños y afectando periódicamente la infraestructura física del territorio así como distintos centros poblados (PREDES, 2012).

1.2.1. Problema General

¿Cuáles serían las soluciones más adecuadas para los poblados de Lutto, Llusco y kututo (14°20′19″S 72°06′54″O) de estar asentados en laderas inestables, con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a moderado?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿El cartografiado temprano a escala 1:5000 del norte distrito de Llusco, los ensayos Geofísicos y la determinación de los parámetros de los suelos y rocas, permitirán mitigar los riesgos por geodinámica externa del área?
- ✓ ¿Qué localidades afectaría una remoción de masas en el norte distrito de Llusco?
- ✓ ¿De qué manera el estudio de análisis de estabilidad de laderas contribuirá con la evaluación del distrito de Llusco?
- ✓ ¿Cuál es el alcance real que tendría una remoción de masas en el distrito de Llusco y que impacto tendría una remoción de masas en la actualidad?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El Perú está sometido a constantes desastres naturales por la deficiente planificación urbana junto a la ocurrencia de muchos tipos de fenómenos naturales por el mismo clima que presenta y los tipos de suelos y rocas que alberga. Asimismo, la topografía en las zonas de la sierra hace que los factores naturales y antrópicos alteren la estabilidad de algunas zonas evidenciándose en forma de remociones de masa que terminan afectando a la misma población. No se tiene un claro conocimiento de las zonas que podrían ser afectadas por estos fenómenos que cíclicamente se van repitiendo e incluso en algunas temporadas se manifiestan con mayor intensidad provocando mayor magnitud de afectación en la población Peruana.

De acuerdo con la evaluación de daños del INDECI actualizado al 23 de julio, el deslizamiento en Llusco dejó 314 damnificados, 49 viviendas colapsadas y

57 inhabilitadas. Asimismo, una institución educativa presentó daños, colapsó un centro de salud y se afectaron 2 camiones rurales. Por otro lado, hubieron pérdidas de animales, hectáreas de cultivos y canales de regadío afectados y colapsó un kilómetro de carretera (El Comercio, 2018)

Si bien el Ingemmet propuso dos sectores como posibles zonas seguras de reubicación, estas zonas no tienen un estudio adecuado que pueda garantizar efectivamente la seguridad de la población. Por esta razón una de las recomendaciones por parte del Ingemmet fue considerar un lugar de reubicación óptimo para la población, analizado al detalle y realizando otros estudios complementarios (estudio de suelos y geofísica), con la finalidad de conocer mejor las características geológicas y físicas del terreno (García & Aguilar, 2018)

Son estas consideraciones y estudios complementarios recomendados los que se tomarán en cuenta en la realización de este proyecto de tesis considerando como método de investigación la evaluación de riesgos por peligros naturales y antrópicos en el distrito de Llusco que podría servir como modelo para las diferentes zonas que son afectadas y así poder determinar las zonas más cercanas y seguras. Asimismo, serviría como una herramienta y una metodología económica y factible para el Estado para determinar las zonas más seguras para la población.

Finalmente, se plantea determinar el volumen de la masa a deslizarse y la huella que ocuparía así como las consecuencias que traería a las zonas aledañas al distrito de Llusco. Esto sería de gran utilidad para la población, ya que contarían con un mapa de zonas más seguras y podrían reubicarse ante cualquier alerta de riesgo.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. General

- ✓ Mitigar mediante un estudio de evaluación de laderas la exposición de la población a las zonas de medio a alto riesgo, proponiendo soluciones eficaces y económicamente viables utilizando los recursos al alcance de las autoridades, con el fin de garantizar la integridad de la población, sin pérdidas materiales.

1.4.2. Específicos

- ✓ Estudiar la historia sísmica del distrito de Llusco, y a la vez la historia de deslizamientos, taludes y movimientos en masa que nos permita identificar las zonas de mayor riesgo a desastres por peligros naturales y antrópicos.
- ✓ Realizar un análisis granulométrico, mapeo de los principales componentes litológicos y tomografía eléctrica a las zonas de mayor riesgo en el distrito de Llusco.
- ✓ Evaluar métodos de reforzamiento de laderas económicos en zonas que podrían afectar a población directamente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Los fenómenos naturales se expresan como ciclos que son necesarios para llegar a un equilibrio natural, sin embargo, estos generan una amenaza directa a la población por las condiciones específicas en la que muchas veces se encuentran asentados, aumentando su vulnerabilidad ante fenómenos ya conocidos y registrados en la historia (PREDES, 2012). Los agrietamientos en el sector se vienen presentando desde el año 1998, aumentando de forma progresiva en longitud en los años 2004, 2012 y 2015.

Entre agosto y diciembre del año 2017 se observó un salto considerable de 2 metros que se dieron en las fechas del 16 de diciembre y el 10 de enero, 1 metro aproximadamente en cada etapa, finalmente tuvo lugar el principal evento con

un desplazamiento vertical o salto de 38 metros de altura y un ancho de 250 metros con un área aproximada de 11 hectáreas. (García & Aguilar, 2018).

El principal fenómeno de remoción de masa que se evidencia en la zona de estudio en el poblado de Lutto es un deslizamiento, el cual se describe como un movimiento de suelos o roca altamente fracturada, cuyo desplazamiento presenta una superficie de deslizamiento definida, por el cual los esfuerzos cortantes superaron a los esfuerzos resistentes y como consecuencia la ocurrencia del deslizamiento.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Varnes (1978), los deslizamientos se clasifican, por la forma de la superficie del deslizamiento es decir la superficie por la cual se desplaza el material, existen 2 tipos: los traslacionales y rotacionales. Con respecto a los deslizamientos traslacionales estos pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, la superficie de los deslizamientos son aún mucho más complejos que las de los dos tipos anteriormente descritos, ya que puede ser la combinación de los mismos es decir presentar segmentos curvos y segmentos planares, en este caso el nombre que se le da a este tipo de superficie es deslizamiento compuesto (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

En el informe de Ingemmet se emite un informe técnico en el cual se evalúa las condiciones del deslizamiento ocurrido en el poblado de Lutto, señalando que el factor desencadenante de esta remoción de masas se relaciona principalmente con la intensidad de precipitaciones pluviales de la temporada, la litología alterada y el socavamiento del río por las constantes crecidas.

En el caso del cerro Campanayocpata, el gatillador del deslizamiento es el aumento de la presión de poros, empujando el terreno laderas; este empuje de terreno se manifiesta con los diversos agrietamientos y una geomorfología ondulada, esto sumado con las secuencias de conglomerados, limos y areniscas de la zona, a las cuales se considera de mala calidad geotécnica (COEN - INDECI, 2019)

Los deslizamientos son originados por el sobrepastoreo, la intensidad de cultivos, una red de canales de riego descubiertos o colapsados, la falta de forestación con plantas nativas y por la presencia de un mando rocoso de tobas o tufos volcánicos de gran porosidad. (Ibáñez Sánchez, 2018).

2.1.1. Evaluación de daños

Actualizado al 25 de enero del 2019.

Tabla 1. Personas y viviendas afectadas en el distrito de Llusco

UBI.	VIDA Y SALUD (PERSONAS)	VIV. Y LOCALES PÚBLICOS			
	DAMNIFICADA	VIV. COLAPSADA	VIV. INHABITABLE	II.EE. AFECTADA	EE.SS. COLAPSADO
DIST. LLUSCO	314	49	57	1	1

Fuente: (COEN - INDECI, 2019)

Tabla 2. Impacto en la agricultura en el distrito de Llusco

UBI.	AGRICULTURA						
	CANAL DE RIEGO COLAPSADO	CANAL DE RIEGO AFECTADO	ANIMALES PERDIDOS	ANIMALES AFECTADOS	ÁREA DE CULTIVO PERDIDO (Has)	ÁREA DE CULTIVO AFECTADO (Has)	COBERTURA NATURAL DESTRUIDA (Has)
DIST. LLUSCO	2.5	2.9	300	585	22	25	4
Nota: Institución educativa primaria - secundaria N° 56271 - Lutto Kututo							
Establecimiento de salud de Lutto Kututo							

Fuente: (COEN - INDECI, 2019)

2.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1. Ubicación

La zona evaluada está ubicada, en el sector Campanayocpata, distrito de Llusco, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Fig. 1). Las coordenadas geográficas son: 14° 23’ 27” Sur, 72° 06’ 34” Oeste, y una cota de 3,520 msnm.

La accesibilidad a la zona afectada se realiza a través de Cusco o Arequipa. Para acceder a la zona afectada se ingresó desde Arequipa: Carretera Interoceánica Sur hasta el desvío a Condoroma – Mina Tintaya, continua a través de una carretera asfaltada hasta la ciudad de Espinar, siguiendo una carretera afirmada hacia el distrito de Velille (Chumbivilcas), luego una vía asfaltada hasta Santo Tomás y finalmente a través de una trocha carrozable en dirección al distrito de Llusco hasta llegar a la comunidad de Lutto. (García & Aguilar, 2018)

Se tiene registrado en la localidad una población de 7043 habitantes (INEI, 2014), lugar donde fueron afectadas 314 personas directamente, 49 viviendas colapsadas siendo afectada también parte de la carretera y el de abastecimiento de agua y las tuberías de desagüe.(INDECI, 2019)

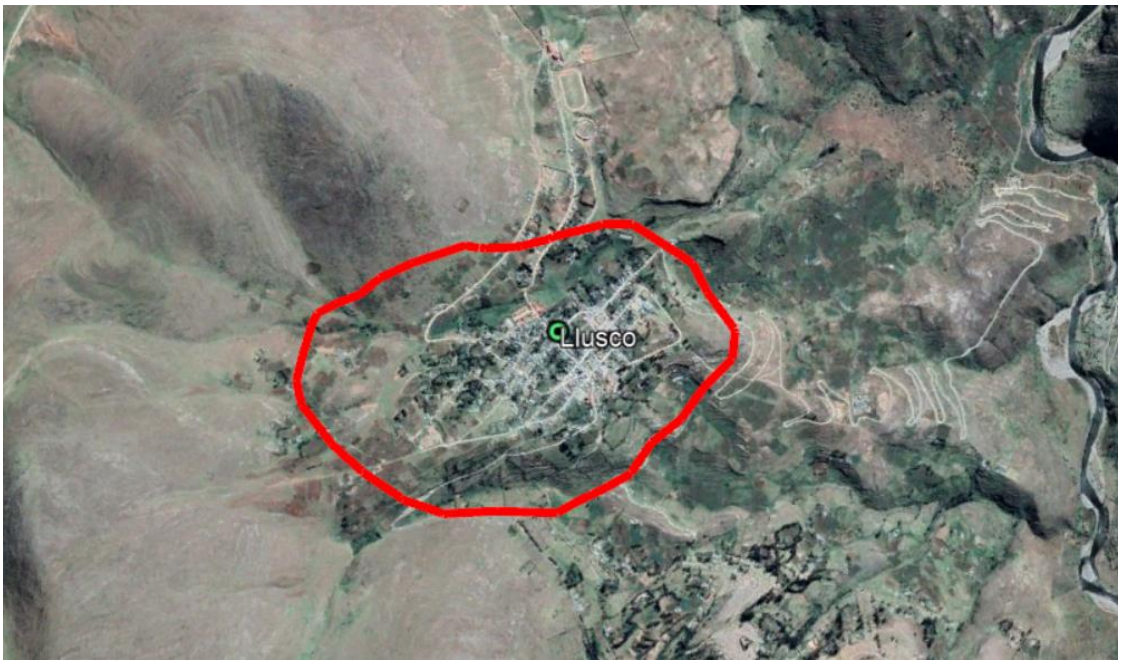


Imagen 1. Ubicación de la localidad de Llusco



Imagen 2. Foto de la localidad de Lutto tomada por un Drone sector Campanayocpata

Fuente: (García & Aguilar, 2018)



Imagen 3. Mapa de ubicación del distrito de Llusco
Fuente: (Mellado, 2011)

2.2.2. Accesibilidad

Se accede a la comunidad partiendo por una vía carrozable desde la ciudad de Santo Tomás. (Mellado, 2011)

Tabla 3. Rutas de acceso al norte del distrito de Llusco

Desde	Hasta	Tiempo (horas)	Tipo de vía	Medio de transporte
Cusco	Santo Tomás	8 horas (237 km)	Carretera afirmada	Transporte público
Santo Tomás	Llusco	1.5 horas (20 km)	Carrozable	Transporte público

Fuente: (Mellado, 2011)

2.2.3. Geografía

La zona de estudio se ubica geográficamente en la cordillera occidental entre los 3,200 y 4,000 msnm, en los poblados de Lutto, Llusco y Kututo. En el sector se observa relieve peleplanizado, que es característico en un ambiente de rocas volcanogénicas, asimismo, se observa valles encañonados profundos, como consecuencia de la erosión de las calizas de la formación de Arcurquina. El valle principal es Santo Tomás, ubicado en un relieve montañoso constituyendo las partes más altas de la zona de estudio formado por cerros nevados que alcanzan los 5,000 m.

De acuerdo a las regiones naturales reconocidas por Pulgar Vidal en 1986, se reconocen las regiones Janca, Puna, Suni y Quechua en la zona de estudio. (Pulgar, 1986)

2.2.4. Clima

Por parte del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la zona de estudio tiene 2 estaciones meteorológicas cerca de la zona de estudio y una estación hidrológica las cuales están en funcionamiento.

Para la zona de estudio, la precipitación pluvial acumulada anual es de 800 a 1000 mm. La Imagen N° 4 muestra la clasificación climática del Perú, donde el

valle del rio Santo tomas corresponde a un clima lluvioso, húmedo, semifrígido y con precipitaciones temporales, temperaturas anuales promedio de 7°C, presenta veranos lluviosos e inviernos secos con heladas moderadas.

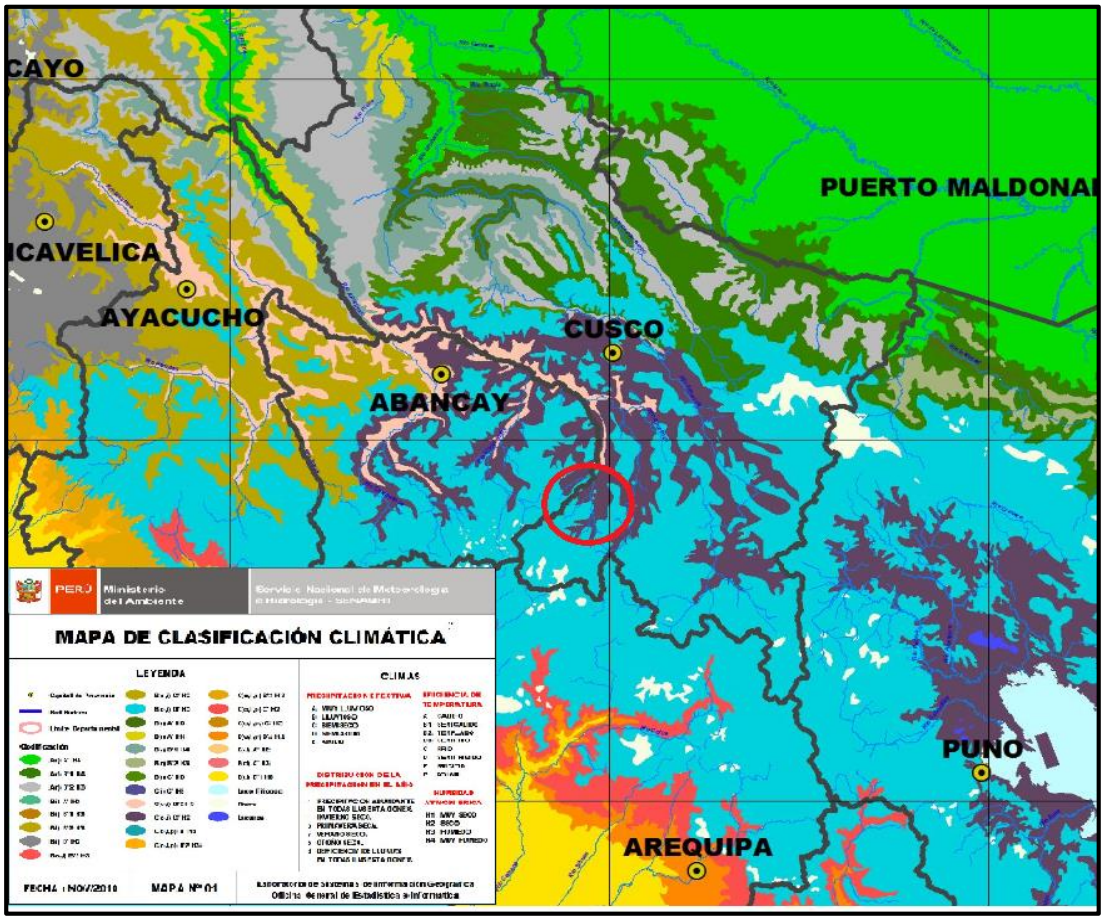


Imagen 4. Clasificación del clima distrito de Llusco.

Fuente: (SENAMHI, 2010)

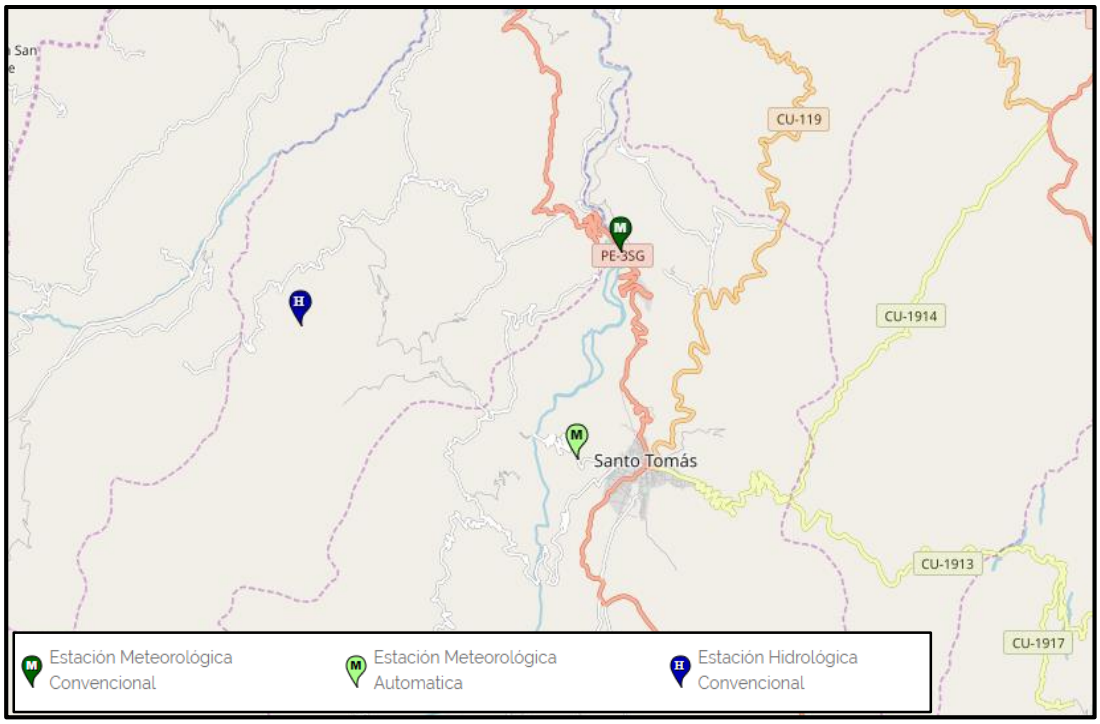


Imagen 5. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

Fuente: (SENAMHI, 2019)

2.2.5. Vegetación

Como vegetación natural se encontraba conformada por gramíneas, arbustos y árboles de molle, sauce y eucalipto, abundancia de retama, nogal y maguey.

Entre 3,300 y 4,000 crece la gramínea que permite la ganadería a gran escala. En el sector de estudio se practica la agricultura para el consumo humano, se produce la papa, quinua, oca, etc.

Entre los 4,000 y 5,000 m de altura se tiene vegetación natural tupida conformada por ichu como alimento del ganado, quinuales y eucaliptos.

2.2.6. Hidrografía

La provincia de Chumbivilcas está conformada por tres cuencas hidrográficas, que corresponden a los ríos principales de Santo Tomás, Velille y Livitaca y además cuenta con doce ríos tributarios que dan origen a las sub cuencas,

identificadas, con sus mismos nombres. El potencial hídrico de la provincia está reflejado en 179 m3/seg. de caudal medio anual de todos los ríos, de entre los cuales el río Santo Tomás cuenta con el 62.9 m3/seg. de caudal medio anual, el Río Velille con 49.9 m3/seg. de caudal medio anual y el río de Livitaca el 12.4 m3/seg. de caudal medio anual. Su gran potencia de agua se refleja en sus 5,630 millones de m3 que dinamiza al año.

En la provincia de Chumbivilcas se tiene la cuenca hidrográfica del río Santo Tomás, sus orígenes son a los 5,000 metros de altura en el departamento de Arequipa en los nevados de Ochuso y Cheque y el poblado de Pashma, en el distrito de Llusco, dando origen al río Huancarana, Cañahuaymayo y Ranrapata uniéndose estas en las proximidades del poblado de Lara, cerca de Santo Tomás a 3,660 m.s.n.m. siguiendo su recorrido a lo largo de Llusco y Quiñota, delimita a los distritos de Ccapacmarca y Haquira (geográficamente) y recibe el caudal del río Colchaca para posteriormente unirse con el río Velille en las confluencias de la provincia de Paruro.

2.3. GEOMORFOLOGÍA

El área, materia de la presente tesis, está ubicado geográficamente en los Andes Peruanos, vertiente Oriental de la cordillera Occidental la cual representa una cadena montañosa denominada Cordillera Huanzo, desembocando estas aguas en el océano Atlántico.

En el área de estudio, uno de los rasgos geomorfológicos más importantes ubicado entre los 3,800 y 4,500 es la gran llanura andina. (Pecho, 1981) Superficie puna, la cual se presenta con una topografía accidentada, como se presenta en los valles profundos y encañonados como el valle de Kututo, por donde el agua de los ríos con el tiempo va socavando más los valles.

Este paisaje es resultado de los diferentes agentes erosivos asociados a los levantamientos tectónicos la cordillera de los andes, que inicio con el Mioceno, depositándose luego unidades volcánicas del Terciario Superior y finalmente el

Cuaternario, donde se puede diferenciar unidades geomorfológicas como: Relieve Montañoso, Altiplanicie y Valles.

2.4. GEOLOGÍA REGIONAL

2.4.1. Estratigrafía

La zona de estudio se encuentra dentro del cuadrángulo de Santo Tomas a escala 1:50 000 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, hoja 29-r2, compuesta de rocas sedimentarias del Jurásico del Grupo Yura, en el cretáceo la formación Murco y Arcurquina bajo el Volcanico Vilcarani del Neogeno. Estas formaciones fueron descritas por Jenks, Galdos y Carrasco (2003)

2.4.2. Tectónica

El Perú se encuentra ubicado entre una de las localidades de mayor peligro sísmico debido a su cercanía a la interacción entre la placa de Nazca y Sudamericana, por lo que forma parte del cinturón del circumpacífico.

La evolución de la orogénesis causada por la subducción de la placa de Nazca sobre la Sudamericana, se interpreta por las constantes fases tectónicas identificadas en la cordillera de los andes y la fosa oceánica Perú – Chile.

Las fases tectónicas han deformado (plegado y fracturado) principalmente las formaciones de la edad Mesozoica y Cenozoica. Las fases que están relacionadas con las rocas que afloran en el área de estudio son, Fase Peruana, Fase Incaica y Fase Quechua

Producto de la convergencia entre la Placa de Nazca y Sudamericana, se tiene como resultado la subducción de la Plaza de Nazca, que con el tiempo ha dado pase a la formación de la cadena montañosa de los Andes y la Fosa Perú – Chile en las diferentes etapas evolutivas mencionadas anteriormente.

Las evidencias en superficie de la evolución tectónica en el área se expresa según: (Berrocal et al, 1975).

- Coordillera de los Andes.

- Rasgos de deformación como los pliegues y fallas representadas en la zona de estudio y las intrusiones magmáticas asociadas.
- Fallas de gran escala tanto normal e inversa y de sobreescurrimientos.

2.5. HIDROGEOLOGÍA

La zona de estudio presenta un nivel de agua que varía entre 9 metros y 13 metro de profundidad, según los registros de tomografía eléctrica para determinar la zona saturada en las 6 secciones analizadas.

De manera general es importante resultar que la zona de estudio está ubicada en la divisoria hidrográfica. Los ríos de esta zona de estudio tienen su naciente en la Cordillera de Huanza.

Los ríos en la zona de estudio presentar un régimen permanente, sin embargo, hay una variación en los meses de enero a abril por el aumento de lluvias en las nacientes y saturación de suelos en el distrito de Llusco, además la mayor parte tiene un rumbo noreste y noroeste.

Los principales y de mayor caudal son los ríos Antabamba y Chalhuanca que finalizan en el rio Apurímac y se forma el rio Santo Tomás de los ríos Chuquibambilla y Oropesa.

Los patrones de drenaje dependen de factores como el tipo de roca, su fracturamiento, resistencia y pendiente. En la zona de estudio el patrón de drenaje es subparalelo - dentritico, el cual es controlado por factores estructurales como ocurre en los ríos Chalhuanca, Antabamba y Oropesa. (Pecho, 1981)

2.6. GEODINÁMICA INTERNA

2.6.1. Riesgo Sísmico

Es una medida que combina el peligro sísmico con la vulnerabilidad y la posibilidad de que se produzcan en ella daños por movimientos sísmicos en un periodo determinado. Por consiguiente, está relacionado con la probabilidad de que se produzca un evento sísmico o terremoto, los posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas.

El riesgo sísmico depende principalmente de la cantidad y el tipo de asentamientos humanos en el lugar. El peligro puede ser muy alto en ciertos lugares, sin embargo el riesgo pequeño. Esto debido a la cantidad de población en algunos sectores del mundo, así como se puede dar el caso inverso en zonas donde el peligro sísmico es bajo, ya que no es muy frecuente la ocurrencia de sismos en dichas zonas, pero el riesgo es muy alto por las condiciones en las cuales las personas viven, la cercanía a las fallas, el tipo de construcción que presentan sus hogares y la cantidad número de víctimas.

En el caso del Perú, nos encontramos geográficamente ubicados en un contexto geotectónico "Cinturón de fuego del Pacifico" y la existencia de la Placa Tectónica de Nazca, que se introduce por debajo de la Placa Sudamericana nos ubica en una zona de alta sismicidad, y esto está demostrado por los contínuos movimientos telúricos producidos en la actualidad y las magnitudes a las cuales se han manifestado.

La Placa Sudamericana crece a partir de la Cadena Meso-Oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cm por año encontrándose con la Placa de Nazca en su extremo occidental, esto sumado a que la Placa de Nazca crece por la Cadena Meso-Oceánica del Pacífico y avanza hacia el este con una tasa de 5 a 10cm por año. La Placa de Nazca se hunde bajo la Placa Sudamericana con una velocidad de 7 a 13cm por año. El desplazamiento de ambas placas genera un plano de fricción entre estas, originando un número ilimitado de sismos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad.

2.6.1.1. Aceleración Máxima Horizontal

La aceleración máxima (PGA) horizontal o Peak Ground Acceleration, es una medida utilizada para las aceleraciones de la superficie del suelo por lo cual se emplean acelerómetros para el registro de la reacción del suelo ante los movimientos sísmicos, no es una medida de la energía total liberada del terremoto, por lo que no es una medida de magnitud sino de intensidad, para obtener estos datos se puede utilizar acelerómetros.

La aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada a nivel de ingeniería, y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas

de riesgo sísmico. Durante un terremoto los deslizamientos y daños a estructuras están íntimamente relacionados con la velocidad y aceleración sísmica, y no con la magnitud del sismo.

En el presente estudio, ha considerado, con el fin de determinar el coeficiente sísmico, el Mapa de isoaceleraciones que corresponde a una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años lo que corresponde a un periodo de retorno de 475 años. Este mapa de isoaceleraciones es parte del estudio de peligro sísmico de Alva y Castillo en 1993.

Los valores de aceleraciones en la zona de estudio varían entre 0.22 y 0.20 g, valores que son menores hacia el este y mayores hacia el oeste por la cercanía a la zona de subducción entre las Placa de Nazca y Sudamericana. (Ver Imagen N° 6)

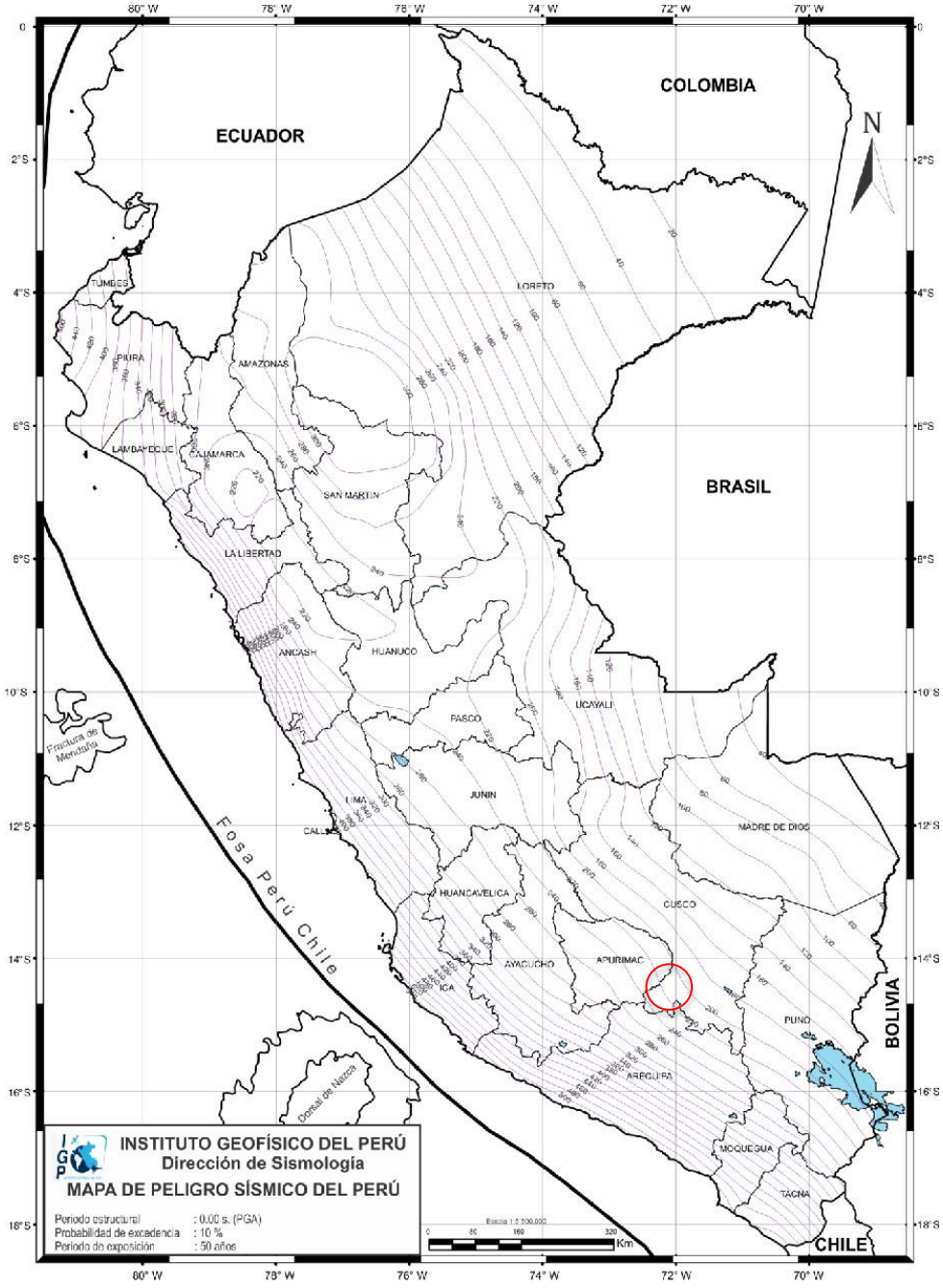


Imagen 6. Mapa de curvas de isoaceleraciones del Perú considerando una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años. Unidades de Gals.

Fuente: (Tavera et al., 2014)

2.7. BASES TEÓRICAS

2.7.1. Criterio de Mohr-Coulomb

Criterio en el cual se grafica la tensión normal y tangencial, en la superficie de falla, con la cual se grafica la envolvente de Morh-Coulomb con el fin de determinar la cohesión y ángulo que fricción del material en estudio, para fines de análisis geotécnicos.

$$\tau = c + \sigma_n \, tag \, \phi$$

Donde:

$\boldsymbol{\tau}$ **y** $\boldsymbol{\sigma_n}$ representa la tensión tangencial y normal en el plano de rotura.

$\boldsymbol{c}$ **y** $\boldsymbol{\phi}$ representa la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

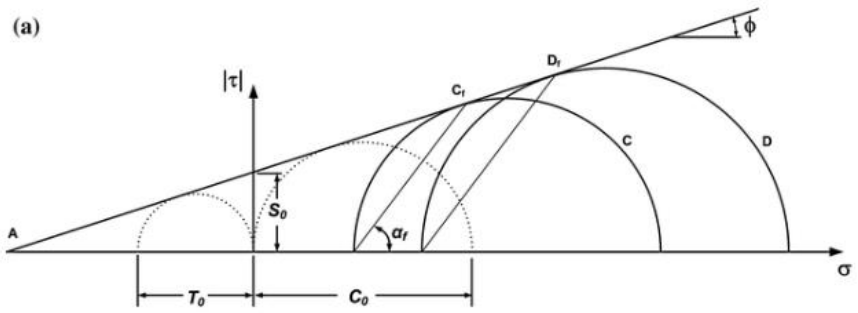


Imagen 7. Envolvente del Criterio de rotura lineal de Morh – Coulomb, entre la tensión normal y tangencial

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2002)

El criterio de Mohr – Coulomb implica que tiene lugar una fractura por corte al alcanzarse la resistencia de pico del material. La gran ventaja de este criterio es su sencillez. Sin embargo presenta inconvenientes debido a lo siguiente:

Cohesión: La cohesión como propiedad mecánica de los suelos es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión es una propiedad importante ya que junto con el ángulo de fricción ofrecen una resistencia en contra del esfuerzo cortante debido a la cementación o adherencia, sin embargo, en suelos granulares en el cual no existe cementación

ni adherencia por lo que la cohesión es igual o cercana a 0, por lo que se conoce a estos suelos como no cohesivos. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2002)

Ángulo de fricción: El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física (coeficiente de rozamiento, tan φ), el cual depende del tamaño de la densidad de los granos, su forma y distribución). (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2002)

Profundidad de Grietas de tracción

En el caso de las riberas de ríos compuestas de materiales cohesivos, en el caso de que una o más grietas de tensión se encuentren a diferentes distancias del borde de la orilla es normal, dependiendo de los valores de los otros parámetros que afectan la estabilidad del banco, que la superficie de falla una de estas grietas de tensión. En consecuencia, la profundidad de la grieta de tensión define la geometría del bloque fallido y desempeña un papel en la determinación del volumen de material del banco suministrado al dedo del banco por la falla. Por esta razón, la determinación precisa de la profundidad (es) y, por lo tanto, la ubicación (es) de las grietas de tensión es una tarea importante. La ecuación de Lohnes y Handy (1968) para estimar las profundidades de grietas de tensión en un suelo de resistencia a la tracción finita se escribe como

$$K_{max} = \frac{2C}{\gamma}\tan(45 + \phi/2)$$

Lohnes y Handy (1968) declararon que el suelo es débil a esfuerzos de tensión y, por lo que se puede suponer que su resistencia a la tracción es cero. Suponiendo una envoltura lineal de falla de Mohr-Coulomb, la tensión es máxima en la superficie del suelo; su valor, sin embargo, disminuye a cero a una profundidad K max (Terzaghi, 1943, p. 36; citado en Lohnes y Handy, 1968).

2.7.2. Criterio de Hoek & Brown

En criterio de Hoek y Brown es un criterio de rotura no lineal el cual se ajusta de mejor manera al comportamiento de la matriz rocosa, a diferencia del criterio de Morh coulomb la gráfica es tipo cóncavo. Asimismo el criterio de Hoek y Bown es un criterio empírico para valorar la calidad de la matriz rocosa isotrópica en condiciones triaxiales.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i\ \sigma_{ci}\ \sigma_3} + \sigma_{ci}^2$$

Donde σ_1 y σ_3 representa a los principales esfuerzos, σ_1 el máximo esfuerzo y σ_3 mínimo esfuerzo.

$\boldsymbol{\sigma_{ci}}$ es la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa

$\boldsymbol{m_i}$, $\boldsymbol{s}$ son la constantes que dependen de la roca intacta

El $\boldsymbol{m_i}$, $\boldsymbol{s}$, se obtienen de la clasificación RMR, desarrollada por bieniawski en 1979.

Este criterio es aplicable tanto para macizos rocosos consistentes como, para macizos rocosos débiles o altamente intemperados, se ha realizado una reformulación del criterio, donde agregan de nuevos parámetros para la evaluación del macizo rocoso. Su última versión se expresa en la siguiente fórmula:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s\right)^a \quad (2.1)$$

Donde m_b es un valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_1\ exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

El GSI índice de resistencia geológica, se obtiene de como una clasificación geomecánica (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser y Bawden, 1995), s y a se obtienen de las siguientes relaciones:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Donde “D” conocido como el factor de disturbancia, en el cual se cuantifica en las alteraciones que sufre el macizo rocoso por los procesos de las excavaciones, voladuras controladas o relajación de los esfuerzos. Los valores de D están entre 0 para macizos rocosos que no han sido afectados, hasta 1 por alterados por los procesos antes mencionados. El UCS se obtiene igualando σ3=0 de la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

Como resultado se obtiene la envolvente de rotura de Hoek y Brown.

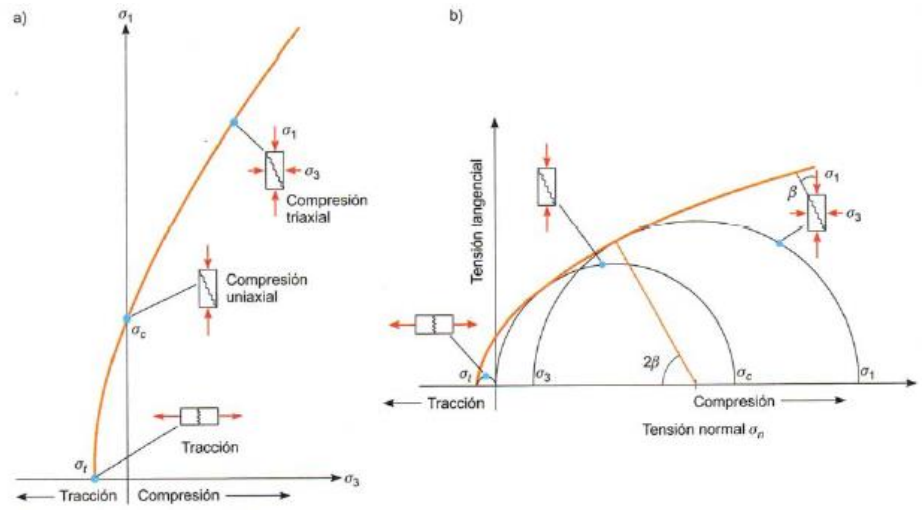


Imagen 8. Envolvente de Hoek y Brown, comparando los esfuerzos máximos y mínimos (σ_1' y σ_3') y de los esfuerzos normal y tangencial (b). Representación de las condiciones de esfuerzo en una rotura por roca intacta.

Fuente: (Hoek, Carranza-Torres, & Corkum, 2002)

Tabla 4. Tipo de roca y de la constante mi

Tipo de roca y valor de la constante m_i				
Sedimentarias Clásticas	Limolita	9	Grauvaca	18
	Arenisca	19	Lutita	4
	Conglomerado	22		
Sedimentarias no Clásticas	Brecha caliza	20	Caliza micrítica	8
	Caliza Margoza	7	Anhidrita	13
	Caliza esparítica	10	Yeso	16
Metamórficas	Milonita	6	Filita(*)	(10)
	Cuarcita	24	Pizarra(*)	9
	Anfibolita	25-31	Esquisto	4-8
	Migmatita	30	Gneiss(*)	33
	Mármol	9		
Ígneas	Granito	33	Toba	15
	Riolita	(16)	Gabro	27
	Granodiorita	(30)	Andesita	19
			Basalto	17
Ígneas extrusiva piroclásticas	Brecha	(18)	Diorita	28
	Aglomerado	(20)		

Los valores entre paréntesis son estimados

(*) Valores obtenidos de ensayos en matriz rocosa en dirección perpendicular a los planos de foliación, por lo que el valor de m_i será significativamente diferente si la rotura se desarrollara a favor de los planos de debilidad.

Fuente: (González, 2002)

2.7.3. Rock Mass Rating (Bieniawski)

Desarrollada por Bieniawski la cual presenta variaciones en 1979 y 1989, emplea distintas herramientas de valoración, y evalúa distintos aspectos de los macizos rocosos que permite a su vez relacionar propiedades geotécnicas con parámetros de calidad y de excavación, además toma en cuenta la dirección de las discontinuidades según la cara libre de labores. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Designación de la calidad de roca RQD.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La valoración de estos parámetros para una clasificación geomecánica del macizo rocoso se expresa por el resultado de la suma de los valores en el índice de calidad RMR, *rock mass rating*, que varía de 0 a 100.

Para realizar la clasificación RMR, se divide el macizo rocoso en zonas con características similares o que estén delimitadas por fallas o contactos. A partir de estos sectores se analizan los datos y medidas tomadas en campo tanto de las discontinuidades como de las propiedades de la roca intacta. (Bieniawski, 1989)

El índice RQD desarrollado entre los años de 1963 y 1967. Para evaluar taludes rocosos existen 3 métodos para valorar el RQD en caso no exista datos de perforación diamantina:

RQD: (*Rock Quality Designation*) es un índice para medir la calidad del macizo rocoso en campo. (Deere, 1987)

Existen 3 métodos según el caso que se ajuste mejor:

a. Primera opción: Cuando se tiene testigos de perforación bajo el método HQ3 o perforaciones en seco ya que estos dos tipos de perforación afectan el testigo como los métodos de perforación convencionales.
b. Segunda opción: Se realiza en un frente rocoso, imaginándose una línea de detalle, en la cual se cuentan las estructuras entre la longitud total, por lo general 1 metro.

$$RQD = 100\, e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{N° \; de \; fisuras}{Espacio}$$

c. Tercera opción: Este método es muy usado en minería, en la cual se trabaja por celdas o áreas, y se cuenta el número de discontinuidades dentro del área de evaluación, este método se usa para voladura, para índice de carga y densidad de malla.

$$RQD = 115 – (3.3)\ Jv$$

Donde:

Jv = cantidad de discontinuidades registradas por metro cuadrado

La variable Jv, se calcula sumando el número de discontinuidades en un frente, por cada metro cubico es decir en los 3 ejes. Además, no se debe contar las fisuras dos veces, es decir si una discontinuidad corta dos ejes solo se la contara como una..

Para evitar confusiones se mide un metro de un eje y se cuenta la cantidad de discontinuidades de esta manera la ecuación será así:

$$Jv\ (eje) = \frac{n° \; de \; fisuras}{longitud \; del \; eje}$$

$$Jv = Jv_x + Jv_y + Jv_z$$

Los parámetros para realizar una valoración del RMR se muestran en la Tabla N° 5, que en total nos darán como máximo el valor de 100. A este resultado se le aplica cierto ajuste comparando la orientación de las estructuras con la dirección de la excavación, el resultado final será el valor del RMR del macizo rocoso.

Tabla 5. Rock Mass Rating - Roca Tonalita

Parámetro			Escala de puntuación						
1	Resistencia de la roca intacta	I (50) Carga puntual	>8MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Se recomienda un ensayo de resistencia uniaxial		
		Resistencia a comp. uniaxial	>200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10 - 25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25 %		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Esp. de Juntas		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Persistencia		<1 m	1-3 m	3-10m	10-20m	>20 m		
	Valoración		6	4	2	1	0		
	Abertura		No presenta	< 0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
	Valoración		6	5	4	1	0		
	Rugosidad		Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Liso	Fallado		
	Valoración		6	5	3	1	0		
	Relleno		Limpia	Duro < 5mm	Duro >5 mm	Suave < 5 mm	Suave > 5mm		
	Valoración		6	4	2	2	0		
	Alteración / Meteorización		Sana	Lig. Intemp.	Mod.Intemp.	Muy Intempe	Descompuesta		
	Valoración		6	5	3	1	0		
5	Aguas Subterráneas	Cantidad de Infiltración en lt/min del túnel.	Ninguna	<10	<25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: Presión de agua o en la fisura / Esfuerzo principal o mayor	0	<0.1	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Situación General	Totalmente seco	Seco	Se observa humedad, agua en intersticios	Ligera presión de agua	Demasiada agua.		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Fuente: (González, 2002)

Tabla 6. Ajuste de Valoración por la orientación de fisuras.

Orientación de Rumbo y echado de las fisuras		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoración	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Una vez se tenga el valor, se realiza el ajuste por la orientación de discontinuidades antes mencionado de lo cual se obtiene: 84 – 5= 79

Tabla 7. Resultado con la correción por orientación de discontinuidades

PARÁMETROS		VALUACIÓN
A	Valoración sin ajuste	84
B	Ajuste por orientación de discontinuidades.	-5
C	Valoración Ajustada	79

Fuente: (Bieniawski, 1989)

La valoración ajustada es 79, valor que entre el los valores de Buena roca.

Tabla 8. Clasificación del macizo rocoso según la valoración RMR.

Rango de Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Clasificación N°	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala.

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 9. Rock Mass Rating - Roca Caliza

Parámetro				Escala de Valores						
J1	Resistencia de la roca inalterada	I(50) de la carga pura		>8MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Escala muy baja por lo que se prefiere un ensayo de resistencia com. uniaxial		
		Resistencia a comp. uniaxial		>200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Valoración			15	12	7	4	2	1	0
J2	RQD			90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25 %		
	Valoración			20	17	13	8	3		
J3	Espaciamiento de Juntas			>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Valoración			20	15	10	8	5		
J4	Persistencia			<1 m	1-3 m	3-10m	10-20m	>20 m		
	Valoración			6	4	2	1	0		
	Abertura			No presenta	< 0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
	Valoración			6	5	4	1	0		
	Rugosidad			Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Liso	Fallado		
	Valoración			6	5	3	1	0		
	Relleno			Limpia	Duro < 5mm	Duro >5 mm	Suave < 5 mm	Suave > 5mm		
	Valuación			6	4	2	2	0		
	Alteración / Meteorización			Sana	Lig. Intemp.	Mod.Intemp.	Muy Intempe	Descompuesta		
	Valoración			6	5	3	1	0		
J5	Aguas Subterráneas	Cantidad de Infiltración en lt/min del túnel.		Ninguna	<10	<25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación	Presión de agua o en la fisura	0	<0.1	0.0-0.2	0.2-0.5	>0.5		
			Esfuerzo principal o mayor							
		Situación General		Totalmente seco	Seco	Solo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua.		
	Valoración			15	10	7	4	0		

Fuente: (González, 2002)

Tabla 10. Ajuste de la valoración por orientación de las fisuras

Orientación de Rumbo y echado de las fisuras		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Una vez se tenga el valor, se realiza el ajuste por la orientación de discontinuidades antes mencionado de lo cual se obtiene: 79 – 5= 74

Tabla 11. Resultado con la correción por orientación de discontinuidades

PARÁMETROS		VALUACIÓN
A	Valoración sin ajuste	79
B	Ajuste por orientación de discontinuidades.	-5
C	Valoración Ajustada	74

Fuente: (Bieniawski, 1989)

La valoración ajustada es 74, valor que se encuentra entre valores de Buena roca.

Tabla 12. Clasificación del macizo rocoso según la valoración RMR.

Rango de Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Clasificación N°	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala.

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 13. Ajuste por Orientación de las Discontinuidades

AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES						
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: (González, 2002)

Resistencia a la compresión Uniaxial (UCS)

El ensayo de resistencia a la comprensión uniaxial o también llamado resistencia a la comprensión simple es usado para la clasificación de la roca por su resistencia. Para lo cual se deben de cumplir que la razón de largo y ancho de la probeta a ensayar debe ser de 2.5 a 3, los extremos deben estar paralelos y bien pulidos sin grietas y por último el ancho de muestra debe ser mayor a 10 veces el tamaño medio del grano.

La resistencia a la comprensión simple de una roca puede ser medida en campo mediante golpes del martillo de geólogo, relacionándolo con el siguiente cuadro:

Tabla 14. Relación de la resistencia de la roca intacta con métodos de estimación en campo.

Clase (a)	Resistencia	Uniaxial Strenght (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Indicadores en campo
R-6	Extremadamente resistente	>250	>10	Golpes de martillo geológico solo se proyectan esquirlas.
R-5	Muy resistente	100-250	4-10	Requiere varios golpes de martillo de geólogo para fracturarlo.
R-4	Resistente	50-100	2-4	Requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.
R-3	Moderadamente resistente	25-50	1-2	Puede fracturarse con un único golpe del martillo, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R-2	Débil	5 - 25'	b*	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas pero con dificultad.
R-1	Muy débil	1-5'		La roca se disgrega al usar la punta del martillo de geólogo.
R-0	Extremadamente débil	0,25 - 1		La muestra es indentada con la uña del pulgar.

b* Clasificación para rocas con una resistencia menor de 25MPa por lo que los resultados son poco confiables.

Fuente: (Hoek & Brown)

Índice de Resistencia Geológica (GSI):

Es un índice desarrollado por Hoek en 1994, para poder corregir los problemas detectados con respecto al RMR, y así evaluar la resistencia de los macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek y Brown. Esto se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia del macizo rocoso y el módulo de deformación estos son, la estructura del macizo rocoso (RMS), definida en términos de su tamaño, alteración de los bloques y grado de trabazón; y la condición de las discontinuidades presentes en el macizo (JC).

El valor del GSI se estima realizando una valoración de las estructuras y discontinuidades, donde se comparan estos dos valores según el siguiente diagrama:

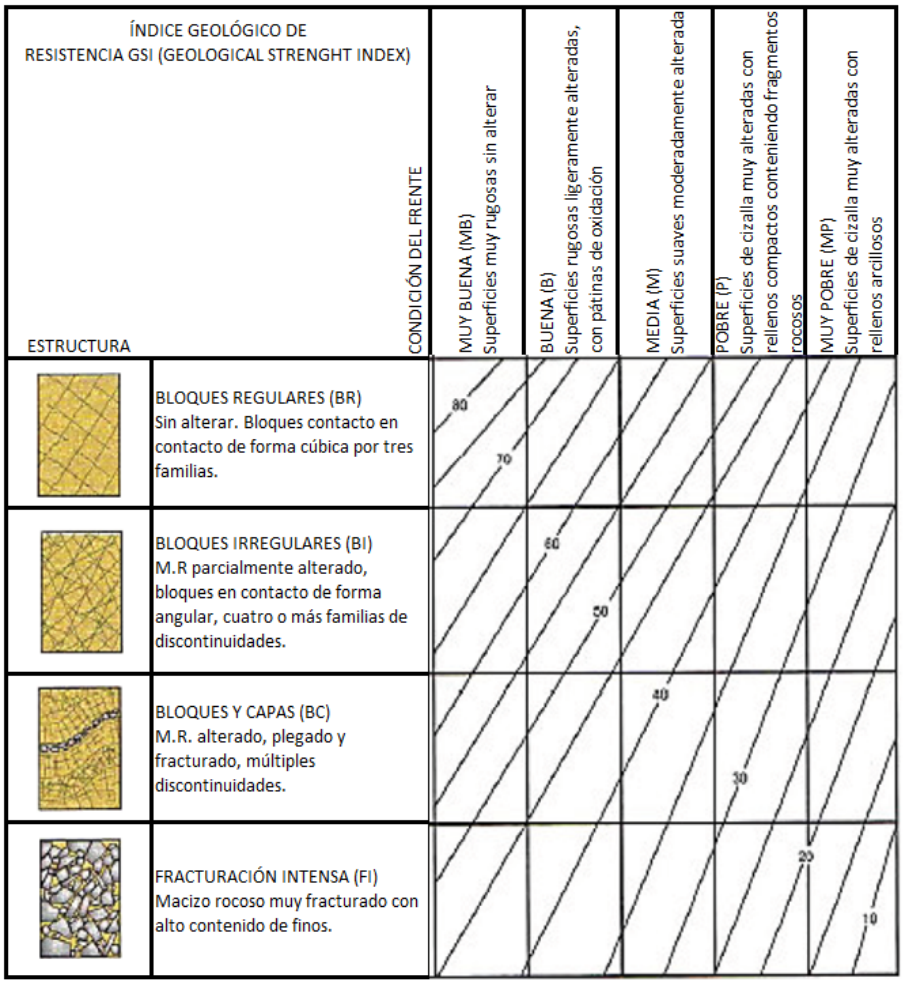


Imagen 9. Índice Geológico de resistencia

Fuente: (Hoek & Brown)

2.7.4. Coeficiente de Permeabilidad

Tabla 15. Rangos de Permeabilidad intrínseca y Conductividad Hidráulica para sedimentos no consolidados

Material	Intrinsic Permeability (darcys)	Hydraulic Conductivity (cm/s)
Clay	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silt, sandy silts, clayey sands, till	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Silty sands, fine sands	$10^{-2} - 1$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Well-sorted sands, glacial outwash	$1 - 10^{2}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Well-sorted gravel	$10 - 10^{3}$	$10^{-2} - 1$

Fuente: (Fetter, 2001)

Se presenta un cuadro general de los valores de los diferentes tipos de suelos y el rango en el que varían los valores el coeficiente de permeabilidad, para el caso del presente estudio se tomará los valores promedio de la tabla.

2.7.5. Relación del ensayo de DPL y SPT para el cálculo de parámetros geotécnicos

El procedimiento para obtener el valor del Angulo de fricción a partir del número de golpes por el ensayo DPL, se realiza correlacionándolo con el ensayo SPT. (Bowles, 1997)

$$N_{(10\text{-}dpl)} = N(spt)$$

Según Bowles para suelos granulares la correlación entre N número de golpes en el ensayo normal de penetración SPT el ángulo de fricción Φ, es el siguiente:

Tabla 16. Valores empíricos para suelos granulares basados en el ensayo SPT

N	Descripción del material	γ, Kgf/m³	Ø
0-4	muy suelto	1100 - 1600	25 - 30°
4-10	suelto	1400 - 1800	27 - 32°
10-30	medio	1750 - 2050	30 - 35°
30-50	denso	1800 - 2250	35 - 40°
50	muy denso	2080 - 2400	30 - 43°

Fuente: (Bowles, 1997)

Tabla 17. Correlación de Ensayo SPT con suelos cohesivos

N	Descripción del material	γ saturado, kgf/m³	q_u,Kgf/cm²
0-2	muy blando	1600	0.25
2-4	blando	1600 - 1800	0.50
4-8	medio	1750 - 2100	1.00
8-16	duro	1800 - 2200	2.00
16-32	muy duro	1950 - 2200	4.00

Fuente: (Peck, Hanson, & Thornburn, 1974) y (Bowles, 1997)

2.8. MÉTODOS USADOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Una vez determinada la condición de estabilidad del talud, será momento de seleccionar, el método o los métodos combinados de estabilización que de acuerdo al análisis realizado nos muestren un potencial de poder solucionar la estabilidad del talud. Además, estos métodos deberán ser eficientes y eficaces, después de lo cual se deberá evaluar la estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. (El Peruano, 2006)

Los métodos de estabilización y remediación de taludes serán establecidos de acuerdo a la identificación de los principales agentes desestabilizantes y de los resultados de la evaluación de los mecanismos que generan la inestabilidad del mismo, aplicando los métodos siguientes:

- Reducción de la presión de poros
- Reducción de los esfuerzos cortantes por métodos de estabilización
- Aumento de esfuerzos resistentes (mejoramiento del suelo)

- Mejora de las propiedades mecánicas de los suelos, agregando otro material.
- Diseño de contrafuertes y sostenimientos en las partes criticas de estabilidad

Para lo cual se planea utilizar los siguientes criterios de estabilización:

a) Cortes en terreno erosionable

Comprende la excavación de roca fracturada o suelos cuyo grado de cementación requiere el uso de maquinaria y mano de obra. Los sedimentos de suelos arenosos, tales como: granito descompuesto, Shirasu (ceniza volcánica), canteras de arena o capas de grava de terraza, son erosionables por el agua que discurre, esto hace que se laven los materiales finos de los suelos y pierdan cementación.

Además de los cortes, estos deben ir complementados con la protección de los taludes implementando estructuras de contención y cubriendo el talud de vegetación de esta manera se conservará las propiedades mecánicas del suelo de forma más prolongada.

b) Banquetas

Las banquetas se realizan con el fin de proteger al talud de la infiltración y erosión por lo cual se trata de reducir el ángulo efectivo del talud.

Tomando en cuenta que los ríos tienen temporadas de aumento de caudal, estas estructuras se diseñan con el fin de controlar la infiltración con una pendiente que traslada el agua de lluvias al rio o algún subdren especial.

La banqueta también puede diseñarte con un fin de inspección de comunicación o aprovecharse como áreas de agricultura combinando aprovechando así dos métodos de reforzamiento. (Asociación de carreteras del Japón, 1984)

Las banquetas las banquetas se deben diseñar con la proyección de tener un acceso, bien para reparaciones, inspecciones o desarrollo de la agricultura. Por lo que es importante que el diseño tenga un correcto talud de corte, en base a las propiedades de los suelos, viabilidad económica y demás condiciones.

c) Drenes transversales de Penetración

Los Drenes transversales de Penetración se instalan con tuberías de diámetro entre 2'' y 3'', los cuales van introducidos en el terreno natural ya sea en el corte, muros o en terraplén. En el caso de ser en el terraplén, este se realiza elaborando una perforación, la cual debe tener una profundidad que atraviese el nivel freático, ser subhorizontal y además, ligeramente inclinada. Con ello se logra captar las aguas internas y abatir presiones de poros dentro de las masas de suelo y de esta manera incrementar la estabilidad del talud (Izquierdo & Niño, 2012)

En donde los drenes conducen el agua a una tubería colectora, que a su vez transporta el líquido a lo largo del tubo expulsándolo hacia afuera de la ladera. Una parte de la tubería cercana a la superficie no debe perforarse para impedir la invasión de la vegetación que pueda obstruir la salida del agua.

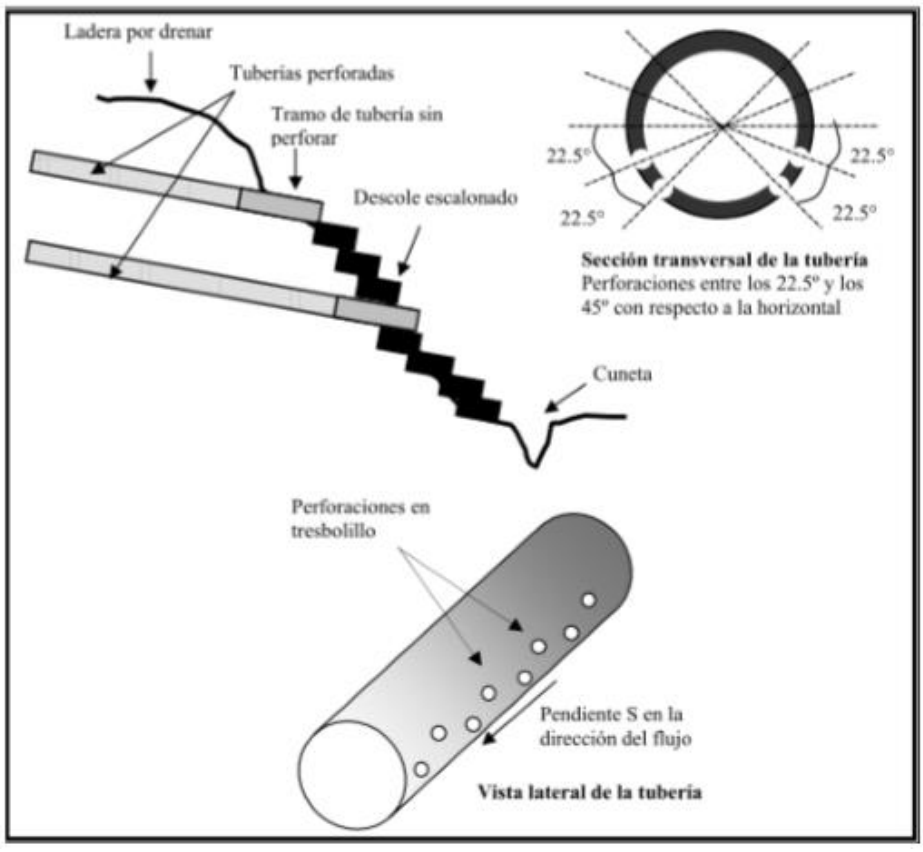


Imagen 10. Subdrenes transversales de penetración

Fuente: Suárez, 1988

2.8.1. Método de Equilibrio Límite en Taludes

Los métodos de equilibrio límite se basan exclusivamente en las leyes de la Estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, por lo que no tiene en cuenta las deformaciones del terreno. Supone que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte (Herrera, 2000)

Se puede clasificar a su vez en dos grupos:

- Métodos exactos
- Métodos no exactos

2.8.1.1. Métodos exactos

Método para calcular soluciones exactas del problema, sin embargo no nos permite calcular las deformaciones y el factor de seguridad es constante en toda la superficie de rotura. Este método es aplicable para taludes con geometría sencilla con roturas planares o por cuñas. (Herrera, 2000)

2.8.1.2. Métodos no exactos

Método que no cumple con todas las leyes de la Estática, ya que se realizan unas simplificaciones o hipótesis para su resolución. Se incluye aquí los métodos de dovelas y el equilibrio de la masa deslizante. (Herrera, 2000)

Los métodos de las dovelas se clasifican en dos grupos:

- **Método aproximado:**
  Los métodos aproximados son métodos que no cumplen con todas las ecuaciones de equilibrio, por lo que sus resultados tienen un mayor porcentaje de error al analizar secciones de estabilidad, los métodos se muestran en la imagen 11.
- **Método preciso:**
  Los métodos precisos son métodos que con artificios cumplen todas las ecuaciones de equilibrio por lo que son las confiables al momento de realizar análisis de estabilidad y pueden ser determinantes en zonas inestables.

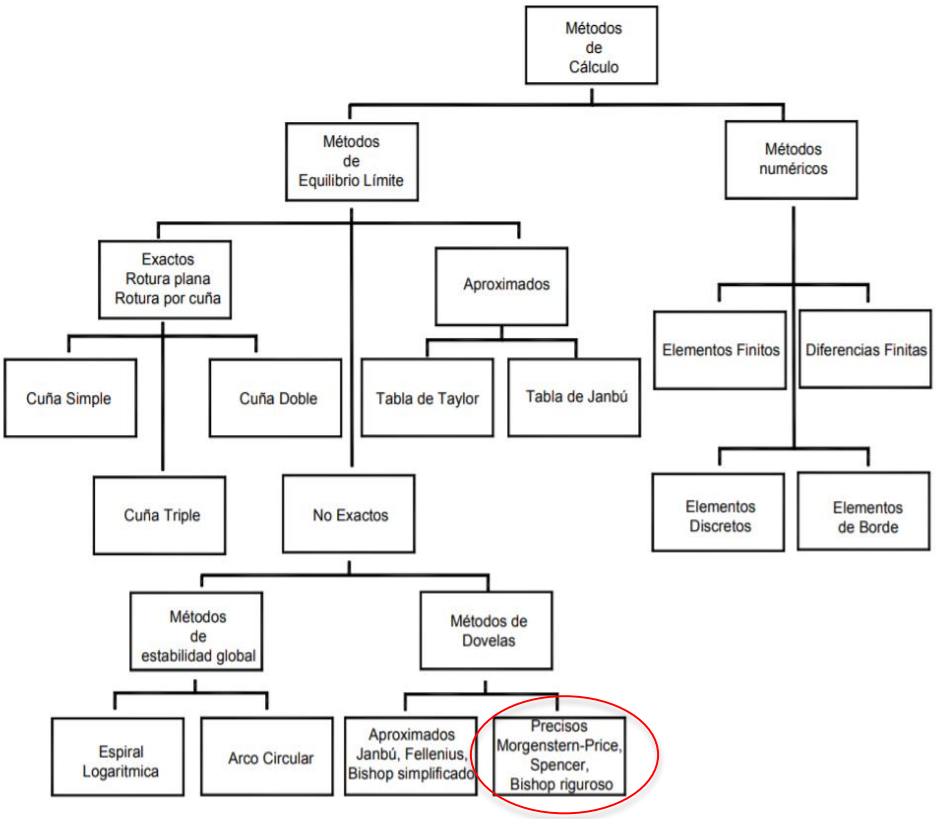


Imagen 11. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Fuente: Suárez, 2002

Tabla 18. Diferentes métodos de cálculo

CRITERIO	TIPO DE FALTA	ECUACIONES QUE CUMPLE	COMENTARIOS
Elementos-finitos	Cualquier forma de superficie falla.	Método de análisis de esfuerzos y deformaciones.	Mediante este método se obtienen los esfuerzos y deformaciones de los nodos, sin embargo no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral-logarítmica	Falla tipo Espiral logarítmica.	Equilibrio de momentos y fuerzas.	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.
Fellenius, 1927	Fallas tipo Circulares.	Equilibrio de fuerzas.	El método fellenius es muy impreciso para taludes con alta presión de poros, por lo que nos da factores de seguridad en condiciones óptimas, además de no considerar los esfuerzos entre las dovelas no satisface el equilibrio de momentos.
Spencer 1967	Cualquier forma de superficie de falla.	Equilibrio de momentos y fuerzas	Método que satisface todas las ecuaciones de esfuerzos, sin embargo asume que la inclinación de las fuerzas naturales es la misma es todas las tajadas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Fallas tipo Circulares.	Equilibrio de momentos.	Método simplificado ya que asuma como cero las fuerzas cortantes entre dovelas, con el fin de reducir el número de ecuaciones, por lo que no es un método exacto ya que no cumple con todas las ecuaciones de equilibrio.
Spencer,1967	Cualquier forma de superficie de falla.	Equilibrio de momentos y fuerzas.	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Janbú,1968	Cualquier forma de superficie de falla.	Equilibrio de fuerzas.	Método que considera nula las fuerzas cortantes entre dovelas. La solución no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos, por lo que utiliza un factor de corrección para reducir el error, por lo general resulta en factores de seguridad de mayor valor que los que satisfacen las ecuaciones de equilibrio.
Morgenstern y Price, 1965	Cualquier forma de superficie de falla.	Equilibrio de momentos y fuerzas.	Este método es similar al método de Spencer, con la única diferencia que la inclinación de la resultante de fuerzas varía de acuerdo a una función arbitraria, por lo que asuma que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado.

Fuente: Suarez, 2002

- **Método de Morgenstern y Price**

El método de Morgenstern y Price el cual pertenece a los métodos exactos, cumple con todas las ecuaciones de equilibrio y se ha considerado para este estudio por tratarse de una zona con antecedentes de deslizamientos. El método

de Morgenstern y Price es muy riguroso y nos puede dar mayor referencia en caso nos encontremos cercanos al área inestable.

Este método considera una función constante a las fuerzas originadas entre las dovelas por lo que lo hace un método más riguroso, ya que en algunos casos los métodos consideran este esfuerzo entre dovelas igual a cero y aumentan el error en los resultados.

Además de ser un método muy preciso es aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2002)

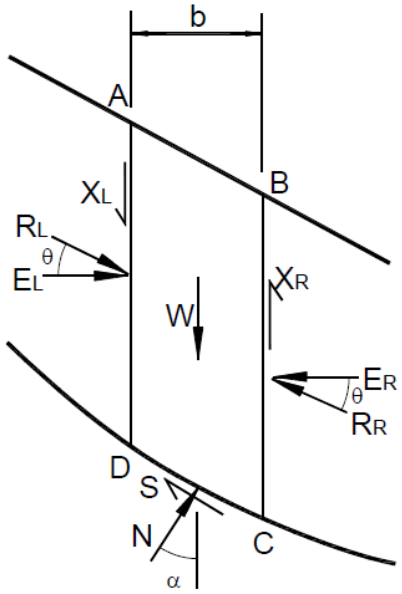


Imagen 12. Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas

Fuente: Jaime Juarez, 2002

2.9. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Altura

La altura es algunas veces difícil de medir por la no muy clara topografía del mismo deslizamiento, sin embargo para determinarla se debe medir la distancia del pie a la cabeza del deslizamiento.

Altura de nivel freático

La altura del nivel freático se mide a partir de la superficie del suelo hasta el contacto entre el agua y la presión atmosférica. Es el punto donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

Arcillas altamente sensibles

Las arcillas altamente sensibles, sin suelos inadecuados para cualquier tipo de obra civil, ya que al ser alteradas pierden gran parte de su resistencia.

Banquetas

En ingeniería una banqueta es el diseño de una obra en forma de escalera con el fin de darle mayor estabilidad al talud, disminuyendo la cantidad de infiltración y modificando la geometría.

Cabeza o escarpe

Es la superficie del deslizamiento en la cual se observa el salto y la distancia de salto de un deslizamiento, algunas veces también indica dirección

Coeficiente sísmico

El coeficiente sísmico es resultado del estudio de peligro sísmico multiplicado por un factor que depende del tipo de suelo y la estructura que se planea realizar en el sitio, para efectos de este estudio se consideró el factor de ½

Estabilización de Taludes

Es el proceso mediante el cual, un talud o ladera inestable es modificada con métodos de sostenimiento de reforzamiento alcanzando un nivel de equilibrio constante en el tiempo.

Flujos de arcilla

Los flujos de arcilla es un tipo de remoción de masas, en cual se da por la saturación de un suelo arcilloso, el cual pierde su consistencia y se comporta como un fluido.

Geodinámica externa

Estudia los efectos de los agentes externos como el agua, el viento, lluvias, los océanos, los glaciares, etc. Afectan la superficie de la tierra con lo cual es de gran ayuda para determinar zonas de mayor erosión y por lo tanto mayor destrucción al medio.

Ladera

Es la pendiente que tiene un terreno que se ha formado por medios naturales, es decir por geodinámica externa e interna.

Pendiente

La pendiente hace referencia a la inclinación que presenta una ladera o un talud, por lo que se puede medir de diferentes maneras, como porcentaje, y como una fracción de la distancia vertical entre la horizontal.

Permeabilidad

Es la propiedad de los materiales que dejar fluir el agua por sus poros, es decir la permeabilidad está directamente relacionada con la porosidad, sin embargo, un material poroso no necesariamente es permeable.

Pie

El pie se refiere a la parte inferior del deslizamiento, en donde toda la masa es desplazada, en campo muchas veces no es fácil de determinar, sin embargo se puede estimar observando el cambio de pendiente.

Reptación

La reptación es un tipo de remoción de masas que se da mayormente en suelos arcillosos, cuando se encuentran sobre un material competente y saturados, se desplazan a una velocidad muy lenta.

Roca

La roca se forma como un agregado de varios minerales, los cuales han sido sometidos a grandes presiones por lo que tienen una cohesión muy alta.

Suelo

El resultado de la erosión y meteorización de la roca, el suelo es la capa superficial encima del basamento rocoso, que es separable por medios mecánicos fácilmente, como excavaciones.

Suelo orgánico

El suelo orgánico es formado por la descomposición de organismos vivos, por lo general de plasticidad media a baja, concentrar la humedad, colores orcuros como negros o marrones oscuros.

Suelo Saprolito

Un suelo saprolítico se forma cuando una roca es alterada a tal grado que se comporta como un suelo, sin embargo visualmente aún se observa como un macizo rocoso, es decir se distinguen los granos de la roca original.

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. GENERAL

- ✓ La causa de la desestabilización de laderas del sector norte del distrito de Llusco puede ser debido a cargas dinámicas y el agua que sobresatura los poros de los suelos ocasionado por las lluvias torrenciales.

3.2. ESPECÍFICAS

- ✓ Los estudios de la mecánica de suelos y rocas permitirán la caracterización de los probables deslizamientos que puedan ocurrir en el distrito de Llusco.
- ✓ Los principales parámetros de los deslizamientos nos pueden permitir realizar un análisis retrospectivo para la obtención de parámetros más exactos.

3.3. VARIABLES DEL ESTUDIO

- **Variable Independiente**

La variable independiente está representada por la evaluación de la estabilidad de laderas que aplicando posibles alternativas de solución, económicamente viables, puedan garantizar un factor de seguridad adecuado a largo plazo.

- **Variable Dependiente**

La variable dependiente es la población del norte del distrito de Llusco (Poblado de Kututo, Lutto y Llusco), la cual presenta rasgos de movimientos de masa que pueden comprometer la seguridad de la población ante fenómenos de deslizamientos.

4. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTUDIO

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

a. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo y analítico, ya que se pretende describir las variables visualizadas y establecer parámetros de medición según las peores condiciones en las cuales el talud natural perdería la estabilidad y se produciría un deslizamiento.

Los estudios de campo realizados representan un aporte para la comprensión de cualquier deslizamiento que pueda ocurrir en lugares de suelos arcillosos.

b. Unidad de Análisis

Este plan de tesis presenta diferentes unidades de análisis, como la pluviosidad de la zona, características físicas de los suelos y rocas, análisis geofísicos, siendo este último, uno de los más importantes para determinar el volumen de la masa a deslizarse.

c. Población de análisis

La población a analizar involucra a todas las áreas que fueron afectadas por los deslizamientos y que se encuentran en las localidades de Llusco, Lutto y Kututo.

d. Tamaño de muestra

Se realizará un plan de muestreo de las zonas con mayor riesgo de remoción de masa y se intensificará el muestreo en estas zonas.

e. Selección de muestra

La muestra tomada en los ensayos dará a conocer la influencia del nivel freático en la estabilidad de los taludes naturales de las localidades de Llusco, Kututo y

Lutto. Esta muestra será seleccionada de zonas que han estado asentadas en zonas de arcillas originales de una toba lítica.

4.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1. Etapa 1: Recopilación de la información

- El presente estudio de tesis inició con la recopilación de información sobre el análisis de geodinámica externa que se realizó en el deslizamiento por parte de INGEMMET y la información sobre los deslizamientos, sus características, su clasificación y los factores que los originaron, entre otros.
- Posteriormente, se realizó la revisión cartográfica de la zona de estudio que incluye los cuadrángulos, fotos satelitales y fotografías aéreas disponibles como en Google Earth y ASTER_GDEM, también planos de entidades públicas y privadas como el IGP, UNMSM, INGEMMET, USGS, SENAMHI, etc.)
- Por último, toda la información recopilada se compiló dentro de un plano que nos permitió efectuar los trabajos de interpretación y análisis para las etapas de trabajo de campo y de gabinete.

4.2.2. Etapa 2: Procesamiento de data preliminar

En esta etapa del estudio, se procesó la data recopilada en la etapa 1 para generar mapas temáticos de ubicación y geológicos, delimitando la zona de estudio y las áreas de influencia a los indicadores de movimientos de masas.

4.2.3. Etapa 3: Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en 4 fases, las cuales consistieron en lo siguiente:

- Fase 1: Comprende la observación preliminar de la zona, principalmente en el deslizamiento, para finalmente realizar el cartografiado local obteniendo como resultado los Mapas temáticos (Geológicos, Geotécnicos, Geomorfológicos)
- Fase 2: Ubicación de calicatas según el cartografiado de suelos, registrando 14 calicatas, se recogieron 8 muestras alteradas e inalteradas para ensayos de Corte directo, Análisis Granulométrico, Análisis de sales, en tanto a los ensayos in situ realizados DPL en dos puntos de la localidad de Lutto y ensayos de densidad in situ.
- Fase 3: Estaciones Geomecánicas, las cuales consistieron en identificar las características de los afloramientos cercanos al deslizamiento para finalmente realizar un análisis cinemático.

- Fase 4: Ensayo Geofísico de tomografía eléctrica, consistió en 6 líneas de entre 400 y 600 metros, con lo cual caracterizo los horizontes de suelos y el nivel freático.

4.2.4. Fase 4: Trabajo de gabinete

Esta fase consistió en la interpretación de los trabajos realizados en campo analizando la relación con los informes preliminares:

La delimitación de la cobertura de suelo y la litología consistió en un sistema de información geográfica, donde se registró los tipos de suelos, litología, estructuras y geoformas que fueron identificadas en el cartografiado en campo, teniendo como resultado mapas temáticos de ubicación, geología regional, geodinámica, geología local, perfiles de geología, perfiles de geotecnia, perfiles de resistividad, obteniendo finalmente el modelo de los perfiles de estabilidad de taludes con el levantamiento topográfico.

Interpretación de la influencia del aumento de la presión de poros en la estabilidad de las laderas como un detonante para la generación de deslizamientos en suelos arcillosos.

Interpretación de las secciones geofísicas se realizó con el objetivo de darle una mayor precisión geométrica de los horizontes de suelo en el diseño de las secciones y obtener el nivel freático a lo largo de la sección, esta interpretación se relacionó con el registro de las calicatas y el cartografiado realizado en campo.

Análisis de estabilidad de taludes, Análisis de infiltraciones (líneas de flujo, líneas equipotenciales influencia del rio), obteniendo los factores de seguridad, y realizando medidas correctivas para asegurar la estabilidad de las laderas en condiciones estáticas y pseudo -estáticas.

4.3. TRABAJOS GEOTÉCNICOS DE CAMPO

En esta segunda etapa del estudio, la cual se basa en la recopilación de la información geológica y geotécnica en campo, se realizó una campaña de 30 días en el Distrito de Llusco. Se comenzó realizando un mapeo geológico - geotécnico de los pueblos Lutto, kututo y Llusco, caracterizando los principales tipos de suelos y rocas que afloran en la zona. Además, se realizó un muestreo de cada tipo de material muestreado para poder

enviarlos a ser analizados en el laboratorio y con ello determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción, así como su clasificación granulométrica con el método SUCS. (Bowles, 1997)

Asimismo, se identificaron las zonas de mayor riesgo a ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, ubicando laderas inestables e identificando el tipo de movimiento desarrollado. Se realizó ensayos in situ y se tomó fotos a las laderas afectadas por la geodinámica externa de la localidad.

Se tomaron muestras de los horizontes identificados en campo tanto en las calicatas y afloramientos, para realizar los ensayos de laboratorio y poder determinar sus parámetros, ensayos como el de corte directo en las zonas que podrían afectar directamente a la población y se realizó la clasificación del suelo (Clasificación SUCS, límites de Atterberg) (Bowles, 1997), también se ejecutaron ensayos in situ, como de penetración dinámica ligera “DPL” con el fin de estimar la resistencia de los materiales y propiedades geotécnicas como la cohesión y ángulo de fricción interna con el fin de insertar estos valores al análisis de laderas, y el ensayo de cono de arena, para calcular la densidad natural del suelo, la humedad se calculó en laboratorio.

En el análisis del macizo rocoso en las zonas de mayor riesgo, en las cuales se realizará un análisis de taludes, se efectuó una clasificación geomecánica RMR – SMR y se determinó el índice de Resistencia Geológica (GSI) y la Resistencia a la Comprensión Uniaxial (UCS).

4.3.1. Geología del área de estudio

Este trabajo comienza en el poblado de Kututo, por el Norte, a lo largo del rio Santo Tomás hasta el poblado de Llusco. Además, el trazo de la carretera se encuentra ubicado entre altas a moderadas pendientes. A lo largo de dichas pendientes se desarrolla la agricultura, en donde también podemos encontrar afloramientos de rocas volcánicas y calizas. (Ver Imagen N° 13)



Imagen 13. Afloramiento de roca caliza - formación Arcurquina

A lo largo del rio Santo Tomás, desde el poblado de Kututo hasta el poblado de Llusco hay aproximadamente 9 kilómetros, en donde se encuentran rocas calizas de la formación Arcurquina, las cuales se caracterizan por presentar estratos métricos de calizas micríticas intercalados con niveles pelíticos y estratos de calizas micríticas centimétricas y en la parte inferior calizas micríticas masivas. En el sector de Kututo, estas se encuentran buzando hacia afuera de la ladera, sin embargo, por el plegamiento en la zona, en Llusco, las encontramos buzando hacia adentro de la ladera suprayaciendo con un contacto discordante a las calizas de la formación Arcurquina, donde se encuentran las tobas del complejo volcánico Vilcarani. En la zona se ha identificado dos horizontes, un primer horizonte de tobas englobando clastos de calizas de aproximadamente 5 cm y en la parte inferior, tobas blanquecinas de grano fino con biotitas negras y pardas. Además, se observa un afloramiento de intrusivo de tonalita de la Unidad del Colquemarca, el cual se caracteriza por su moderado intemperismo en la zona del deslizamiento del sector de Campanayocpata.

También podemos observar material suelo de cobertura cuaternaria a lo largo de todo el valle, principalmente terrazas fluviales, suelos residuales (en las zonas de menor pendiente), depósitos coluviales y depósitos aluviales. En estos materiales se observa

una matriz limo-arcillosa con clastos o fragmentos de caliza sub angulosos a sub redondeados de 2 cm a 10 cm aproximadamente.

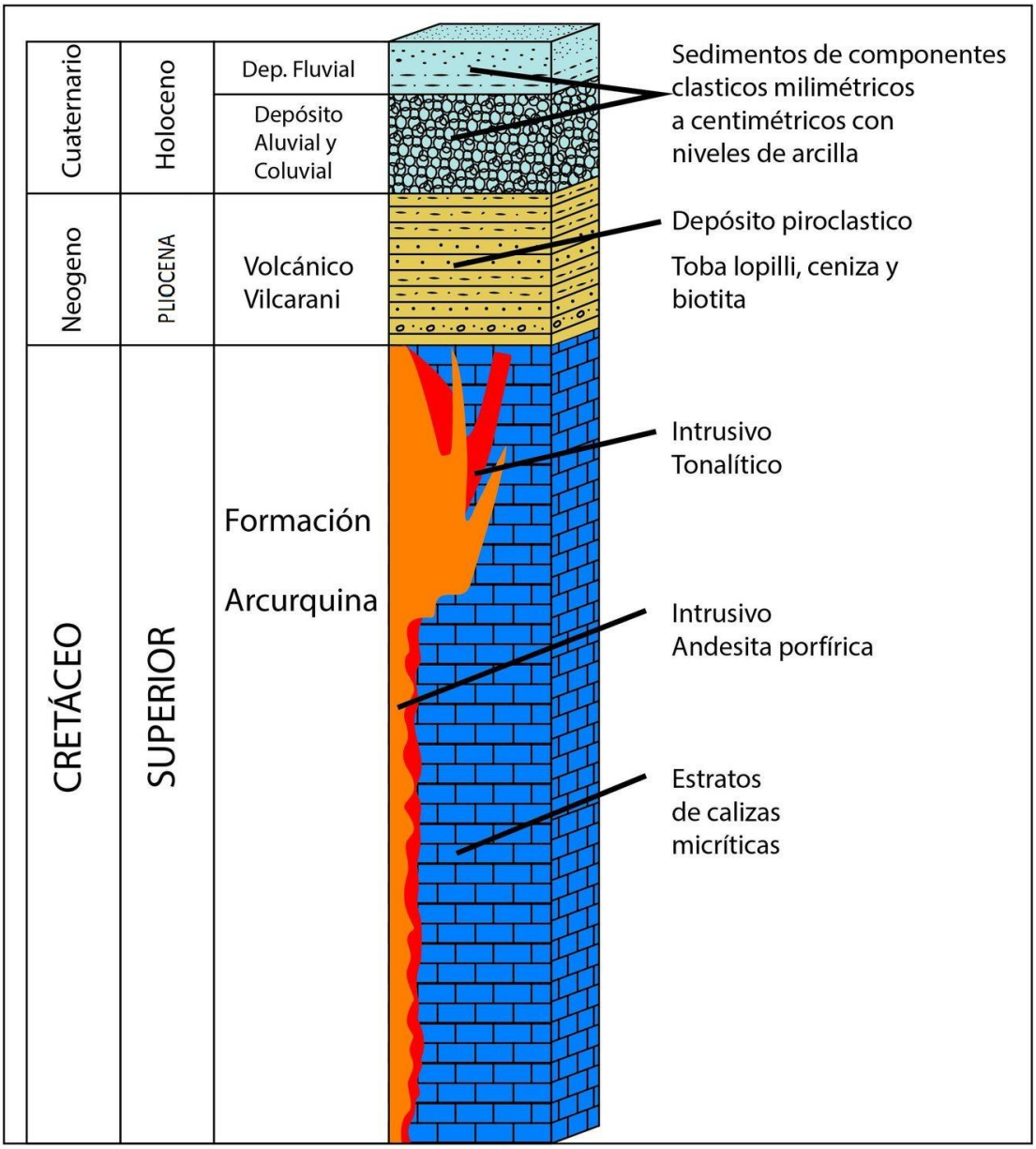


Imagen 14. Columna estratigráfica Localizada de los poblados de Lutto, Llusco y Kututo

Fuente: Del autor

4.3.1.1. Geología del Sector de Kututo

a. Formación Arcurquina

Secuencia de calizas suprayaciendo a la formación Murco, aflora en la zona del poblado de Kututo caracterizado por estratos métricos llegando hasta 2 metros aproximadamente, en la zona se observa un agresivo plegamiento de esta secuencia.

b. Formación Murco

Aflora en el poblado del Kututo infrayaciendo a la formación Arcurquina, se caracteriza por consistir en secuencias de limoareniscas y limoarcillas de color pardo rojizas, se presenta con un alto plegamiento y agresiva alteración disgregándose fácilmente con el uso de la picota.

c. Volcánico Vilcarani

Aflora laderas arriba del poblado Kututo con rocas volcánicas del tipo toba lítica con presencia de biotita, geotécnicamente se diferenció 2 niveles, tobas englobando clastos de caliza y tobas de ceniza.

d. Depósitos Fluviales

Están constituidos principalmente por arenas y conglomerados de diferentes tipos de roca, están formando terrazas y se encuentran en el rio Santo Tomás.

e. Depósitos aluviales

Se ubican en las laderas de los valles a lo largo del Rio Santo Tomás, compuesto principalmente de limo-arcillas englobando gravas angulosas de diferentes tipos de litología predominando los fragmentos de caliza, se les encuentra formando conos aluviales y en las laderas baja pendiente.

4.3.1.2. Geología del Sector de Lutto



Imagen 15. Afloramiento de Tonalita al lado derecho de la quebrada España

a. Roca Volcánica

Conformada por tobas de cristales y tobas líticas de clastos de caliza que se encuentran formando pseudoestratos con una suave inclinación, se encuentra en la parte alta del talud.

b. Roca Intrusiva

Se presenta en la parte baja de la quebrada España, tiene una alteración moderada por la cual se puede disgregar con la punta de la picota de geólogo.

c. Roca Caliza

Se presenta en la parte baja de las laderas en el sector del deslizamiento, caracterizado por su alto fracturamiento, por lo que este material geotécnicamente se puede analizar con comportamientos como suelo o roca débil.

d. Suelo residual

Este tipo de suelos proviene de la meteorización superficial de la roca volcánica por los agentes físicos y químicos principalmente. Esta capa se encuentra encima de la roca alterada, la cual forma conos aluviales que está asentada en la localidad de Lutto.

4.3.1.3. Geología del Sector de Llusco

a. Roca Volcánica

Se presenta como un suelo alterado que mantiene su estructura, es decir aún se observan los granos, esto por efecto de la meteorización, además se encuentra suprayaciendo a las calizas de la formación Arcurquina.

b. Roca Caliza

Aflora en la parte superior de los cerros alrededor del poblado de Llusco, con un buzamiento inclinado hacia adentro de la ladera, lo que lo hace favorable a la estabilidad de taludes.

c. Suelo residual

El suelo residual del sector de Llusco también proviene de la meteorización local de la roca volcánica en conjunto con de la roca caliza de la formación Arcurquina. Todo ello por efecto de los agentes erosivos, por lo cual consiste de una capa que se encuentra encima de la roca alterada.

d. Deposito Aluvial

Consiste de suelos finos limo-arcillosos y areno limosos, con fragmentos rocosos de calizas de diámetro aproximadamente 5 cm a 10 cm, provenientes de la meteorización de las calizas y tobas líticas, el cual se encuentra asentado el poblado de Llusco.

4.3.2. Geodinámica externa

Se observaron rasgos de remoción de masas, los cuales afectaron directamente la zona de estudio.

4.3.2.1. Caída de Rocas

La caída de rocas de muchos bloques en un solo evento requiere que haya habido un debilitamiento en la estructura del macizo rocoso, debido intenso diaclasamiento, la pendiente y la cara libre lateral por lo que no ofrece ninguna resistencia. El volumen de la caída de rocas depende la configuración de los planos de discontinuidad, el número de familias y su espaciamiento. (Suarez, 1988)

En la zona de estudio se puede visualizar zonas de riesgo a caída de rocas en el poblado de Lutto y Kututo.



Imagen 16. Caída de rocas en las laderas del rio Santo Tomás.

4.3.2.2. Deslizamientos

Es un tipo de movimiento que consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, los deslizamientos pueden comprender una sola masa que se mueve o puede comprender varias unidades o masas semi-independientes. Movimientos que pueden obedecer a una desestabilización

natural o antrópica por los efectos de corte, rellenos, deforestación, entre otras actividades. (Suarez, 1988)

En el poblado de Lutto, se aprecian deslizamientos rotacionales, en la carretera camino del poblado de Kututo a Lutto a lo largo de la carretera. (Ver Imagen N° 17)



Imagen 17. Deslizamiento del Sector de Campanayocpata, Localidad de Lutto

(Fuente: INGEMMET)

En las imágenes de abajo se muestra el área afectada de la localidad de Lutto, la cual empezó con la aparición de grietas tensionales de arco, para luego producirse el desplazamiento de suelos de la ladera del margen derecho de la Quebrada España como se observa en la imagen inferior, en donde el deslizamiento tiene un salto máximo de 38 metros, y parte del pie del talud ha sido modificado por los mismos pobladores para restaurar la carretera afectada por el deslizamiento, como resultado se observa la geomorfología en la actualidad imagen izquierda.

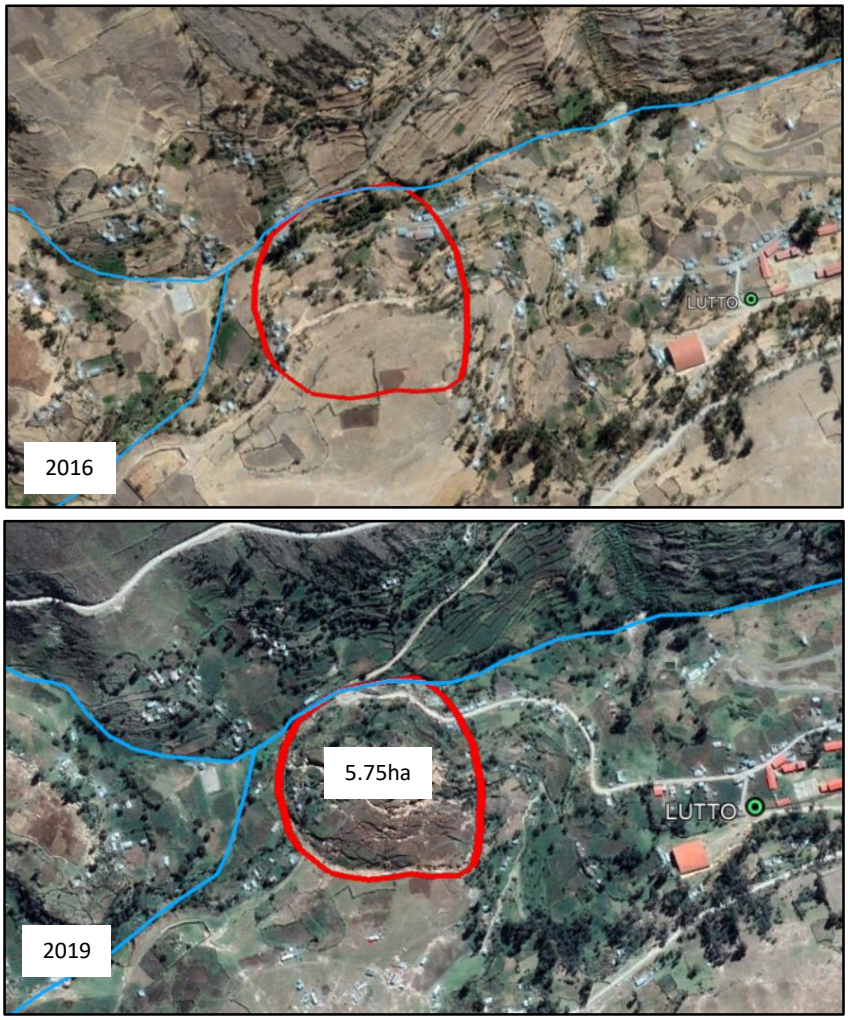


Imagen 18. Imagen satelital extraído de Google Earth en el año 2016 y 2019, donde se observa el deslizamiento rotacional en el sector de Campanayocpata.

4.3.2.3. Reptación de suelos

La reptación consiste de movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial, estos movimientos son de unos pocos centímetros al año pero afecta a grandes áreas de terreno y son consecuencia de las oscilaciones del clima, es decir los procesos de calentamiento y enfriamiento constante lo que hace perder consistencia a los suelos blandos. Además la reptación puede ser un indicador que bajo condiciones más severas se podrían presentar movimientos más rápidos, por lo tanto mucho más peligroso. (Ver Imagen N° 19)



Imagen 19. Reptación de suelos Poblado de Llusco

4.3.2.4. Filtraciones de agua



Imagen 20. Filtraciones de agua en el distrito de Llusco

4.3.3. Trabajos Geotécnicos de campo

Los trabajos Geotécnicos de Campo consistieron en los siguientes ensayos respetando su correspondiente Norma ASTM.

4.3.3.1. Calicatas



Imagen 21. Registro de calicata de 2.5 m



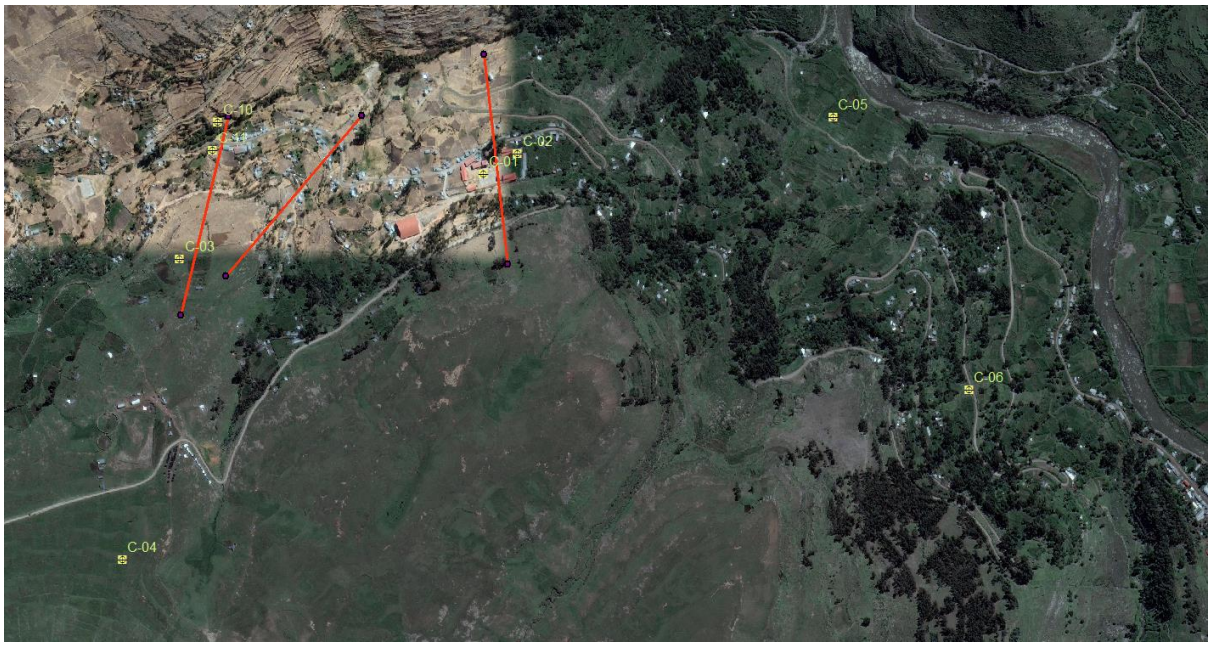
Imagen 22. Registro de calicata en zonas mapeadas con alto riesgo

Las calicatas son unas de las técnicas de prospección empleados para facilitar el registro superficial de tipos de suelo en terreno, son excavaciones de profundidad a media, realizadas normalmente con retroexcavadoras y a mano usando lampas y barrenos. (Ver Imagen N° 21)

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar, por lo que se utiliza este método para realizar un muestreo de suelos de fundación y para exploración, es necesario registrar los datos de la calicatas, su ubicación y elevación, además de su descripción según los horizontes que se puedan visualizar y la descripción de cada uno de ellos, la profundidad está determinada por las exigencias de la investigación, sin embargo es dada por el nivel freático, o cuando se llega al macizo rocoso. (Ver Imagen N° 22)

Ventajas de realizar calicatas en un estudio Geotécnico:

- Una inspección visual del terreno in situ.
- Toma de muestras.
- Realización de algún ensayo de campo.



Calicatas y secciones en la localidad de Lutto



Calicatas y secciones en la localidad de Llusco

Tabla 19. Resumen de los registros de calicatas

CALICATA	COORDENADAS			PROFUNDIDAD
	Norte	Este	Cota	
C-01	8407214	812257	3441	1.5
C-02	8407255	812325	3443	1.8
C-03	8407045	811651	3542	2
C-04	8406445	811537	3581	1.5
C-05	8407327	812954	3191	1.5
C-06	8406784	813225	3298	1.8
C-07	8405930	813852	3255	1.8
C-08	8406049	813968	3252	1.8
C-09	8406306	813981	3212	1.8
C-10	8407318	811727	3467	1.8
C-11	8407261	811716	3470	1.5
C-12	8413036	811135	3486	1.5
C-13	8412705	811556	3466	1.5
C-14	8413135	810783	3567	1.5

- Se puede observar el registro - **Anexo: Registro de Calicatas**

4.3.3.2. Ensayo de DPL

Este tipo de ensayo se realizó para determinar la resistencia de los suelos superficiales, como la resistencia al corte y la capacidad portante del suelo.

En el Anexo 3 - ensayos in situ, se muestran el registro de los ensayos DPL ejecutados en puntos ya definidos en fases de estudio preliminares. Ensayo ejecutado en los diferentes tipos de materiales que se exponen en las líneas de análisis de estabilidad. (Ver Imágenes N° 23, 24 y 25)



Imagen 23. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera en el Poblado de Lutto



Imagen 24. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera localidad de Lutto



Imagen 25. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera en la localidad de Lutto

4.3.3.3. Prueba de cono de arena

El ensayo de cono de arena se realizó en las diferentes clases de suelos que se pudo mapear en campo, poniéndole mayor enfoque a los que involucran zonas inestables, para así poder obtener su densidad natural y su peso unitario.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados de los ensayos de cono de arena realizados en campo.

Tabla 20. Resultados de la prueba de Cono de Arena

Código	Coordenada			Zona de Estudio	Tipo de Material	Densidad Natural (g/cm^3)	Contenido de Humedad (%)
	Norte	Este	Cota				
CA-01	8407215	812251	3303	Lluto	Deposito Coluvio – Aluvial	1.633	6.3
CA-02	8407215	812300	3301		Depósito Coluvio – Aluvial	1.403	7.2
CA-03	8407366	812186	3417		Depósito Aluvial	1.714	5.6
CA-04	8407048	811655	3544		Suelo Arcilloso	1.687	7.4
CA-05	8406438	811527	3588		Roca alterada	1.737	6.3
CA-07	8407326	812938	3205	Llusco	Depósito Aluvial	1.695	5.7
CA-08	8413172	810863	3548		Roca alterada	1.755	5.3
CA-09	8406049	813968	3252	Kututo	Depósito Fluvial	1.734	7.2
CA-10	8407166	812281	3455		Suelo residual	1.304	6.6

Los resultados se pueden observar en el **Anexo de Ensayos In Situ.**

4.3.3.4. Clasificación Geomecánica RMR

La clasificación geomecánica se realizó en los afloramientos de macizos rocosos, como en el intrusivo tonalítico aflorando en el poblado de Lutto y en las calizas de la formación Arcurquina que afloran en el poblado de Kututo y Llusco. Lo que consistió en la evaluación de la resistencia (ISRM) y la condición de las discontinuidades, de lo cual se obtuvo el valor RMR.

La clasificación RMR se muestra con mayor detalle en las tablas N° 8 y 12.

4.3.3.5. Resistencia a la compresión uniaxial (UCS)

Se utilizó el método de ISRM (ISRM, 1981) para estimar el "uniaxial compressive strength" o UCS, para poder valorar tanto al intrusivo como a la caliza que afloran en los sectores de este estudio.

El intrusivo se podía romper con la aplicación de muchos golpes con el martillo de geólogo, lo que lo ubicaría en una roca muy dura y se le asignaría el valor de 150 Mpa.

La caliza de la formación Arcurquina se pudo romper varios golpes firmes del martillo del geólogo, lo cual correspondería a una roca muy dura, por lo que es equivalente a una resistencia de 200Mpa.

4.3.3.6. Índice de Resistencia Geológica (GSI)

El índice de resistencia geológica (GSI), se estimó en campo, examinando diferentes estaciones geomecánicas donde se observó las condiciones de las discontinuidades en el macizo rocoso y la estructura rocosa que formaban estas discontinuidades.

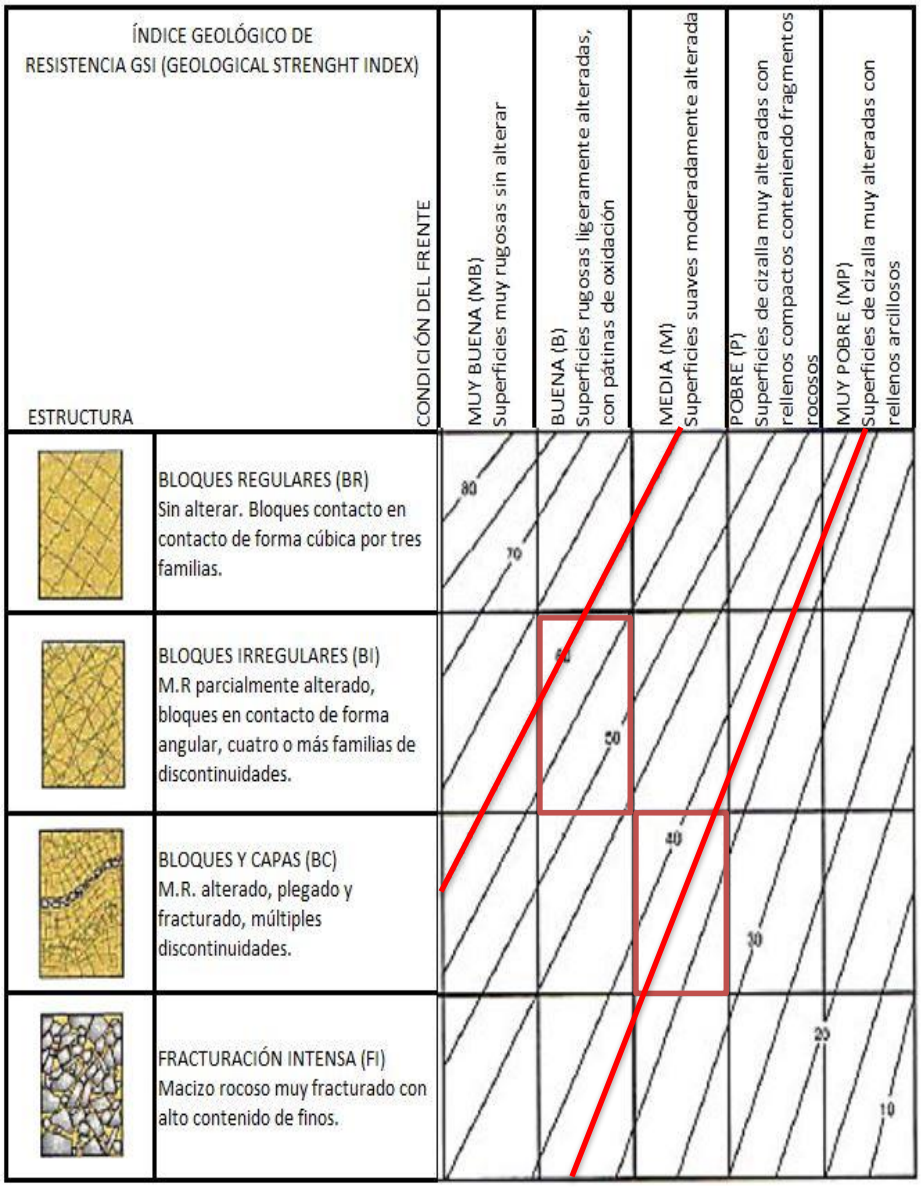


Imagen 26. Valoración del GSI, en base a una Descripción Geológica del Macizo Rocoso

Fuente: (Hoek & Brown)

El intrusivo tonalítico se encuentra aflorando en la parte baja del deslizamiento, el cual se encontraba parcialmente alterado formando bloques angulares formados por varias familias de diaclasas cuyas superficies eran moderadamente alterados y lisas, por lo que le corresponde un valor de GSI de 45.

En el caso de los afloramientos de caliza que afloran en el poblado de Kututo y Llusco, se encuentra diaclasado por 3 familias de diaclasas principalmente, formando bloques cúbicos entrabados, las superficies de las fracturas se encontraban moderadamente alteradas con baja rugosidad y una apertura aproximada de 3mm, por lo que le corresponde un valor de GSI de 60.

4.4. ANÁLISIS EN GABINETE

La parte del trabajo de gabinete consistió en definir el coeficiente sísmico en los poblados de Llusco, Lutto y Kututo. Por lo que se definió la aceleración sísmica horizontal que se utilizará en los cálculos a condiciones dinámicas.

Asimismo, se interpretó la data de campo registrada de las observaciones y ensayos in situ, y se realizó un control de calidad de los datos obtenidos del laboratorio corroborando que cumplan con las normas estipuladas en cada tipo de ensayo. Con ello se logró estimar las propiedades mecánicas con las que se trabajaran las secciones, como son; peso unitario, cohesión, ángulo de fricción interna, UCS, GSI y m_i. Además, con el fin de evaluar la estabilidad de las laderas de los tres poblados, se realizó un análisis retrospectivo, ya que por el mapeo realizado en campo se identificaron grietas tensionales e indicadores de movimiento de masas, lo cual nos da un indicio de que el factor de seguridad es muy cercano a 1. Por tal motivo, los parámetros serán ajustados a esas condiciones que interpretan de mejor manera el comportamiento global del terreno.

4.4.1. Aceleraciones Sísmicas según la Norma E.030

El territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas, la cual comprende a una zonificación propuesta por la en base a los estudios y recopilación de información de toda la sismicidad monitoreada, en las características principales

de los movimientos sísmicos y su relación en cuanto a la atenuación para tener un valor más preciso de las aceleraciones en los distintos puntos del territorio, y como complemento el ajuste con la información neotectónica.



Imagen 27. Zonas sísmicas

Fuente: (El Peruano, 2006)

La norma E.030 estima una aceleración máxima horizontal con un periodo de retorno de 475 años, a 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años, lo que representa el valor Z en cada sector. Además este factor Z, es una parte del valor de la gravedad, que multiplicado por un coeficiente se obtiene el coeficiente sísmico. (El Peruano, 2006)

Tabla 21. Factor Z según la zona de estudio.

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

La zona de estudio corresponde a la Zona 3 según el mapa de zonas sísmicas, por lo cual le corresponde un valor de 0.35 para todas las secciones consideradas en el presente estudio.

Tomando como referencia la Norma E030 diseño sismoresistente para un 10% de excedencia en 50 años (Ver Tabla N°23) que es la mitad de la aceleración máxima horizontal de 0.35g Para este estudio se estimó en base a la norma, un coeficiente sísmico de 0.17g. La aceleración vertical no se tomó en cuenta por ser una zona muy alejada a la interfase de placas.

4.4.2. Constante de la Roca Intacta

En el método de análisis de estabilidad, se usará el tipo de esfuerzo de Hoek – Brown generalizado, por lo que se debe considerar un valor para la constante de la roca intacta (m_i) por cada macizo rocoso que se presente en las secciones a ser evaluadas.

El valor se estimó en la Tabla N° 24.

Tabla 22. Valores de la constante mi de la Roca Intacta para los distintos tipos de roca.

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
				←---------- Grauwaca ----------→ (18)		
	No Clásticas	Orgánicas		←---------- Creta ----------→ 7		
				←---------- Carbón ----------→ (8 – 21)		
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
		Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13	
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 – 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
			Diorita (28)		Andesita 19	
		Oscuras	Gabbro 27	Dolerita (19)		
			Norita 22		Basalto (17)	
	Extrusivas Pioroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Los macizos rocosos comprenden de un intrusivo tonalito y una caliza de textura media a gruesa micrítica, por lo que les correspondería un valor de 27 y 8 respectivamente.

4.4.3. Condiciones Geotécnica de las Laderas

Se realizó las evaluaciones mediante ensayos in situ para conocer las condiciones geotécnicas de las laderas. Los resultados de los ensayos fueron insertados en las secciones y a partir de ahí ajustados a las condiciones reales de las laderas.

4.4.3.1. Laderas del poblado de Kututo

De acuerdo a los estudios realizados en campo en el poblado Kututo, en referencia a las calicatas y ensayos de tomografía eléctrica, se distinguieron 5 tipos de capas. los materiales de cobertura tienen un espesor de 0.1 a 1 metro, en material aluvial presenta un espesor de 1.0 a 7 metros, suelo residual de 0.5 a 1 metro, y roca fracturada de 7 metros a 20 m.

En las capas superficiales se observaron grietas tensionales de 3 a 8cm como indicios de movimientos progresivos del terreno, por lo que se consideró este sector en la evaluación de laderas.

Los ensayos de Laboratorio de mecánica de suelos realizados a los materiales en este poblado indican los siguientes parámetros:

Tabla 23. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Kututo

POBLADO DE KUTUTO			
Clasificación SUCS	**GC**	**CL1**	**CL2**
Límite Líquido	30	36	38
Límite Plástico	13	18	24

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio de suelos para el cálculo de los parámetros geotécnicos, cohesión y ángulo de fricción, del ensayo de corte directo, así como también de los ensayos in situ como el cono de arena, ensayo de DPL, apartir de los cuales se estimó las siguientes propiedades mecánicas para los 3 horizontes de suelos:

Tabla 24. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Kututo

Parámetros	SUELO FLUVIAL (GC)	DEPOSITO ALUVIAL (CL)	SUELO SAPROLITO (CL)
Densidad Natural (Yn)	**1.730 g/ cm^3**	**1.304 g/ cm^3**	**1.732 g/ cm^3**
Cohesión (C)	**25 KPa**	**24.6KPa**	**24.6KPa**
Angulo de Fricción Interna (y)	**26°**	**11°**	**16°**

En el caso de los macizos rocosos, se realizó estaciones geomecánicas donde se determinó los parámetros de calidad, tanto para la caliza como para el intrusivo tonalítico.

Tabla 25. Clasificación geomecánica de la Tonalita en el Poblado de Kututo

POBLADO DE KUTUTO - TONALITA	
RMR Básico	**84**
RMR Ajustado	**79**
Resistencia a la compresión Uniaxial (UCS)	**150**
Índice de Resistencia Geológica (GSI)	**55**
Valor (mi)	**33**

Tabla 26. Clasificación geomecánica de la Caliza en el Poblado de Kututo

POBLADO DE KUTUTO - CALIZA	
RMR Básico	**79**
RMR Ajustado	**75**
Resistencia a la compresión Uniaxial (UCS)	**175**
Índice de Resistencia Geológica (GSI)	**60**
Valor (mi)	**8**

Con las evaluaciones realizadas en campo se pueden determinar los factores que generan los movimientos geodinámicos, los cuales están dominados por los siguientes agentes externos:

- Fracturamiento de la Roca aflorante.
- Filtración de agua en las laderas.
- Espesor de la capa arcillosa en el sitio.

4.5.3.2. Laderas en el Poblado de Lutto

Zona en la cual se registró un deslizamiento rotacional de 38 metros de escarpe en la ladera derecha de la Quebrada España. Es por ello, que esta zona está actualmente restringida como asentamiento. Además, hubo movimientos de tierra en el pie del deslizamiento lo que podría significar una desestabilización de la ladera.

A continuación se presentan los materiales que lo conforman:

- Roca Alterada
- Suelo Limo-arcilloso.
- Roca Fracturada.

Se obtuvieron los siguientes parámetros del laboratorio de mecánica de suelos:

Tabla 27. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Lutto

POBLADO DE LUTTO		
Clasificación SUCS	**CL**	**GC**
Límite Líquido	**33**	**28**
Límite Plástico	**18**	**14**

Se ha considerado las siguientes propiedades mecánicas para los dos tipos de suelos en la localidad de Lutto. Las propiedades mecánicas se obtuvieron de los ensayos de corte directo y ensayos de cono de arena.

Tabla 28. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Lutto

Parámetros	SUELO ARCILLOSO (CL)	SUELO GRAVOSO (GC)
Densidad Natural (Yn)	**1.695**	**1.403**
Cohesión (C)	**26.9**	**8.5**
Angulo de Fricción Interna (ϕ)	**9**	**18**

A partir de las propiedades mecánicas y evaluaciones en campo, los principales factores que afectan la estabilidad de las laderas de este poblado son:

- Tipo de suelo Arcilloso a limo arcilloso sumado a la infiltración de agua en épocas de lluvia bajando su resistencia al corte.
- Talud de pendiente alta mayor según el método de Rankine.
- Modificación de la geometría del talud.

4.5.3.3. Laderas del poblado de Llusco

En el poblado de Llusco se observó movimientos de geodinámica externado como reptación, los cuales están en la parte superior de las laderas en suelos limo arcillosos con clastos de caliza con presencia de saltos escalonados de aproximadamente 15 cm, por lo que se consideró la evaluación de este poblado.

Según los ensayos de mecánica de suelos realizados en las muestras ubicadas en el Poblado de Llusco, obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 29. Límites de Atterberg y clasificación granulométrica del Poblado de Llusco

POBLADO DE LLUSCO		
Clasificación SUCS	**GP**	**CL**
Límite Líquido	**38**	**33**
Límite Plástico	**24**	**21**

De los resultados obtenidos de los ensayos como el de corte directo, cono de arena y DPL, se obtuvo las siguientes propiedades mecánicas de los materiales identificados en el poblado de Llusco:

Tabla 30. Parámetros Geotécnicos de los suelos del Poblado de Llusco

Parámetros	SUELO RESIDUAL (GP)	SUELO ARCILLOSO (CL)	SUELO GRAVA ARCILLA
Densidad Natural (Yn)	1.737	1.633	1.714
Cohesión (C)	10.2	20.1	25.2
Angulo de Fricción Interna efectiva (ϕ)	34	11	19

Los agentes que impulsan los principales movimientos de geodinámica externa son:

- Filtración de agua en los suelos limo-arcillosos, disminuyendo su cohesión y aumentando su peso.
- Exposición de suelos limo-arcillosos en las laderas de los cerros alrededor del poblado.
- Presencia de agrietamientos escalonados y cambios de pendiente en el mismo material.

4.4.4. Secciones de Estabilidad de las Laderas

Para ejecutar los análisis e interpretación de la estabilidad de las laderas se realizó una metodología de investigación sobre la base de modelos geotécnicos y geofísicos, en la cual intervienen aspectos geológicos, ensayos de geofísicos y ensayos in situ de los distintos materiales que constituyen las laderas de los poblados de Kututo, Lutto y Llusco.

Se ha utilizado el programa Slide 6.0 de Rocscience, en el cual se efectúa el análisis de estabilidad de las laderas por equilibrio limite, utilizando los modelos de Morgenters Price y Bishop simplificado, para los deslizamientos circulares, en suelos y rocas altamente fracturadas que cumplen un comportamiento similar a los suelos, el programa genera numerosas superficies de falla potencial, en las

cuales podemos encontrar el mínimo valor de factor de seguridad, además de poder realizar análisis con los reforzamientos o modificaciones que podríamos considerar para el aseguramiento de la estabilidad, complementando el estudio se ha realizado un análisis retrospectivo (*Black Analysis*) en los taludes de los poblados de Lutto para determinar los parámetros de la resistencia al corte de Mohr-Coulomb, cohesión c y ángulo de fricción interna φ, ya que existe una cierta incertidumbre en la representación de los materiales con los parámetros que nos brinda el laboratorio, este análisis asume un factor de seguridad de 1 en la superficie de deslizamiento definida tomando en cuenta la geometría del talud.

Se ha realizado en análisis de estabilidad de taludes en condiciones estáticas es decir sin carga sísmica, y en condiciones pseudo-estáticas, en la última condición se acepta un valor mínimo de 1. En el caso de las condiciones pseudo-estáticas, la aceleración horizontal es 0.17.

4.4.4.1. Análisis de Estabilidad de Laderas en el Poblado de Kututo

En el poblado de Kututo encontramos dos tipos de suelo, Grava arcillosa (GC) que yace sobre Arcilla limosa (CL) la cual se expone en la ladera de todo el poblado de Kututo sobre arcillas blanquecitas (CL). En terreno en esta zona está formado por grietas tensionales y filtraciones de agua.



Imagen 28. Mapa de Ubicación del Perfil de estabilidad de laderas en la Localidad de Kututo

El horizonte de suelo de grava arcillosa (GC) tiene un espesor de 6 metros en promedio el cual va aumentando conforme nos acercamos al valle de Santo Tomás, el deposito Aluvial, suelo de tipo CL se encuentra en casi toda la ladera con un espesor aproximado de 6 metros, baje este horizonte de suelos se encuentra el suelo arcilloso de la meteorización de la toba blanquecina con un espesor de 14 metros, este horizonte yace sobre la superficie de contacto roca – suelo. Este tipo de suelos no aplican cargas considerables para afectar a la base rocosa.

La interface entre roca fracturada consiste de calizas de la formación Arcurquina con un plegamiento moderado, de calidad geotécnica media, por lo que se realizó un análisis cinemático de roturas tipo planar, en cuña y vuelco, que

puedan afectar la estabilidad, cabe resaltar que este no es el principal problema de estabilidad de taludes de la zona de estudio.

En las laderas superiores la presencia de grietas tensionales se debe a la filtración de agua debido al constante riego de los terrenos de cultivo. Que implica un riesgo medio para el poblado de Kututo siendo afectado directamente de existir alguna remoción de masas en este sector.

El principal factor desestabilizante en la identificado en este estudio, son las lluvias torrenciales, este fenómeno genera que el agua se infiltre a través de las grietas saturando el suelo que consiste de arcillas limosas, aumentando la presión de poros baja la resistencia al corte del suelo, por otro lados esta infiltración de agua puede aumentar la probabilidad de una falla de la ladera por interface roca-suelo contacto que está orientado hacia fuera del talud, actuando como un plano de deslizamiento.

Los cálculos de estabilidad de taludes se realizaron usando el Software Slide 6.0 y para el macizo rocoso se ha usado el criterio de Hoek y Brown. A partir de los datos obtenidos en campo como es el GSI, UCS y mi, se determinaron los siguientes parámetros geotécnicos de los afloramientos rocosos rocosos (Formación arcurquina y Volcanico Vilcarani), sin embargo, debido a que el macizo rocoso se presenta conservado y el análisis de rotura no identifica un potencial falla se ha considerado en el estudio con el criterio de esfuerzo infinito, por lo tanto las fallas que se están analizando solo pasaran por las capas de suelo.

Tabla 31. Constantes de la Caliza, Criterio de falla de Hoek y Brown

Constantes	ROCA FRACTURADA CALIZA
m	1.604
s	0.0067
a	0.504

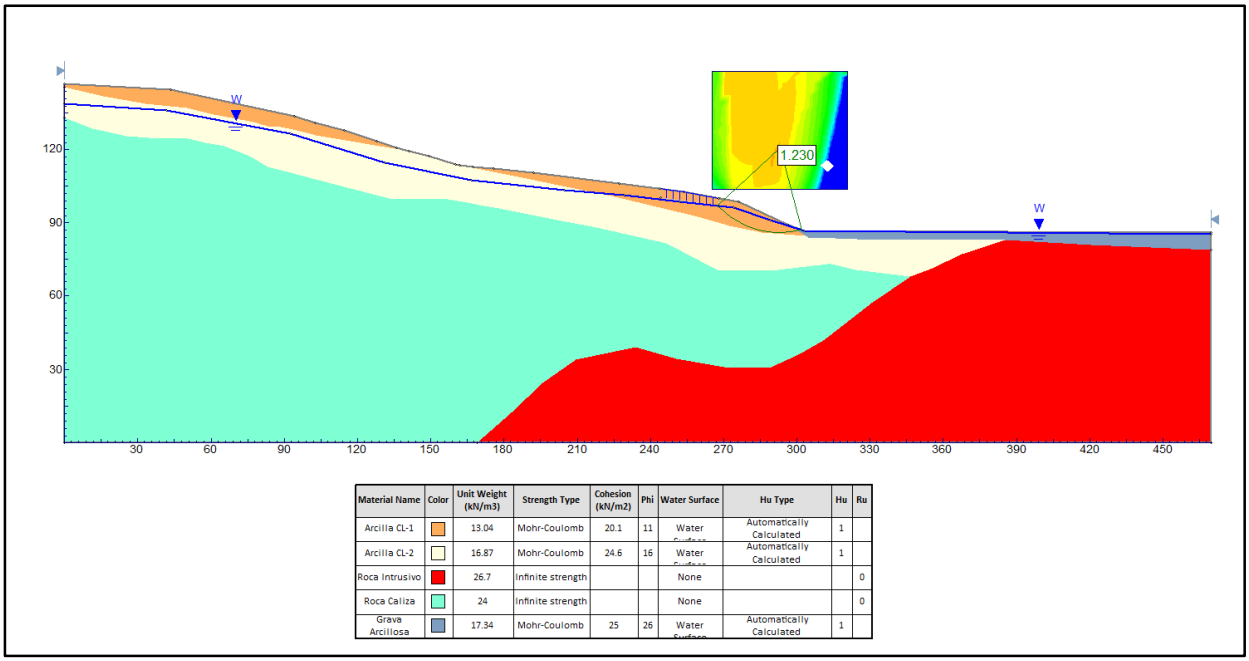
Tabla 32. Constantes del macizo rocoso de Tonalita, Criterio de falla de Hoek y Brown

Constantes	ROCA FRACTURADA TONALITA
m	3.787
s	0.0022
a	0.508

Para el análisis de estabilidad en suelos se usó el criterio de Morh-Coulomb, donde se insertó los siguientes parámetros:

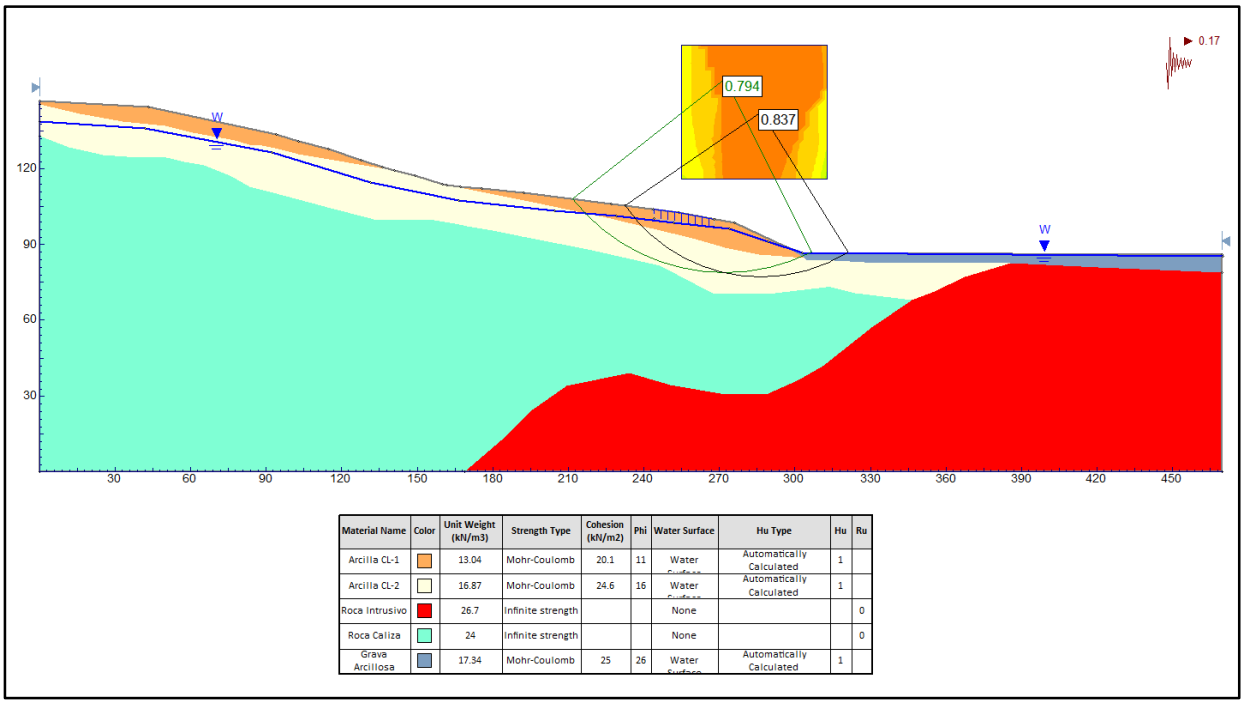
Tabla 33. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Kututo

Material	Ensayo	Peso Unitario (γ)	Cohesión(C)	Ángulo de fricción Interna(φ)
GC	CD / Cono de arena	17.34	25	26
CL – 1	CD / Cono de arena	13.04	20.1	11
CL – 2	CD / Cono de arena	16.87	24.6	16



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL-1		13.04	Mohr-Coulomb	20.1	11	Water	Automatically Calculated	1	
Arcilla CL-2		16.87	Mohr-Coulomb	24.6	16	Water	Automatically Calculated	1	
Roca Intrusivo		26.7	Infinite strength			None			0
Roca Caliza		24	Infinite strength			None			0
Grava Arcillosa		17.34	Mohr-Coulomb	25	26	Water	Automatically Calculated	1	

Imagen 29. Sección de ladera en condiciones estáticas Localidad de Kututo



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL-1		13.04	Mohr-Coulomb	20.1	11	Water	Automatically Calculated	1	
Arcilla CL-2		16.87	Mohr-Coulomb	24.6	16	Water	Automatically Calculated	1	
Roca Intrusivo		26.7	Infinite strength			None			0
Roca Caliza		24	Infinite strength			None			0
Grava Arcillosa		17.34	Mohr-Coulomb	25	26	Water	Automatically Calculated	1	

Imagen 30. Sección de ladera en condiciones Pseudo-estáticas en localidad de Kututo

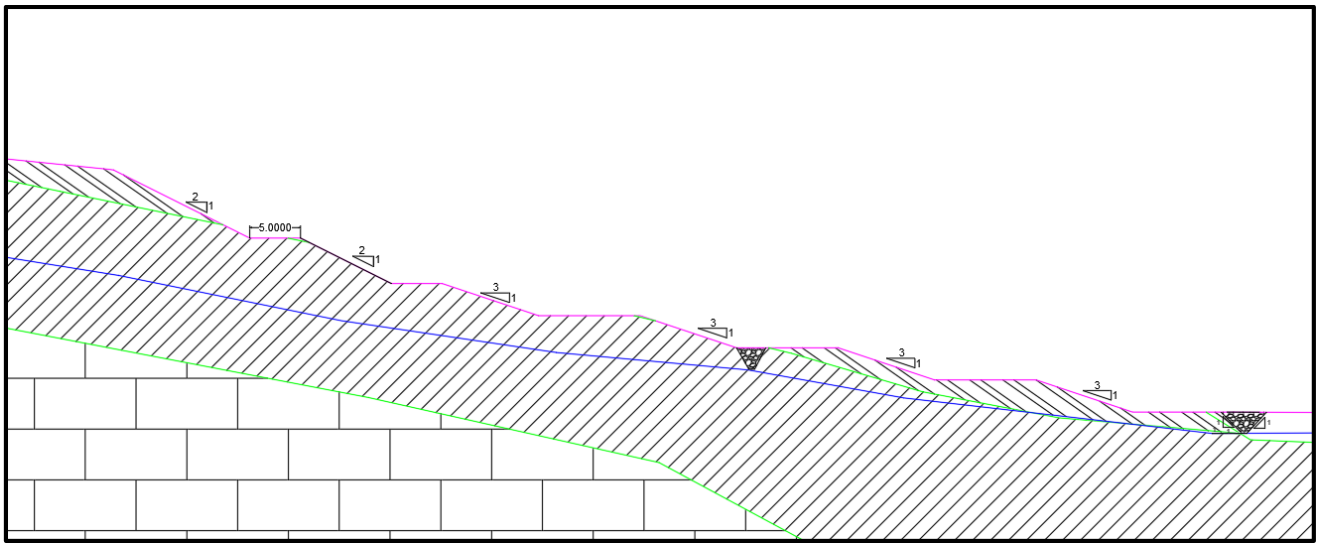


Imagen 31. Alternativa de estabilización corte y relleno combinado con Subdren interceptor

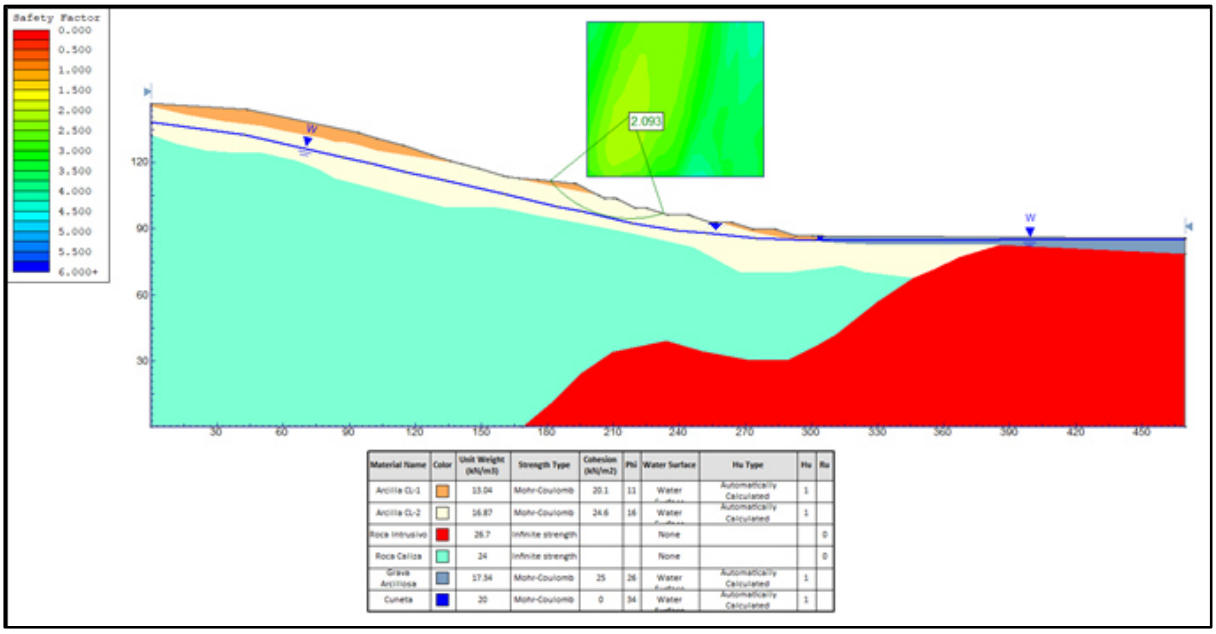


Imagen 32. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición estática

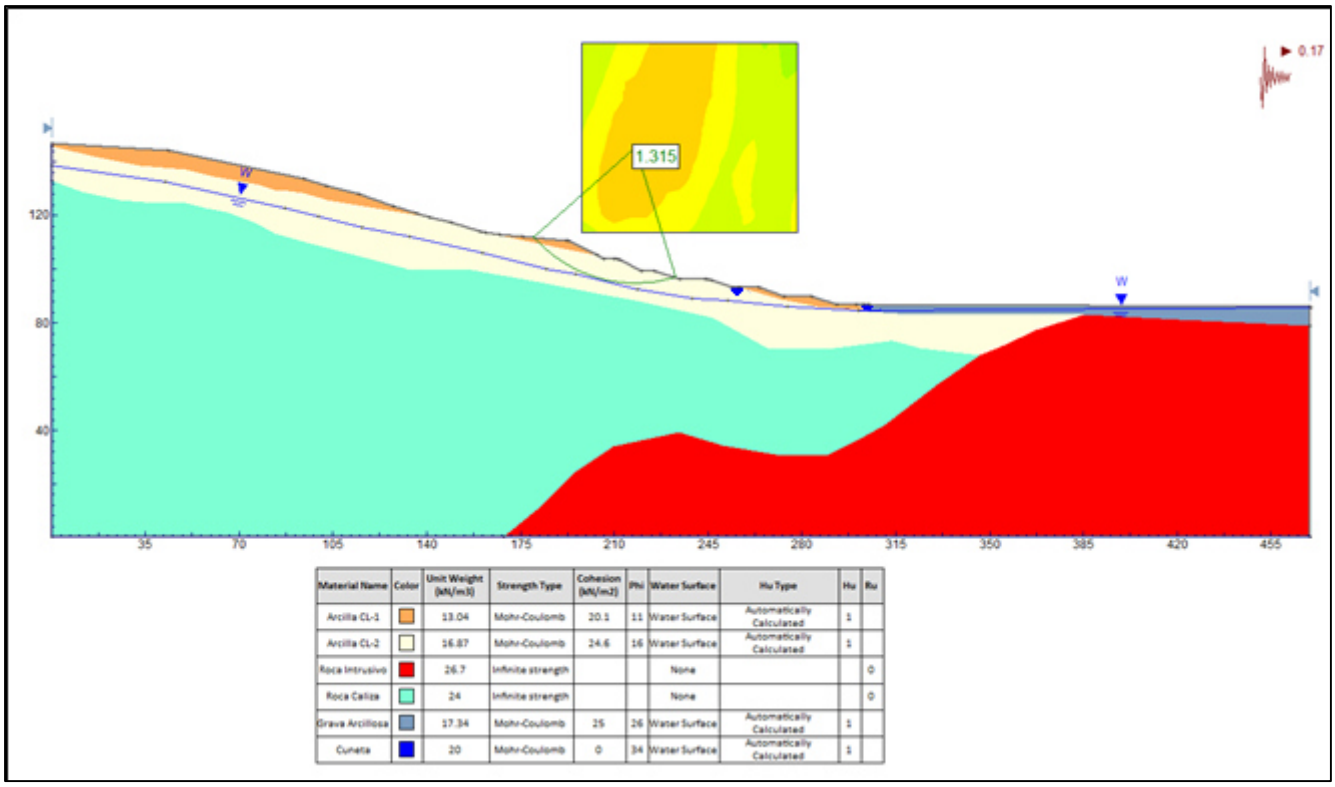


Imagen 33. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición pseudo - estática Norma E0.30.

Tabla 34. Factor de seguridad talud natural del Poblado de Kututo

Sección 6	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 13 m	1.28		0.931		0.802	
Nivel de Agua -9 m	1.168		0.847		0.73	
Nivel de Agua - 5 m	1.085	1.771	0.782	1.190	0.673	0.107

4.4.5.2. Análisis de Estabilidad de Laderas del Poblado de Lutto

En el poblado de Lutto, ladera derecha de la quebrada España encontramos dos horizontes de suelos; arcilla de baja plasticidad con arena (CL) con clastos de caliza de 2 a 5 cm, sobre un horizonte de grava de arcillosa con arena (GC).



Imagen 34. Secciones de las laderas en la localidad de Lutto

Este sector es el más crítico en este estudio, en la cual se tiene mapeado deslizamientos rotacionales de 38 metros de escarpe, grietas tensionales de 5cm a 50 cm de abertura, poniendo en riesgo a la población de Lutto a una reactivación del deslizamiento.

Actualmente la Municipalidad de Lutto está realizando proyectos para la construcción de la nueva posta y el colegio de Lutto, sin embargo están situadas bajo grietas tensionales, por lo que se evaluará la estabilidad de las laderas en las que están situadas.

De acuerdo con los ensayos realizados en campo se obtuvieron resultados de los ensayos DPL y densidad natural de los dos horizontes registrados, en tanto a las descripciones en campo y ensayos de laboratorio, se definieron las siguientes propiedades mecánicas para la evaluación de la estabilidad de laderas con el criterio de rotura de Morh-Coulomb.

Tabla 35. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Lutto

Suelo	Ensayo	Cohesión(C)	Ángulo de fricción Interna efectiva (φ)	Peso Unitario (γ)
CL	**CD / Cono de Arena**	**26.9**	**9**	**14.03**
GC	**CD / Cono de Arena**	**8.5**	**18**	**16.95**

En este sector se tiene mapeado un plano de deslizamiento en la ladera derecha de la quebrada España. Por lo que se puede realizar un análisis retrospectivo, utilizando el método de Morgenstern- Price para llegar a parámetros más exactos de los tipos de suelos y poder realizar el análisis de laderas con los valores propuestos.

Los valores del análisis retrospectivo se muestran en la siguiente imagen:

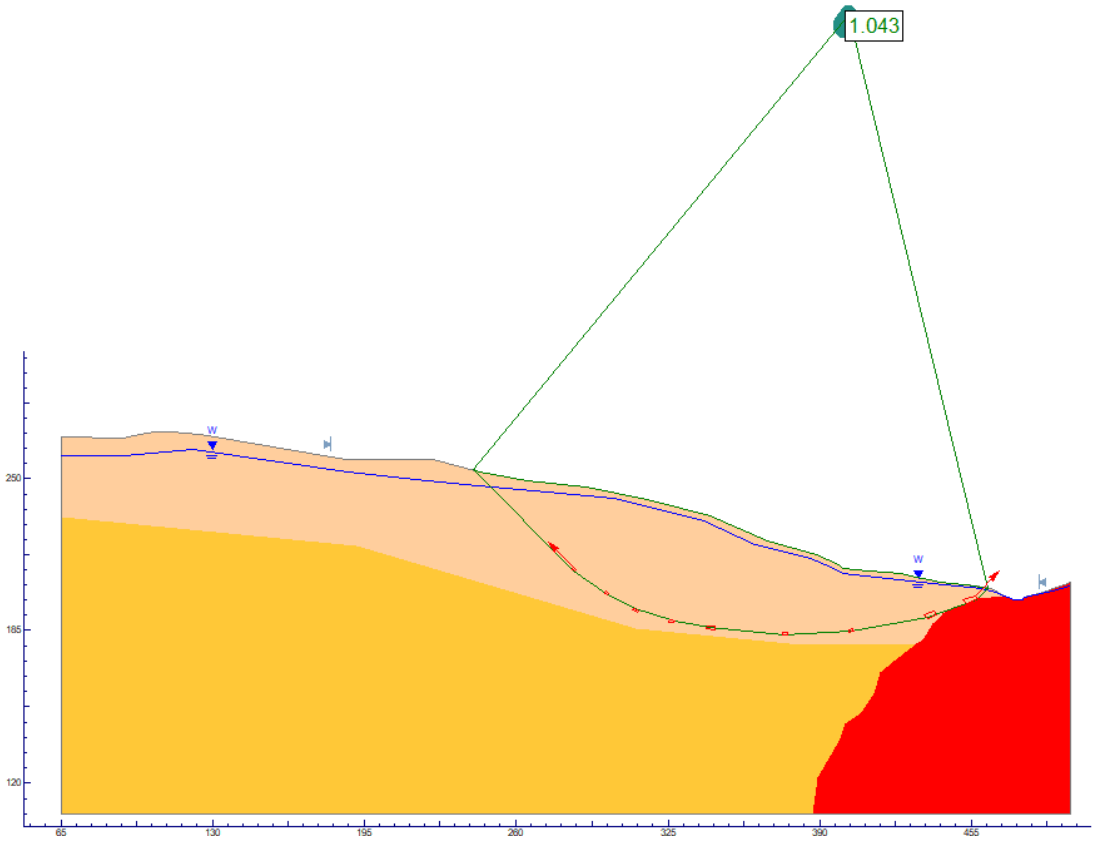


Imagen 35. Sección topográfica del 2016 Poblado de Lutto para realizar el Back Analysis.

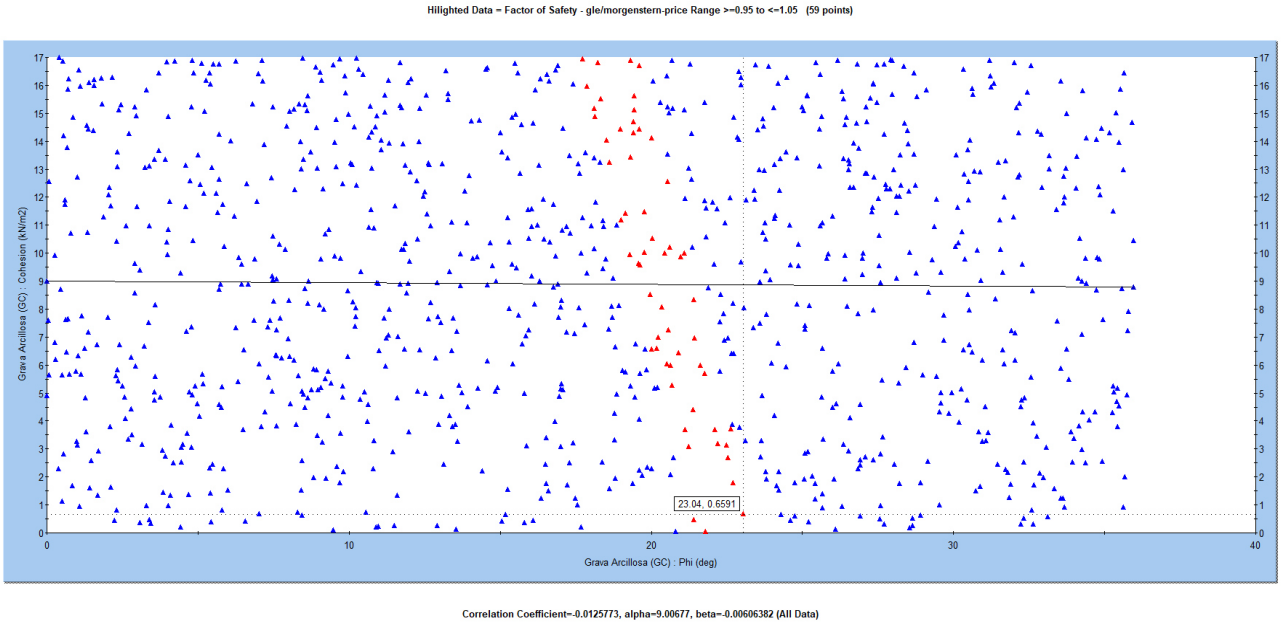
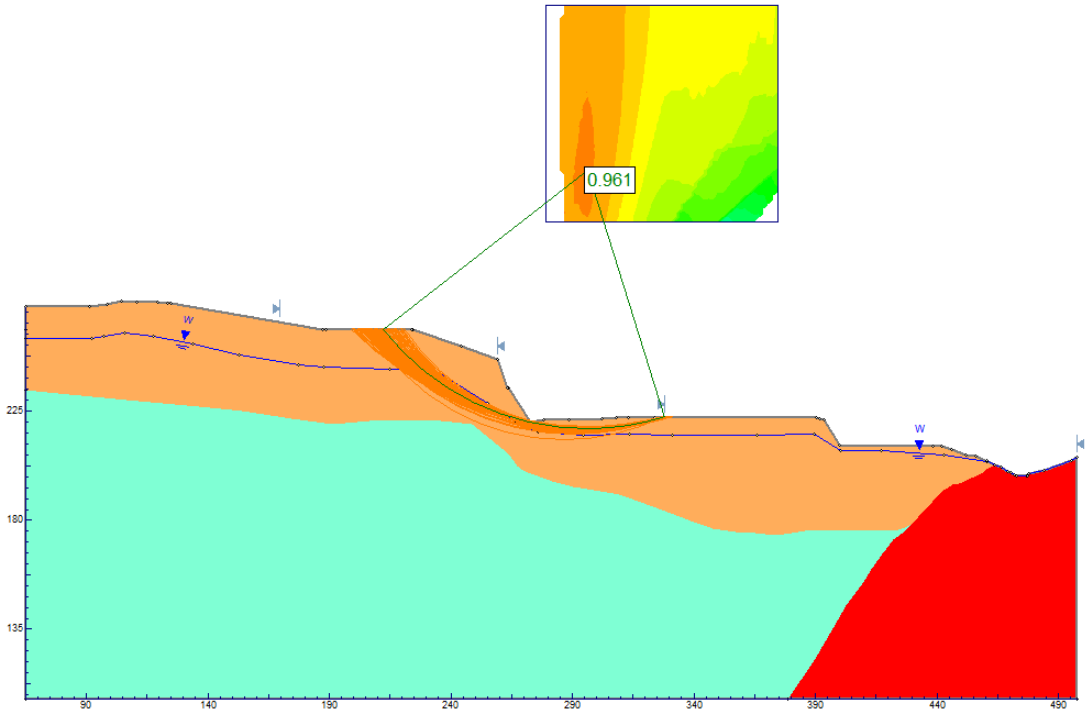
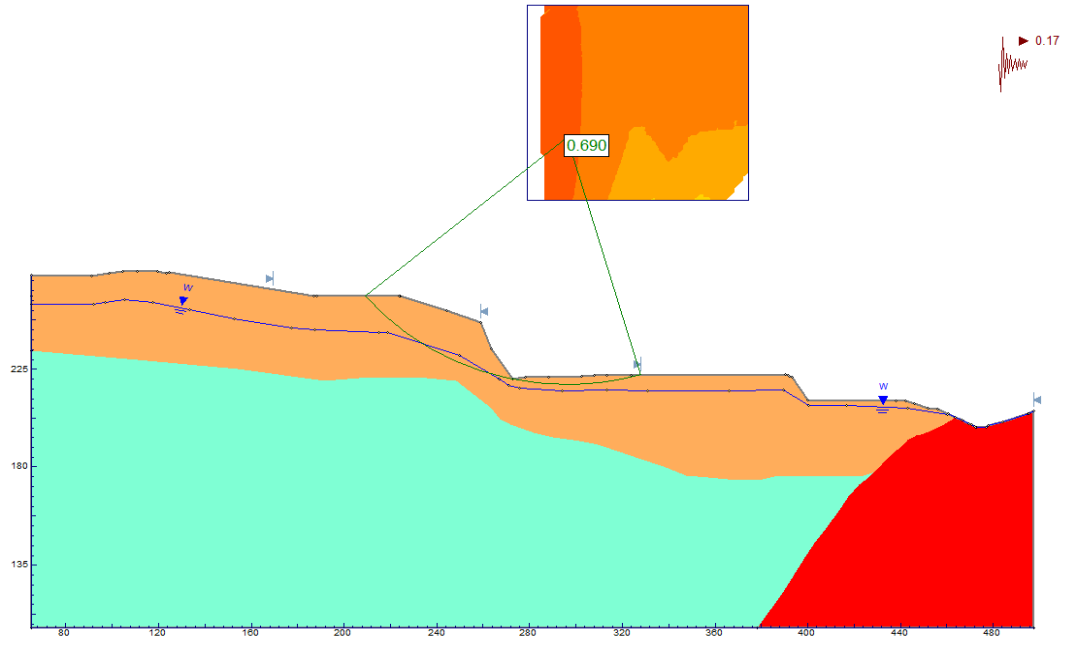


Imagen 36. Análisis retrospectivo del deslizamiento sector Campanayocpata



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Grava Arcillosa GC		16.95	Mohr Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0

Imagen 37. Análisis de Estabilidad Sección 2, localidad de Lutto para un nivel de freático con una profundidad promedio de 12 metros.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Grava Arcillosa GC		16.95	Mohr-Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0

Imagen 38. Análisis de estabilidad sección 2, condiciones pseudo – estáticas Norma E0.30

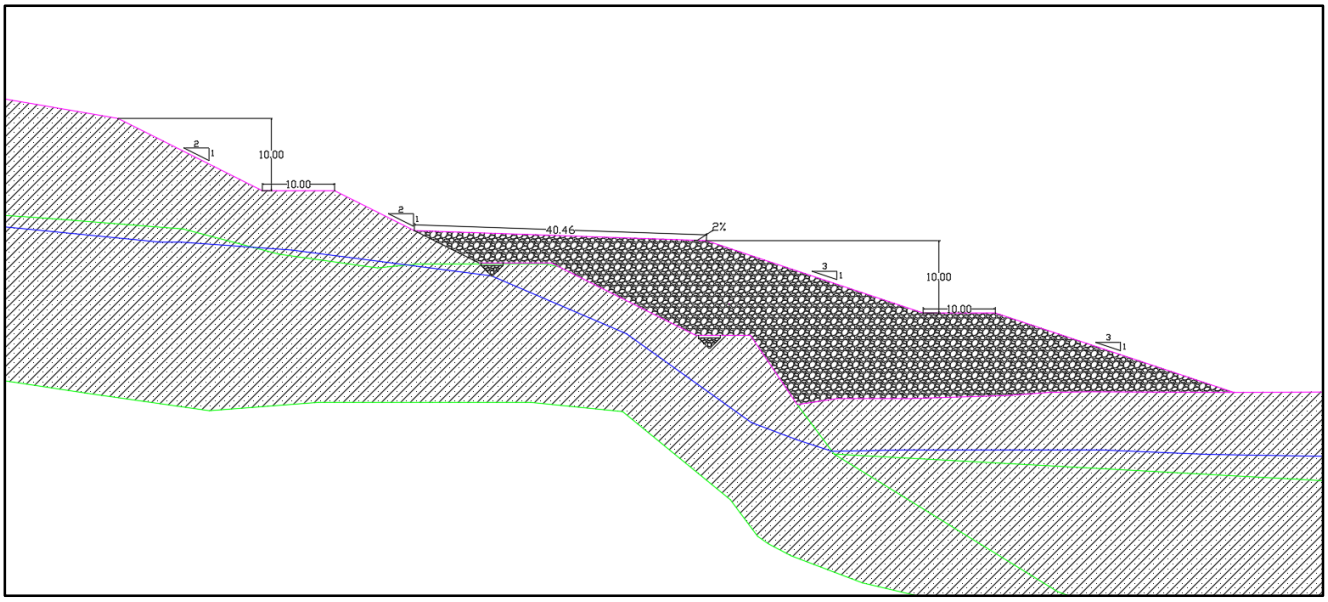
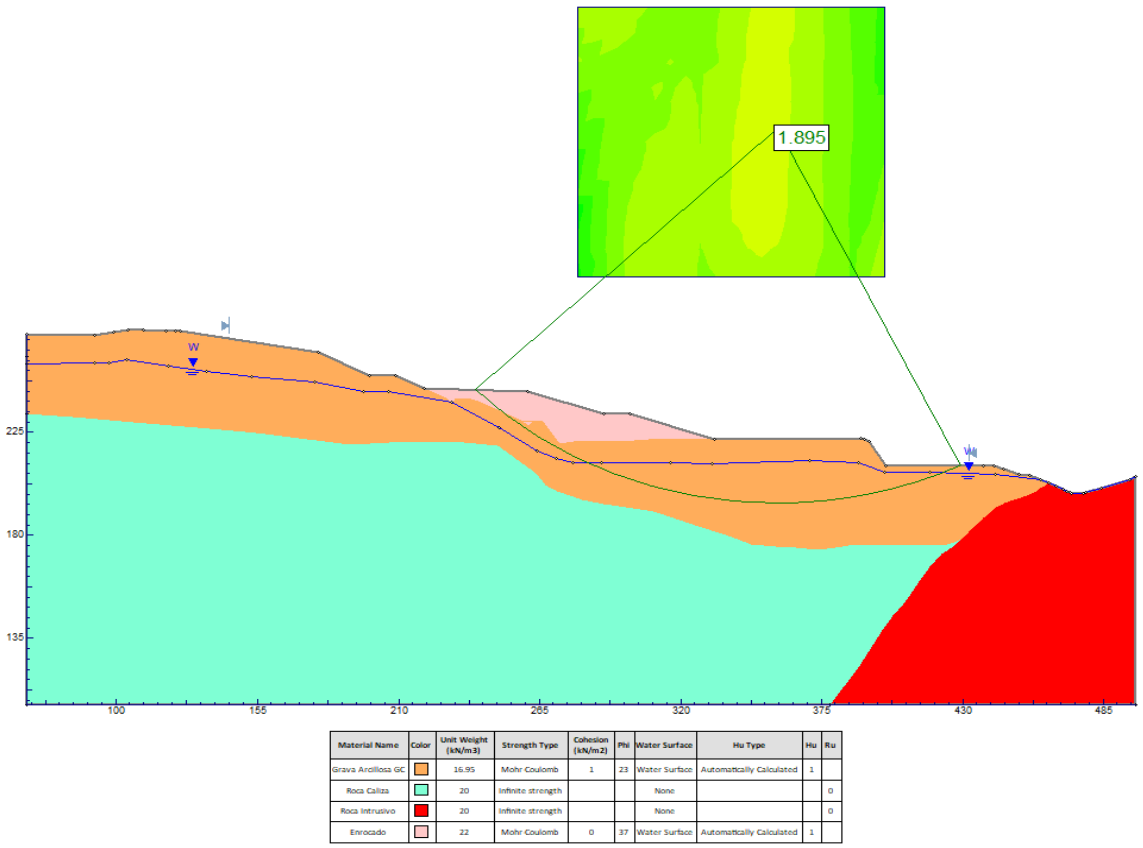


Imagen 39. Alternativa de estabilización en la localidad de Lutto, Corte y relleno de enrocado combinado con subdren interceptor



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Grava Arcillosa GC		16.95	Mohr Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0
Enrocado		22	Mohr Coulomb	0	37	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 40. Análisis de estabilidad aplicando la alternativa de estabilización condición estática

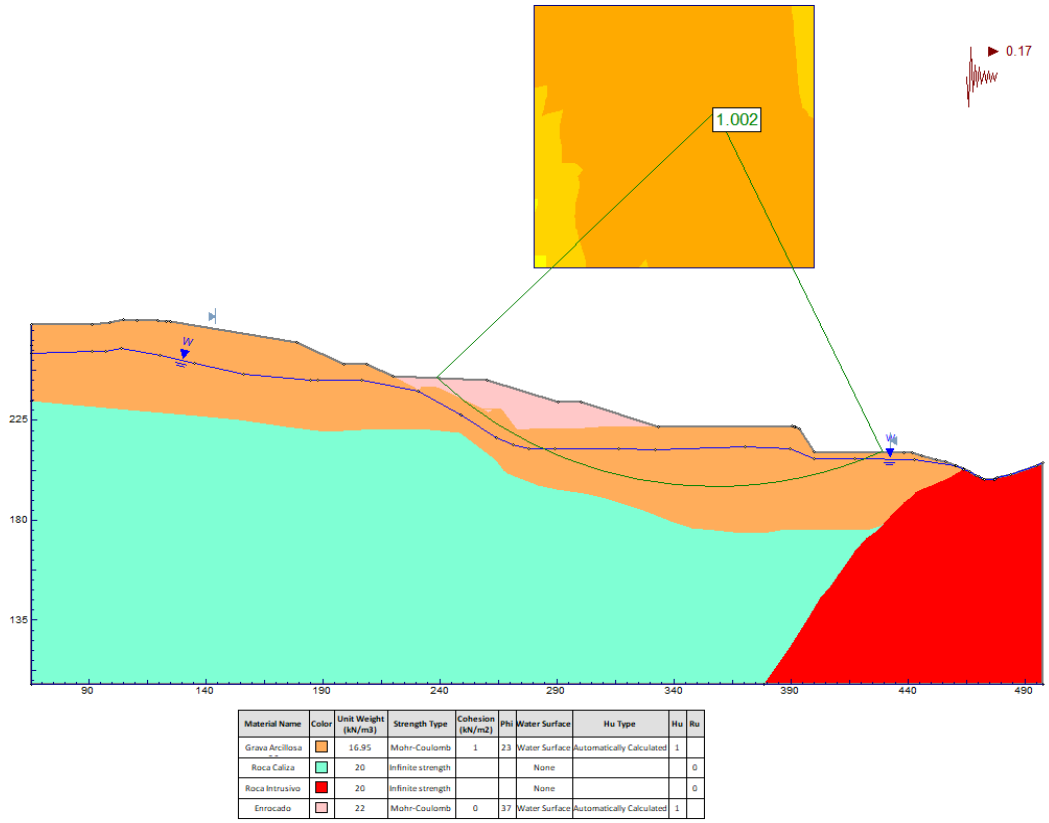


Imagen 41. Análisis de estabilidad en condiciones pseudo – estáticas Norma E0.30, aplicando la alternativa de estabilización

Tabla 36. Parámetros obtenidos del *back analysis*

Suelo	Peso Unitario ()	Cohesión ()	Ángulo de Fricción interna ()
GC	**16.95**	**1**	**23**

En la imagen 38, se muestra sección que representan el modelo de estabilidad en el poblado de Lutto, tomando como parámetro clave el deslizamiento. A continuación se resume los resultados del cálculo del factor de seguridad de los análisis en condiciones estáticas y pseudo – estáticas. Ver Tabla N° 39, 40 y 41

Tabla 37. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-2

Sección 2	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 21 m	1.19		0.799		0.713	
Nivel de Agua -17 m	0.988		0.78		0.7	
Nivel de Agua - 12 m	0.961	1.895	0.751	1.209	0.69	1.002

Tabla 38. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-3

Sección 3	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 21 m	1.649		1.163		1.05	
Nivel de Agua - 17 m	1.649		1.163		1.035	
Nivel de Agua - 12 m	1.657		1.163		1.011	

Tabla 39. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Lutto SC-4

Sección 4	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 17 m	1.383		1.046		0.925	
Nivel de Agua - 14 m	1.383		1.044		0.925	
Nivel de Agua - 11 m	1.371	1.927	1.019	1.168	0.874	1.022

4.4.5.3. Análisis de Estabilidad de Laderas del Poblado de Llusco

En el poblado de Llusco se han registrado tres tipos de suelos: suelo de arcilloso de plasticidad baja a media con arena (CL), suelo de grava con arcilla (GC) y grava pobremente gradada (GP), los cuales están sobre los basamentos rocosos que consisten en calizas diaclasadas de la formación Arcurquina.



Imagen 42. ubicación de las lineas de estabilidad de laderas en la localidad de Llusco.

Este poblado presenta rasgos en la superficie de movimiento de reptación de suelos en sus quebradas. Una de ellas se ubica en la ladera izquierda de la quebrada Santo Tomás. Por otro lado, se consideró también realizar un análisis del talud natural de la ladera en la que se encuentra asentado el Poblado de Llusco. Cabe resaltar que esta última tiene mayor pendiente y podría comprometer parte del poblado.

De acuerdo a los ensayos realizados en campo, se obtuvo la densidad natural de los suelos y con las muestras tomadas para las pruebas de laboratorio, se obtuvo las propiedades mecánicas para determinar la estabilidad de laderas usando el criterio de Mohr-Coulomb.

Tabla 40. Parámetros geotécnicos de los horizontes de suelos del Poblado de Llusco

Material	Ensayo	Peso Unitario (γ)	Cohesión Efectiva (C)	Ángulo de fricción Interna Efectiva (φ)
GC	CD/ Cono de Arena	17.37	25.2	19
CL	CD/ Cono de Arena	16.33	35.8	13
GP	CD/ Cono de Arena	17.37	24.8	32

En las imágenes 43 y 48 se representa el modelo geotécnico con la superficie de deslizamiento que podría afectar al poblado de Llusco. La primera imagen muestra el análisis antes de aplicar la alternativa de estabilización y en la segunda, aplicándola. Ambos resultados en condiciones estáticas y pseudo – estáticas, se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 41. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Llusco SC-5

Sección 5	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 19 m	2.155		1.341		1.11	
Nivel de Agua -15 m	1.933		1.27		1.05	
Nivel de Agua - 11 m	1.892	1.875	1.175	1.244	0.972	1.001

Tabla 42. Factor de seguridad de las secciones del Poblado de Llusco SC-6

Sección 6	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno	Sin Modificación	Corte y Relleno
	C.Estaticas	C.Estaticas	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (IGP)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)	C.Pseudo Estaticas (Norma E.0.30)
Nivel de Agua - 13 m	1.28		0.931		0.802	
Nivel de Agua -9 m	1.168		0.847		0.73	
Nivel de Agua - 5 m	1.085	1.771	0.782	1.190	0.673	0.107

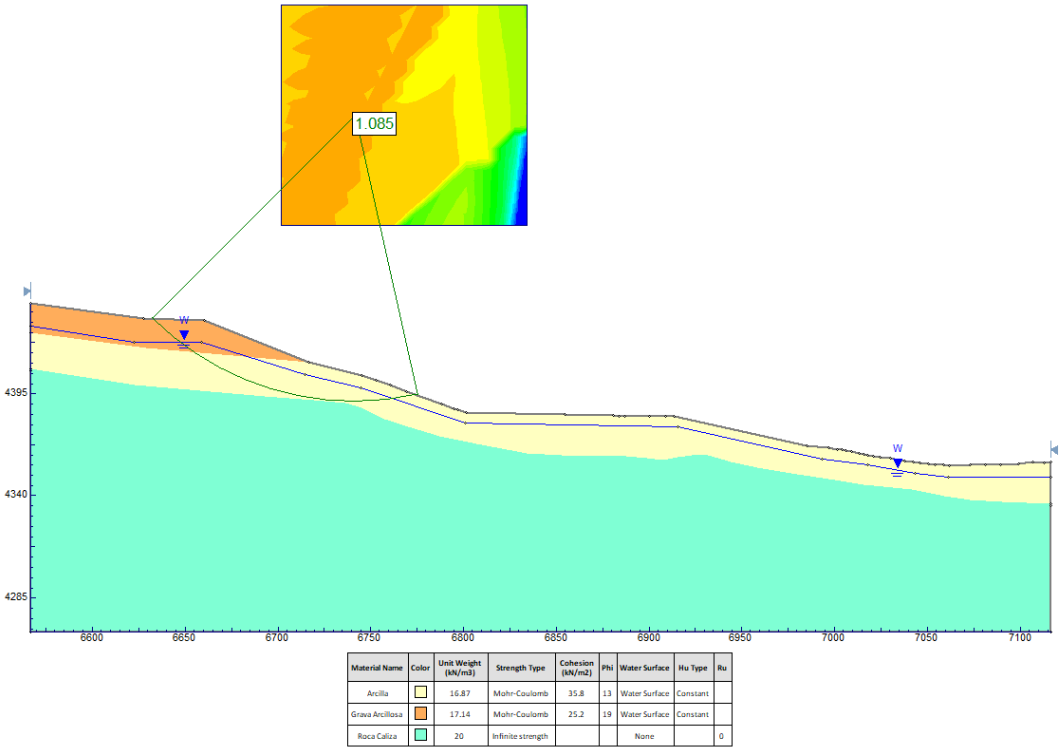


Imagen 43. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones estáticas, nivel de agua a 5 metros

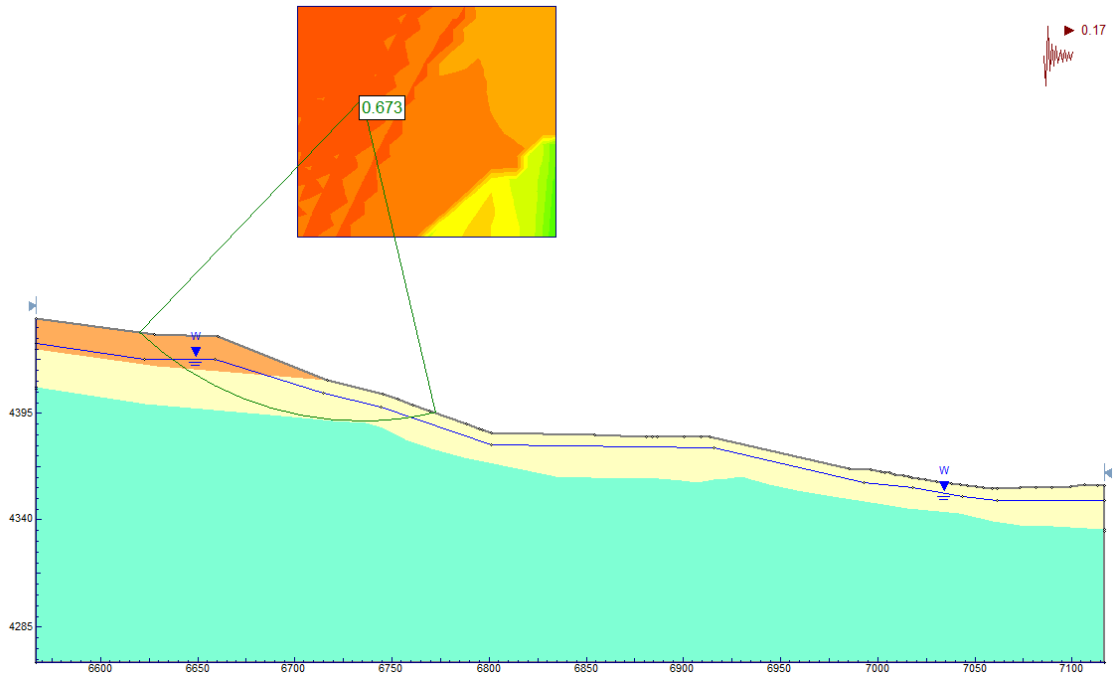


Imagen 44. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones pseudo - estáticas valor de aceleración máxima horizontal de la Norma E.030, nivel de agua a 5 metros

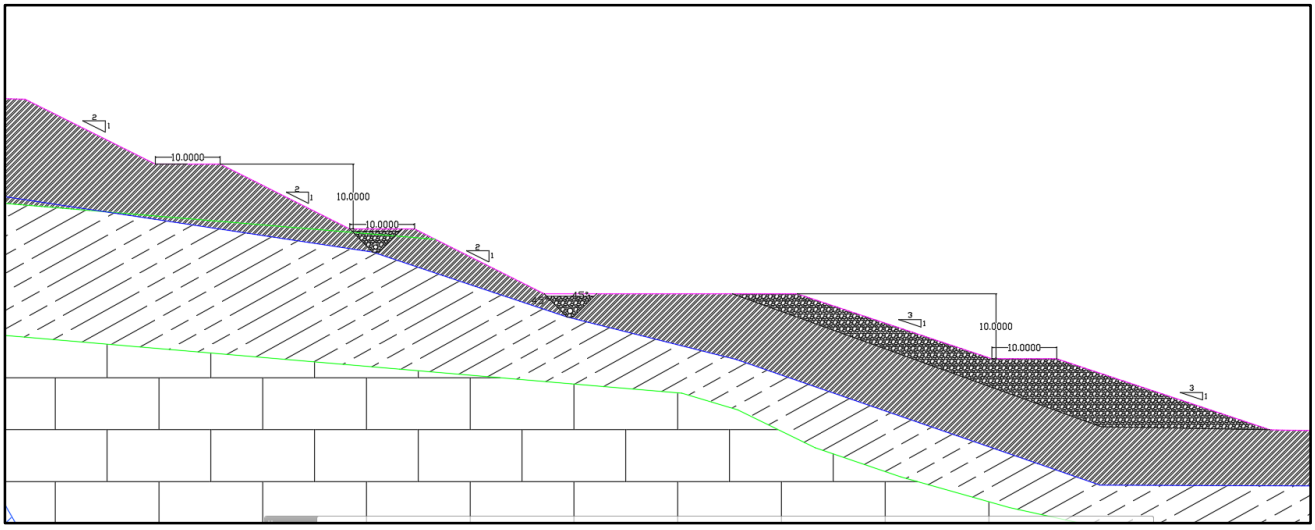
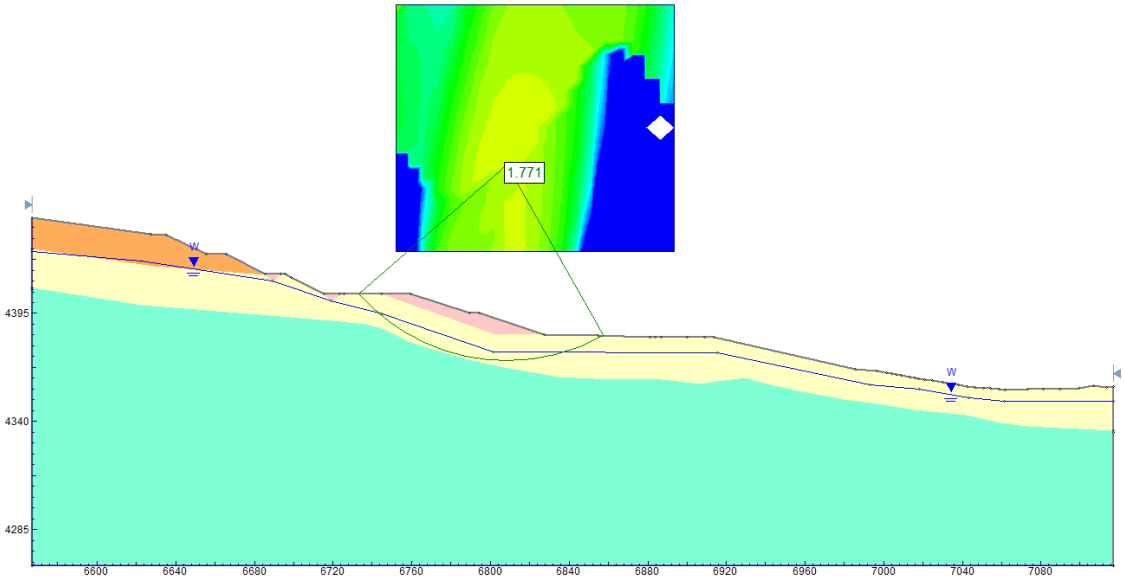
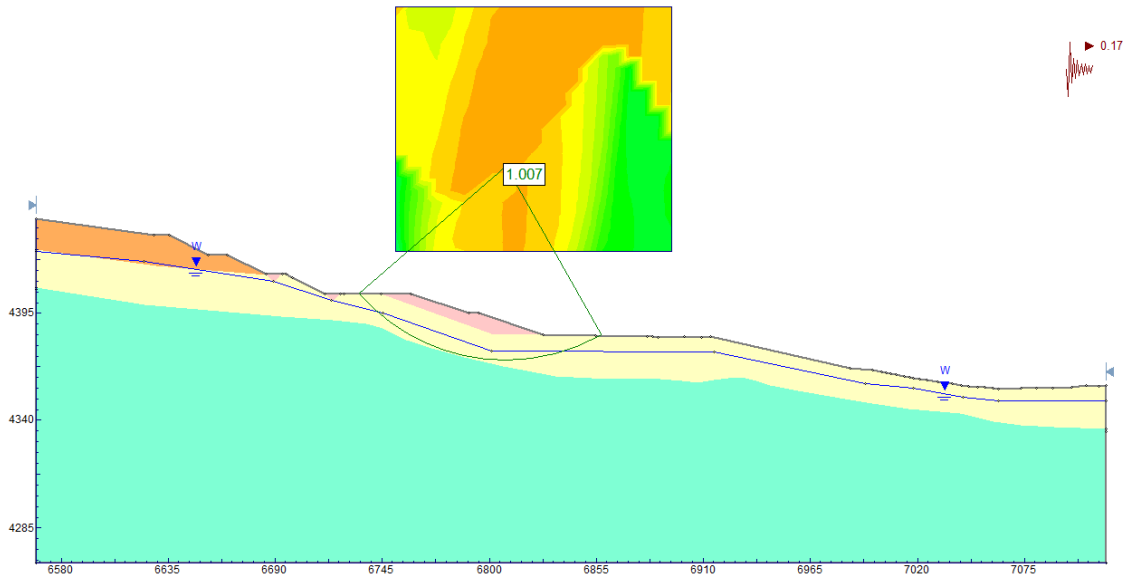


Imagen 45. Diseño de corte y relleno para la estabilización del talud natural sección 6



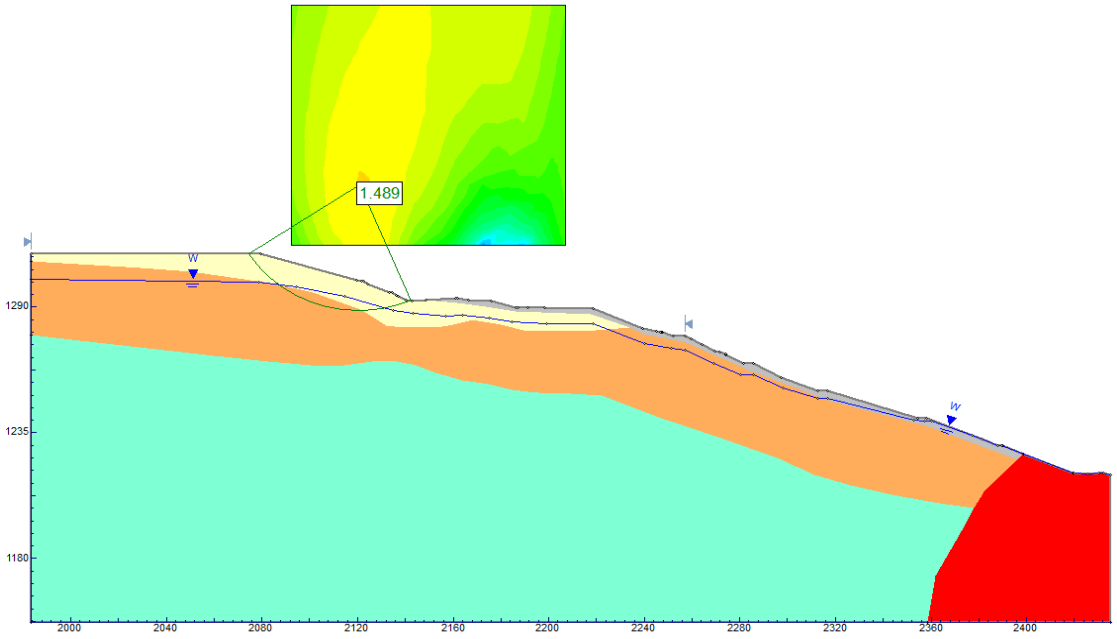
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla		16.87	Mohr-Coulomb	35.8	13	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		17.14	Mohr-Coulomb	25.2	19	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Relleno		23	Mohr-Coulomb	5	35	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 46. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones estáticas con alternativa de estabilidad, nivel de agua a 5 metros



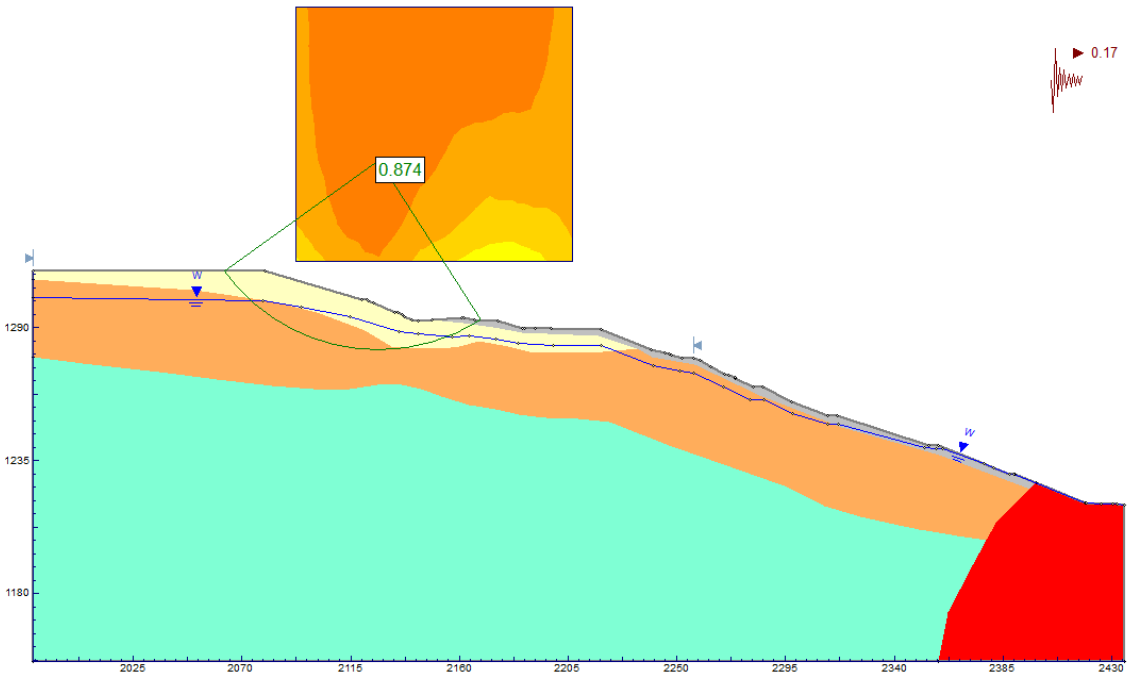
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla		16.87	Mohr-Coulomb	35.8	13	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		17.14	Mohr-Coulomb	25.2	19	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Relleno		23	Mohr-Coulomb	5	35	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 47. Evaluación de estabilidad Sección 6 en condiciones pseudo – estáticas aplicando la alternativa de estabilidad de corte y relleno combinado con un subdren horizontal, nivel de agua a 5 metros



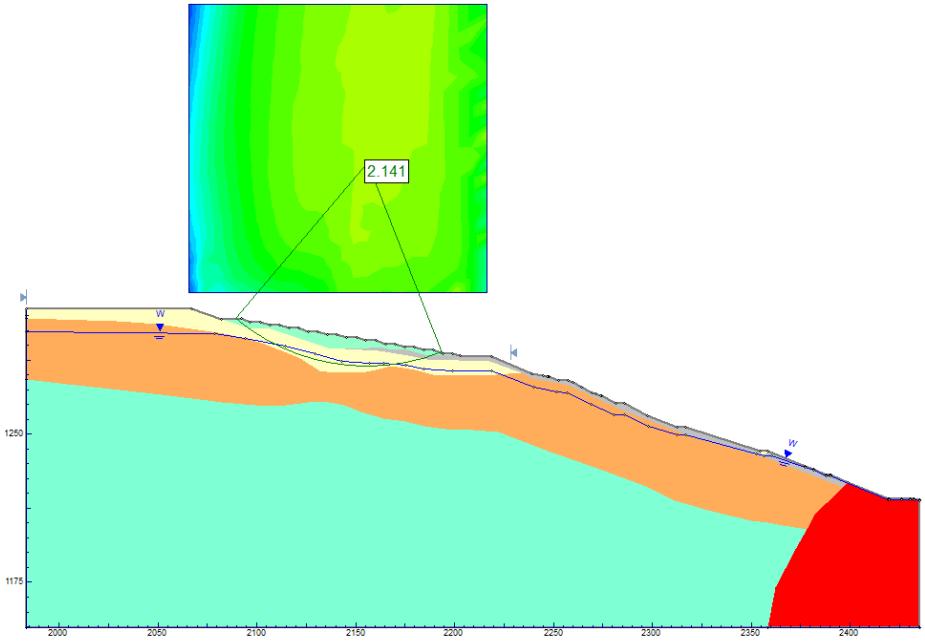
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL		14.03	Mohr-Coulomb	26.9	9	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		16.95	Mohr-Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0
Dep.Aluvial		16.5	Mohr-Coulomb	0	26	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 48. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones estáticas, nivel de agua a 11 metros



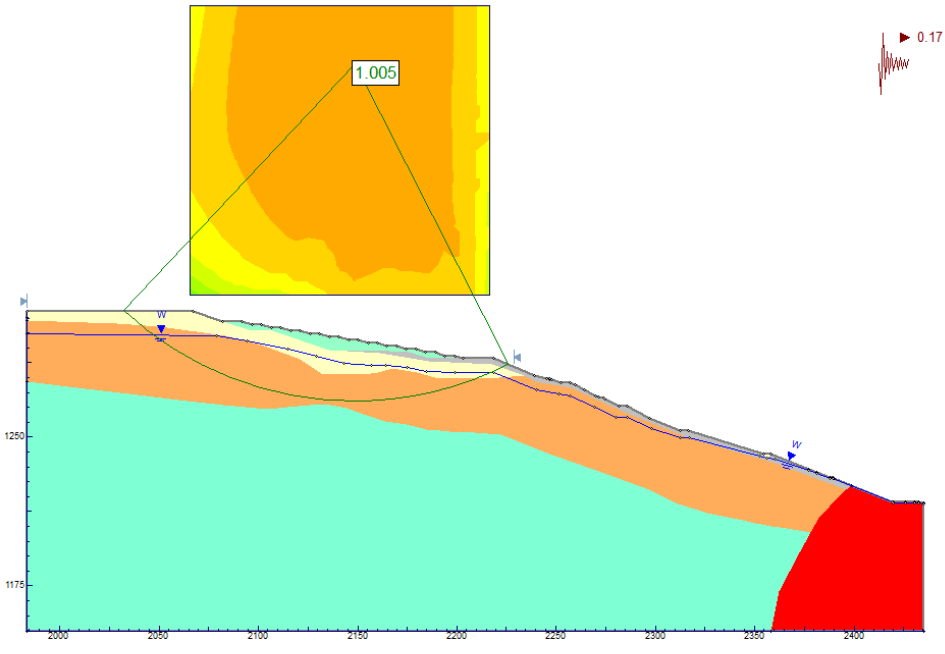
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL		14.03	Mohr-Coulomb	26.9	9	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		16.95	Mohr-Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0
Dep.Aluvial		16.5	Mohr-Coulomb	0	26	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 49. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones pseudo - estáticas valor de aceleración máxima horizontal de la Norma E.030, nivel de agua a 11 metros.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL		14.03	Mohr Coulomb	26.9	9	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		16.95	Mohr Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0
Dep.Aluvial		16.5	Mohr Coulomb	0	26	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Enrocado		20	Mohr Coulomb	0	37	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 50. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones estáticas con alternativa de estabilidad, nivel de freático a 11 metros



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Arcilla CL		14.03	Mohr Coulomb	26.9	9	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Grava Arcillosa		16.95	Mohr Coulomb	1	23	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Roca Caliza		20	Infinite strength			None			0
Roca Intrusivo		20	Infinite strength			None			0
Dep.Aluvial		16.5	Mohr Coulomb	0	26	Water Surface	Automatically Calculated	1	
Enrocado		20	Mohr Coulomb	0	37	Water Surface	Automatically Calculated	1	

Imagen 51. Evaluación de estabilidad Sección 5 en condiciones pseudo – estáticas aplicando la alternativa de estabilidad de corte y relleno combinado con un subdren horizontal, nivel de agua a 11 metros

CONCLUSIONES

- Se comprobó la hipótesis planteada, los problemas de inestabilidad de taludes fueron ocasionados por la saturación de los suelos producto de las lluvias torrenciales ocurridas de las 3 localidades y la actividad sísmica, esto fue comprobado con el aumento del nivel freático en cada sección.

- Se comprobó la hipótesis específica, definido la geometría del deslizamiento apartir de los ensayos de campo, se realizó un análisis retrospectivo a partir del cual se obtuvo parámetros del suelo más representativo.

- Una alternativa de solución a la inestabilidad de taludes es el cambio de la geometría del talud natural, que se desarrolla mediante cortes y rellenos de enrocado del tipo medio resistente. En algunas secciones se consideraron implementar subdren horizontales de intercepción para controlar el aumento del nivel de agua, con estas consideraciones las secciones analizadas presentan un factor de seguridad adecuado.

- Para realizar el análisis del deslizamiento donde se asientan las localidades de Lutto, Llusco y Kututo se realizaron tomas de muestras con el fin de obtener las propiedades mecánicas de los suelos que sería las propiedades del material desplazado y de las zonas con rasgos de movimientos y grietas tensionales, obteniendo como resultado suelos arcillosos, GC y CL, y superficialmente SM como depósito aluvial (SUCS), con plasticidad media a baja, los ensayos de densidad nos indican valores de cohesión baja, condiciones húmedas: 1.7 gr/cm3 y seco: 1.8gr/cm3, datos que nos permiten conocer la cantidad de agua y como influyó en el deslizamiento de Lutto.

- Conforme aumenta el nivel freático, el factor de seguridad de algunas secciones no es el adecuado y como resultado ocurren los deslizamientos que afecten directamente a la población, como se evidencia en la tabla de resultados de la sección 2 y 6.

- La conformación de banquetas y el enrocado en la sección 4, en la cual se encuentra el Colegio de Lutto asegurará la estabilidad del talud en este sector, por lo que con esta alternativa de tratamiento de la ladera será viable la construcción de la Nueva Posta de Salud y la inversión proyectada en dicho colegio.

RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que este trabajo cuenta con una estructura y redacción, las cuales pueden presentar omisiones o errores por lo que se ofrecen las disculpas anticipadas.

- Se sugiere a las autoridades locales realizar un monitoreo e instalación de instrumentos de monitoreo de desplazamientos de las grietas tensionales. Además, se recomienda instalar piezómetros en puntos específicos para el monitoreo Hidrogeológico a las secciones con problemas de infiltración de agua.

- Se recomienda a las Municipalidades y Gobiernos Regionales realizar un estudio de fenómenos de geodinámica externa y un estudio a mayor detalle de los suelos identificados en este estudio. Con el objetivo de que puedan darle mayor seguridad a la población e información de las zonas de mayor estabilidad de laderas y también para una proyección de las futuras zonas de asentamiento que sean las más adecuadas.

- Se sugiere realizar ensayos Triaxiales y una mayor cantidad de ensayos para obtener una mayor representación de los parámetros del suelo, aumentando la precisión de los análisis de estabilidad en cada localidad.

- Para la localidad de Kututo, se recomienda la conformación de banquetas de 2H:1V, combinado en la base con banquetas de 3H:1V y en subdren interceptor con lo cual se asegurará la estabilidad de la ladera arriba del poblado, además también la revegetación con especies nativas y el sellado de grietas tensionales con arcillas de alta cohesión.

- En la localidad de Lutto como alternativa de solución se propone realizar un corte de 2H:1V, de 10 m horizontal por 10m de vertical, además de subdren interceptor que impida el aumento del nivel freático con lo cual se aseguraría la estabilidad de las laderas para el retorno del asentamiento afectado.

- En la localidad de Llusco como alternativa de solución se propone la conformación de banquetas de 2H:1V combinado con subdren interceptor, en la parte baja un enrocado de 3H:1V siguiendo la topografía actual del terreno de un ancho de 10m horizontales por 10 verticales, con lo cual se aseguraría la estabilidad de la laderas que afecta directamente a la localidad.

- En un futuro se deberá exigir el estudio de estabilidad de laderas más precisas conociendo el suelo y sus condiciones por lo menos en los primeros 30 metros superficiales, con lo cual se evite exponer a la población a taludes naturales que puedan afectar directamente a la población.

- Realizar investigaciones directas como perforaciones y ensayos de refracción sísmica para comprobar las correctas profundidades de los horizontes de suelo y nivel freático.

Bibliografía

Asociación de carreteras del Japón. (1984). *Serie de trabajos de tierra en carreteras - Manual de protección de taludes.* Tokyo: Centro Peruano Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres.

ASTM D 420 - 98 Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes

ASTM D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

ASTM D 1556 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method

ASTM D 2487 - 00 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

ASTM D 3080 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

ASTM D 4318 - 9800 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

ASTM D 6431 - 99 Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications* . Nueva York: Wiley.

Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Design.* Peoria, Illinois: McGraw-Hill.

Casagrande, A., (1932), Research on the Atterberg limits of soils, Public -roads.

COEN - INDECI. (2019). *Deslizamiento en el distrito de Llusco - Cusco.* Cusco: Casa de Gobierno, PCM, Ministerios, Gobiernos Regionales y Locales.

Deere, D. U. (1987). *Rock classification systems for engineering purposes.* Ohio: Louis Kirkaldie.

El Comercio. (2018). Amplían estado de emergencia en Llusco por deslizamiento de masa ocurrido en febrero.

El Peruano. (23 de mayo de 2006). Reglamento Nacional de Edificaciones .

Fetter, B. (2001). *Applied Hydrogeology.* Wisconsin: Prentice Hall.

García, B., & Aguilar, R. (2018). *Evaluación geológica – geodinámica al deslizamiento de campanayocpata (Informe técnico Núm. A6807).* Lima: INGEMMET.

González, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Pearson Prentice Hall.

Herrera, F. (2000). *Análisis de estabilidad de taludes.* Madrid: Geotecnia 2000.

Hoek, E., & Brown, E. T. (s.f.). *Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences .

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *El criterio de rotura de Hoek - Brown.* Consulting engineer, University of Minnesota, RocScience Inc.

Ibáñez Sánchez, M. (10 de Abril de 2018). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Obtenido de http://www.unmsm.edu.pe/noticias/ver/cusco-visitan-deslizamiento-de-llusco-para-evaluar-geomorfología-del-terreno

INEI. (2017). *INEI.* Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1559/

INGEMMET. (2010). *Mapa de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa.* Lima.

ISRM. (1981). *Suggested Methods for the Rock characterization, Testing and monitoring.* Oxford: Commission on Testing Methods.

Izquierdo, L. A., & Niño, W. R. (2012). *Drenaje subterráneo de estructuras de contención.* Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). *Remociones en masa.* Chile: Departamento de Geología U. de Chile.

Leps, Thomas 1970, Review of shearing strength of rockfill. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 96(4):1159-1170

Lipa, V., & Zuloaga, A. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrágulo de Chalhuana.* Lima, Perú: INGEMMET.

Mellado, R. (2011). *DOCUMENTO TÉCNICO DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE AGUA Y.* Cusco.

NORMAS AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials (1998) Guide for Design of Pavement Structures. USA.

NORMAS ASTM, American Society for Testing and Materials (2000). Standards International. USA.

NORMA DIN 4094 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera

Oliva, A. O. (2015). *Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo.* Grupo ITEICO Euroamericano.

Pecho, V. (1981). *Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás.* Lima: INGEMMET.

Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation Engineering.*

PREDES. (2012). *Amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Cusco. Serie de investigación regional # 18. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.* Cusco, Perú.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas.* Canadá: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Pulgar, J. (1986). *Las ocho regiones naturales del Perú.*

Romana, M. (2001). *La Clasificación Geomecánica SMR: Aplicación, experiencias y validación.* Madrid: Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Valencia.

Suarez, J. (1988). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suarez, J. (2002). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico.* Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en Perú.* Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú.

USGS. (15 de octubre de 2019). Obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map//

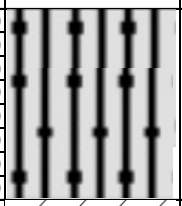
ANEXOS

ANEXO 1. Registros de calicata

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	Informe N° Fecha de Em : 06/06/2019 Certificado N : 1365 Revisado por : Tec. R.H.L

PROYECTO EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL NORTE DEL DISTRITO DE LLUSCO
MATERIAL Estudio Mecanica de suelos — Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
UBICACIÓN Provincia de Chumbivilcas, Cusco — Fecha de Muestreo : 01 Junio 201
SECTOR : - — Motivo : Estudio de Suelos
CALICATA : C-1 — **COORDENADAS** Norte : 8407214
NIVEL FREATI : NE — Este : 812257
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 — Cota : 3441

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 – 0.80		0.80m	Suelo Areno Limoso, con presencia de raices, marrón oscuro con presencia de raíces, de baja plasticidad, con clásticos polimicticos de calizas e intrusivos.	SM	A-4	DPL	5.7
0.90 – 1.80		1.00m	Suelo arcilloso blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-7-6(15)	Cono de Arena	5.7

PROYECTO EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL NORTE DEL DISTRITO DE LLUSCO
MATERIAL : Estudio Mecanica de suelos — Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
UBICACIÓN : Provincia de Chumbivilcas, Cusco — Fecha de Muestreo : 01 Junio 20
SECTOR : - — Motivo : Estudio de Suelos
CALICATA : C-2 — **COORDENADAS** Norte : 8407255
NIVEL FREA : NE — Este : 812325
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 — Cota : 3443

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 – 0.30		0.00 - 0.30m	Suelo Orgánico, marrón oscuro con bastante presencia de raíces,suelo de baja plasticidad, con clásticos polimicticos de calizas e intrusivos de composición tonalita.	OH / OL	A-7	-	5.7
0.40 – 1.80		0.00 - 1.80m	Suelo arcilloso color pardo con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm a 10cm , la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.Porcentaje de Arcilla 80%, clasticos de Caliza 20%.	CL	A-7-6(15	Cono de Arena	5.7

PROYECTO EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL NORTE DEL DISTRITO DE LLUSCO
MATERIAL Estudio Mecanica de suelos — Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
UBICACIÓN Provincia de Chumbivilcas, Cusco — Fecha de Muestreo : 01 Junio 20
SECTOR : - — Motivo : Estudio de
CALICATA : C-3 — **COORDENADAS** Norte : 8407045
NIVEL FREA : NE — Este : 811651
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 2.50 — Cota : 3542

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.00 - 0.40m	Suelo Organico	OH / OL	-	Muestra 06	NSO
0.20							
0.30							
0.40							
0.50		0.40 - 2.50m	Suelo arcilloso color blanquecino de alta cohesión, con clastos distribuidos de tamaño aproximadamente de 5cm. Saprolito de origen tobaceo.	CL	A-7-6(15)	Muestra 07 Cono de arena	NSO
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.30							
2.40							
2.50							

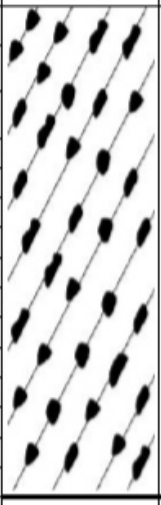
CALICATA : C-4 — **COORDENADAS** Norte : 8406445
NIVEL FREATIC : NE — Este : 811537
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.50 — Cota : 3581

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.00 - 1.50	Suelo arcilloso blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-7-6(15)	Cono de Arena	NSO
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							

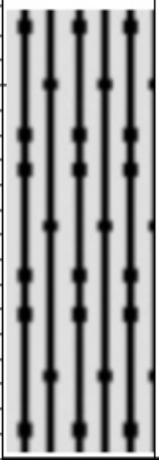
CALICATA : C-5 COORDENADAS Norte : 8407327
NIVEL FREATIC : NE Este : 812954
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.50 Cota : 3191

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.00-1.50m	Suelo Gravoso con arenas y bolonerias de diametro de diametro mayor a 3'', color gris claro, los clastos de composición caliza y intrusivo, predominando los clastos de toba.	GC	A-2-6(0)	-	Media
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							

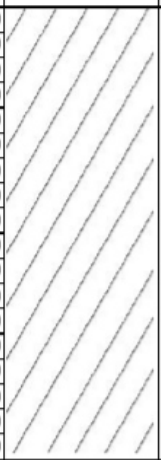
CALICATA : C-6 COORDENADAS Norte : 8406784
NIVEL FREATIC : NE Este : 813225
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 Cota : 3298

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.30-1.80	Suelo de Arena Limosa color pardo oscuro con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	SM	A-2-4 (0)	Cono de Arena	5
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.30							
2.40							
2.50							

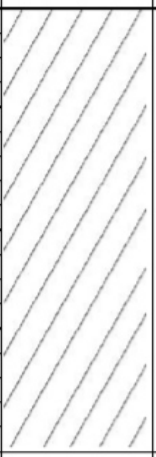
CALICATA : C-7 COORDENADAS Norte : 8406106.30
NIVEL FREATIC : NE Este : 813817.59
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 Cota : 3256

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.00-1.80	Suelo Arcilloso (Saprolita) con clastos de caliza de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una baja plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-6(10)	Cono de Arena	5.1
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							

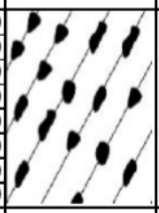
CALICATA : C-8 COORDENADAS Norte : 8406049
NIVEL FREATIC : NE Este : 813968
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 Cota : 3252

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10		0.00 - 1.80	Suelo arcilloso blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-6(7)	Cono de arena	NSO
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							

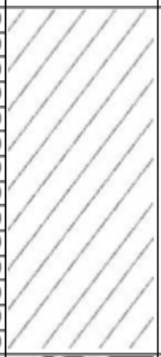
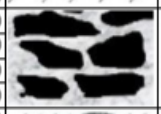
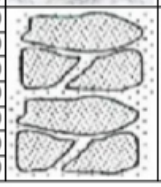
CALICATA : C-9 COORDENADAS Norte : 8406306
NIVEL FREATIC : NF Este : 813981
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 Cota : 3212

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU
0.10		0.00-0.80	Suelo Gravoso en una matriz arcillosa blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una baja plasticidad, se observa presencia de biotita.	GC	A-2-6 (0)	Cono de arena
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90			Nivel de Agua			
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						

CALICATA : C-10 COORDENADAS Norte : 8407318
NIVEL FREATIC : NE Este : 811727
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.80 Cota : 3467

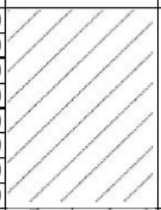
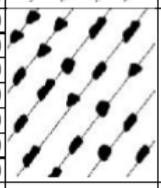
PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 – 1.40		0.00 - 1.40	Suelo arcilloso blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-7-6(15)	M1	12.4
1.50 – 1.80		1.40 - 1.80	Horizonte de Roca fracturada, acercandonos al contacto roca suelo	GP	A-2-6(0)	M2	12.4
1.90 – 2.50			Roca Triturada				

OBSERVACIONES:

CALICATA : C-11 COORDENADAS Norte : 8407261
NIVEL FREATIC : NE Este : 811716
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.50 Cota : 3470

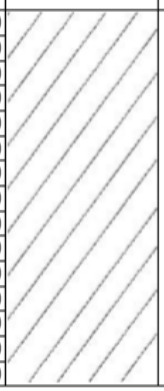
PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 – 0.80		0.0 - 0.80	Suelo arcilloso blanquecino con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	CL	A-6 (7)	Corte Directo	9.6
0.90 – 1.50		0.80 - 1.50	Suelo Gravoso en una matriz arcillosa blanquecina con clastos de Caliza subangulosos de aproximadamente 5cm, la matriz arcillosa presenta una alta plasticidad, se observa presencia de biotita.	GC	A-2-6 (0)	Cono de Arena	4.7
1.60 – 2.00							

OBSERVACIONES:

CALICATA : C-12 COORDENADAS Norte : 8413036
NIVEL FREATIC : NE Este : 811135
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.50 Cota : 3486

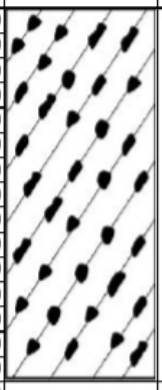
PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50		0.00 - 1.50	Suelos Arcilloso color Gris claro, saprolito origen tobaceo se observa cristales de Biotita.	CL	A-6(7)	Corte Directo Cono de Arena	12.4

OBSERVACIONES:

CALICATA : C-13 COORDENADAS Norte : 8412705
NIVEL FREATIC : NE Este : 811556
MUESTRA : M-1 PROF. (m) 0.00 - 1.50 Cota : 3466

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50		0.00-1.50	Suelo de gravoso de clastos de caliza en una matriz limo arcillosa, clastos de aproximadamente 5 a 10cm.	GC	A-2-6 (0)	Cono de Arena	3.8
1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50							

CALICATA : C-14 COORDENADAS Norte : 8413135.72
NIVEL FREATIC : NE Este : 810783.79
MUESTRA : M-14 PROF. (m) 0.00 - 1.50 Cota : 3567

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATAS

PROF. (m)	Grafico	ESTRATO Espesor (m)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	SUCS	AASHTO	ENSAYOS INSITU	HUM. NAT.
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50		0.00-1.50	Suelo de grava de clastos de caliza en una matriz limo arcillosa color marron a pardo oscuro, los clastos subredondeados de aproximadamente 5 a 10cm.	GP	A-1-a	Cono de Arena	2.5
1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50							

OBSERVACIONES:

ANEXO 2. Ensayos de laboratorio

HRUIZ-GEOPAV	ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP-339.171 - ASTM - D3080	CODIGO : 1 FECHA : 09/06/2019 REGISTRO 1377

PROYECTO : Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco
TRAMO : Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco
OBJETO : Estudio de Mecanica de Suelos
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
CALICATA : C - 14

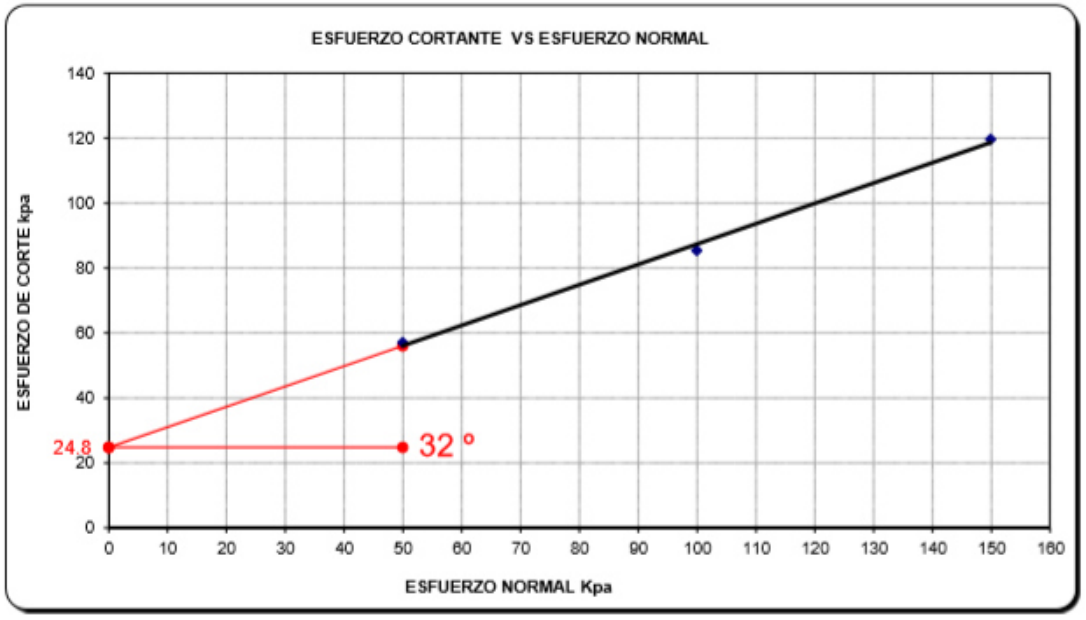
COORDENADAS
NORTE : 8413135
ESTE : 0810784
MSNM : 3567

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Solicitante

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo : C-14 Estrato : E-01 PROF. (m.): 0.00 - 1.50

Nro.	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm²
1	49.96	57.08	32 °	24.8	0.25
2	99.92	85.45			
3	149.89	119.68			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO:	1
FECHA :	06/06/2019
REGISTRO	1381

PROYECTO	:Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco	Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
TRAMO	:Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco	Fecha de Muestreo	:1/06/2019
OBJETIVO	:Estudio de Mecanica de Suelos	Motivo	:Estudio de Suelos
UBICACIÓN	:Distrito de Llusco	Muestreado por	:El Solicitante
CALICATA	:C - 7		

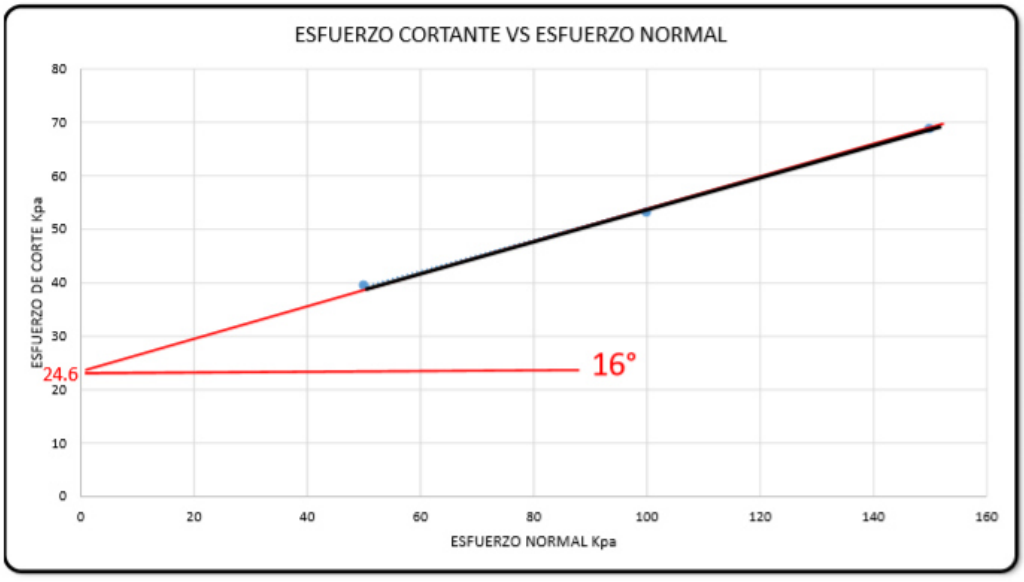
COORDENADAS

Norte	:8406106.30
Este	:813817.50
MSNM	:3256

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo: C-7 Estrato: E-01 PROF. (m): 0.00 - 1.80

Nro	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	Φ	C	
				Kpa	Kg/cm^2
1	49.96	39.55	16	24.6	0.246
2	99.92	53.23			
3	149.89	68.82			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

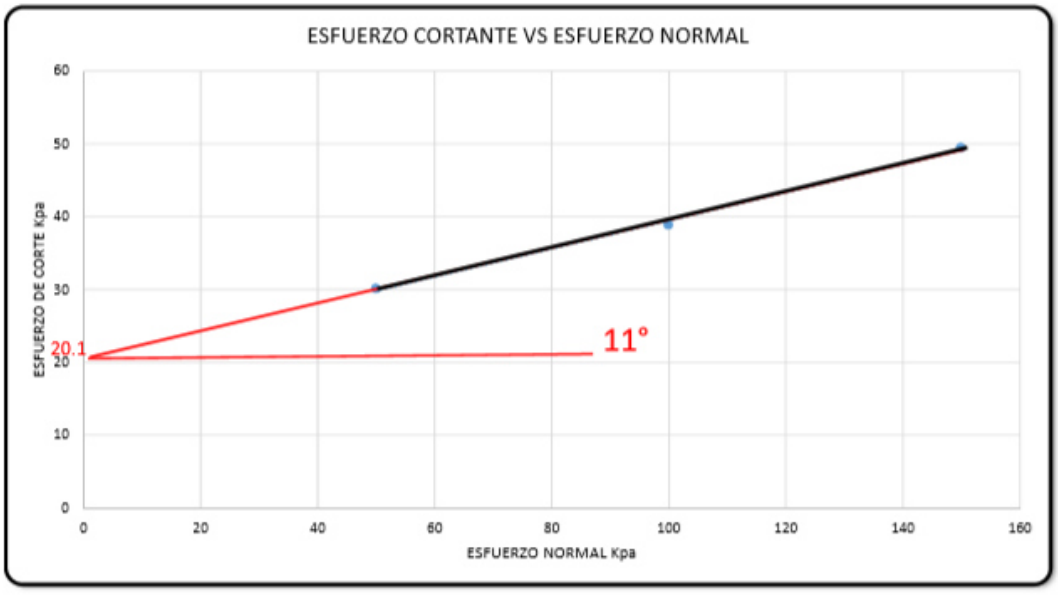
CODIGO:	1
FECHA :	06/06/2019
REGISTRO	1383

PROYECTO	:Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
TRAMO	:Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco			Fecha de Muestreo	:1/06/2019
OBJETIVO	:Estudio de Mecanica de Suelos			Motivo	:Estudio de Suelos
UBICACIÓN	:Distrito de Llusco	COORDENADAS		Muestreado por	:El Solicitante
CALICATA	:C - 12	Norte	8413036		
		Este	811135		
		MSNM	3486		

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo: C-12 Estrato: E-01 PROF. (m): 0.00 - 1.50

Nro	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	Φ	C	
				Kpa	Kg/cm^2
1	49.96	30.14	11	20.1	0.201
2	99.92	38.88			
3	149.89	49.49			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO:	1
FECHA :	06/06/2019
REGISTRO	1377

PROYECTO	:Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Lluscо	Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
TRAMO	:Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco	Fecha de Muestreo	:1/06/2019
OBJETIVO	:Estudio de Mecanica de Suelos	Motivo	:Estudio de Suelos
UBICACIÓN	:Distrito de Lluscо	Muestreado por	:El Solicitante
CALICATA	:C - 11		

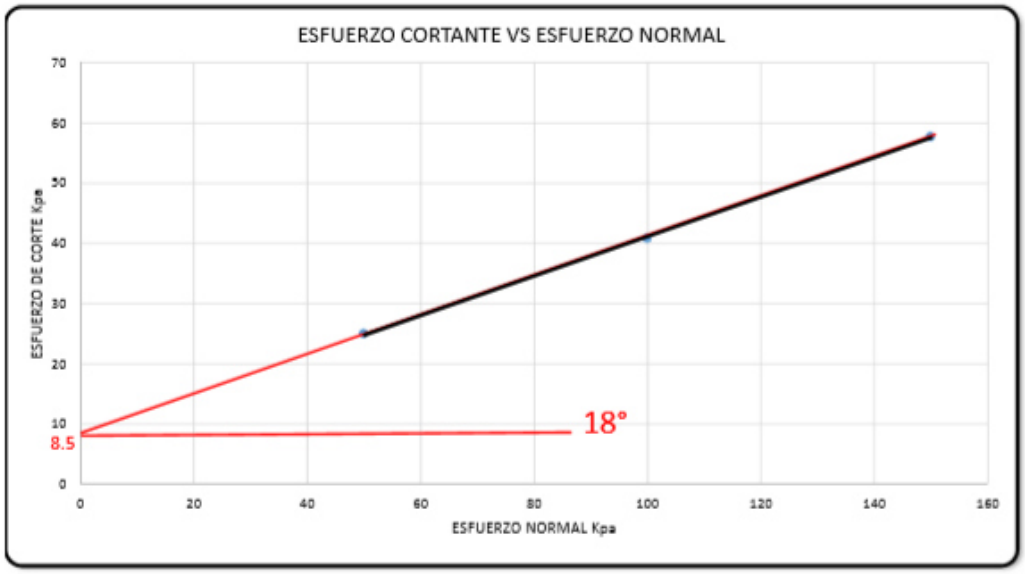
COORDENADAS

Norte	:8407261
Este	:0811716
MSNM	:3470

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo: C-11 Estrato: E-02 PROF. (m): 0.00 - 1.50

Nro	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm^2
1	49.96	25.03	18	8.5	0.85
2	99.92	40.85			
3	149.89	57.7			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO :	1
FECHA :	09/06/2019
REGISTRO	1376

PROYECTO : **Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco**

TRAMO : **Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco**

OBJETO : **Estudio de Mecanica de Suelos**

UBICACIÓN : **Distrito de Llusco**

CALICATA : **C - 8**

COORDENADAS

NORTE : **8406049**

ESTE : **0813968**

MSNM : **3252**

Solicita : **Bach. Gerson Carpio R.**

Fecha Muestreo : **01 Junio 2019**

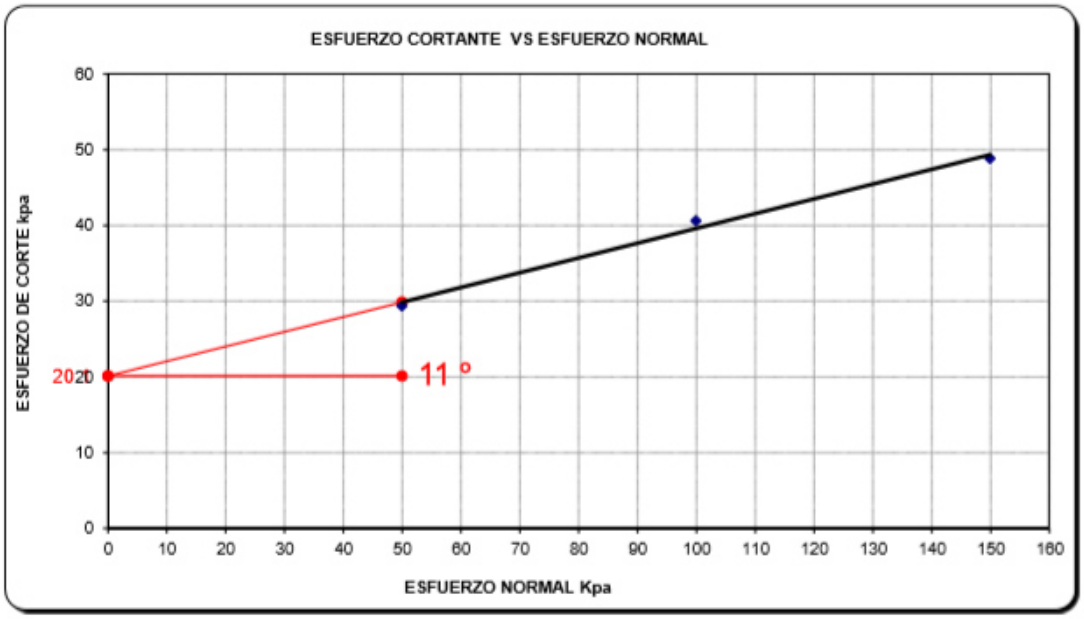
Motivo : **Estudio de Suelos**

Muestreado por : **El Solicitante**

RESUMEN

Muestra : **1** Pozo : **C-08** Estrato : **E-01** PROF. (m.): **0.00 - 1.80**

Nro.	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm²
1	49.96	29.37	11 °	20.1	0.21
2	99.92	40.61			
3	149.89	48.85			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO :	1
FECHA :	09/06/2019
REGISTRO	1379

PROYECTO : **Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco**

TRAMO : **Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco**

OBJETO : **Estudio de Mecanica de Suelos**

UBICACIÓN : **Distrito de Llusco**

CALICATA : **C - 9**

COORDENADAS

NORTE : **8406306**

ESTE : **0813981**

MSNM : **3212**

Solicita : **Bach. Gerson Carpio R.**

Fecha Muestreo : **01 Junio 2019**

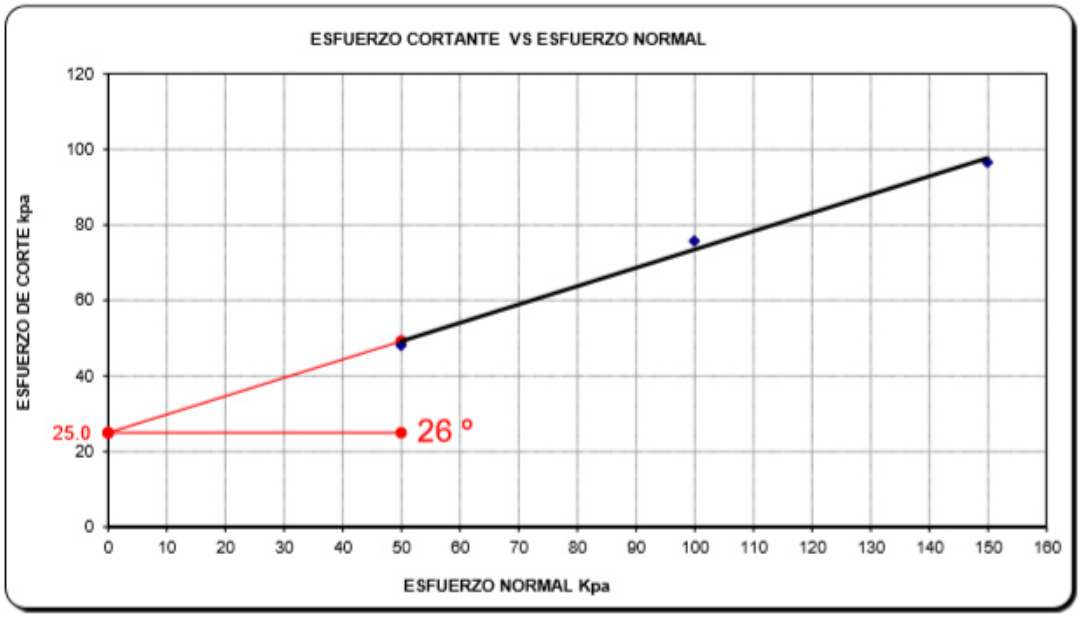
Motivo : **Estudio de Suelos**

Muestreado por : **El Solicitante**

RESUMEN

Muestra : **1** Pozo : **C-9** Estrato : **E-01** PROF. (m.): **0.00 - 1.80**

Nro.	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm²
1	49.96	48.10	26 °	25.0	0.25
2	99.92	75.75			
3	149.89	96.62			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO :	1
FECHA :	09/06/2019
REGISTRO	1378

PROYECTO : **Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco**

TRAMO : **Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco**

OBJETO : **Estudio de Mecanica de Suelos**

UBICACIÓN : **Distrito de Llusco**

CALICATA : **C - 11**

COORDENADAS

NORTE : **8412705**

ESTE : **0811556**

MSNM : **3466**

Solicita : **Bach. Gerson Carpio R.**

Fecha Muestreo : **01 Junio 2019**

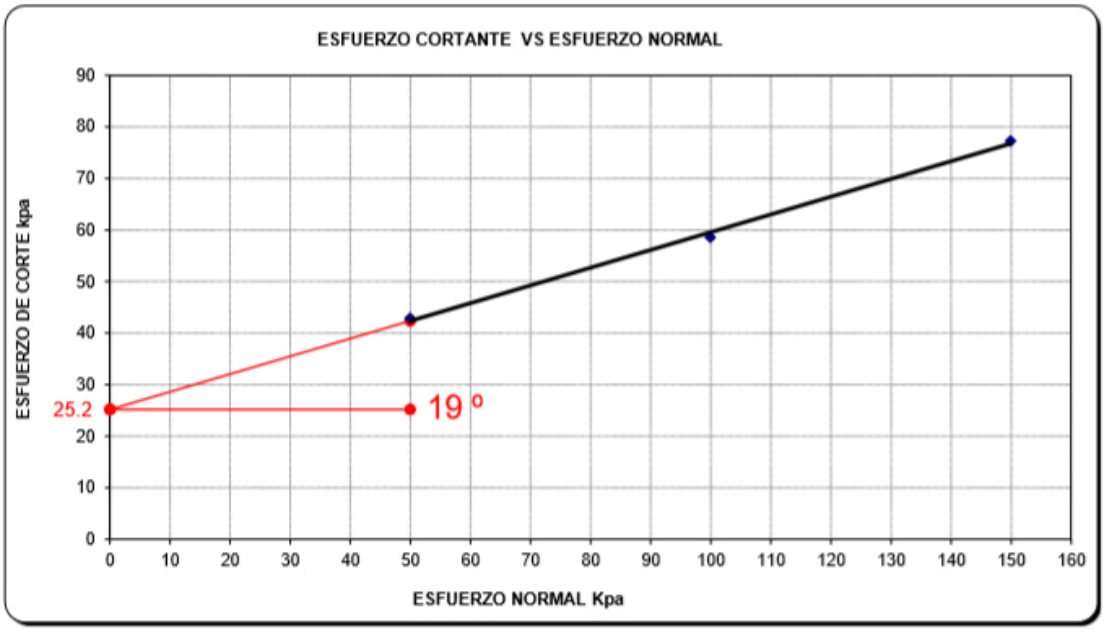
Motivo : **Estudio de Suelos**

Muestreado por : **El Solicitante**

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo : C-11 Estrato : E-01 PROF. (m.): 0.00 - 1.50

Nro.	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm²
1	49.96	42.86	19 °	25.2	0.26
2	99.92	58.57			
3	149.89	77.24			



HRUIZ-GEOPAV

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP-339.171 - ASTM - D3080

CODIGO : 1
FECHA : 09/06/2019
REGISTRO 1375

PROYECTO : Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco
TRAMO : Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco
OBJETO : Estudio de Mecanica de Suelos
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
CALICATA : C - 01

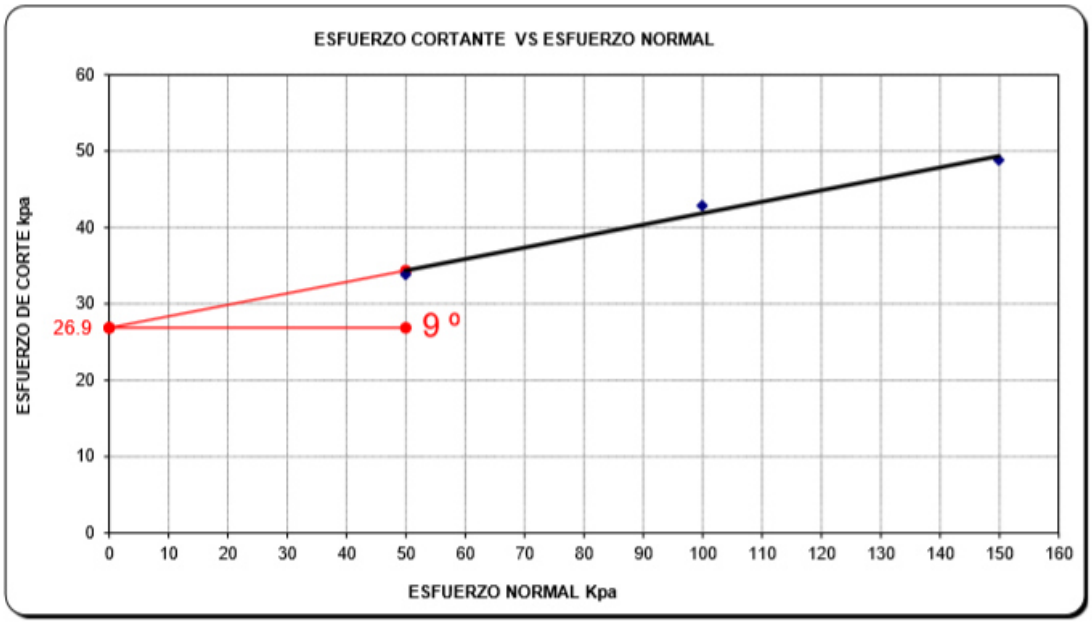
COORDENADAS
NORTE : 8407214
ESTE : 0812257
MSNM : 3441

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Solicitante

RESUMEN

Muestra : 1 Pozo : C-06 Estrato : E-01 PROF. (m.): 0.00 - 0.80

Nro.	ESFUERZO NORMAL Kpa	ESFUERZO CORTANTE Kpa	ϕ	C	
				Kpa	Kg/cm²
1	49.96	33.87	9 °	26.9	0.27
2	99.92	42.86			
3	149.89	48.85			



HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N°	
		Fecha de Emisión	: 06/06/2019
		Certificado N°	: 1362
		Realizado por	: Tec. R.H.L
		Revisado por	: Esp. H.R.V.
		Codigo N°	: LAB-06-19/001

PROYECTO	: Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco				
	: Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco				
MATERIAL	: Estudio de Mecanica de Suelos				
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco				
SECTOR		COORDENADA GEOGRAFICA			
N. FREATICO	: NE	NORTE	8406106		
CALICATA	: C-1	ESTE	0813817		
MUESTRA	: M-1	MSNM	3256.0		
PROF. (m)	: 0.00 - 1.80				

Solicita : Gerson Carpio
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Solicitante

Tamaño Maximo : Nº 4
Peso inicial seco : 5194.0 g
Fracción N° 04 : 764.3 g

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

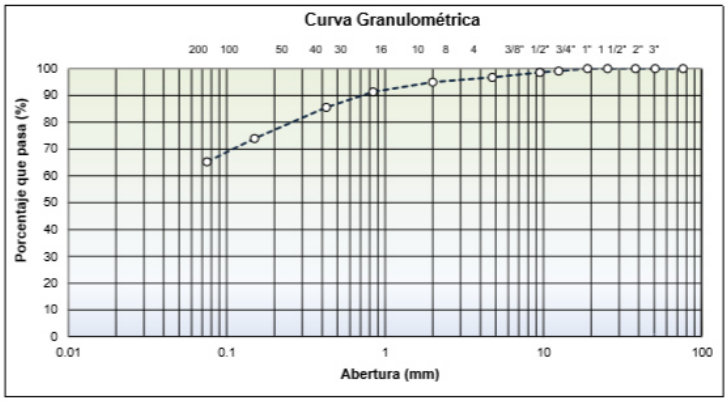
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	
3"	76.200					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.500	47.0	0.9	0.9	99.1	
3/8"	9.500	25.0	0.5	1.4	98.6	
Nº 4	4.750	97.0	1.9	3.3	96.7	
Nº 8	2.360					
Nº 10	2.000	14.1	1.8	5.0	95.0	
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840	28.9	3.7	8.7	91.3	
Nº 30	0.600					
Nº 40	0.425	45.4	5.7	14.4	85.6	
Nº 50	0.300					
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.150	91.4	11.6	26.0	74.0	
Nº 200	0.075	69.1	8.7	34.8	65.2	
< Nº 200	FONDO	515.4	65.2	100.0	0.0	

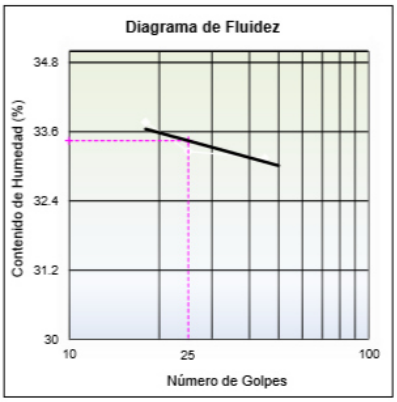
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
Contenido de Humedad (%) :	**6.1**
Tara N°:	1
Peso de la Tara (g):	0.0
Peso Tara+Suelo Hum.(g):	811.3
Peso Tara+Suelo Sec.(g):	764.3
Peso del Agua (g):	47.0
Peso del Suelo Seco (g):	764.3
Límite Líquido (LL) :	33
Límite Plástico (LP) :	21
Indice Plástico (IP) :	12
Clasificación (SUCS) :	CL
Descripción(SUCS) :	Arcilla arenosa de baja plasticidad
Clasificación (AASHTO) :	A-6(6)
Boloneria > 3" :	0.0
Grava 3" - Nº 4 :	3.3
Arena Nº4 - Nº 200 :	31.5
Finos < Nº 200 :	65.2

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
N° TARRO	N°	18	9	11	14	15	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	22.82	34.77	25.87	14.08	13.64	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.32	30.23	21.71	13.19	12.72	
PESO DE AGUA	(g)	3.50	4.54	4.16	0.9	0.9	
PESO DEL TARRO	(g)	8.76	16.58	9.39	8.98	8.48	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.6	13.7	12.3	4.2	4.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	33.1	33.3	33.8	21.1	21.7	21
NUMERO DE GOLPES	-	45	25	18	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N°
		Fecha de Emisión : 06/06/2019
		Certificado N° : 1363
		Realizado por : Tec. R.H.L
		Revisado por : Esp. H.R.V.
		Codigo N° : LAB-06-19/002

PROYECTO	: Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
	: Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco			Fecha Muestreo	: 01 Junio 2019
MATERIAL	: Estudio de Mecanica de Suelos			Motivo	: Estudio de Suelos
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco			Muestreado por	: El Solicitante
SECTOR		COORDENADA GEOGRAFICA			
N. FREATICO	: NE	NORTE	8413036		
CALICATA	: C-2	ESTE	811135	Tamaño Maximo	: Nº 4
MUESTRA	: M-1	MSNM	3486.0	Peso inicial seco	: g
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50			Fracción N° 04	: 804.4 g

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

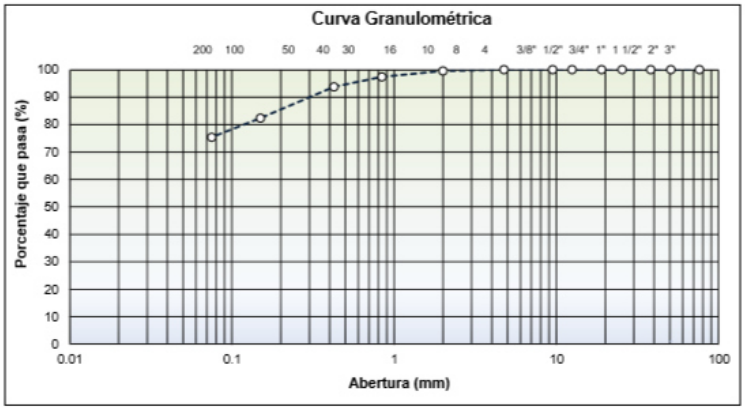
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	
3"	76.200					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500					
Nº 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	
Nº 8	2.360					
Nº 10	2.000	3.8	0.5	0.5	99.5	
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840	17.1	2.1	2.6	97.4	
Nº 30	0.600					
Nº 40	0.425	29.3	3.6	6.2	93.8	
Nº 50	0.300					
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.150	91.5	11.4	17.6	82.4	
Nº 200	0.075	56.1	7.0	24.6	75.4	
< Nº 200	FONDO	606.6	75.4	100.0	0.0	

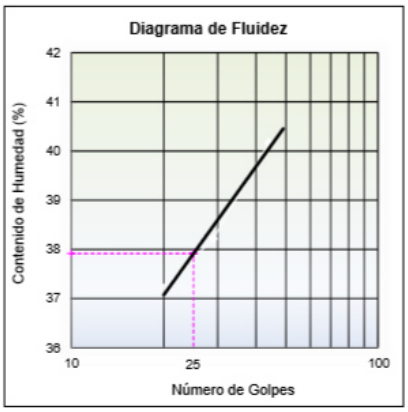
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
Contenido de Humedad (%) :	5.1
Tara N°:	1
Peso de la Tara (g):	0.0
Peso Tara+Suelo Hum.(g):	845.4
Peso Tara+Suelo Sec.(g):	804.4
Peso del Agua (g):	41.0
Peso del Suelo Seco (g):	804.4
Límite Líquido (LL) :	38
Límite Plástico (LP) :	24
Indice Plástico (IP) :	14
Clasificación (SUCS) :	CL
Descripción(SUCS) :	Arcilla de baja plasticidad con arena
Clasificación (AASHTO) :	A-6(10)
Boloneria > 3" :	0.0
Grava 3" - Nº 4 :	0.0
Arena Nº4 - Nº 200 :	24.6
Finos < Nº 200 :	75.4

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
N° TARRO	N°	17	21	22	5	3	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	30.09	27.49	23.69	10.93	13.27	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	23.96	22.22	19.66	10.06	12.21	
PESO DE AGUA	(g)	6.13	5.27	4.03	0.9	1.1	
PESO DEL TARRO	(g)	8.70	8.43	8.83	6.45	7.83	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.3	13.8	10.8	3.6	4.4	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	40.2	38.2	37.2	24.1	24.2	24
NUMERO DE GOLPES	-	44	29	20	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N°	
		Fecha de Emisión	: 06/06/2019
		Certificado N°	: 1364
		Realizado por	: Tec. R.H.L
		Revisado por	: Esp. H.R.V.
		Codigo N°	: LAB-06-19/003

PROYECTO	: Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
	: Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco			Fecha Muestreo	: 01 Junio 2019
MATERIAL	: Estudio de Mecanica de Suelos			Motivo	: Estudio de Suelos
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco			Muestreado por	: El Solicitante
SECTOR		COORDENADA GEOGRAFICA			
N. FREATICO	: NE	NORTE	8406049		
CALICATA	: C-3	ESTE	0813968	Tamaño Maximo	: N° 4
MUESTRA	: M-1	MSNM	3252.0	Peso inicial seco	: 6753.0 g
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50			Fracción N° 04	: 725.7 g

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

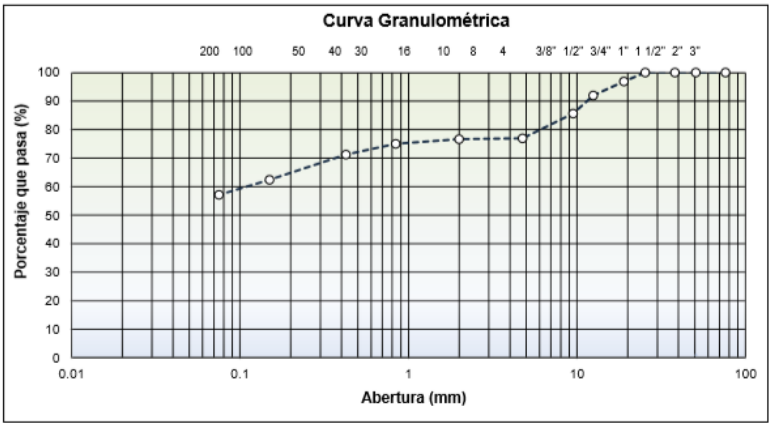
(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

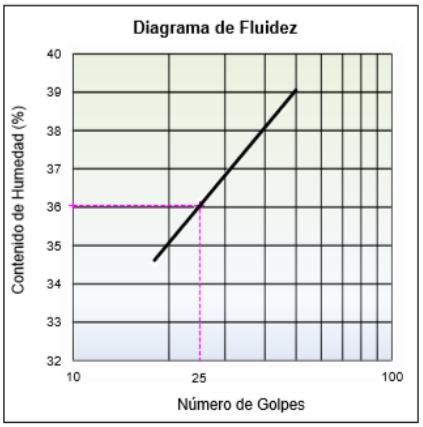
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200						**Contenido de Humedad (%) :**	**12.4**
2"	50.800						Tara N°:	1
1 1/2"	38.100						Peso de la Tara (g):	0.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0		Peso Tara+Suelo Hum.(g):	815.9
3/4"	19.000	209.0	3.1	3.1	96.9		Peso Tara+Suelo Sec.(g):	725.7
1/2"	12.500	335.0	5.0	8.1	91.9		Peso del Agua (g):	90.2
3/8"	9.500	425.0	6.3	14.3	85.7		Peso del Suelo Seco (g):	725.7
N° 4	4.750	587.0	8.7	23.0	77.0		Límite Líquido (LL) :	36
N° 8	2.360						Límite Plástico (LP) :	18
N° 10	2.000	3.1	0.3	23.4	76.6		Indice Plástico (IP) :	18
N° 16	1.190						Clasificación (SUCS) :	CL
N° 20	0.840	15.0	1.6	25.0	75.0		Descripción(SUCS) :	Arcilla gravosa de baja plasticidad con arena
N° 30	0.600							
N° 40	0.425	35.6	3.8	28.7	71.3		Clasificación (AASHTO) :	A-6(7)
N° 50	0.300							
N° 80	0.177						Boloneria > 3" :	0.0
N° 100	0.150	83.6	8.9	37.6	62.4		Grava 3" - N° 4 :	23.0
N° 200	0.075	49.8	5.3	42.9	57.1		Arena N°4 - N° 200 :	19.8
< N° 200	FONDO	538.6	57.1	100.0	0.0		Finos < N° 200 :	57.1

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
N° TARRO	N°	2	3	4	6	7	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	23.33	26.61	25.88	13.98	13.59	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.29	22.02	21.66	13.21	12.82	
PESO DE AGUA	(g)	4.04	4.59	4.22	0.8	0.8	
PESO DEL TARRO	(g)	8.81	9.33	9.44	9.00	8.55	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.5	12.7	12.2	4.2	4.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	38.5	36.2	34.5	18.3	18.0	**18**
NUMERO DE GOLPES	-	45	25	18	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV
LABORATORIO DE GEOTECNIA, SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N°	
Fecha de Emisión	: 06/06/2019
Certificado N°	: 1365
Realizado por	: Tec. R.H.L
Revisado por	: Esp. H.R.V.
Codigo N°	: LAB-06-19/004

PROYECTO	: Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco	Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
	: Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco	Fecha Muestreo	: 01 Junio 2019
MATERIAL	: Estudio de Mecanica de Suelos	Motivo	: Estudio de Suelos
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco	Muestreado por	: El Solicitante
SECTOR		COORDENADA GEOGRAFICA	
N. FREATICO	: NE	NORTE 8407261	
CALICATA	: C-4	ESTE 0811716	Tamaño Maximo : N° 4
MUESTRA	: M-1	MSNM 3470.0	Peso inicial seco : 13450.0 g
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50		Fracción N° 04 : 807.5 g

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

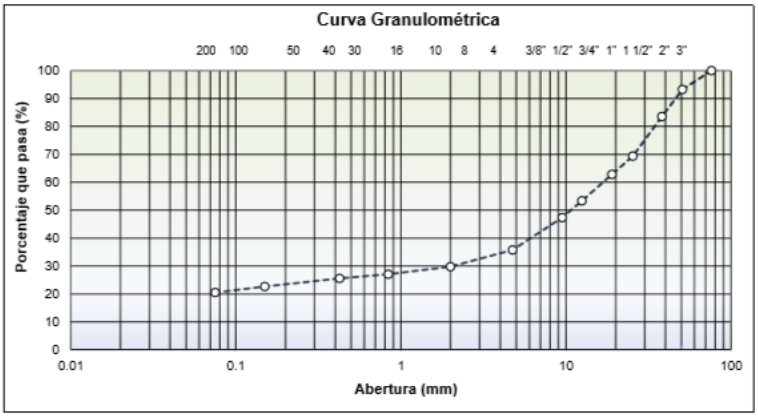
(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

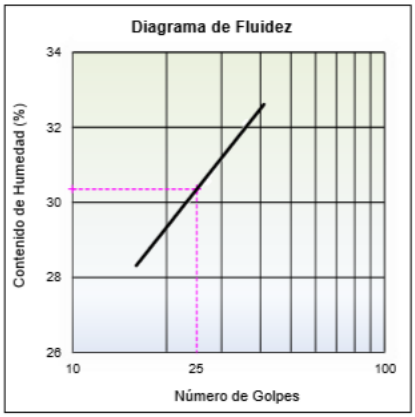
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200		0.0	0.0	100.0		**Contenido de Humedad (%) :**	**4.7**
2"	50.800	908.0	6.8	6.8	93.2		Tara N°:	1
1 1/2"	38.100	1306.0	9.7	16.5	83.5		Peso de la Tara (g):	0.0
1"	25.400	1899.0	14.1	30.6	69.4		Peso Tara+Suelo Hum.(g):	845.7
3/4"	19.000	883.0	6.6	37.1	62.9		Peso Tara+Suelo Sec.(g):	807.5
1/2"	12.500	1273.0	9.5	46.6	53.4		Peso del Agua (g):	38.2
3/8"	9.500	808.0	6.0	52.6	47.4		Peso del Suelo Seco (g):	807.5
N° 4	4.750	1556.0	11.6	64.2	35.8		Límite Líquido (LL) :	30
N° 8	2.360						Límite Plástico (LP) :	13
N° 10	2.000	135.0	6.0	70.2	29.8		Indice Plástico (IP) :	17
N° 16	1.190						Clasificación (SUCS) :	GC
N° 20	0.840	62.5	2.8	72.9	27.1		Descripción(SUCS) :	Grava arcillosa con arena
N° 30	0.600							
N° 40	0.425	32.2	1.4	74.4	25.6		Clasificación (AASHTO) :	A-2-6(0)
N° 50	0.300							
N° 80	0.177						Boloneria > 3" :	0.0
N° 100	0.150	66.4	2.9	77.3	22.7		Grava 3" - N° 4 :	64.2
N° 200	0.075	49.0	2.2	79.5	20.5		Arena N°4 - N° 200 :	15.3
< N° 200	FONDO	462.4	20.5	100.0	0.0		Finos < N° 200 :	20.5

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
Nº TARRO	N°	13	14	15	18	1	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	23.90	28.35	27.60	11.08	11.12	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.50	23.89	23.51	10.69	10.49	
PESO DE AGUA	(g)	3.40	4.46	4.09	0.4	0.6	
PESO DEL TARRO	(g)	9.91	9.30	9.09	6.85	6.42	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.6	14.6	14.4	3.8	4.1	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	32.1	30.6	28.4	10.2	15.5	13
NUMERO DE GOLPES	-	36	27	16	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N°	
		Fecha de Emisión	: 06/06/2019
		Certificado N°	: 1366
		Realizado por	: Tec. R.H.L
		Revisado por	: Esp. H.R.V.
		Codigo N°	: LAB-06-19/005

PROYECTO	: Evaluacion de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
	: Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco			Fecha Muestreo	: 01 Junio 2019
MATERIAL	: Estudio de Mecanica de Suelos			Motivo	: Estudio de Suelos
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco			Muestreado por	: El Solicitante
SECTOR		COORDENADA GEOGRAFICA			
N. FREATICO	: NE	NORTE	8407045		
CALICATA	: C-5	ESTE	811651	Tamaño Maximo :	N° 4
MUESTRA	: M-1	MSNM	3542.0	Peso inicial seco :	g
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50			Fracción N° 04 :	821.5 g

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

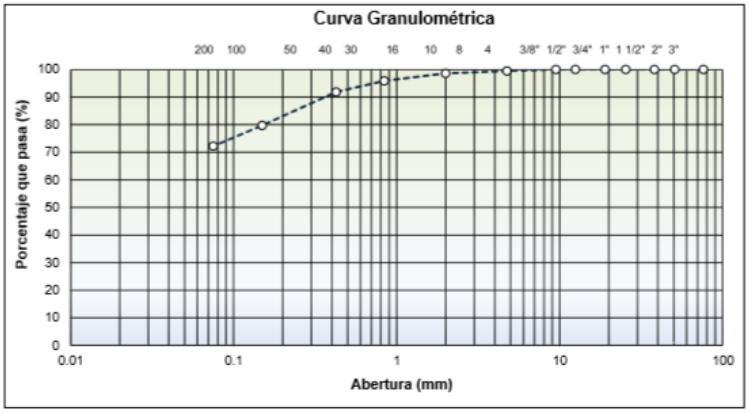
(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

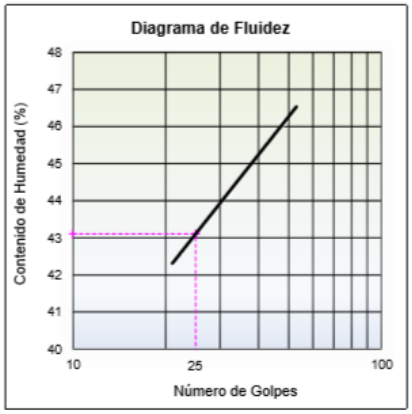
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA			
3"	76.200						Contenido de Humedad (%) :	9.6
2"	50.800						Tara N°:	1
1 1/2"	38.100						Peso de la Tara (g):	0.0
1"	25.400						Peso Tara+Suelo Hum.(g):	900.0
3/4"	19.000						Peso Tara+Suelo Sec.(g):	821.5
1/2"	12.500						Peso del Agua (g):	78.5
3/8"	9.500						Peso del Suelo Seco (g):	821.5
N° 4	4.750	4.4	0.5	0.5	99.5		Límite Líquido (LL) :	43
N° 8	2.360						Límite Plástico (LP) :	21
N° 10	2.000	6.9	0.8	1.4	98.6		Indice Plástico (IP) :	22
N° 16	1.190						Clasificación (SUCS) :	CL
N° 20	0.840	22.5	2.7	4.1	95.9		Descripción(SUCS) :	Arcilla de baja plasticidad con arena
N° 30	0.600							
N° 40	0.425	33.7	4.1	8.2	91.8		Clasificación (AASHTO) :	A-7-6(15)
N° 50	0.300							
N° 80	0.177						Boloneria > 3" :	0.0
N° 100	0.150	100.0	12.1	20.3	79.7		Grava 3" - N° 4 :	0.5
N° 200	0.075	62.0	7.5	27.8	72.2		Arena N°4 - N° 200 :	27.3
< N° 200	FONDO	596.4	72.2	100.0	0.0		Finos < N° 200 :	72.2

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
N° TARRO	N°	26	27	28	11	15	Promedio
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	25.77	26.75	24.52	10.49	10.99	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.44	21.21	19.88	10.06	10.33	
PESO DE AGUA	(g)	5.33	5.54	4.64	0.4	0.7	
PESO DEL TARRO	(g)	8.88	8.67	8.92	8.01	7.25	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.6	12.5	11.0	2.1	3.1	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	46.1	44.2	42.3	21.0	21.4	21
NUMERO DE GOLPES	-	48	32	21	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV
LABORATORIO DE GEOTECNIA, SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N°	
Fecha de Emisión	: 06/06/2019
Certificado N°	: 1379
Realizado por	: Tec R.H.L
Revisado por	: Esp. H.R.V.
Código N°	: LAB-06-19/003

PROYECTO	: Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco		
	: Provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco		
MATERIAL	: Estudio de Mecánica de Suelos		
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco		
SECTOR		COORDENADA GEOGRÁFICA	
N. FREÁTICO	: NE	NORTE	8412705
CALICATA	: C-13	ESTE	811556
MUESTRA	: M-1	MSNM	3466
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50		

Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo	: 01 junio 2019
Motivo	: Estudio de Suelos
Muestreado por	: El solicitante
Tamaño máximo:	N°4
Peso inicial seco:	1548.0 g
Fracción N° 04:	717 g

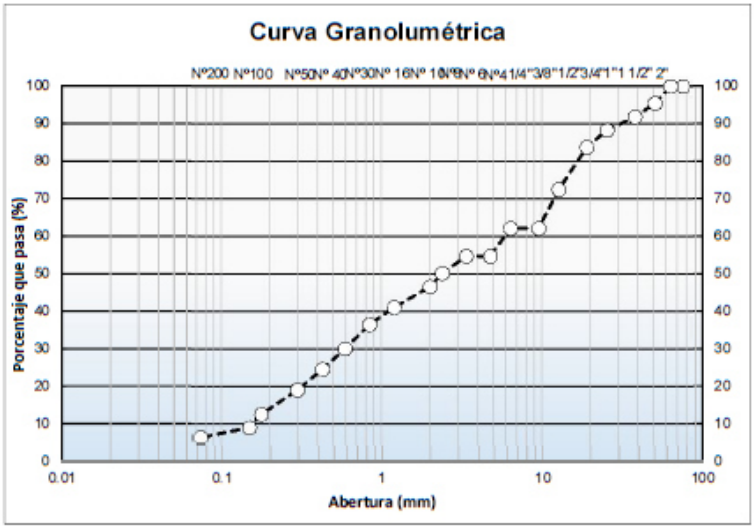
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL
(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

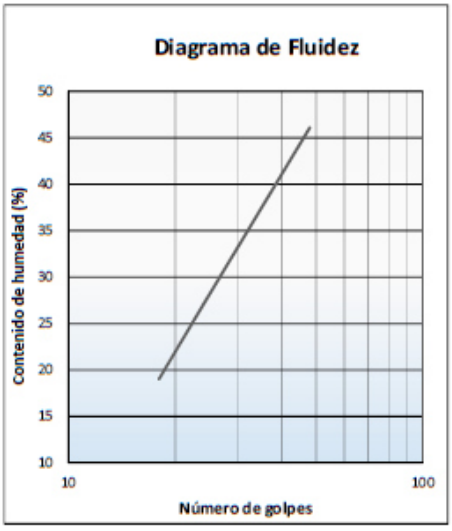
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	
3"	76.200	146.7	20.5	20.5	79.5	
2"	50.800	67.2	9.4	29.8	70.2	
11/2"	38.100	0.0	0.0	29.8	70.2	
1"	25.400	44.3	6.2	36.0	64.0	
3/4"	19.050	64.6	9.0	45.0	55.0	
1/2"	12.700	48.5	6.8	51.8	48.2	
3/8"	9.525	46.0	6.4	58.2	41.8	
N° 4	4.760	16.2	2.3	60.4	39.6	
N° 8	2.380	33.9	4.7	65.2	34.8	
N° 10	2.000	0.0	0.0	65.2	34.8	
N°16	1.190	12.9	1.8	67.0	33.0	
N° 20	0.840	0.0	0.0	67.0	33.0	
N° 30	0.590	40.4	5.6	72.6	27.4	
N° 40	0.426	33.9	4.7	77.3	22.7	
N° 50	0.297	0.0	0.0	77.3	22.7	
N° 80	0.177	30.7	4.3	81.6	18.4	
N° 100	0.149	4.0	0.6	82.2	17.8	
N° 200	0.074	25.8	3.6	85.8	14.2	
< N° 200	FONDO	101.9	14.2	100.0	0.0	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Contenido de Humedad (%):	**3.8**
Tara N°:	
Peso de la Tara (g):	0
Peso Tara + suelo hum. (g):	743.9
Peso Tara + suelo sec. (g):	717.0
Peso del agua (g):	26.9
Peso del suelo seco (g):	717.0
Límite líquido (LL):	28
Límite Plástico (LP):	11.1
Índice plástico (IP):	16.9
Clasificación (SUCS):	GC
Descripción (SUCS)	Grava arenosa con arcilla
Clasificación (AASHTO):	A-2-6 (0)
Bolonería > 3":	20.5
Grava 3" - N° 4:	40.0
Arena N° 4 - N° 200:	25.3
Finos < N° 200:	14.2

LÍMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40
(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
N° TARRO	N°	6	8	9	1	25	Promedio
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	27.52378	31.2927	24.9274	14.83	13.05	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	21.54	26.43	22.37	14.03	12.55	
PESO DE AGUA	(g)	5.98378	4.8627	2.5574	0.8	0.5	
PESO DEL TARRO	(g)	8.56	8.42	8.91	7.12	7.81	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	12.98	18.01	13.46	6.91	4.74	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	46.1	27	19	11.6	10.5	11.1
NÚMERO DE GOLPES	-	48	24	18	-	-	-





HRUIZ-GEOPAV
LABORATORIO DE GEOTECNIA (SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N°	
Fecha de Emisión	: 06/06/2019
Certificado N°	
Realizado por	: Tec R.H.L
Revisado por	: Esp. H.R.V.
Código N°	: LAB-06-19/004

PROYECTO	: Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Lluscо			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
	: Provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco			Fecha Muestreo	: 01 junio 2019
MATERIAL	: Estudio de Mecánica de Suelos			Motivo	: Estudio de Suelos
UBICACIÓN	: Distrito de Lluscо			Muestreado por	: El solicitante
SECTOR		COORDENADA GEOGRÁFICA			
N. FREÁTICO	: NE	NORTE	:8413135.72		
CALICATA	: C-14	ESTE	:810783.79	Tamaño máximo:	N°4
MUESTRA	: M-1	MSNM	:3567	Peso Inicial seco:	3452 g
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50			Fracción N° 04:	1564.4 g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

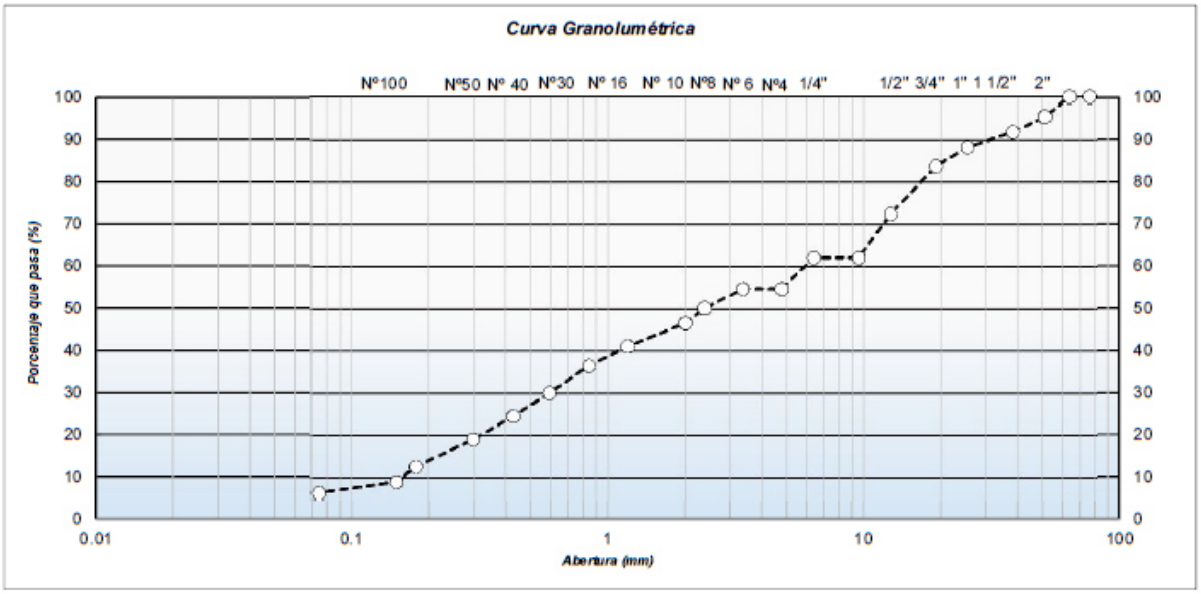
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	
3"	76.200		0.0	0.0	100.0	
2"	50.800	92.7	5.9	5.9	94.1	
11/2"	38.100	77.5	5.0	10.9	89.1	
1"	25.400	56.3	3.6	14.5	85.5	
3/4"	19.050	103.4	6.6	21.1	78.9	
1/2"	12.700	177.9	11.4	32.5	67.5	
3/8"	9.525	162.7	10.4	42.9	57.1	
N° 4	4.760	117.1	7.5	50.3	49.7	
N° 8	2.380	71.5	4.6	54.9	45.1	
N° 10	2.000	45.6	2.9	57.8	42.2	
N°16	1.190	76.0	4.9	62.7	37.3	
N° 20	0.840	60.8	3.9	66.6	33.4	
N° 30	0.590	91.2	5.8	72.4	27.6	
N° 40	0.426	76.0	4.9	77.3	22.7	
N° 50	0.297	76.0	4.9	82.1	17.9	
N° 80	0.177	91.2	5.8	87.9	12.1	
N° 100	0.149	56.3	3.6	91.5	8.5	
N° 200	0.074	30.4	1.9	93.5	6.5	
< N° 200	FONDO	101.9	6.5	100.0	0.0	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Contenido de Humedad (%):	**2.5**
Tara N°:	
Peso de la Tara (g):	0
Peso Tara + suelo hum. (g):	1,604.3
Peso Tara + suelo sec. (g):	1,564.4
Peso del agua (g):	39.9
Peso del suelo seco (g):	1,564.4
Límite líquido (LL):	-
Límite Plástico (LP):	-
Índice plástico (IP):	-
Clasificación (SUCS):	GP
Descripción (SUCS):	
Clasificación (AASHTO):	A-1-a (0)
Bolonería > 3":	0.0
Grava 3" - N° 4:	50.3
Arena N° 4 - N° 200:	43.1
Finos < N° 200:	6.5

LÍMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
N° TARRO	N°	6	8	9	1	25	Promedio
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	-	-	-	-	-	-
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	-	-	-	-	-	-
PESO DE AGUA	(g)	-	-	-	-	-	-
PESO DEL TARRO	(g)	-	-	-	-	-	-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-	-	-	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	-	-	-	-	-	-
NÚMERO DE GOLPES	-	-	-	-	-	-	-



HRUIZ-GEOPAV

LABORATORIO DE GEOTECNIA, SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N°	
Fecha de Emisión	: 06/06/2019
Certificado N°	:1381
Realizado por	: Tec R.H.L
Revisado por	: Esp. H.R.V.
Código N°	: LAB-06-19/004

PROYECTO	: Evaluación de Estabilidad de las Laderas del Distrito de Llusco				
	: Provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco			Solicita	: Bach. Gerson Carpio R.
MATERIAL	: Estudio de Mecánica de Suelos			Fecha Muestreo	: 01 junio 2019
UBICACIÓN	: Distrito de Llusco			Motivo	: Estudio de Suelos
SECTOR		COORDENADA GEOGRÁFICA		Muestreado por	: El solicitante
N. FREÁTICO	: NE	NORTE	8407214		
CALICATA	: C-1	ESTE	812257	Tamaño máximo:	N°4
MUESTRA	: M-1	MSNM	3441.0	Peso inicial seco:	5544.5 g
PROF. (m)	: 0.00 - 0.80			Fracción N° 04:	1478.5 g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y HUMEDAD NATURAL

(NORMA MTC E-107, E-108, E-204, AASHTO T-27, ASTM D422)

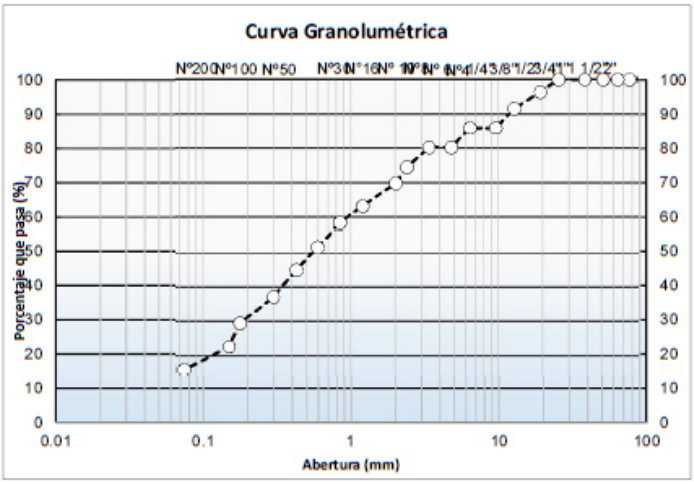
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIÓN
3"	76.200		0.0	0.0	100.0	
2"	50.800		0.0	0.0	100.0	
11/2"	38.100		0.0	0.0	100.0	
1"	25.400		0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	54.0	3.7	3.7	96.3	
1/2"	12.700	69.2	4.7	8.3	91.7	
3/8"	9.525	84.4	5.7	14.0	86.0	
N° 4	4.760	84.4	5.7	19.7	80.3	
N° 8	2.380	84.4	5.7	25.4	74.6	
N° 10	2.000	69.2	4.7	30.1	69.9	
N°16	1.190	99.6	6.7	36.9	63.1	
N° 20	0.840	69.2	4.7	41.5	58.5	
N° 30	0.590	99.6	6.7	48.3	51.7	
N° 40	0.426	99.6	6.7	55.0	45.0	
N° 50	0.297	114.8	7.8	62.8	37.2	
N° 80	0.177	114.8	7.8	70.5	29.5	
N° 100	0.149	99.6	6.7	77.3	22.7	
N° 200	0.074	99.6	6.7	84.0	16.0	
< N° 200	FONDO	236.4	16.0	100.0	0.0	

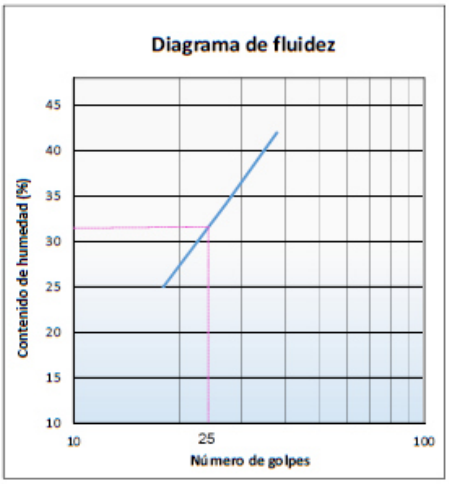
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Contenido de Humedad (%):	**5.0**
Tara N°:	
Peso de la Tara (g):	0
Peso Tara + suelo hum. (g):	1,552.3
Peso Tara + suelo sec. (g):	1,478.5
Peso del agua (g):	73.8
Peso del suelo seco (g):	1,478.5
Límite líquido (LL):	32
Límite Plástico (LP):	24.0
Índice plástico (IP):	8.0
Clasificación (SUCS):	SM
Descripción (SUCS)	
Clasificación (AASHTO):	A-2-4 (0)
Bolonería > 3":	0.0
Grava 3" - N° 4:	19.7
Arena N° 4 - N° 200:	64.3
Finos < N° 200:	16.0

LÍMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40

(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

	Und	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
N° TARRO	N°	15	19	23	4	8	Promedio
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	31.5782	29.257	23.46	10.83	13.05	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	24.77	23.97	20.55	10.11	12.04	
PESO DE AGUA	(g)	6.8082	5.287	2.91	0.72	1.01	
PESO DEL TARRO	(g)	8.56	8.42	8.91	7.12	7.81	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	16.21	15.55	11.64	2.99	4.23	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	42	34	25	24.1	23.9	**24.0**
NÚMERO DE GOLPES	-	38	27	18	-	-	-





ANEXO 3. Ensayos in situ

HRUIZ-GEOPAV

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

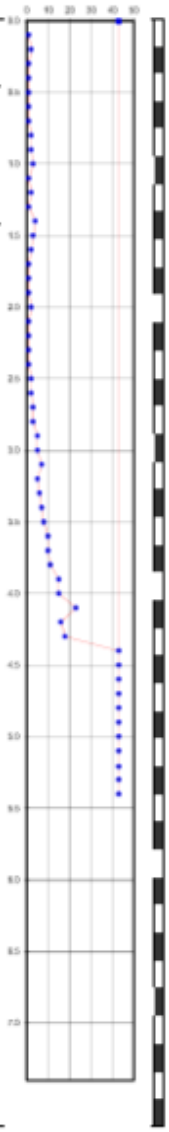
PENETRACION DINAMICA LIGERA PDL - NORMA DIN 4094

PROYECTO: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL NORTE DEL DISTRITO DE LLUSCO

MATERIAL: Estudio Mecanica de suelos
UBICACIÓN: Provincia de Chumbivilcas, Cusco
LADO : -
CALICATA : -
ESTRATO: Suelo Aluvial
PROF. (m): 2.00 - 4.00 m

COORDENADAS: 8407365.9 812135.35 3408

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	SUCS	CORRELACIONES N	CORRELACIONES ϕ ( ) suelo friccionante	CORRELACIONES c (Kg/cm²) suelo cohesivo	ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N_{DPL} = N° de golpes / 10 cm
0.20	**Suelo Arena Limosa** de Baja Plasticidad, Medianamente Compacto, Humedo, Plastico, Coloracion Marronesca	CL	1	19.5	-	
1.00			1	19.5	-	
2.00			1	19.5	-	
			1	19.5	-	
			2	21.3	-	
3.00	3.00 m.		6	26.0	-	
			10	29.1	-	
4.00			19	34.5	-	
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						



OBSERVACIONES :

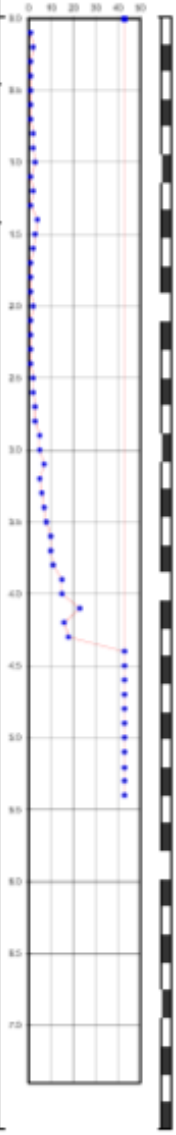
HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS	Informe N° Fecha de Emisión Certificado N° Revisado por

PENETRACION DINAMICA LIGERA PDL - NORMA DIN 4094

PROYECTO EVALUACION DE ESTABILIDAD DE LADERAS DEL NORTE DEL DISTRITO DE LLUSCO

MATERIAL Estudio Mecanica de suelos
UBICACIÓN Provincia de Chumbivilcas, Cusco
KM.
LADO
CALICATA -
COORDENADAS
ESTRATO Suelo Aluvial
PROF. (m) : 2.00 - 4.00 m

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	SUCS	CORRELACIONES N SPT	CORRELACIONES Φ (°) suelo friccionante	CORRELACIONES c (Kg/cm²) suelo cohesivo	ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA $N_{DPL} = \frac{N° \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
0.20	**Suelo Arena Limosa** de Baja Plasticidad, Medianamente Compacto, Humedo, Plastico, Coloracion Marronesca	CL	1	19.5	-	
1.00			1	19.5	-	
2.00			1	19.5	-	
			1	19.5	-	
			2	21.3	-	
3.00	3.00 m.		6	26.0	-	
			10	29.1	-	
4.00			19	34.5	-	
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						



OBSERVACIONES :

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1368 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/007

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-3
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,40 - 2,50

COORDENADAS
NORTE : 8407045
ESTE : 0811651
MSNM : 3542

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno									
Capa									
Lado									
Número de Prueba				1					
1	.-	P. de frasco+Arena inicial		6944					
2	.-	P. de frasco+Arena queda		1984					
3	.-	Peso de arena de cono		**1614**					
4	.-	Peso de arena usada	(1-2-3)	3346					
5	.-	Densidad de arena		**1.406**					
6	.-	Volumen del hoyo	(4/5)	2380					
7	.-	Peso de muestra humeda		3578					
8	.-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.503					
10	.-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.403					
11	.-	Peso de material > 3/4"		0					
12	.-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	0.0					
13	.-	% de material < 3/4"	(100-12)	100.0					
Humedad Natural									
14	.-	Pt + muestra humeda		880.0					
15	.-	Pt + muestra seca		820.9					
16	.-	Peso de agua		59.1					
17	.-	Peso de tara (Pt)							
18	.-	Peso de muestra seca		820.9					
19	.-	Humedad (%)		7.2					
Grado de Compactación									
20	.-	M.D.S. Según Proctor							
21	.-	Optimo contenido de humedad							
22	.-	Peso Específico de grava							
23	.-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.403					
24	.-								
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO				1.403					

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1370 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/009

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-7
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,00 - 0,30

COORDENADAS
NORTE : 8406106
ESTE : 0813817
MSNM : 3256

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno										
Capa										
Lado										
Número de Prueba				4						
1	,-	P. de frasco+Arena inicial		6932						
2	,-	P. de frasco+Arena queda		1970						
3	,-	Peso de arena de cono		**1614**						
4	,-	Peso de arena usada	(1-2-3)	3348						
5	,-	Densidad de arena		**1.406**						
6	,-	Volumen del hoyo	(4/5)	2381						
7	,-	Peso de muestra humeda		4314						
8	,-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.812						
10	,-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.687						
11	,-	Peso de material > 3/4"		0						
12	,-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	0.0						
13	,-	% de material < 3/4"	(100-12)	100.0						
Humedad Natural										
14	,-	Pt + muestra humeda		965.5						
15	,-	Pt + muestra seca		899.2						
16	,-	Peso de agua		66.3						
17	,-	Peso de tara (Pt)								
18	,-	Peso de muestra seca		899.2						
19	,-	Humedad (%)		7.4						
Grado de Compactación										
20	,-	M.D.S. Según Proctor								
21	,-	Optimo contenido de humedad								
22	,-	Peso Específico de grava								
23	,-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.687						
24	,-									
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO				1.687						

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1372 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/011

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-8
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,00 - 0,30

COORDENADAS
NORTE : 8406049
ESTE : 0813968
MSNM : 3252

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno										
Capa										
Lado										
Número de Prueba				6						
1	.-	P. de frasco+Arena inicial		6918						
2	.-	P. de frasco+Arena queda		2104						
3	.-	Peso de arena de cono		**1614**						
4	.-	Peso de arena usada	(1-2-3)	3200						
5	.-	Densidad de arena		**1.406**						
6	.-	Volumen del hoyo	(4/5)	2276						
7	.-	Peso de muestra humeda		3162						
8	.-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.389						
10	.-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.304						
11	.-	Peso de material > 3/4"		0						
12	.-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	0.0						
13	.-	% de material < 3/4"	(100-12)	100.0						
Humedad Natural										
14	.-	Pt + muestra humeda		850.5						
15	.-	Pt + muestra seca		798.2						
16	.-	Peso de agua		52.3						
17	.-	Peso de tara (Pt)								
18	.-	Peso de muestra seca		798.2						
19	.-	Humedad (%)		6.6						
Grado de Compactación										
20	.-	M.D.S. Según Proctor								
21	.-	Optimo contenido de humedad								
22	.-	Peso Específico de grava								
23	.-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.304						
24	.-									
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO				1.304						

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1374 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/013

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-9
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,00 - 0,30

COORDENADAS
NORTE : 8406306
ESTE : 0813981
MSNM : 3212

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno										
Capa										
Lado										
Número de Prueba				8						
1	.-	P. de frasco+Arena inicial		6864						
2	.-	P. de frasco+Arena queda		2222						
3	.-	Peso de arena de cono		**1614**						
4	.-	Peso de arena usada	(1-2-3)	3028						
5	.-	Densidad de arena		**1.406**						
6	.-	Volumen del hoyo	(4/5)	2154						
7	.-	Peso de muestra humeda		4002						
8	.-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.858						
10	.-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.734						
11	.-	Peso de material > 3/4"		0.0						
12	.-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	0.0						
13	.-	% de material < 3/4"	(100-12)	100.0						
Humedad Natural										
14	.-	Pt + muestra humeda		966.0						
15	.-	Pt + muestra seca		901.4						
16	.-	Peso de agua		64.6						
17	.-	Peso de tara (Pt)								
18	.-	Peso de muestra seca		901.4						
19	.-	Humedad (%)		7.2						
Grado de Compactación										
20	.-	M.D.S. Según Proctor								
21	.-	Optimo contenido de humedad								
22	.-	Peso Específico de grava								
23	.-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.734						
24	.-									
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO				1.734						

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1373 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/012

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-11
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,80 - 1,50

COORDENADAS
NORTE : 8407261
ESTE : 0811716
MSNM : 3470

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno										
Capa										
Lado										
Número de Prueba				7						
1	.-	P. de frasco+Arena inicial		6858						
2	.-	P. de frasco+Arena queda		2515						
3	.-	Peso de arena de cono		**1614**						
4	.-	Peso de arena usada	(1-2-3)	2729						
5	.-	Densidad de arena		**1.406**						
6	.-	Volumen del hoyo	(4/5)	1941						
7	.-	Peso de muestra humeda		3446						
8	.-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.775						
10	.-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.680						
11	.-	Peso de material > 3/4"		62.7						
12	.-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	1.8						
13	.-	% de material < 3/4"	(100-12)	98.2						
Humedad Natural										
14	.-	Pt + muestra humeda		900.0						
15	.-	Pt + muestra seca		851.4						
16	.-	Peso de agua		48.6						
17	.-	Peso de tara (Pt)								
18	.-	Peso de muestra seca		851.4						
19	.-	Humedad (%)		5.7						
Grado de Compactación										
20	.-	M.D.S. Según Proctor								
21	.-	Optimo contenido de humedad								
22	.-	Peso Específico de grava		2.55						
23	.-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.695						
24	.-									
DENSIDAD NATURAL DEL SUELO				1.695						

HRUIZ-GEOPAV	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	Informe N° Fecha de Emisión : 06/06/2019 Certificado N° : 1367 Realizado por : Tec. M.R.S. Revisado por : Esp. H.R.V. Codigo N° : LAB-06-19/006

DENSIDAD NATURAL DE SUELOS ASTM D 1556

PROYECTO : Evaluacion de la Estabilidad de Laderas del Distrito de Llusco
: Provincia de Cotabambas, departamento de Cusco
MATERIAL : Estudio Suelos Natural
UBICACIÓN : Distrito de Llusco
LADO : -
CALICATA : CA-12
MUESTRA : M-1
PROF. (m) : 0,00 - 0,30

COORDENADAS
NORTE : 8413036
ESTE : 0811135
MSNM : 3486

Solicita : Bach. Gerson Carpio R.
Fecha Muestreo : 01 Junio 2019
Motivo : Estudio de Suelos
Muestreado por : El Cliente
Revisado por : Ing. H.P.P.

Fecha de Relleno										
Capa										
Lado										
Número de Prueba				1						
1	.-	P. de frasco+Arena inicial		6920						
2	.-	P. de frasco+Arena queda		2974						
3	.-	Peso de arena de cono		**1614**						
4	.-	Peso de arena usada	(1-2-3)	2332						
5	.-	Densidad de arena		**1.406**						
6	.-	Volumen del hoyo	(4/5)	1659						
7	.-	Peso de muestra humeda		2880						
8	.-	Dens. de muestra humeda	(7/6)	1.736						
10	.-	Densidad de muestra seca	(8+(1+HN/100))	1.633						
11	.-	Peso de material > 3/4"		0						
12	.-	% de material > 3/4"	(11/7*100)	0.0						
13	.-	% de material < 3/4"	(100-12)	100.0						
		Humedad Natural								
14	.-	Pt + muestra humeda		950.0						
15	.-	Pt + muestra seca		893.4						
16	.-	Peso de agua		56.6						
17	.-	Peso de tara (Pt)								
18	.-	Peso de muestra seca		893.4						
19	.-	Humedad (%)		6.3						
		Grado de Compactación								
20	.-	M.D.S. Según Proctor								
21	.-	Optimo contenido de humedad								
22	.-	Peso Específico de grava								
23	.-	Densidad Corregida	((20*13)+(21*12))/100	1.633						
24	.-									
		DENSIDAD NATURAL DEL SUELO		1.633						

808000 809000 810000 811000 812000 813000 814000

8413000 8412000 8411000 8410000 8409000 8408000 8407000 8406000

Llusco

Lutto

Kututo

Zona de Estudio

N

CHUMBIVILCAS

Límite Provincial

LLUSCO

Límite Distrital

Leyenda

- Vía PE-3SG
- Lutto
- Llusco
- Kututo
- Río

10 5 0 10 20 30 km

rces; IPS; Source: Esri, Dig rthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

Título de tesis: Evaluación de estabilidad de laderas en los poblados de Llusco, Lutto y Kututo, Cuzco

Mapa de Ubicación y Accesibilidad del área de Estudio

Mapa N° 1

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 30000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

813500
814000
814500
8406500
8406000
8405500

PQ-to
Kis-ar
Q-al
CL
CL-1K
CL-2K
Q-fl
Q-vi/Tbl
ESTACIÓN 1

N

Leyenda

- Estaciones
- Líneas geofisica
- Río

Suelos

SIMBOLOGÍA

- CL
- CL-1K
- CL-2K

Geología

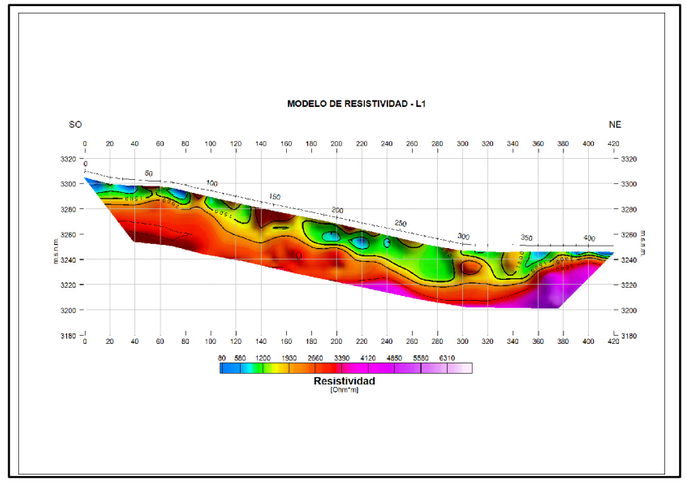
FORMACIÓN

- Kis-ar
- PQ-to
- Q-al
- Q-fl
- Q-vi/Tbl

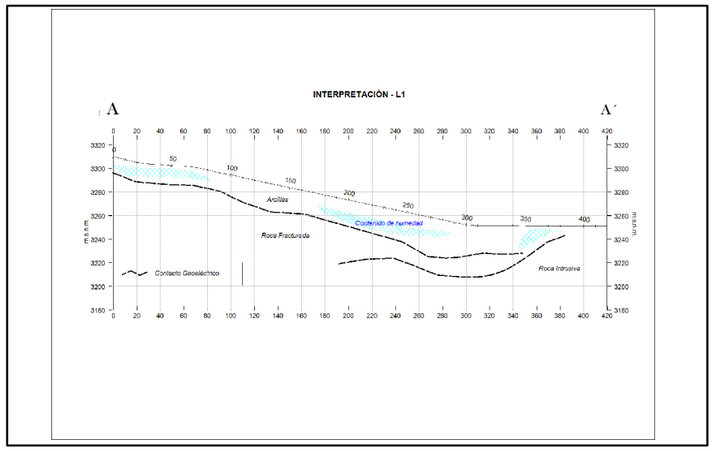
5 2.5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 km

Análisis estereográfico de talud E-1





Modelamiento



Sección de Ladera

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

ANALIZAR LA ESTABILIDAD DE LADERAS EN SUELOS ARCILLOSOS EN LOS POBLADOS DE LUTTO, KUTUTO Y LLUSCO, REGIÓN CUZCO

Mapa Geotécnico Estación N°1

Mapa N° 5

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Jairsiño Carpio Rottiers

Escala 1: 5000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

809500 810000 810500 811000 811500 812000 812500 813000

8414000 8413500 8413000 8412500 8412000

Q-co
Kis-ar
Q-vi/Tbl
Kis-ar
Kis-ar
Q-fl
Q-vi/Tbl
Llusco
Q-co
Q-al
Kis-ar
Q-vi/Tbl

Leyenda

Llusco

Geología

FORMACIÓN

- Kis-ar
- Q-al
- Q-co
- Q-fl
- Q-vi/Tbl

0 0.25 0.5 1 km

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

Título de tesis: Evaluación de estabilidad de laderas en los poblados de Llusco, Lutto y Kututo, Cuzco

Mapa Geológico - Llusco

Mapa N°3

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 10000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

809500 810000 810500 811000 811500 812000 812500 813000

811500 812000 812500 813000

8407500 8407000 8406500

CL PQ-to Kis-ar Q-fl PQ-to Q-al Lutto PQ-to GC GC CL CL PQ-to

Leyenda

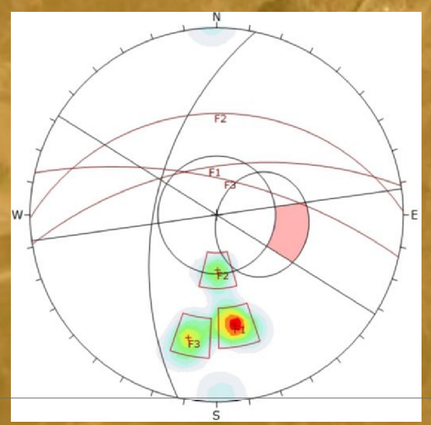
- Lutto
- Lineas geofisica
- Río
- Grietas de Tracción
- Z.I Deslizamiento Sector Campanayocpata

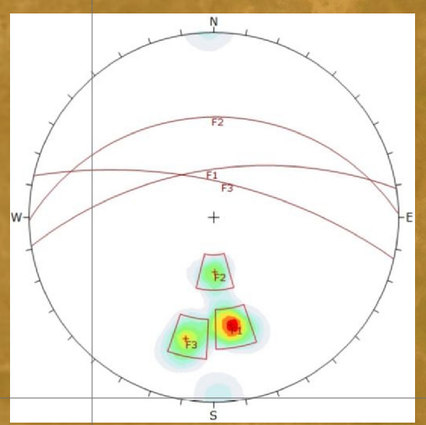
Suelos

- GC
- CL

Geología

- Kis-ar
- PQ-to
- Q-al
- Q-fl





0 0.25 0.5 km

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

ANALIZAR LA ESTABILIDAD DE LADERAS EN SUELOS ARCILLOSOS EN LOS POBLADOS DE LLUSCO, LUTTO Y KUTUTO, REGIÓN CUZCO

Mapa Geológico - Lutto

Mapa N°4

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 5000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

813000
813500
814000
814500
8407000
8406500
8406000

PQ-to
Kis-ar
Kis-ar
Kis-ar
PQ-to
Kututo
Q-al
CL
CL-2K
Q-fl
CL-1K
CL-1K
Q-al
CL-2K
Kis-ar
PQ-to
PQ-to

Leyenda

- Kututo
- Río
- Grietas de Tracción

Suelos

- CL
- CL-1K
- CL-2K

Geología

- Kis-ar
- PQ-to
- Q-al
- Q-fl
- Qr-rs

0 0.25 0.5 km

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

ANALIZAR LA ESTABILIDAD DE LADERAS EN SUELOS ARCILLOSOS EN LOS POBLADOS DE LLUSCO, LUTTO Y KUTUTO, REGIÓN CUZCO

Mapa Geológico - Kututo

Mapa N°2

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 5000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

813500
814000
814500
8406500
8406000
8405500

al
PQ-to
C
Kis-ar
Q-al
CL-1K
CL-2
ESTACIÓN 1
A´
A
Qr-rs
Q-fl
PQ-to
Q-fl
Q-vi/Tbl
N

Leyenda

- Estaciones
- Lineasgeofisica
- Río

Suelos

- C / suelo arcilloso
- CL-1K / suelo arcilloso Kututo
- CL-2 / suelo arcilloso
- al / suelo aluvial

Geología

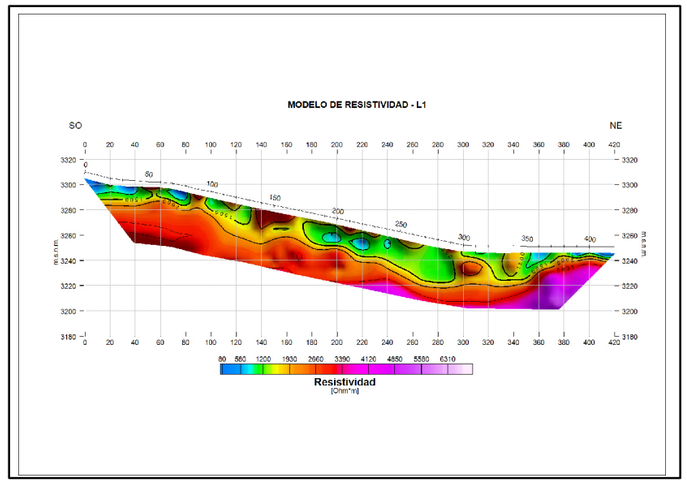
Formación

- Kis-ar / Fm. Arcurquina
- PQ-to / Intrusivo Tonalita
- Q-al / Depósito aluvial
- Q-fl / Depósito fluvial
- Q-vi/Tbl / Toba Lapilli
- Qr-rs / Depósito residual

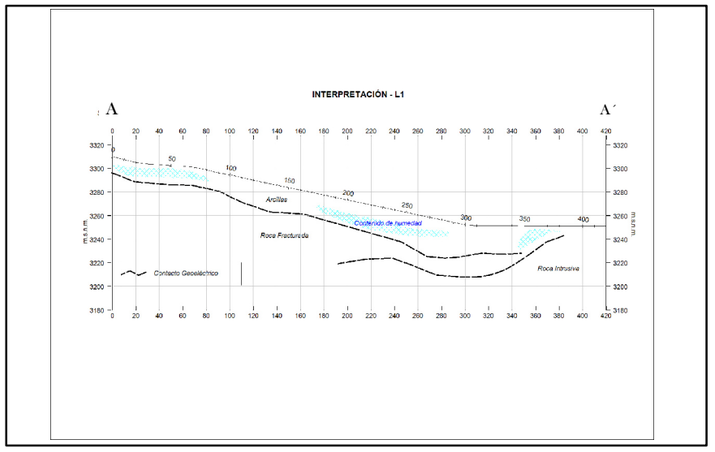
5 2.5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 km

Análisis estereográfico de talud E-1





Modelamiento



Sección de Ladera

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

Título de tesis: Evaluación de estabilidad de laderas en los poblados de Llusco, Lutto y Kututo, Cuzco

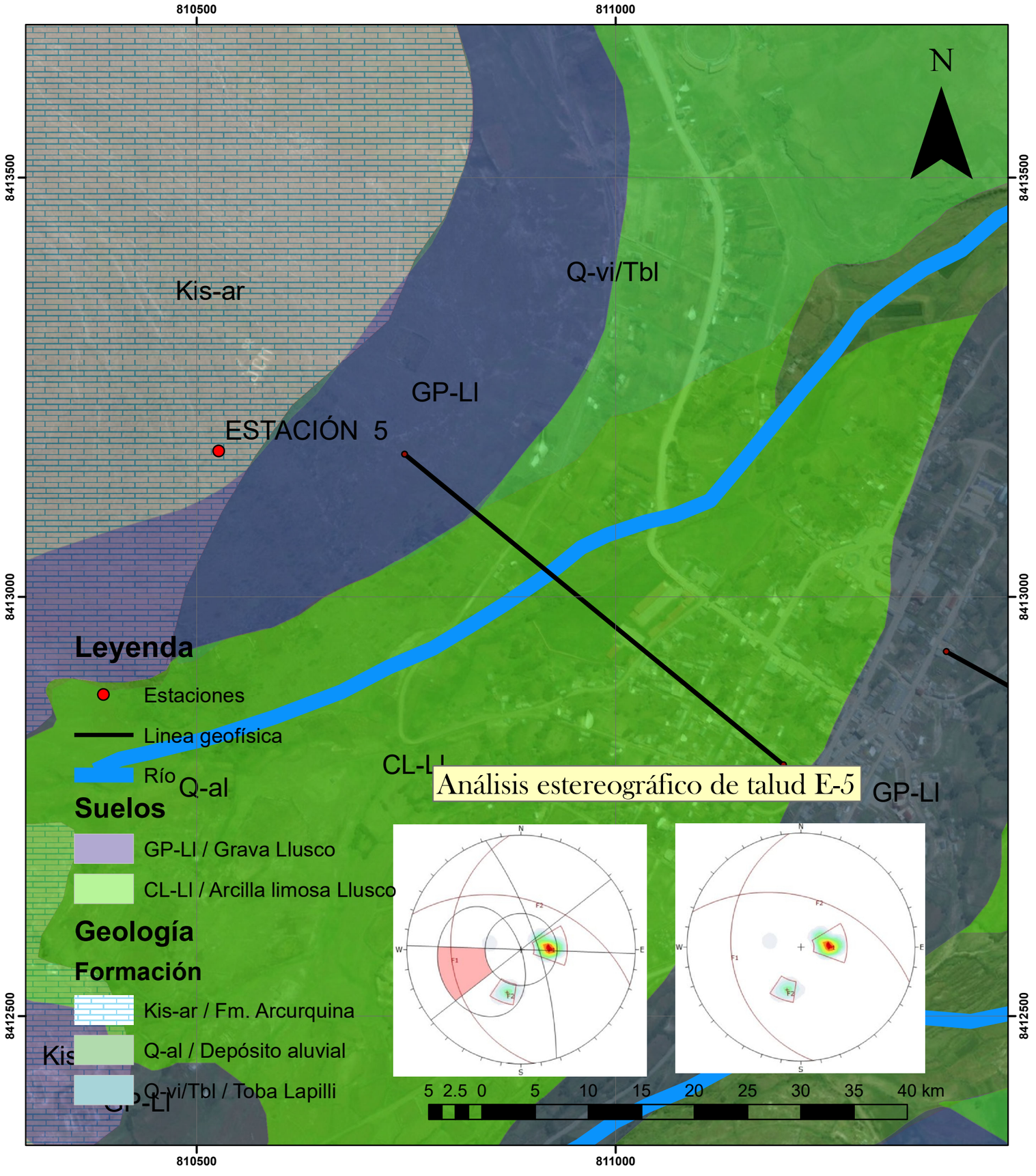
Mapa Geotécnico Estación N°1

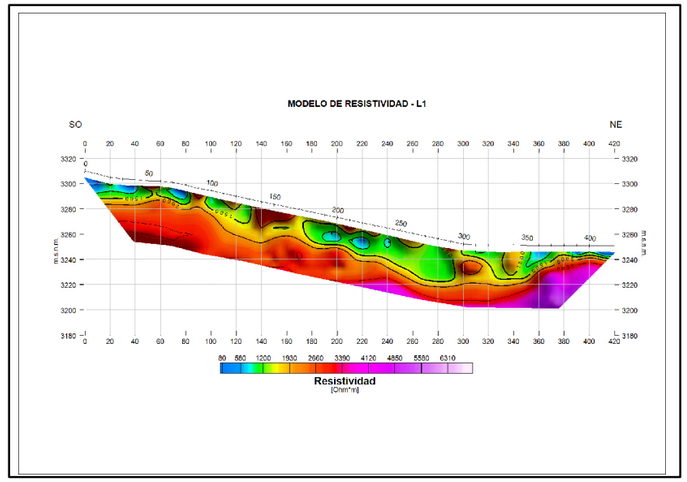
Mapa N° 2

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

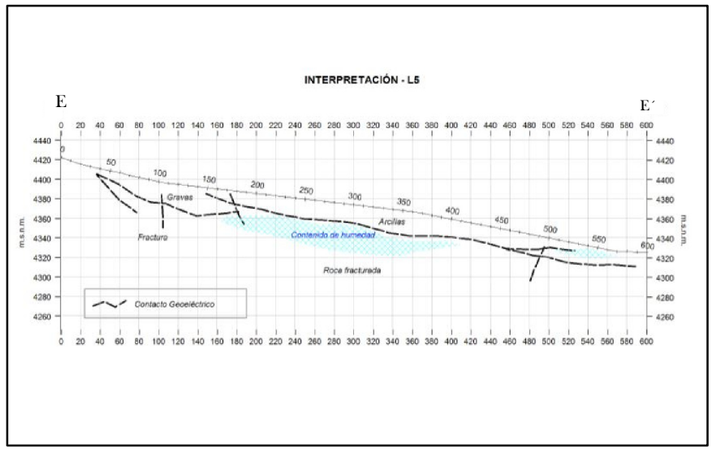
Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 5000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84





Modelamiento



Sección de Ladera

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA
E.A.P Ingeniería Geológica

Título de tesis: Evaluación de estabilidad de laderas en los poblados de Llusco, Lutto y Kututo, Cuzco

Mapa Geotécnico Estación N°5

Mapa N° 8

ASESOR: Tomás Ezequiel Gallarday Bocanegra

Tesista: Gerson Gairzhiño Carpio Rottiers

Escala 1: 5000 Fecha: 17 de octubre del 2019 Datum: WGS84

ANEXO 4. Asentamiento en Lutto 2017



Fuente: Noticias Cusco

ANEXO 5. Grietas en el colegio de Lutto



ANEXO 6. Ensayo Cono de arena N°1. Determinar la densidad del suelo



ANEXO 7. Grietas tensionales en la Losa de Futbol de Lutto



ANEXO 8. Casas con grietas registro de asentamientos en el poblado de Kututo



ANEXO 9. Casas con grietas registro de asentamientos en el poblado de Lutto



ANEXO 10. Grietas en la carretera de Kututo a Lutto.



ANEXO 11.Grieta tensional registrada antes del deslizamiento del año 2018



Fuente: Noticias Cusco

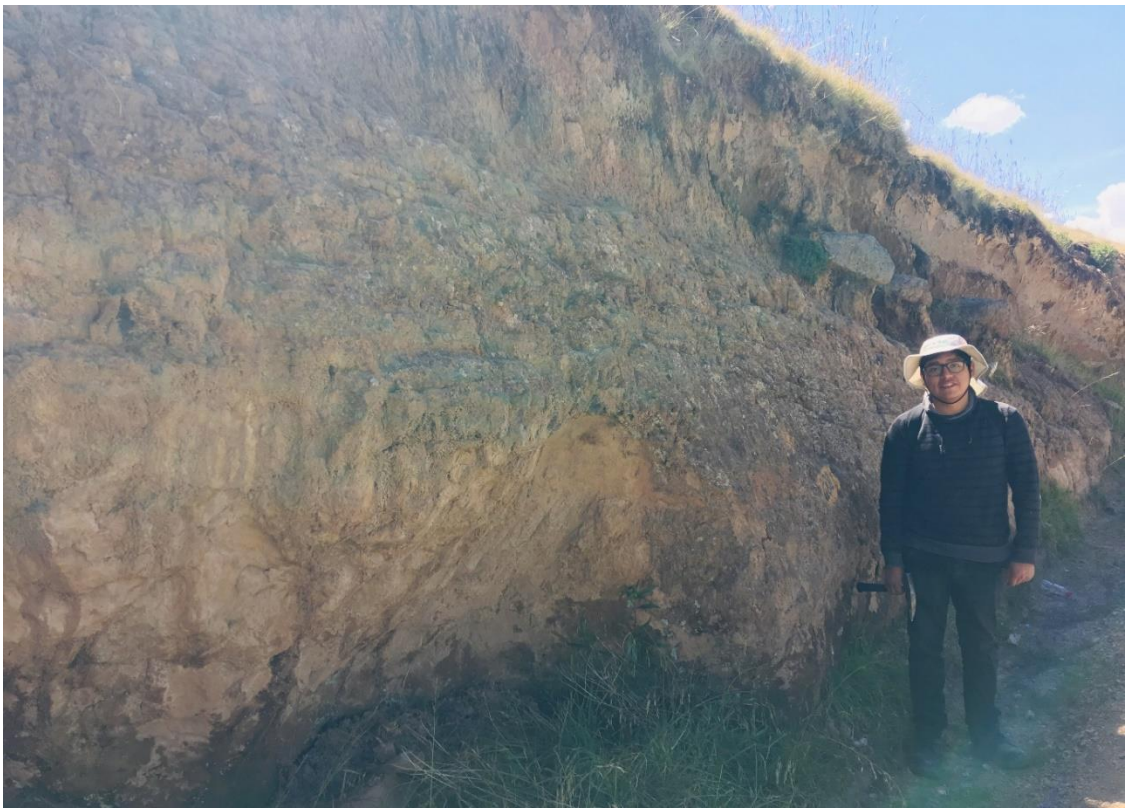
ANEXO 12. Deslizamiento ocurrido en Marzo del 2018 desapareciendo parte de la carretera Lutto-Llusco



ANEXO 13. Estudio de los horizontes de suelos en los cortes del Poblado de Kututo.



ANEXO 14. Suelos Arcillosos en los cortes de carretera del poblado Kututo



ANEXO 15. Reptación de Suelos en el Poblado de Llusco



ANEXO 16. Grietas tensionales talud natural del Poblado de Llusco



ANEXO 17. Pie del deslizamiento de Lutto, Sector de Campanayocpata



ANEXO 18. Una de las casas destruidas por el deslizamiento en Lluto, se observa el suelo removido



ANEXO 19. Fisuras en las casas de los poblados cercanos que indican el movimiento del suelo



ANEXO 20. Posta medica de Lluto destruida por el deslizamiento en Llusco



ANEXO 21. Casas ubicadas en el cuerpo principal del deslizamiento



ANEXO 22. Escarpes secundarios, grietas transversales y longitudinal



ANEXO 23. Diaclasas registradas con un espaciamiento de 5cm, sin relleno



ANEXO 24. Diaclasas registradas con un espaciamiento de 10cm sin relleno



ANEXO 25. Grietas tensionales al costado entre el colegio de Lutto y el deslizamiento



ANEXO 26. Grieta de 50 cm de Abertura en el poblado de Lutto



ANEXO 27. Estación geomecánica afloramiento de calizas de la formación Arcurquina



ANEXO 28. Vista Panorámica del Salto del Deslizamiento de Lutto.



ANEXO 29. Suelo arcilloso englobando clastos de caliza poblado de Lutto



ANEXO 30. Saltos de deslizamientos en arco de 40 cm



ANEXO 31. Grietas tensionales Poblado de Kututo



ANEXO 32. Filtración de agua



ANEXO 33. Registro de calicata zonas mapeadas con alto riesgo



ANEXO 34. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera Poblado de Lutto, Distrito de Llusco



ANEXO 35. Ensayo de Cono de arena horizonte arcilloso



ANEXO 36. Escarpe del deslizamiento de Lutto sector de campanayocpata.



ANEXO 37. Grietas tensionales poblado de Llusco



ANEXO 38. Horizontes del poblado de Lutto, Material arcilloso sobre Conglomerados encerrados en una matriz limo arcillosa.



ANEXO 39. Registro de calicatas ladera abajo horizonte de gravas arcillosas del poblado de Kututo



ANEXO 40. Ensayo de cono de arena en el horizonte de arcillas



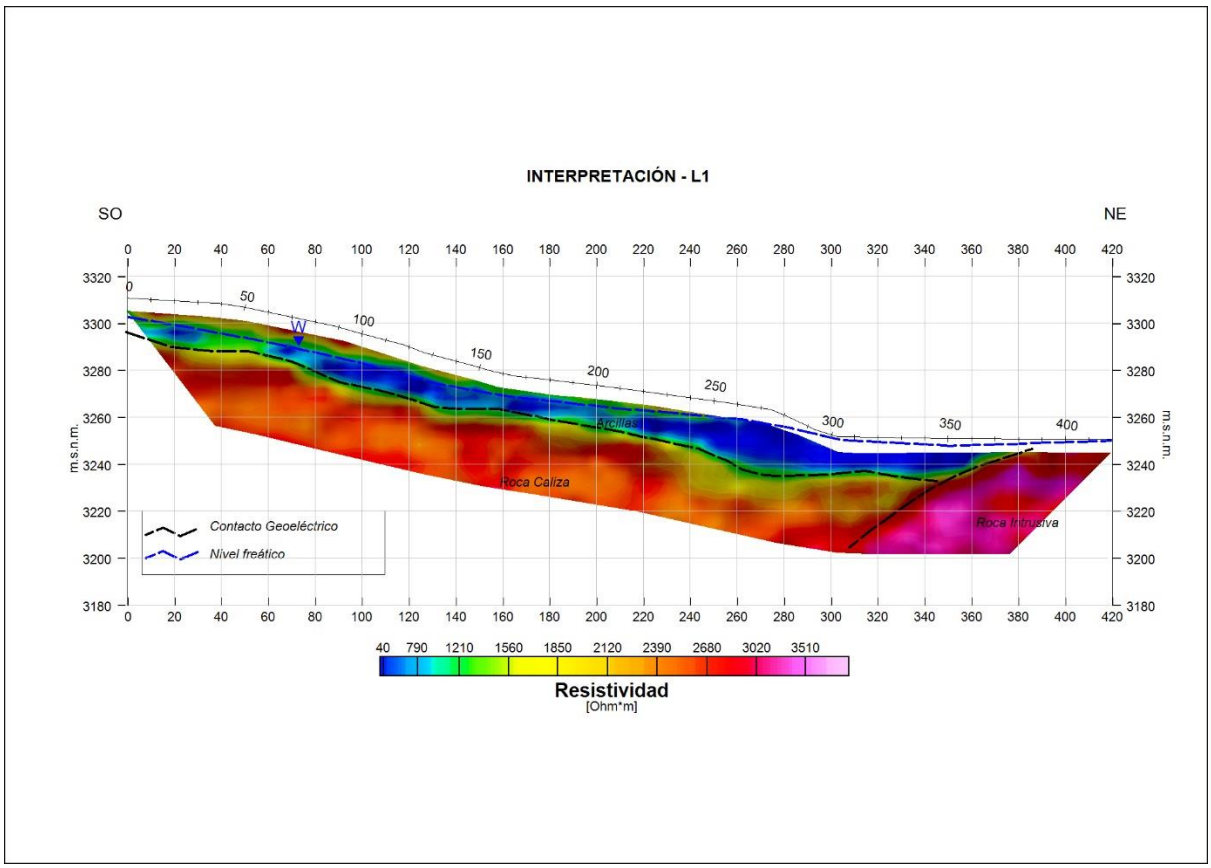
ANEXO 41. Toma de muestra calicata 7 para ensayos de laboratorio

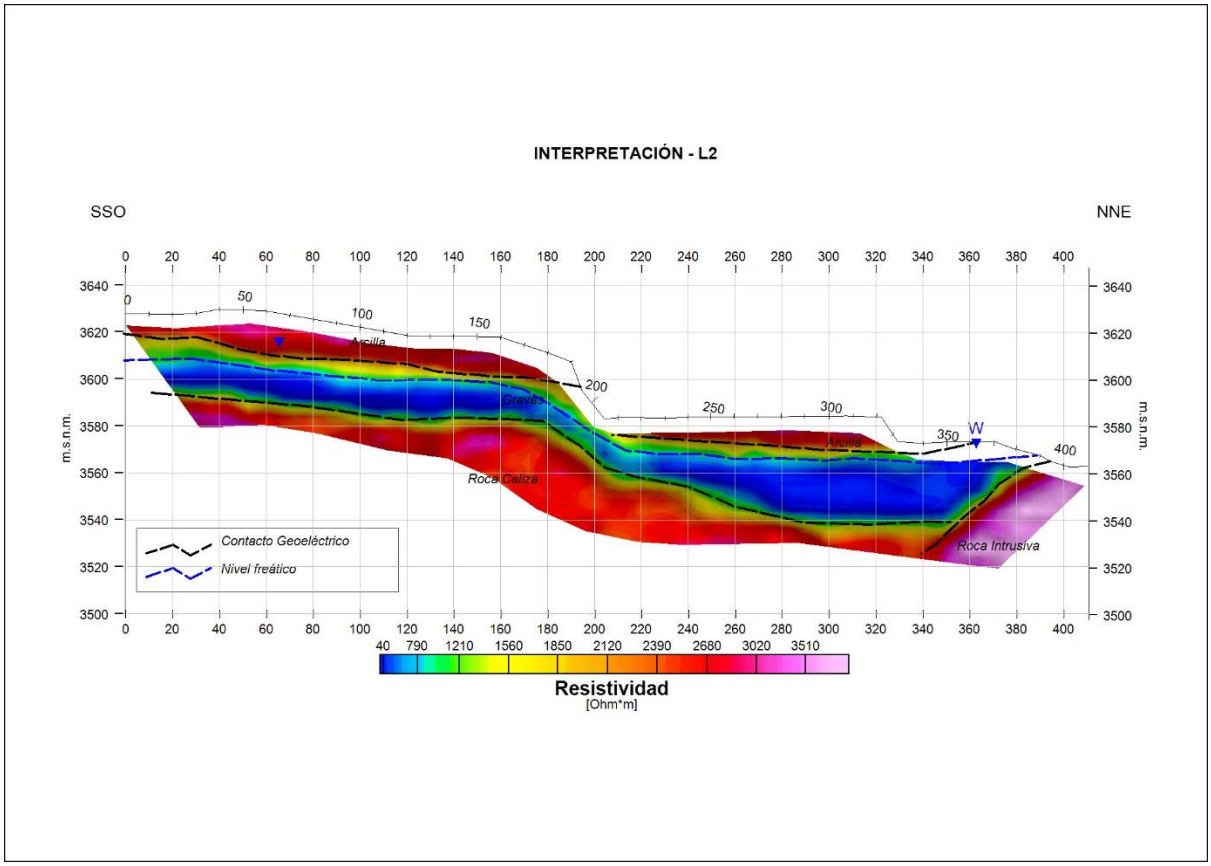


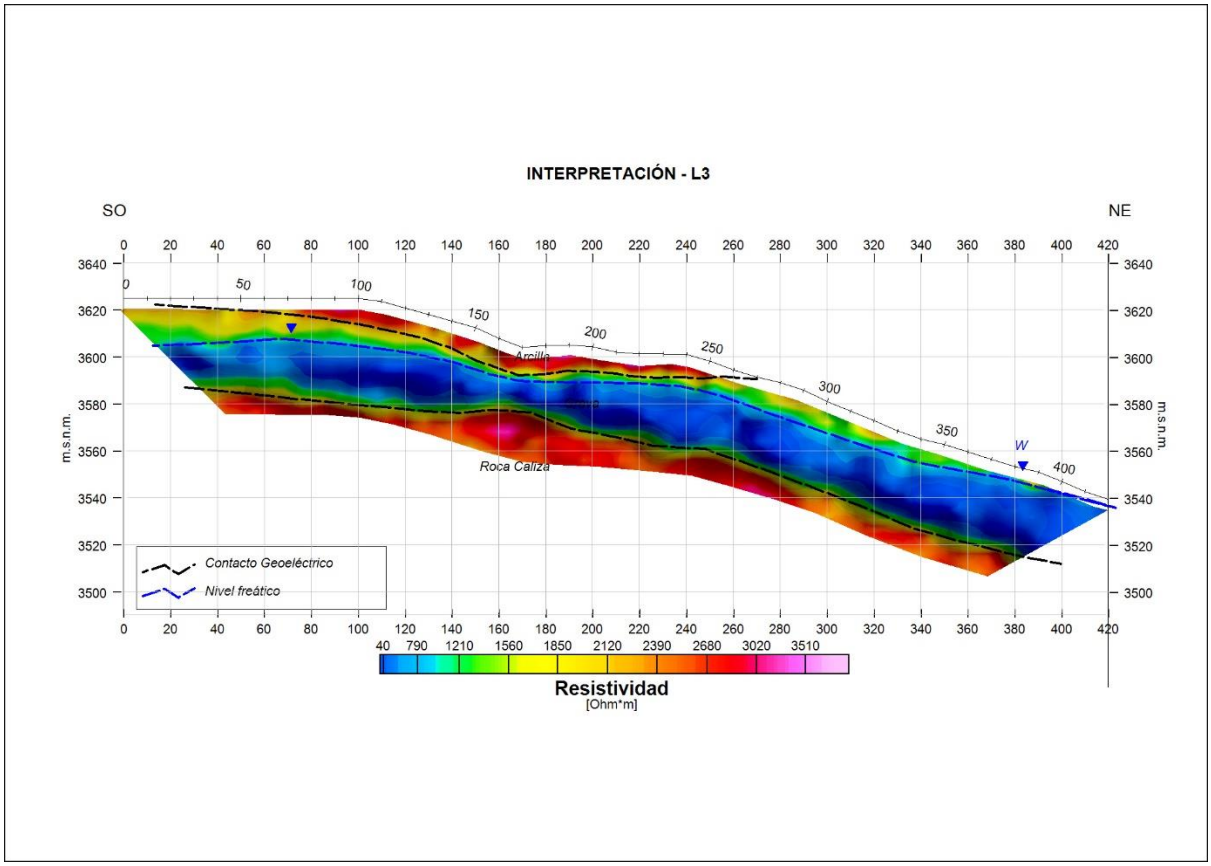
ANEXO 422. Reunión con las Autoridades del Distrito de Llusco para coordinar trabajos de campo

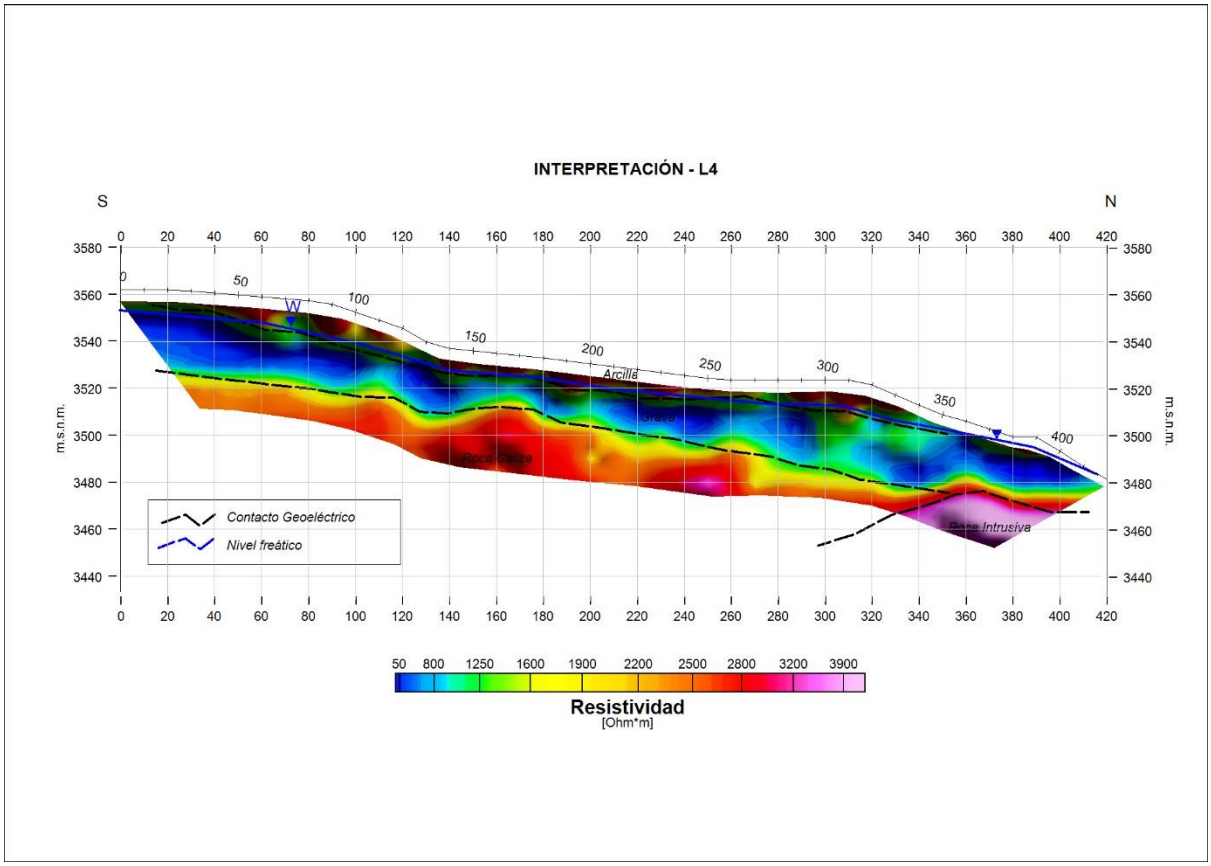


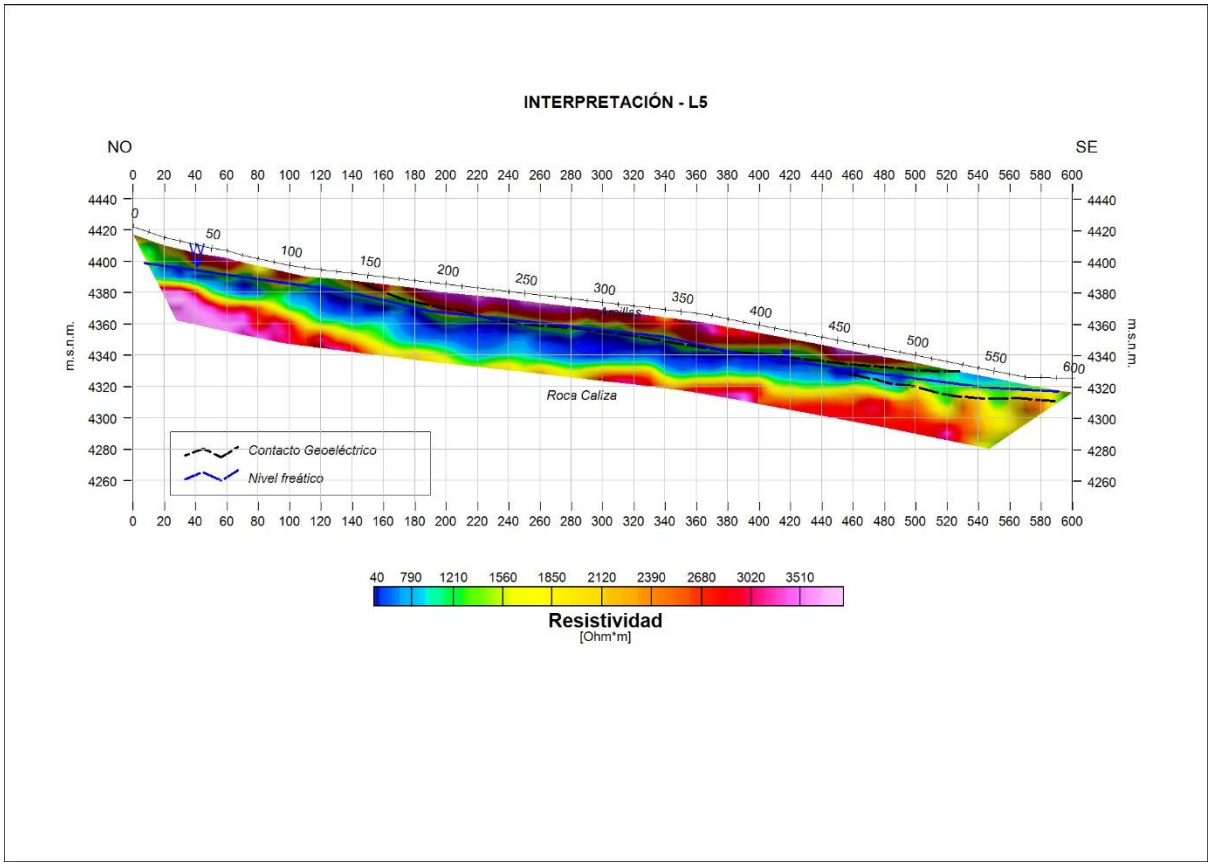
TOMOGRAFÍA GEOELECTRICA

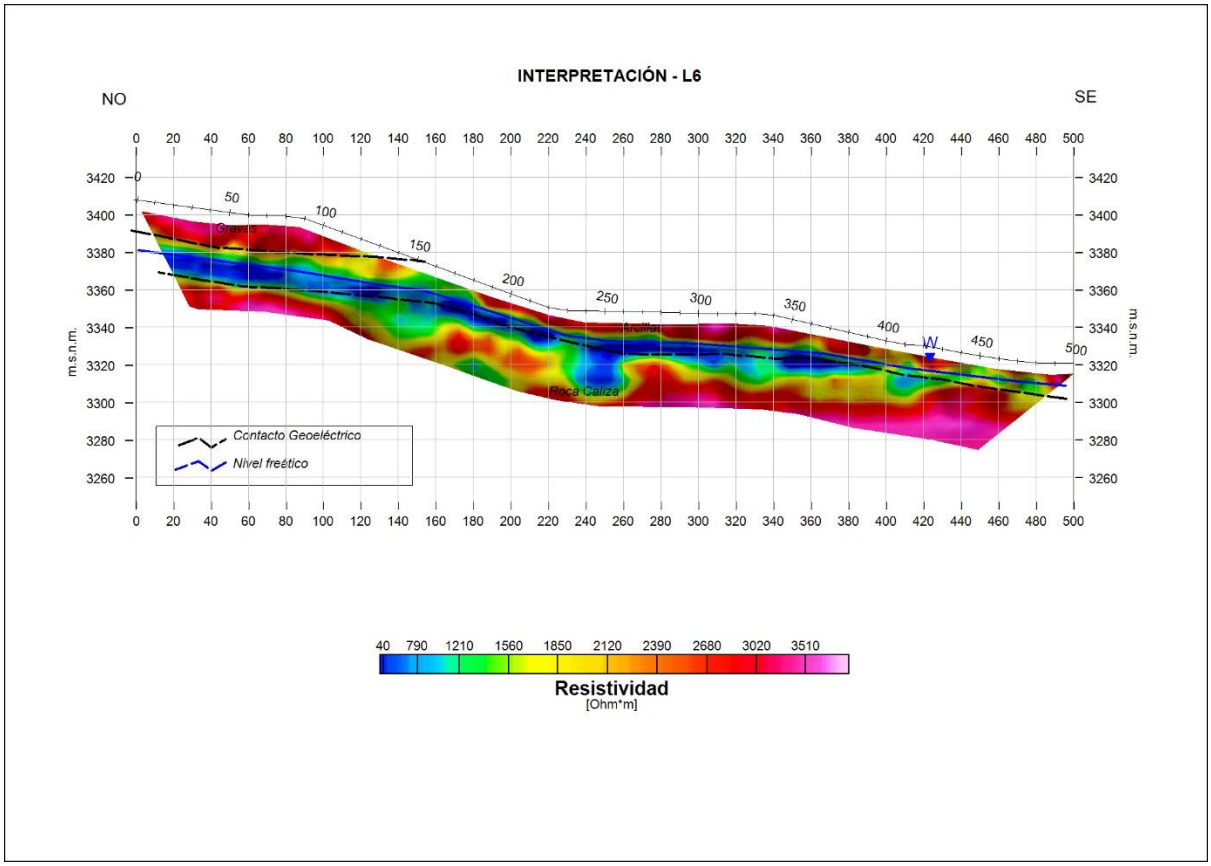





INTERPRETACIÓN - L3
SO
NE
m.s.n.m.
Arcilla
Roca Caliza
W
Contacto Geoeléctrico
Nivel freático
40 790 1210 1560 1850 2120 2390 2680 3020 3510
Resistividad
[Ohm*m]


INTERPRETACIÓN - L4
S
N
m.s.n.m.
Arcilla
Grava
Roca Caliza
Roca Intrusiva
W
Contacto Geoeléctrico
Nivel freático
50 800 1250 1600 1900 2200 2500 2800 3200 3900
Resistividad
[Ohm*m]


INTERPRETACIÓN - L5
NO
SE
m.s.n.m.
Roca Caliza
Contacto Geoeléctrico
Nivel freático
40 790 1210 1560 1850 2120 2390 2680 3020 3510
Resistividad
[Ohm*m]


INTERPRETACIÓN - L6
NO
SE
m.s.n.m.
Roca Caliza
Contacto Geoeléctrico
Nivel freático
40 790 1210 1560 1850 2120 2390 2680 3020 3510
Resistividad
[Ohm*m]