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

"Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos" Caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Roy Jak ARONE PADILLA

ASESOR

Rosendo Olimpio ÁNGELES GIRÓN

Lima, Perú

2017



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

Arone, R. (2017). *"Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos" Caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

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 DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día martes 13 de junio del año 2017, siendo las 18:30 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. TOMÁS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA	(Presidente de Jurado)
Ing. IVAN MESIAS SANTOS PAREDES	(Miembro de Jurado)
Ing. ANTONIO GUZMAN MARTINEZ	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. ROY JAK ARONE PADILLA, quien sustentará la Tesis titulada: «ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA–OCOBAMBA, PROVINCIA DE CONVENCIÓN, REGIÓN CUSCO», para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo. De la Convención en el Valle

Los miembros del Jurado, escuchada la colación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA 15 (QUINCE)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de 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. **ROY JAK ARONE PADILLA.**

Siendo las 19:30 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (03) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 13 de junio del 2017

Dr. TOMÁS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA
PRESIDENTE DE JURADO

Ing. IVAN MESIAS SANTOS PAREDES
MIEMBRO DE JURADO

Ing. ANTONIO GUZMAN MARTINEZ
MIEMBRO DE JURADO

Ing. ROSENDO OLIMPIO ANGELES GIRON
ASESOR

PERÚ | Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú

CERTIFICADO DE TESISTA

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) certifica que el **Sr. Roy Jack Arone Padilla** se desempeñó como tesista de nuestra institución desde el 01 de marzo de 2015, hasta el 31 de marzo de 2016.

El tema de tesis que el Sr. Roy Arone desarrolló se titula *"Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos, caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de Concepción, región Cusco"*, bajo la asesoría del Ing. Juan Gómez, trabajo desarrollado en la subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida - IGP.

Se expide la presente a solicitud de la interesada, para los fines que crea conveniente.

Lima, 15 de junio de 2017

Eco. Daniel Hugo Flores Caballero
Director Geofísica & Sociedad
Instituto Geofísico del Perú

Ing. Juan Carlos Gómez
Asesor
Instituto Geofísico del Perú

La belleza y la bondad está en cada uno de nosotros. Un verdadero compañero espiritual es aquel que nos anima a mirar profundamente dentro de sí mismo para encontrar la belleza y el amor que hemos estado buscando.
Un verdadero maestro es alguien que nos ayuda a descubrir al maestro en sí mismo.

Thich Nhat Hanh-

A la memoria mi amigo y hermano Manuel A. Gamarra Vega

(1990-2015)

DEDICATORIA

A mis padres Cirilo Arone, Elisa Esperanza Padilla y hermanos Rudy Max, Anny Mayella quienes fueron de gran apoyo emocional de toda la vida a realizar mis objetivos académicos-laborales de manera incondicional, fue muy importante sus conocimientos profesionales que me ayudaron a desarrollarme en mi destino académico y en la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTO

A mi gran profesor el MSc. Olimpio Ángeles G, por asesorarme en la presente tesis al MSc. Juan Carlos Gómez A, por su continuo asesoramiento y su apoyo en la pasantía en el Instituto Geofísico del Perú, Al Dr. MSc. Christian Breña quien me introdujo a este hermoso mundo de la Geología, Geotecnia y Geomecánica. A mis grandes amigos y colaboradores al Ing. Mario Romero R, al Ing. Carlos Sackschewski C, al Ing. Carlos Rossello C, Ing. Ever Díaz A, Ing. Sanndy Marín R y Ing. Lucero Quispe T, quienes están siempre dispuestos apoyarme y a trabajar conmigo.

A todos los profesores que me enseñaron en pre grado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

A mis grandes amigos de la Unidad de Geodinámica del IGP por apoyarme para poder obtener el título de Ingeniero Geólogo.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN ***10***

INTRODUCCIÓN ***12***

CAPITULO I ***13***

1. Planteamiento del problema **13**

1.1 Situación problemática 13

1.2 Formulación del problema 13

1.4 Objetivo 14

1.4.1 Objetivos generales 14

1.4.2 Objetivos específicos 14

CAPITULO II ***15***

2. Marco teórico **15**

2.1 Antecedentes del problema 15

2.2 Bases teóricas 18

2.3 Marco conceptual 18

2.3.1 Metamorfismo 18

2.3.1.1 Clasificación del metamorfismo regional 19

2.3.2 Meteorización 20

2.3.2.1 Perfiles de meteorización 21

2.3.2.2 Clasificación de Hong Kong 21

2.3.2.3 Clasificación de Dearman 22

2.3.3 Suelos residuales 23

2.3.3.1 Clasificación de suelos residuales 23

2.3.3.2 Los Métodos basados en la meteorización 23

2.3.4 Saprolito 29

2.3.5 Clasificación de los suelos 30

2.3.5.1 Clasificación SUCS 30

2.3.5.2 Límites de Atterberg 31

2.3.6 Deslizamientos 32

2.3.6.1 Tipos de deslizamientos 33

2.3.6.2 Causas de la ocurrencia de deslizamientos 34

2.3.7 Método de prospección geofísica 35

2.3.7.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV**)** 35

2.3.8 Glosario 36

2.4 Hipótesis y variables 37

2.4.2 Hipótesis especificas 37

2.4.3 Identificación de variables 38

CAPITULO III ***39***

3. Metodología **39**

3.1 Tipo de investigación 39

3.2 Población 39

3.4 Selección de Muestra 39

3.5 Fases de la investigación 39

3.5.1 Fase 1: Recopilación de información (Gabinete I) 39

3.5.2 Fase 2: Área de estudio ----40
3.5.3 Fase 3: Trabajo de campo ----40
3.5.4 Fase 4: Trabajo de gabinete II ----40

CAPITULO IV ---- *41*

4. Generalidades ---- **41**
4.1 Ubicación del estudio ----41
4.2 Accesibilidad ----42
4.3 Aspecto climatológico ----43
4.4 Vegetación ----47

5. Aspectos geomorfológicos ---- **48**
5.1 Unidades geomorfológicas ----48
5.1.1 Origen Erosional ----49
5.1.1.1 Lecho fluvial ----49
5.1.1.2 Terrazas ----49
5.1.2 Modelos estructurales ----51
5.1.2.1 Montaña ----51

6. Aspectos geológicos ---- **52**
6.1 Geología Regional ----52
6.2 Tectónica ----52
6.3 Geología Local ----53
6.3.1 Grupo San José (Om-sj) ----55
6.3.1.1 Formación Iparo ----55
6.3.2 Depósitos Cuaternarios ----56
6.3.2.1 Depósitos aluviales (Q-al) ----56
6.3.2.2 Depósitos fluviales (Q-fl) ----57
6.3.2.3 Depósitos proluvio-aluviales (Q-proal) ----58
6.4 Metamorfismo del substrato ----58
6.5 Procesos de meteorización en rocas metamórficas ----59
6.6 Saprolito de origen metamórfico pizarroso ----62

7. Aspecto geodinámico ---- **65**

8. Aspectos geotécnicos ---- **70**
8.1 Ensayos geotécnicos ----71
8.1.1 Calicatas ----71
8.1.2 Ensayo de densidad ----72
8.1.3 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) ----73
8.2 Tipos de suelos en el distrito de Ocobamba ----77
8.3 Geomecánica ----79
8.3.1 Análisis de proyección estereográfica (Análisis cinemático) ----79
8.3.2 Aplicación del R.M.R para taludes ----81
8.3.3 Aplicación del criterio de Hoek - Brown del substrato pizarroso ----85

9. Aspectos geofísicos ---- **87**
9.1 Sondajes eléctricos verticales (SEV) ----87
9.2 Resultados interpretados ----89
9.2.1 Sección Geoeléctrica A – A' ----89
9.2.2 Sección Geoeléctrica B – B ----91

10. Análisis de estabilidad de taludes ---------- 94
10.1 Descripción del perfil estratigráfica de los taludes estudiados ----------95
10.2 Metodología de Análisis de Estabilidad ----------95
10.3 Factores de seguridad mínima sugerido en la ingeniería ----------95
10.4 Sismicidad y coeficientes ----------96
10.5 Caracterización de los parámetros y análisis de taludes ----------98
10.5.1 Deslizamiento de Ocobamba (A-A') ----------99
10.5.2 Perfil B-B ----------102
10.5.3 Perfil C-C' ----------103
10.6 Análisis Numérica Usando Phase2 ----------105
10.6.1 Perfil A-A' ----------105
10.6.2 Perfil B-B' ----------106
10.6.3 Perfil C-C' ----------107

CAPÍTULO V ---------- 108

11. Discusión ---------- 108

CAPÍTULO VI ---------- 115

12. Conclusiones y recomendaciones ---------- 115
12.1 Conclusiones ----------115
12.2 Recomendaciones ----------116

Referencias bibliográficas ---------- 118

Lista de figuras ---------- 123

Lista de tablas ---------- 127

Anexo 01 – Ensayos de campo de Calicatas, DPL Y Densidad ---------- 128

Anexo 02 –Ensayo de laboratorio ---------- 137

Anexo 03 – Mapas ---------- 158

RESUMEN

La presente tesis consiste en el estudio de la influencia del substrato pizarroso en la generación de deslizamientos de tierra, atribuyéndolo al saprolito en estado saturado ser el causante de la inestabilidad, sirviendo estos como condicionante y desencadenante. Los saprolitos son definidos como horizontes residuales que conservan la estructura de la roca original, pero presentando comportamiento de un suelo, producto de la meteorización de las rocas que sirven como substrato a estos movimientos de masa. Se tomó como caso el evento suscitado en la localidad de Kelcaybamba, distrito de Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco.

Litológicamente el substrato rocoso de la ladera de montaña consiste de una roca metamórfica pizarrosa muy fracturada cubierta por depósitos aluvio-coluviales, donde la superficie de falla del deslizamiento es de tipo rotacional (cóncavo) y en bloque retrogresivo.

El deslizamiento se generó por la influencia de un horizonte de saprolita ubicado entre el contacto roca-suelo, producto de la meteorización de la pizarra que al saturarse con las aguas subterráneas (producto de la percolación de las aguas de lluvias) disminuyeron la resistencia al corte de la superficie de falla, generando en consecuencia la inestabilidad de la ladera y ocasionando el desplazamiento de aproximadamente 462,640 m3 de los materiales inconsolidados suprayacentes (suelo).

El objetivo de la presente investigación ha sido determinar los factores que generan la alta susceptibilidad a las ocurrencias de deslizamientos en laderas donde existen con substratos rocosos metamórficos del tipo pizarra.

La ocurrencia de los deslizamientos sobre substratos rocosos metamórficos pizarrosos en laderas de montaña seria causado por el horizonte de transición de roca a suelo llamado saprolito en estado saturado, en el cual se generaría presión de poros positivos entre las moléculas de arcilla, lo cual inicia su ablandamiento, microfracturamiento y propagación para formar la superficie de falla potencial con una resistencia al corte muy baja, actuando como lubricante y facilitando el desplazamiento de suelos superpuestos a estos.

El evento geodinámico suscitado en Kelcaybamba presenta características de un substrato metamórfico pizarroso de la Formación Iparo del Grupo san José del Paleozoico Ordovícico que se encuentra fragmentado, desintegrado y alterado, esto debido al ambiente climático donde se genera la meteorización. Para conocer las causas de este deslizamiento y proyectar medidas de estabilidad de realizaron estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos.

De acuerdo a las investigaciones geotécnicas el suelo se clasifica como gravas arcillosas (GW, GC y GP) de plasticidad y humedad media, lo cual indica un grado de cohesión y absorción de la matriz arcillosa.

Para estimar detección del substrato rocoso se realizaron ensayos geofísicos de resistividad eléctrica vertical en Kelcaybamba, los resultados permitieron inferir el horizonte saprolito a +-13 metros de profundidad y un espesor de ±5 a ±8 m., el substrato metamórfico se encontró próximo a los ± 20 m., donde la presencia del nivel freático se localiza a una profundidad de ±13 metros, los resultados obtenidos permitieron comprobar la existencia del horizonte, la geometría de la superficie de falla, el espesor de material desplazado y las zonas susceptibles a deslizarse. Posteriormente estos datos se utilizan para el análisis de la estabilidad de los taludes e hidrogeológicos lo que dio como resultado la influencia del saprolito en estado saturado en la generación del deslizamiento.

El método de investigación empleado para realizar este proyecto se desarrolló en base a un plan de trabajo con un diseño de tipo explicativo y correlacional en base a la recopilación de información de antecedentes históricos, técnicos, geológicos, geotécnicos, ensayos in situ tanto para suelos -rocas (DPL, Calicatas Ensayos de densidad, RMR, GSI y otros), ensayos de laboratorio (Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, etc.), con los datos recopilados y los ensayos standard realizados tanto en campo y gabinete. Se realizó el análisis de estabilidad por el método de Bishop simplificado mediante el software Slide 6.0 y Phase2 de Rocscience, Estos cálculos fueron ejecutados teniendo en cuenta los criterios de rotura de Mohr - Coulomb (suelos) y Hoek - Brown generalizado (rocas).

Para el estudio o la ejecución de obras civiles en rocas pizarrosas es necesario analizar: la textura, la matriz, el grado de fracturamiento de la roca madre, la localización geográfica-climática, los factores exógenos, el grado y tipo de meteorización, así como otros factores (humedad, anisotropía, alteración, etc.), que juegan un papel importante en el comportamiento de la roca que influyen la estabilidad de los taludes.

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano presenta una geodinámica (externa e interna) compleja por su morfología generada por la subducción de la Placa de Nazca sobre la Placa Sudamericana que permiten presentar una diversidad de rocas, suelos, climas y pisos ecológicos donde ocurren los diversos procesos geodinámicos.

Uno de los más importantes procesos geodinámicos que ocurren en el territorio nacional son los deslizamientos de tierra que consisten en desplazamiento de masas de materiales de rocas y suelos pendiente abajo a través de un superficie, ocasionados por factores condicionantes: litológicos, estructurales, climáticos, hidrológicos, topográficos y la vegetación; y los desencadenantes (detonantes) tales como, la actividad sísmica, las precipitaciones pluviales, erupciones volcánicas, inundaciones y la actividad antrópica.

Los deslizamientos de acuerdo al tipo de superficie de falla que presentan se clasifican en: rotacionales y traslacionales, de los cuales, los primeros se generan en contacto suelo-suelo y tiene una superficie geometría cóncava y el segundo se da en el contacto en roca-suelo o roca competente con incompetente cuya geometría es planar o en bloque, estos últimos se originan en diferentes tipos de substratos rocosos (ígneo, metamórfico y/o sedimentario) y conforman el principal factor condicionante.

El substrato rocoso es uno de los factores condicionantes más importantes en la ocurrencia de deslizamientos, al generar saprolitos de baja resistencia por su comportamiento frente a la meteorización el cual dependerá de las propiedades físicas y estructurales del macizo rocoso. El saprolito ha sido definido como horizontes residuales que conservan la estructura de la roca original y presenta comportamiento de un suelo, la definición teórica está dada por los autores como Sower (1985), Deere y Platton (1971), Phillipson and Brand (1985) y otros; clasificándolas y describiéndolos en perfiles de transición de roca y suelo, en substratos ígneas, metamórficas y estratos sedimentarios dando conocer su alcance y distribución. Su formación está asociado a climas tropicales, por presentar una alta meteorización y producto de las lluvias intensas y constantes, humedad, variación de temperatura y vegetación, también los encontramos en menor proporción en otros ambientes.

Generalmente el contacto roca-suelo está delimitado por un horizonte llamado saprolito de composición variable dependiendo del tipo de litología que presenta el substrato rocoso, su espesor puede variar dependiendo del tipo de roca y su ubicación geográfica.

La presente tesis se centra principalmente en describir las propiedades de la roca metamórfica y el proceso de meteorización al que está sometida para generar saprolito de tipo arcillosos que representa las causas fundamentales para la generación de deslizamientos. Este horizonte en el área de estudio se encuentra bien delimitado presentando una composición homogénea arcillosa de mayor espesor a diferencia de otros substratos rocosos.

CAPITULO I

1. Planteamiento del problema

1.1 Situación problemática

Los deslizamientos de tierra son movimientos en masa de bloques de rocas y suelos, ocasionando consecutivamente en su desplazamiento pérdidas de vidas humanas y económicas en la mayor parte del territorio peruano, como consecuencia de una geológica compleja conformada por diferentes variedades litológicas y regidos por factores desencadenantes como sismos (subducción de Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana), precipitaciones intensas de lluvias estacionales o por la presencia del fenómeno meteorológico llamado El Niño y factor antrópico al romper el equilibrio natural de un ladera en la construcción de obras de infraestructura como líneas ferrocarriles, carreteras, taludes, zonas urbanas, etc.

La investigación se basa en los rasgos generales descritos anteriormente y plantea que los deslizamientos en substratos rocosos pizarrosos, se originaria a consecuencia de la influencia del horizonte de transición de roca a suelo llamado saprolito, que al presentar características y propiedades de una arcilla sobre consolidada y estar expuesta a un factor desencadenante hidrológico generaría la inestabilidad de la ladera y su desplazamiento.

En el Perú se observa que las zonas que presentan rocas metamórficas de tipo pizarrosa a esquistosa tienden a tener una alta susceptibilidad a generar deslizamientos de tierra sobre dichos substratos; este tipo de evento se presenta en las siguientes localidades: Chango-Cerro de Pasco, Carampa- Huancavelica, Pijobamba, Chagavara- La libertad, Toccopuquio y sector de Pirhua- Cusco y otros.

1.2 Formulación del problema

¿Los substratos rocosos metamórficos del tipo pizarra generan una mayor susceptibilidad de movimiento en masa?

1.3 Justificación del problema

El trabajo de investigación realizado tiene como finalidad determinar la ocurrencia de deslizamientos en substratos rocosos pizarrosos y que los resultados del estudio contribuyan en la caracterización de las condiciones geológicas, geotécnicas en este tipo de materiales con la finalidad de establecer medidas de control de ingeniería para mitigar sus efectos.

Asimismo, con la finalidad que contribuya a la gestión de riesgos de desastres naturales, con el fin de generar información que sirva a los organismos encargados de la planificación urbana, preparación y respuesta ante desastres como El Instituto Nacional de Defensa Civil, CENEPRED, gobiernos locales y regionales.

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivos generales

El objetivo de la presente investigación es determinar los factores que generan la alta susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos en laderas con substratos rocosos pizarrosos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las causas de las ocurrencias de deslizamientos en substratos rocosos pizarrosos.
- Evaluar la influencia del horizonte saprolítico y cómo afecta a la estabilidad de la ladera.
- Caracterizar el modelo geológico-geotécnico.
- Determinar las propiedades geotécnicas de los suelos y la disposición del horizonte saprolítico sobre el substrato rocoso en la localidad de Kelcaybamba.
- La presente investigación plantea la obtención del título de Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional de Mayor de San Marcos, por parte del autor.

CAPITULO II

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes del problema

De los estudios obtenidos referente al tema de la influencia del horizonte de meteorización (saprolito) en la generación de deslizamiento en la localidad de Kelcaybamba, se pudo obtener las siguientes investigaciones:

Deslizamientos en el Perú sobre substratos pizarrosos.

- **Deslizamiento de Chango distrito de Chacayán, provincia Daniel Alcides Carrión. Región, Pasco (IGP, 2015).**

  La localidad de Chango se asienta sobre depósitos coluviales y aluviales, producto de la desintegración del basamento de rocas metamórficas del Complejo Marañón de edad Neo Proterozoica, compuesta por rocas pizarrosas a esquistos.

  El deslizamiento que se produjo en quebrada Shishing es de tipo rotacional donde estos materiales se desplazan pendiente abajo sobre una superficie de falla

- **Deslizamiento de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región de Huancavelica (IGP, 2015).**

  La localidad de Carampa se asienta sobre materiales coluviales y aluviales, donde su basamento está compuesto de rocas del Grupo Cabanillas (Devoniano), principalmente de pizarras y limoarcillitas de tonalidades, gris oscuro, en capas delgadas, muy erosionada, fracturada y bien estratificada

- **Deslizamiento de Pijobamba y Chagavara, distrito de Sitabamba, provincia de Santiago de Chuco departamento de La Libertad (IGP, 2015).**

  Las localidades se asientan sobre el substrato de la Formación Chicama (Jurasico) son de baja dureza y de consistencia blanda, debido a la cantidad de material limo-arcilloso, esto favorece la ocurrencia de eventos geodinámicos como reptación de suelos

Deslizamientos en zona de estudio.

- **Deslizamiento de Toccopuquio Toccopuquio (INGEMMET, 2013)**

  Deslizamiento de tipo rotacional se ha produjo por el asentamiento del borde de una terraza aluvio-proluvial.

- **Deslizamiento en el sector de Toccopuquio (INGEMMET, 2013)**

  Deslizamiento de tipo rotacional antiguo, localizado en el cerro Cuchillachocho, en la margen izquierda de la quebrada Yanamayo, tributario del río Ocobamba por su margen izquierda.

Antecedentes de la zona de estudio.

Salas, Chávez, y Cuadros, (1999) Aporta con un cartografiado geológico 1:100,000 en la que menciona que las rocas que conforman el basamento sobre el cual se asienta la localidad de Kelcaybamba corresponden a pizarras grises del Grupo San José del Ordovícico medio que fueron sido sometidas a la tectónica Hercinica.

Vílchez, (2013) Realiza un informe técnico sobre el deslizamiento de Ocobamba y presentando este evento geodinámico las características de un deslizamiento de tipo rotacional.
IGP (2015) Realiza una evaluación de peligrosidad de la localidad de Kelcaybamba aportando datos geotécnicos y geofísicos del deslizamiento y de áreas aledañas.
Municipalidad de Ocobamba (2015) Proporcionó datos de mecánica de suelos de la plaza he imágenes y videos del deslizamiento.

Los estudios que aportaron para la caracterización de deslizamiento y el mecanismo de formación del horizonte de meteorización saprolítico, referente al lugar donde fueron estudiados son los siguientes:
Taylor y Eggleton (2001). Proporcionan las propiedades del regolito y su química, este autor considera la presentación de la información desde una perspectiva de suelos australianos, donde estudió perfiles de meteorización para ese tipo de ambiente y localización a nivel mundial, proporcionando nuevos conocimientos sobre la meteorización de las rocas.
Phillipson H, Brand E, (1985). Describe el muestreo y la clasificación más utilizada para grados de meteorización de un perfil de suelo residual son desarrollados con una perspectiva oriental de Hong Kong.
Sowers G. F. (1985). Caracteriza los suelos residuales al comparar el granito con la pizarra, donde este ultima presenta un saprolito muy bien delimitado a diferencia del (granito). Esta investigación es presentada en el IV Conferencia Regional de Geotecnia". Barranquilla, Colombia.
Deere D.V., Pattón A.D. (1971). Describe las características del saprolito y presenta un modelo de perfiles de meteorización clasificándolos en horizontes de transición. Esta investigación es presentada en el V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones realizado en Puerto Rico.
Dearman (1995). Presenta una postura del Reino Unido sobre el análisis de perfiles idealizados de meteorización clasificándolos en 6 zonas de horizontes de roca fresca a suelo residual, con núcleos de rocas y sin núcleos.
ISRM. Clasifica el grado de meteorización de un afloramiento rocoso de acuerdo a las características fundamentales de este; como la excavabilidad o la estabilidad de los desmontes excavados.

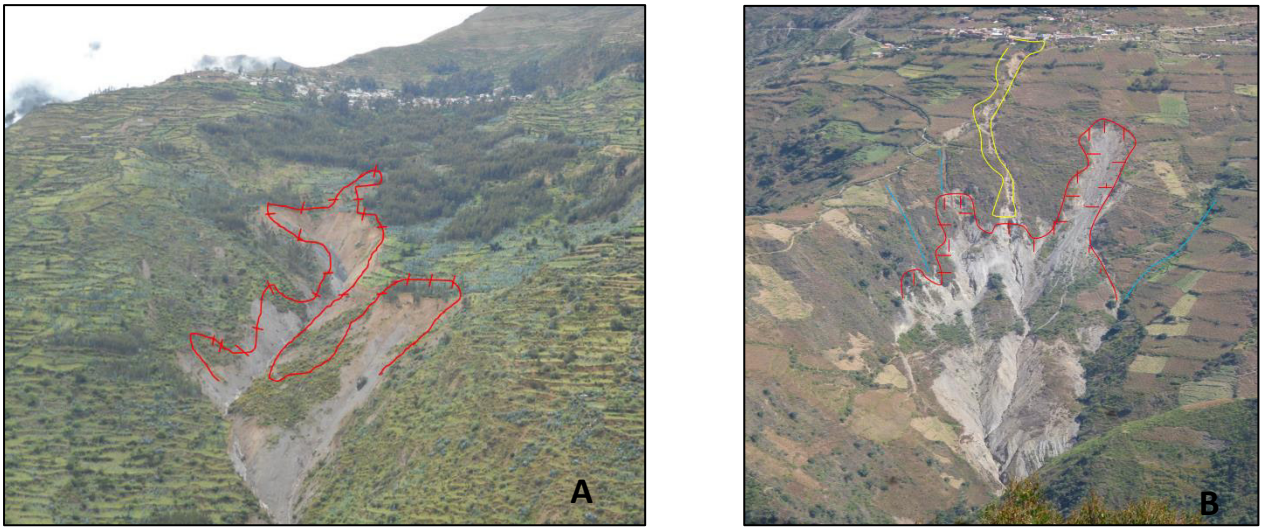


Figura 01: **A**.: Deslizamiento de Chango- Cerro de Pasco, **B**: Deslizamiento de Carampa-Huancavelica, (IGP, 2015)

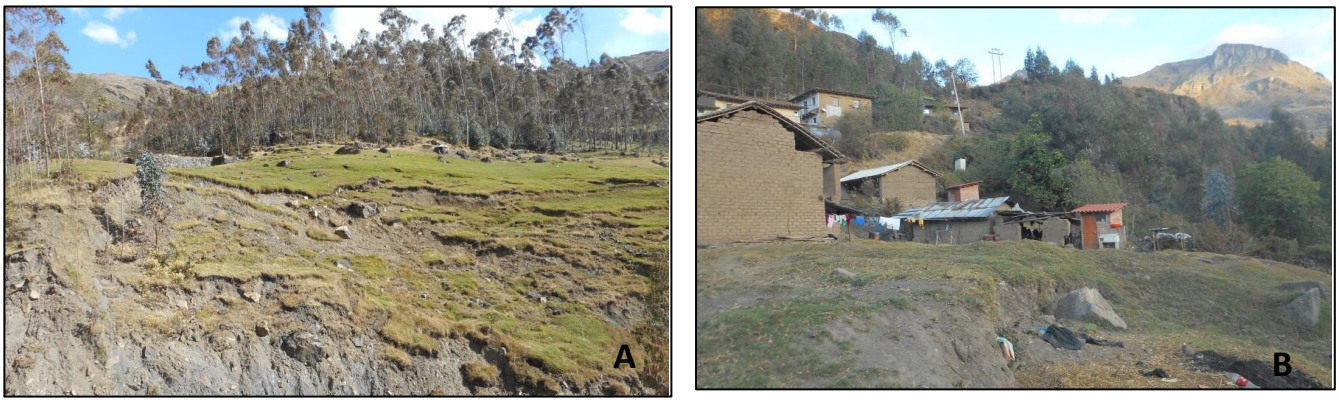


Figura 02: **A**.: Deslizamiento de Chagavara- La Libertad, **B**: Deslizamiento Pijobamba- La Libertad, (IGP, 2015)



Figura 03: A: Deslizamiento de Toccopuquio -Cusco, **B**: Deslizamiento del sector de Pirhua, (INGEMMET, 2013)

2.2 Bases teóricas

Fundamentos de Geomorfología (Moreno, 1992). Este libro brinda información respecto a los fundamentos teóricos para el análisis de los procesos geomorfológicos, conceptos básicos de los principios de la geología; esta información fue de gran utilidad para describir e interpretar los procesos geomorfológicos donde se produjo el deslizamiento.

Clasificación de deslizamientos (Varnes, 1978). Este libro brinda información al definir y clasificar los movimientos en masa basándose en el tipo de material desplazado y el tipo de movimiento. Esta información fue de gran utilidad para clasificar y definir el tipo de deslizamiento que presenta el área de estudio.

Deslizamientos: Análisis Geotécnico (Suárez D, 1998). Este libro permite conocer la dinámica de los deslizamientos, así como, el análisis para el reconocimiento de los factores condicionantes y detonantes que intervienen en su generación, las técnicas de investigación que se emplean en campo para conocer y determinar el tipo de mecanismos de fallas, grietas, y la influencia de agua en la generación de inestabilidad de laderas.

Suelos residuales (Suárez D, 2009). Este compendio es un resumen de los modelos conceptuales de perfiles de meteorización donde describe la formación de este suelo, clasificándolos en horizontes de transición roca suelo. Esta información fue de gran utilidad para clasificar el tipo de saprolito que se originaría de diferentes tipos de rocas.

2.3 Marco conceptual

Las bases teóricas definidas para determinar la influencia del horizonte de meteorización de roca a suelo están basadas en las ocurrencias de deslizamientos de tierras sobre substratos rocosos pizarrosos.

Se describe el tipo de metamorfismo al que se encuentra sometida correlacionando con el perfil del meteorización, el saprolito, el tipo de suelo, el deslizamiento y los método geotécnicos-geofísicos realizados, para ello se definió la meteorización de las rocas ígneas, sedimentarias, su diferencia con las rocas metamórficas pizarrosas y el origen de los suelos residuales con respecto al horizonte saprolito de cada una de estas, finalmente la ocurrencia de deslizamiento con sus factores condicionantes y desencadenantes que lo generan.

2.3.1 Metamorfismo

El metamorfismo se da al interior terrestre bajo condiciones ambientales (presión, temperatura, fluidos químicamente activos, régimen de esfuerzos) distintas de aquellas en las que fueron originadas, las rocas ígneas y sedimentarias tienden a sufrir modificaciones de diversa naturaleza. El conjunto de estas transformaciones y los procesos mediante los que estas tienen lugar recibe el nombre de metamorfismo y sus productos son las rocas metamórficas.

El metamorfismo se caracteriza primordialmente por operar en estado elastoplástico. Debido a ello no suele conllevar cambios composicionales importantes y el quimísmo global de una roca metamórfica suele no diferir sustancialmente del de la roca parental (*protolito*). Comúnmente el metamorfismo incluye uno o varios de los siguientes procesos: a) nucleación y crecimiento de nuevas especies minerales (*blastesis*)) recristalización y/o descomposición de las ya existentes (incluyendo, en el caso de soluciones sólidas, posibles cambios de composición), y c) cambios estructurales a diversas escalas y con distintos estilos. Asociación mineral y desarrollo estructural son por tanto caracteres esenciales de las rocas metamórficas, (UNIVERSIDAD DE GRANADA, 2004).

El proceso puede coexistir con fusión parcial y puede también implicar cambios en la composición química global de la roca. (IUGS Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Metamórficas, 2002).

2.3.1.1 Clasificación del metamorfismo regional

Se produce siempre en relación con las zonas de subducción, afectando a grandes extensiones de roca, circunstancia a la que debe su nombre. Puede considerarse como el efecto simultáneo de presión y temperatura. En las zonas afectadas por este tipo de metamorfismo se observa que la intensidad del proceso es progresiva, desde zonas superficiales con metamorfismo poco intenso, a zonas profundas, intensamente metamorfizadas. Esta gradación de la intensidad del metamorfismo provoca la aparición de series de rocas metamórficas en los macizos montañosos afectados por este tipo de metamorfismo. La más conocida de estas series es la que se forma a partir de un sedimento arcilloso, que está formada por los siguientes términos:

Gneiss. Roca metamórfica con esquistosidad gneísica de tamaño de granogrueso (milimétrico) con una foliación grosera (foliación gneísica) y/o por un bandeado composicional donde la dureza y la compactación de estas dan una estabilidad al macizo rocoso.

Esquisto. Roca metamórfica con una esquistosidad bien desarrollada en muestra de mano, definida por una orientación común de abundantes granos minerales equidimensionales. En las rocas ricas en filosilicatos se reserva el término esquisto para las variedades de tamaño de grano medio y grueso, mientras que las variedades de grano fino se denominan filitas.

Filita. Roca metamórfica de grano fino de metamorfismo de grado bajo con esquistosidad perfecta debida a la disposición paralela de sus filosilicatos. Las superficies de esquistosidad suelen mostrar un brillo satinado característico

Estos dos tipos de rocas definidas anteriormente son causantes de inestabilidad de las laderas por la fisibilidad y como generadores de saprolitos son muy pobres por lo difícil de la meteorización del dióxido de silicio presente en su estructura salvo excepciones en climas tropicales y subtropicales.

Pizarra. Roca de grano muy fino y de metamorfismo de grado muy bajo que presenta esquistosidad pizarrosa. Es una roca metamórfica que procede del metamorfismo (regional) de la lodolita.

La pizarra posee como característica principal una foliación interna (microscópica) muy marcada; si se observara detalladamente una muestra de aproximadamente 8 cm, se pueden apreciar los planos de foliación (milimétricos) que reflejan su estructura interna. Además, esta roca tiene la particularidad de fracturarse en superficies planas, lisas y paralelas. Los minerales que componen a esta roca son principalmente cuarzo y moscovita, demasiado pequeños para ser visibles; por lo tanto, en general el aspecto de la pizarra no es brillante y es muy parecido al de la lutita (Arcillita). Debido a su extrema foliación se rompe en finas láminas. El color de esta roca depende de sus constituyentes minerales, pero varía entre negro azulado, gris, verde, rojizo, morado entre otros, Tarbuck y Lutgens (2005).

Este tipo de rocas son generadoras de saprolitos en climas tropicales y subtropicales.

2.3.2 Meteorización

La meteorización puede definirse como la descomposición de la roca *in situ* (Blight, Wardle, & Fourie, 1997), es un proceso por el cual la roca se rompe en pequeños fragmentos, se disuelve, se descompone, se forman nuevos minerales, obteniendo así la remoción y el transporte de detritus en la etapa siguiente que vendría a ser la erosión. La meteorización entonces, al reducir la consistencia de las masas rocosas, abre el camino a la erosión y además a la creación del suelo. Los procesos de meteorización se pueden dividir en dos procesos principalmente: la desintegración que es un proceso **físico o mecánico**, y la descomposición que es un proceso de alteración **químico.** Dentro de los procesos químicos cercanos a la superficie de la tierra encontramos los procesos biológicos, que tienen un efecto químico significativo que lleva a la meteorización de la roca especialmente en climas con temperaturas tropicales que meteorizan la roca bajo características diferentes (Ollier, 1984). Otros autores como Price D (1995), consideran este proceso biológico como un tercer proceso de transformación de las rocas, que alteran la roca química y volumétricamente.

De acuerdo con Small (1982), en Hunt, (2007) la distinción entre la meteorización física y química es de alguna manera arbitraria; en casi todas las situación no actúan por separado, sino que casi siempre se refuerzan mutuamente, cuando una roca se quiebra por un fuerza mecánica posteriormente llega el agua a actuar alterando químicamente los mineral a lo largo de la grieta; o en casos contrarios cuando en una grieta entra agua y esta se congela la expansión por la congelación es un proceso que actúa en dichas grietas produciendo esfuerzos a nivel microscópico donde la actividad química y física ya no se pueden diferenciar.

Los factores trascendentales de la meteorización química son la lluvia junto con la temperatura, donde las rocas sufren una alta susceptibilidad y la meteorización química está en función de estos factores de la composición mineralógica y la textura, así como la frecuencia de fracturas, el tamaño del grano y el aumento de la porosidad, por consiguiente, incrementa la permeabilidad.

2.3.2.1 Perfiles de meteorización

Inicialmente se establecieron tres niveles de meteorización denominados A, B y C, donde el horizonte A es el suelo superficial, el B el subsuelo, y el C la roca parental, como se observa en la figura 04. Sin embargo, estos horizontes no describen apropiadamente la variación de las propiedades mecánicas, por lo mismo hoy en día se tienen 2 clasificaciones importantes para definir mejor los perfiles de meteorización que son realmente muy parecidas.

- **La clasificación de Hong Kong**
- **La clasificación de Dearman**

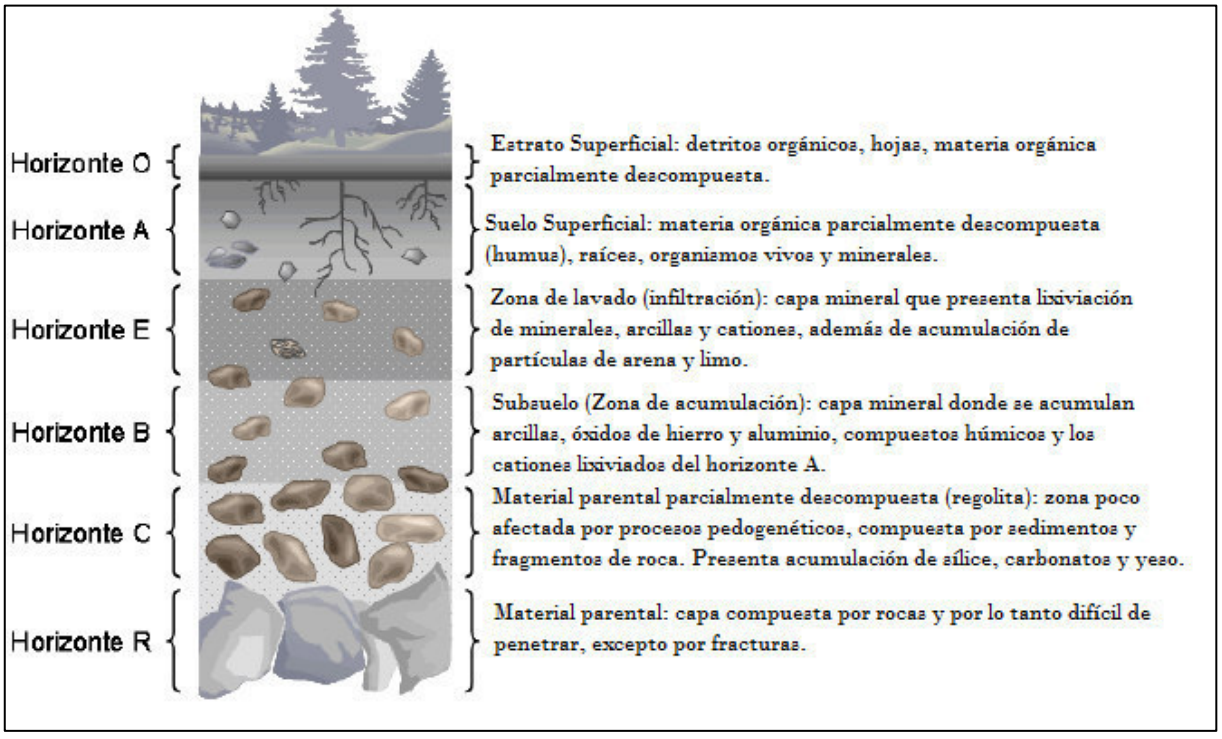


Figura 04: Perfil general de un suelo observándose los horizontes de meteorización (SEMERNAT, 2007).

2.3.2.2 Clasificación de Hong Kong

Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong Kong (Oficina de Control Geotécnico, 1979), la cual no varía sustancialmente con la clasificación de Dearman.

Tabla 01: Clasificación de Hong Kong (Suárez J, 2009).

GRADO	Descomposición	Detalles del diagnóstico de las muestras
VI	Suelo	No aparece textura reconocible de la roca. Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces
V	Completamente descompuesta	Roca completamente descompuesta pero aún aparece la textura de la roca ligeramente reconocible
IV	Muy descompuesta	Pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos
III	Moderadamente descompuesta	Pedazos grandes que no pueden ser destruidos con las manos
II	Algo descompuesta	Aparece como roca sana, pero tiene manchas con muestras de descomposición
I	Roca sana	Roca inalterada

2.3.2.3 Clasificación de Dearman

La clasificación de Dearman es la más conocida y utilizada en el Reino Unido. Consta de 6 grados de meteorización que van desde la roca sana o fresca hasta el suelo residual, bastante similar a la clasificación de Hong Kong, (Suárez J, 2009).

A continuación, en la figura 05, se pueden apreciar gráficamente los criterios para definir el grado de meteorización tanto para perfiles idealizados como para un perfil complejo con núcleos de roca.

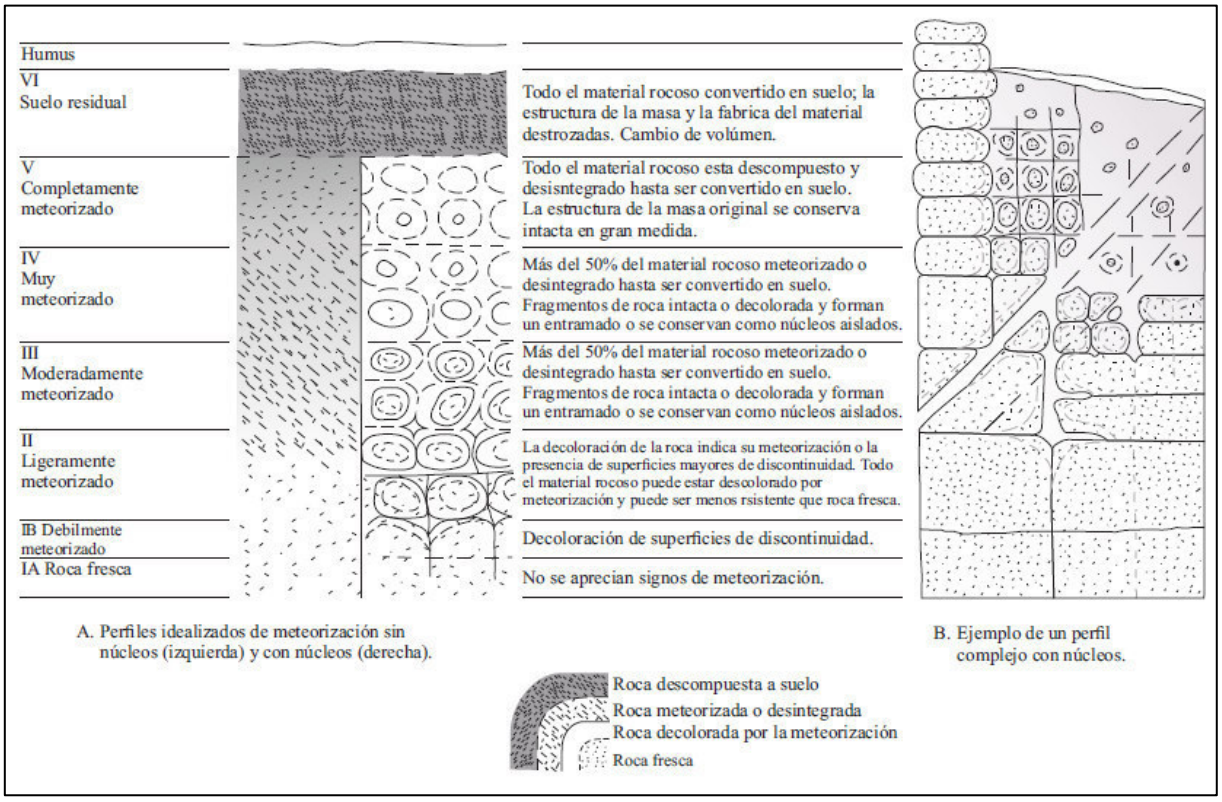


Figura 05: Perfil de meteorización de Dearman (1995 en Hoyos, 2004)

2.3.3 Suelos residuales

La definición de suelo residual varía de un país a otro, pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca *in situ* y estando en contacto con el ambiente, el cual no ha sido transportado de su localización original (Blight, Wardle, & Fourie, 1997).

2.3.3.1 Clasificación de suelos residuales

El principal propósito de una mejor clasificación de un suelo es la de proveer una nomenclatura abreviada para la descripción de una zona con propiedades particulares, a la cual se puedan asignar características ingenieriles teniendo en cuenta que se debe organizar cuidadosamente los efectos que se reflejan para determinadas condiciones geológicas.

La descripción de los materiales meteorizados proveerá información necesaria para definir el comportamiento, el grado de meteorización, incluso las consecuencias que la meteorización tiene sobre diferentes tipos de rocas, por ejemplo, un granito meteorizado no se comportara como una limolita; a su vez una limolita meteorizada no se comporta como una roca sedimentaria meteorizada (siliclasto), (Dearman, 1995). A lo largo del tiempo se han hecho varios intentos de clasificar los suelos residuales y en la actualidad no hay una clasificación universalmente aceptada, debido a que la naturaleza de los suelos residuales es compleja y varía de país en país, Wesley (2010) menciona que es posible que no se esté buscando un esquema universalmente unificado o que sea prácticamente imposible lograrlo. Aun así, hay métodos usados para agrupar o clasificar los suelos residuales en 4 tipos de esquemas o métodos basados en la mineralogía (Wesley L. 2009).

- Los métodos basados en la meteorización.
- Los métodos basados en la clasificación pedológica
- Los métodos usados para usos locales y/o tipos de suelos provenientes de tipos de roca específicas.
- Los basados en la mineralogía y estructura.

Donde se mencionará los métodos basados en la meteorización por el enfoque de la tesis.

2.3.3.2 Los Métodos basados en la meteorización

Este método es la representación más común, las limitaciones de este sistema es que primero no son sistemas que describan una clasificación de los suelos residuales, son métodos para describir los perfiles de meteorización de la roca, más que una descripción del suelo mismo. Proveen información del estado del suelo in-situ pero no una composición del suelo mismo, además esta clasificación debería estar unida a algún tipo de comportamiento, como si lo hace la clasificación USCS (Clasificacion Unificada del Suelo), además sólo es relevante para tipos de roca particulares, un ejemplo de esto en la figura 06.

Los pedólogos plantean que las rocas básicas se meteorizan más rápidamente a suelos que las rocas ácidas, esto debido a que se produce una capa de contacto delgada entre los minerales, por el contrario, las zonas de alteración en rocas ácidas ricas en cuarzo tienden a ser bastante gruesa por lo que toma mayor tiempo en ser meteorizada, en parte por la estabilidad química que tiene el cuarzo (Townsend 1985 en Wesley, 2009).

En la figura 06, se encuentran varios ejemplos de los métodos basados en la meteorización de diferentes tipos de roca específicas, realizada por diversos autores a lo largo del tiempo a medida que estos se fueron requiriendo para caracterizar el suelo según la roca parental de la cual esta proviene, Deere y Patton (1971), Pastore (1995) , E. Brand, (1988) y Little (1969) definen estos, en horizontes de suelos residuales y de transición; detallando cada uno por el grado de meteorización; Figura 06 y tablas del 02 al 05.

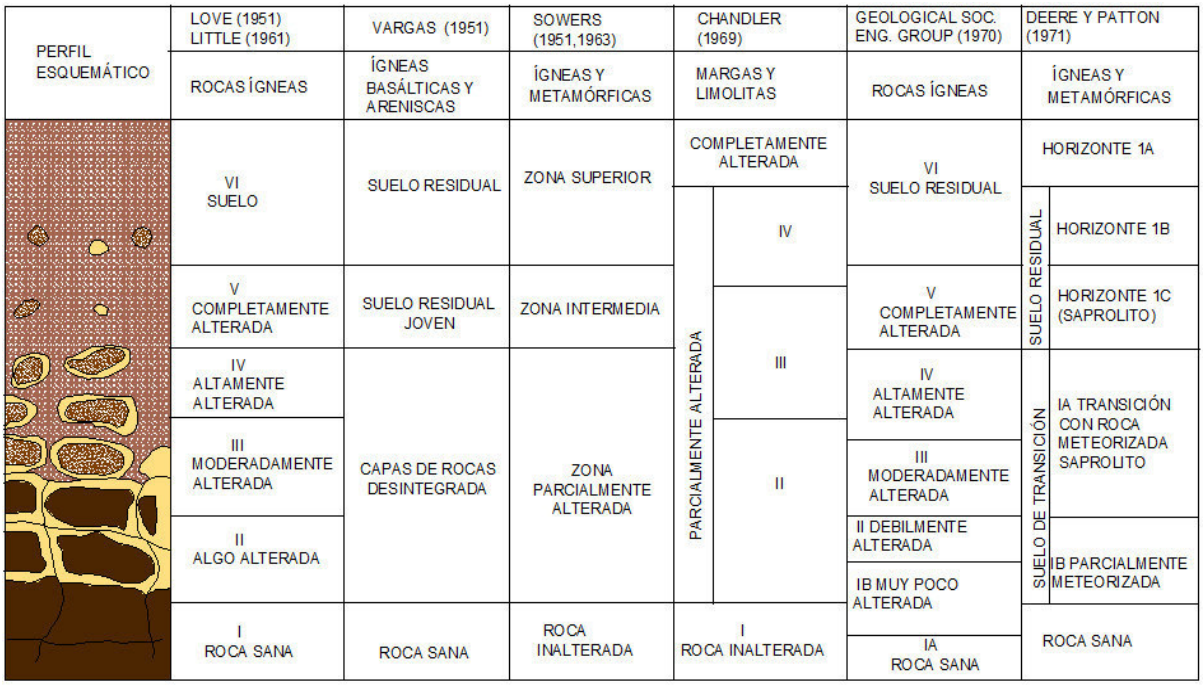


Figura 06: Perfiles de meteorización de diferentes tipos de roca y modelos teóricos (Vallejo, 2002).

Tabla 02: Perfil de meteorización (Deere & Patton, 1971).

Denominación	Símbolo	Descripción
I- Suelo Residual	I-A (Horizonte A)	Es la zona de eluviación, la infiltración de agua transporta hacia abajo los materiales en suspensión. Es generalmente rica en material orgánico.
	I-B (Horizonte B)	Es la zona donde se depositan los materiales sólidos provenientes del horizonte A. Los minerales son por lo general tamaño arcilla. Esta tan alterada que hay muy poca evidencia del material parental y ninguna estructura de la masa rocosa.
	I-C (Horizonte C - Saprolito)	Conserva las estructuras originales de la roca parental, pero el material es suelo. Las estructuras heredadas incluyen diaclasas, fallas y minerales con orientaciones idénticas a la de la masa rocosa y constituyen planos de debilidad en la masa de suelo. Los materiales que predominan son limos arcillosos y arenas limosas con apariencia de roca dura pero consistente de suelo. El contenido de bloques de roca es menor del 10% de su volumen.
II-Roca Meteorizada	II-A (Suelo residual o saprolito a roca alterada)	Es la zona de transición de saprolito a roca meteorizada. Contienen núcleos de roca que forman entre el 10% y el 95% de su volumen. La meteorización ocurre a lo largo de las diaclasas y fallas existentes. El suelo que rodea los bloques de roca es por lo general arena con algún contenido de limos.
	II-B Roca parcial-mente meteorizada.	Es roca con algo de decoloración y alteración a lo largo de las discontinuidades. La roca alterada presenta menor resistencia al corte y módulo de elasticidad y mayor permeabilidad debido a la variación en el volumen de los minerales; la solución de algunos más solubles y el aumento en la abertura de las diaclasas por la erosión
III-Roca sana	III- Roca sana	Es la roca no meteorizada, ningún material se encuentra alterado y las diaclasas presentan muy pocas o ninguna oxidación. Esta roca puede ser en algunos casos intensamente fracturada.

Tabla 03: Perfiles de meteorización (Pastore, 1995).

Denominación	Símbolo	Descripción
Suelo residual o transportado	**I** Horizonte de suelo orgánico	Mezcla de arena, limo y arcilla, que puede incluir gravas, con un alto contenido de materia orgánica
	II Horizonte de suelo laterítico	Suelos residuales o transportados, maduros, que han estado sometidos a procesos de lateritización. El tamaño de las partículas y el espesor del horizonte dependen de su posición en el relieve y en el tipo de roca de la que se derivan. No conserva ninguna estructura de la roca original. Contiene arcilla compuesta básicamente de caolinita, de óxidos de hierro y de aluminio. Colores predominantes de la gama rojo y amarillo.
Suelo residual	**III** Horizonte de suelo saprolítico	Suelos residuales que conservan la textura y las estructuras de la roca original con un contenido de restos de roca menor del 10 %. El tamaño de las partículas y el espesor del horizonte dependen de su posición en el relieve y en el tipo de roca de la que se derivan. Predominan los colores blancos, cremas, amarillos y rosados. En este horizonte se puede reconocer fácilmente el tipo de roca original.
Transición de suelo a roca	**IV** Horizonte de saprolito	Horizonte de transición en el que se encuentra hasta 95 % en volumen de restos de roca. Las fallas, las diaclasas y los planos de estratificación heredados se distinguen claramente. El espesor es muy irregular y puede estar ausente en algunos sectores. Puede presentar una elevada permeabilidad. Es el horizonte más difícil de identificar.
Roca	**V** Horizonte de roca muy meteorizada	Corresponde al techo de la masa rocosa compuesto por minerales en diferentes estados de alteración. La resistencia a la compresión es menor que la de la roca sana. La alteración de la roca es mayor a lo largo de las discontinuidades.
	VI Horizonte de roca meteorizada	La roca presenta cambios de color debido al efecto de los procesos de meteorización a lo largo de las discontinuidades de la masa rocosa. Su resistencia es mayor que la del horizonte V.
	VII Horizonte de roca sana	Los minerales no presentan ninguna alteración a pesar de que puede estar intensamente fracturada

Tabla 04: Perfil de meteorización (E. Brand, 1988).

Denominación	Símbolo	Descripción
Suelo residual	RS	Suelo residual derivado de la meteorización “in situ”, la textura y estructura del material parental completamente destruida 100% suelo.
Roca 0/30%	PW 0/30	Menos del 30% de roca preserva la textura y estructura del material parental (Saprolito). El contenido de roca no afecta el comportamiento a la cizalladura de la masa, pero si las discontinuidades heredadas del material parental. El contenido de roca puede ser significativo para efectos de investigación y construcción.
Roca 30/50%	PW 30/50	30 a 50% de roca. Tanto el contenido de roca como las discontinuidades heredadas pueden afectar la resistencia al corte de la masa.
Roca 50/90%	PW50/90	50 a 90% de roca. Estructura interconectada.
Roca 90/100%	PW 90/100	Más del 90% de la roca. A lo largo de las discontinuidades se presentan pequeñas cantidades de material convertido a suelo.
Roca no meteorizada	UW	100% roca. Puede presentar una ligera decoloración a lo largo de las discontinuidades

Tabla 05: Perfil de meteorización (Little. Al, 1969).

Denominación	Símbolo	Descripción
Suelo residual	VI	No se conserva la textura y la estructura del material parental.
		Los granos constitutivos pueden separarse con la mano.
Roca completamente meteorizada	V	Se preserva la textura de la roca original. Los granos constitutivos pueden separarse con la mano. Se afloja al ser sumergido en el H_2O
Roca muy meteorizada	IV	Puede romperse en pequeños fragmentos con la mano. Cuando se raya con el martillo produce un sonido grave, pero no deja fácilmente huella. No se "afloja" cuando se sumerge en H_2O.
Roca moderadamente meteorizada	III	Usualmente no puede romperse con la mano, pero se rompe fácilmente con el martillo.
		Cuando se raya con el martillo produce un sonido ligero.
Roa ligeramente meteorizada	II	No se rompe fácilmente con el martillo. Produce un sonido agudo cuando se raya. Se conservan los colores del material parental, a través de las discontinuidades se presenta decoloración.
Material parental fresco	I	No se parte fácilmente con el martillo. Produce un sonido agudo cuando se raya. Conserva el color del material parental.

2.3.4 Saprolito

El saprolito es definido como un suelo residual, producto de la meteorización fisica y química de rocas, generalmente cristalinas, disgregable y de baja resistencia, en el que la estructura y la fábrica se preserva original. Pero presenta un remplazo de los minerales originales (frecuentemente por arcilla) debido al lavado y a la meteorización química y subsecuente transporte. Los horizontes superiores de suelo alterado pueden tener más de tres metros de espesor, especialmente donde los depósitos de vertiente se han acumulado en la parte inferior de la ladera y, usualmente, tienen propiedades geotécnicas muy diferentes. La transición a los horizontes de suelo frecuentemente es más abrupta en los saprolitos derivados de rocas ígneas bajas en silice que sobre rocas cuarzo-feldespáticas (Stolt & Baker, 1994, en Hoyos, 2004); en ellas frecuentemente se encuentra una zona masiva, enriquecida en arcilla iluvial, sin texturas ni fábricas heredadas del saprolito más profundo donde la iluviación es el proceso de acumulación en un horizonte del suelo de elementos procedentes de otro.

El aumento de la microporosidad resulta de cambios en los minerales fácilmente meteorizados (muscovitas, plagioclasa, biotita, olivino, piroxenos, etc.) y las pérdidas lentas por lixiviación. Esto aumenta la capacidad de retención de agua del saprolito permitiendo la penetración de las plantas y aumentando la meteorización por el consumo de potasio, la producción de ácidos orgánicos y el desprendimiento de bióxido de carbono. Las raíces también crean canales que conducen el agua más rápidamente, permitiendo la iluviación profunda de la arcilla en las últimas etapas de desarrollo (Graham y otros. 1994 en Hoyos, 2004).

El saprolito frecuentemente tiene un espesor menor a diez metros en las cimas y en la parte inferior de las laderas pero es más delgado o ausente en las pendientes donde la erosión está equilibrada o excede la velocidad de meteorización. Se ha calculado que esta última puede producir espesores entre 4m/millón de años (Pavich 1986 en Hoyos, 2004) y más que 37 m/millón de años (Velvel 1985 en Hoyos, 2004), dependiendo de la mineralogía, la textura y la foliación de la roca madre. Las propiedades físicas como contenido de arcilla y conductividad hidráulica frecuentemente son muy variables, especialmente en terrenos metamórficos con foliación, zonas de cizalladura y de minerales menos resistentes a la meteorización.

Es por esto que masas rocosas sedimentarias, metamórficas e ígneas se caracterizan por la generación de perfiles de meteorización, en algunos casos con horizontes superficiales enriquecidos en óxidos de hierro y aluminio. Donde el horizonte de transición de roca suelo es llamado saprolito.

2.3.5 Clasificación de los suelos

Suelo

Desde el punto de vista de la ingeniería geológica el suelo se define como agregados de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en aguas. González de vallejo, (2002) y la otra definición de suelo es, agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas, Braja (2010). Para conocer las características de los suelos, actualmente existen dos clasificaciones que se basan en la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos, estos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) más usado para construcciones de ámbito civil y el sistema AASHTO para construcciones de carreteras.

Para la presente tesis se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el cual se detalla a continuación:

2.3.5.1 Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System USCS), es el sistema utilizado en la ingeniería para clasificar los suelos de acuerdo con el tamaño de los granos gruesos que lo componen y los límites de consistencia de los finos. Este sistema fue originalmente propuesto por Casagrande (1942), y adoptado como sistema estándar en 1969 por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM). De acuerdo con este sistema, las gravas y las arenas conforman la fracción gruesa, mientras que los limos, arcillas y turba la fracción fina. El sistema SUCS, para la clasificación utiliza prefijos como: G (significa grava o suelo gravoso), S (arena o suelo arenoso), M (limo inorgánico), C (arcilla inorgánica), O (limos y arcillas orgánicas), Pt (utilizado para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos), W (suelo bien gradado), P (duelo mal gradado), L (suelos baja plasticidad) y H (suelo de alta plasticidad).

- **Suelo graduado**. Se refiere a los suelos granulares (gravas, arenas y finos) que presentan una mezcla proporcional de todos los tamaños de granos para un volumen de suelo dado.
- **Suelo gradado (sorting)** Se refiere a la disminución gradual del tamaño del grano del sedimento dentro de un cuerpo sedimentario o roca sedimentaria. **Gradación normal:** clastos mayores se concentran hacia la base y los más finos hacia el tope. **Gradación inversa**: clastos mayores se concentran hacia el techo y los menores en la base. **Gradación inversa-normal**: fracción más gruesa se concentra hacia el centro del depósito y la fracción más fina hacia la base y el techo.

Los tipos de suelos según la granulometría que presentan se clasifica en:

Arcilla (clay) Suelo con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad, en este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento geomecánico, para llegar a este tipo de suelos se necesita una trasformación química y su composición es de minerales silicatados.

Limo (silt) Partículas de suelo que pasan por el tamiz No. 200 (0.075 mm) y mayores de 0.002 ó 0.005mm. Se idéntifica por presentar un comportamiento ligeramente plástico, o sin plasticidad, cualquiera que sea la humedad y tienen una resistencia muy baja o nula al secarse al aire.

Arena (sand) Suelo con tamaño de granos entre 0,075 mm y 2 mm y por lo cual son visibles a simple vista, estos suelos se caracterizan por no presentar plasticidad ni cohesión. Entre las propiedades importantes de estos suelos que influyen en su comportamiento geomecánico, están la distribución granulométrica, la densidad y la forma de los granos.

Grava (gravel) Grano de un suelo cuyo tamaño o diámetro medio esta entre 2,0mm (o 4,76 mm) a 8-10 cm mm (Lambe, 1981).

2.3.5.2 Límites de Atterberg

A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de aguas variables. Dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido" (Braja, 2008), por tal, las fronteras entre estos estados se denominan límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida. El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, aceptan deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo.

Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que todos los límites e índices, a excepción del límite de retracción, se determinan en suelos que han sido amasados para formar una mezcla uniforme suelo-agua. Este proceso de amasado conduce al ablandamiento de la masa como consecuencia de la destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, a la reorientación de las láminas de arcilla y a la ruptura de la estructura que el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al cesar el proceso de amasado, las láminas de arcilla vuelven a orientarse y las moléculas de agua adquieren ligazón, pero la estructura del suelo no vuelve a ser la misma. Por tanto, habrá que señalar que los límites no dan indicación alguna sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas que pudieran haberse desarrollado en el terreno natural.

Límites de Atterberg. Contenidos de agua de un suelo fino que indican los límites entre los estados de consistencia mecánica en que se puede encontrar el suelo.
Índice de liquidez IL. Parámetro que indica el estado de consistencia de un suelo fino (limo, arcilla) por medio de la relación entre la humedad natural (wn) y los limites liquido (LL o wL) y plástico (LP o wP), de manera que
IL = (wn – LP)/ (LL – LP).
Índice de plasticidad IP. Parámetro que indica el rango de humedad para el cual un suelo se comporta como un material plástico, es decir que se puede deformar sin cambiar de volumen (IP = LL – LP).
Límite líquido LL Contenido de agua por encima del cual un suelo se comporta como un líquido.
Límite plástico LP. Contenido de agua por encima del cual un suelo tiene un comportamiento plástico.
Límite de contracción LC. Contenido de agua por debajo del cual un suelo no cambia de volumen al perder más agua.

2.3.6 Deslizamientos

Un deslizamiento es el movimiento de una porción de terreno de materiales inconsolidados de roca y suelo de una ladera, a través de una superficie de falla, con la preservación general de la estructura interna original donde se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos rotacionales y traslacionales en donde en la primera la superficie de falla es cóncava, a modo de cuchara, y la segunda presenta una superficie de falla plana, Varnes (1978), sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablara de deslizamientos compuestos según Hutchinson, (1988).

Las causas de los deslizamientos son atribuidas a las propiedades físicas-mecánicas de los materiales y la influencia de los factores desencadenantes como los pluviales, donde estos tipos de eventos han sido clasificados según el tipo material y la geometría del desplazamiento, como rotacionales (suelo-suelo) y traslacionales (roca-suelo).

Los substratos rocosos donde se producen los movimientos no son estudiados ni descritos en las clasificaciones de deslizamientos como los de Varnes y Cruden (1978), Suárez (2009) etc. y es por ello que se les ha atribuye escasa importancia como generador de este tipo de eventos por estar asociados con su alta cohesión, a diferencia de los suelos superpuestos a estos substratos que son los que se desplazan pendiente abajo

2.3.6.1 Tipos de deslizamientos

Según la geometría de la superficie de ruptura se describe 2 tipos de deslizamientos, traslacionales y rotacionales. Los del tipo traslacional la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana, suelen ser más superficiales que los del tipo rotacional (cóncavo) y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o plano contacto entre la roca y el suelo residual. Los deslizamientos rotacionales se caracterizan porque la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, la cabeza del movimiento puede moverse hacia abajo dentro de un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior puede inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe.

Según la profundidad pueden ser deslizamientos superficiales o profundos. Nos referimos a deslizamientos superficiales, también llamados “soil slip” (Cruden & Varnes, 1996), cuando el material desplazado normalmente se mueve sobre una zona estrecha de cizallamiento a una zona de roca fresca o ligeramente meteorizada, una superficie estructural en correspondencia a una unión permeable/impermeable, la superficie de falla generalmente se desarrolla en el contacto entre el saprolito y el substrato rocoso y es aproximadamente paralelo a la superficie del suelo. La superficie de ruptura se encuentra por debajo de 1 m de profundidad (Mouri et al, 2010), y son usualmente desencadenados por lluvias cortas de intensa duración o en algunos casos por lluvia prolongadas, pero menos intensas (Montrasio et al, 2011). Por tanto, los deslizamientos profundos son aquellos en el cual la superficie de ruptura es mayor a 1 m de profundidad.

Según el tipo de movimiento los deslizamientos pueden denominarse como:

Progresivo. La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.

Retrogresivo. La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.

Ampliándose. La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.

Alargándose. La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más

direcciones. El término alargándose puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.

Confinado. Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.

Disminuyendo. El volumen de material siendo desplazado, disminuyes con el tiempo.

Así también, según el estado de actividad los deslizamientos pueden diferenciarse como:

Activo. Deslizamiento que está moviéndose en los actuales momentos.

Reactivado. Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo, ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.

Suspendido. Deslizamiento que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales, pero no se está moviendo en la actualidad.

Inactivo. Deslizamientos que llevan varios ciclos estacionales sin actividad.

Dormido. Deslizamiento inactivo pero que las causas del movimiento aparentemente permanecen.

Abandonado. Es el caso de un río que cambió de dirección y que estaba produciendo un deslizamiento.

Estabilizado. Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.

Relicto. Deslizamientos que ocurrieron posiblemente hace varios miles de años se pueden llamar deslizamientos relictos.

2.3.6.2 Causas de la ocurrencia de deslizamientos

Si bien es cierto que existe una serie de factores condicionantes para el desarrollo de los deslizamientos que deben ser identificados y estudiados, es asimismo de crucial importancia identificar el factor que se encarga de desencadenarlo.

Las causas de la ocurrencia de los deslizamientos están dadas por aquellos elementos que pueden condicionar una situación, se puede distinguir dos tipos de factores condicionantes y detonantes, los cuales se detallan a continuación:

2.3.6.2.1 Factores Condicionantes

Los factores condicionantes son de vital importancia para que se produzca un movimiento en masa, junto a los mecanismos que participan en su generación y que determinan sus respectivas magnitudes, estos factores son:

A. Litológicos. La composición mineral y propiedades físico-químicas de las rocas y suelos, van a determinar el comportamiento de lo terreno, por ejemplo, la presencia de materiales alterados por meteorización y/o alteración, bajan la cohesión a la roca donde favorece la ocurrencia de los movimientos en masa.

B. Estructurales. La disposición de las estructuras (diaclasas, fracturas y fallas) y planos de estratificación de las rocas con respecto a su pendiente (a favor o en contra) favorece los deslizamientos.

C. Climáticos. La variación climatológica como la temperatura, humedad, precipitación y otras, contribuyen a la meteorización-erosión de las rocas y suelos favorecen la ocurrencia de los deslizamientos.

D. Hidrológicos. Los procesos hidrológicos condicionan los movimientos en masa, al generarse escorrentías superficiales, estancamiento de agua, cambios de nivel freático de las aguas subterráneas y la alteración de estratos de diferente permeabilidad que sirve como almacenamiento o sello.

E. Topográficos. Las características morfológicas del relieve terrestre indica el grado de desarrollo que ha alcanzado durante su evolución, ejemplo, las pendientes altas, indican zonas susceptibles a la ocurrencia de movimiento en masa.

F. Vegetación. La ausencia de vegetación del suelo favorece la erosión y en cambio abundancia de cobertura vegetal ayuda a la estabilidad de la ladera, cuando las raíces sujetan el suelo y absorben el agua manteniendo en equilibrio el substrato.

2.3.6.2.2 Factores Desencadenantes o Detonantes

Son aquellos disparadores que ocasionan los movimientos en masa, estos son mencionados a continuación:

A. Naturales. Son aquellos que están gobernado por la dinámica terrestre que son las fuertes precipitaciones, inundaciones, erupciones volcánicas, terremotos y cambios en el volumen del terreno por hielo-deshielo o humedad – desecación.

B. Inducidos. Son producto del modelado antrópico que ocasiona un aumento del peso del talud (pendiente) por acumulación de escombros, creación de taludes artificiales, las inundaciones causadas por roturas presas, estancamiento de las aguas por impermeabilización y asfalto, deforestación y las explosiones realizadas en la construcción de carreteras, minas, casas, etc y excavaciones con retirada de materiales del pie de la ladera rompiendo el equilibrio natural.

2.3.7 Método de prospección geofísica

2.3.7.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV**)**

Todas las técnicas geofísicas intentan distinguir o reconocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante algún parámetro físico, por ejemplo, en sísmica por la velocidad de transmisión de las ondas o en prospección eléctrica por la resistividad.

Existen diversas técnicas geofísicas eléctricas o electromagnéticas que miden la resistividad de los materiales, o en algún caso su inverso, la Conductividad. Algunas de estas técnicas son más modernas y mucho más precisas, pero los Sondeos Eléctricos Verticales se siguen utilizando por su sencillez y la relativa economía del equipo necesario.

El objetivo en nuestro caso será estimar, delimitar varias capas en el subsuelo, obteniendo sus espesores, resistividades y la profundidad de la localización del nivel freático.

2.3.8 Glosario

Regolito

El regolito es la capa de roca suelta y fragmentos minerales que no forman aún un suelo, como consecuencia de los procesos físico-químicos y biológicos de intercambio que ahí se producen. El concepto de suelo es, por tanto, un concepto evolutivo. Este se forma como consecuencia de un proceso dinámico, que implica un cambio progresivo desde que la roca se pone en contacto con la intemperie como consecuencia de la erosión, hasta su desarrollo completo.

Un concepto muy relacionado es el de regolito, que constituye lo que podríamos llamar el "protosuelo", es decir, una capa no estructurada de materiales que se acumula sobre la superficie del terreno como consecuencia de procesos diversos. Por su parte, el suelo es un regolito evolucionado, que ha adquirido la estructuración en capas u horizontes que le caracteriza. La definición de suelo residual varía de un país a otro, pero; según Blight (1997) la definición razonable podría ser la de un material proveniente de proceso de meteorización de la roca in situ y que no ha sido transportado de su lugar de origen.

Saprolito

Un saprolito es una roca que se ha meteorizado a tal grado que constituye una masa de arcilla o grava donde todavía se pueden ver estructuras de la roca original, donde un saprolito puede formar parte de un regolito.

Fábrica

El término se refiere al arreglo de las partículas, grupos de partículas y poros en un suelo. Se le ha dado el mismo significado a "estructura" pero específicamente la microestructura es el efecto combinado de fábrica, composición, fuerza entre partículas y estructura (Mitchell, 1993) la cuantificación de parámetros microestructurales es indispensable para determinar tanto la frecuencia de macro y microestructura como para establecer el grado de homogeneidad dentro de las muestras y entre ellas.

El objeto de los estudios de la microestructura es la clasificación y cuantificación de varios aspectos de la masa de suelos, los cuales pueden ser correlacionados con propiedades ingenieriles (Mesa et al 2004, Collins, 1985).

Susceptibilidad

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Para factores positivos que aumentan la habilidad de las personas o comunidad para hacer frente con eficacia a las amenazas, véase la definición de capacidad (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

2.4 Hipótesis y variables

2.4.1 Hipótesis general

La ocurrencia de los deslizamientos sobre substratos rocosos metamórficos pizarrosos en laderas de montaña seria causado por el horizonte de transición de roca a suelo llamado saprolito en estado saturado, en el cual se generaría presión de poros positivos entre las moléculas de arcilla, lo cual inicia su ablandamiento, microfracturamiento y propagación para formar la superficie de falla potencial con una resistencia al corte muy baja, actuando como lubricante y facilitando el desplazamiento de suelos superpuestos a estos.

.

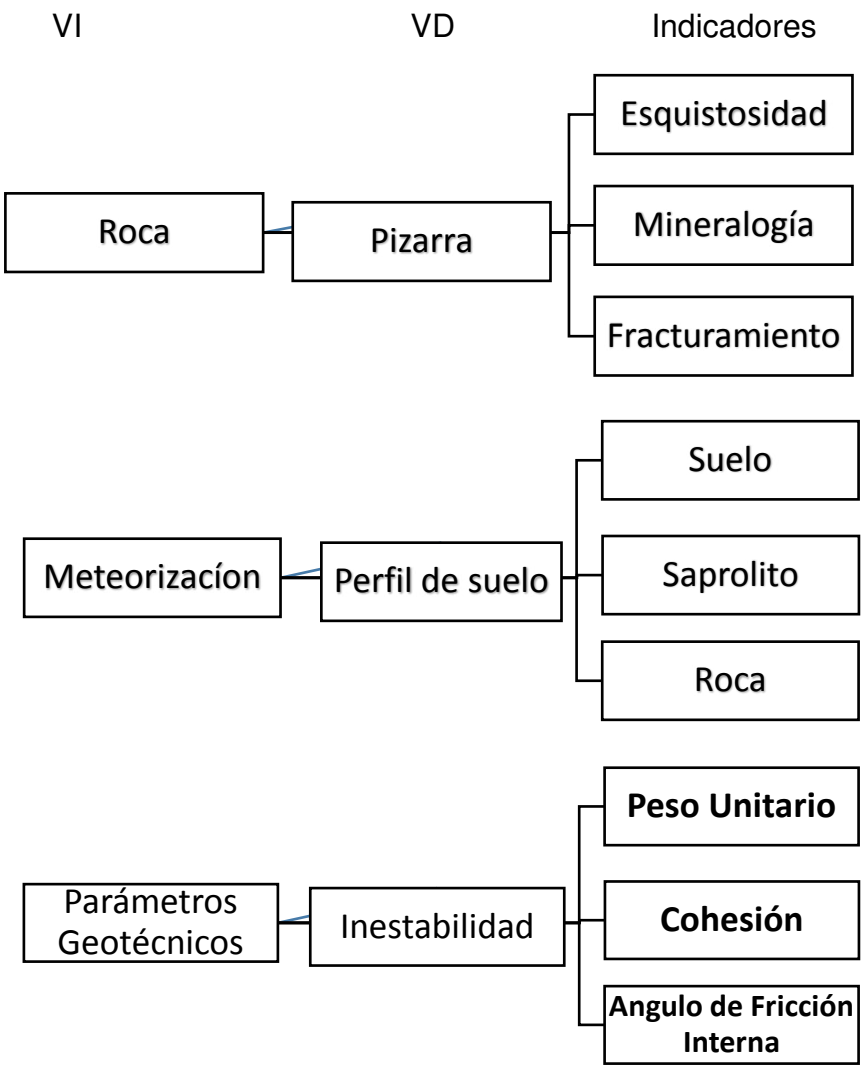
2.4.2 Hipótesis especificas

- El saprolito producto de la meteorización de las pizarras y su relación en generación de deslizamientos estaria dado por su origen consistente en un metamorfismo de lodolitas hacia pizarras en el cual los microminerales de aluminio se agrupan formando cristales de moscovita, las que al presentar una estructura fisible en capas presentan una rápida desintegración y alteración, esto debido a su composición mineralógica donde el elemento aluminio presente en las micas (moscovita, biotita y otros),de la familia de los filosilicatos (silicatos capaces de retener grandes cantidades de agua por absorción), se transforman en arcillas illitas (moscovita a hidromoscovita), lo que ocurre al contacto con el agua, producto de la hidratación.

- La formación de este horizonte saprolítico está dado por un ambiente de clima cálido con una constante humedad, esquistosidad-fracturamiento de la roca pizarra al estar sometida a un alto grado de meteorización, esto hace posible la generación entre contacto roca y suelo.

- El saprolito al estar saturado generaría el desequilibrio estático del talud y su posterior deslizamiento de los materiales superpuesto a esto, al servir como lubricante a la superficie de falla.

2.4.3 Identificación de variables



CAPITULO III

3. Metodología

3.1 Tipo de investigación

Investigación Explicativa y correlacional: El trabajo de investigación es del tipo explicativo y correlacional, porque las condiciones en la que ocurre los deslizamientos está dada en rocas metamórficas de tipo pizarroso y las características que estas presentan. Determinó la relación que existe entre el horizonte arcilloso saprolítico y la inestabilidad de las laderas.

Los resultados del trabajo constituyen en un aporte al modelo teórico de la explicación de hechos y eventos que puedan generalizarse a partir del problema de investigación realizado en lugares donde existen rocas metamórficas de tipo pizarroso.

3.2 Población

La Población está conformada por el área total de influencia directa del deslizamiento, en la localidad de Kelcaybamba, distrito de La Convención región Cusco.

3.3 Muestra

La muestra para el estudio y la realización de la siguiente investigación fue el deslizamiento suscitado el 13 de abril de 2013 en la localidad de Kelcaybamba, distrito de La Convención región Cusco.

3.4 Selección de Muestra

La muestra seleccionada para determinar la influencia del horizonte saprolito en la generación del deslizamiento de la localidad de Kelcaybamba, distrito de La Convención región Cusco, fue por estar asentado en el pueblo sobre un substrato metamórficos de tipo pizarroso.

3.5 Fases de la investigación

3.5.1 Fase 1: Recopilación de información (Gabinete I)

- El estudio inició con la recopilación, selección y evaluación de estudios e investigaciones anteriores a nivel nacional e internacional lo que permitió documentar la presente tesis y obtener información sobre el tema tratado, para ello se analizaron los principales deslizamientos su clasificación, características, factores que los originan, entre otros.
- Se efectuó la revisión de información cartográfica tales como cuadrángulos geológicos, fotos satelitales y fotografías aérea disponibles como: ASTER_GDEM y GOOGLE EARTH. e investigación de instituciones públicas y privadas, publicaciones nacionales e internacionales (IGP, UNI, UNMSM, INGEMMET, USGS, etc).

- Con la información obtenida se generó un banco de datos que permiten efectuar los trabajos de interpretación en base a la información documentada y analizada para las fases del estudio de campo y gabinete II.

3.5.2 Fase 2: Área de estudio

En esta etapa se procesa la información recopilada en la primera fase para la generación de mapas temáticos como ubicación y geológicos en los que se delimita la zona de estudio y el área de influencia del deslizamiento de tierra en la localidad de Kelcaybamba.

3.5.3 Fase 3: Trabajo de campo

Esta fase de campo se llevó a cabo durante tres etapas

- Etapa 1. En los cuales se desarrolló la inspección de campo donde ocurrió el deslizamiento adquiriendo datos para realizar los mapas temáticos (geológico, geomorfológico, geodinámico).
- Etapa 2. Toma de datos geotécnicos (consistió en la ejecución de seis (06) calicatas o exploraciones a cielo abierto (03) DPL y (03) ensayos de densidad in situ), extrayendo muestras alteradas e inalteradas.
- Etapa 3. Toma de datos geofísicos, con ayuda de un asistente (geofísico) se efectuaron seis (06) sondajes eléctricos verticales (SEV), convenientemente distribuidas en el campo del deslizamiento.

3.5.4 Fase 4: Trabajo de gabinete II

En esta fase se llevó a cabo la compilación y procesamiento de los trabajos campo desarrollándose básicamente tres actividades:

- Registro de la cobertura litológica consistió en georreferenciar en un SIG (sistema de información geográfica) las diferentes unidades litológicas, estructuras y geoformas que han sido identificadas y cartografiadas durante los trabajos de campo, consistió en la elaboración de los mapas temáticos de ubicación, geomorfología, geología regional, geología local, geodinámica, geotecnia y perfiles geoeléctricos; elaborándose perfiles geológicos – geotécnicos y de estabilidad de taludes en base al levantamiento topográfico.
- La revisión las secciones geofísicas fue efectuada con el objeto de corroborar las estimaciones del espesor y localización de superficie de falla del deslizamiento, para ello se usaron perfiles geoeléctricos, las cuales fueron comparadas con perfiles de horizontes de suelos registrados en las calicatas.
- La interpretación geológica consistió en hacer un análisis de la descripción del horizonte saprolito como un detonante y condicionante, para la generación de deslizamiento en substratos rocosos metamórficos
- Análisis de estabilidad de taludes, Hidrogeológico (filtraciones, líneas de flujo de los materiales suprayacientes, líneas de flujo de materiales infrayacientes, líneas equipotenciales, piezómetros, caudalimetría, etc**;** análisis Hidrológico (Influencia del factor fluvial), que fueron modelados en perfiles con software (Slide 6.0).

CAPITULO IV

4. Generalidades

4.1 Ubicación del estudio

La localidad de Kelcaybamba distrito de Ocobamba, provincia de la Convención, región Cusco, se encuentra ubicada en las coordenadas UTM (datum WGS 84 zona geodésica 18s) 777039 E, 8575642 N y en la cota 1466 m.s.n.m, Figura 07 y Anexo 03, **Mapa 01**.

Este poblado se asienta en la parte media de la ladera Oeste de la Cordillera Oriental, en la margen izquierda de la quebrada Piscontilla, en el valle del río Ocobamba, presenta relieve abrupto, por su fuerte pendiente y litología compuesta de rocas metamórficas pizarrosas fracturadas correspondientes a las unidades geológicas del Grupo San José (Formación Iparo del Ordoviciano inferior).

En esta localidad se produjo un deslizamiento de tipo rotacional (cóncavo) que se encuentra ubicado en la parte baja del cerro Ocobamba, en la margen izquierda del río Ocobamba; este evento abarca un área de aproximadamente 2.3 ha y la evidencia superficial que dejo son las grietas tensionales (0.5 m ancho 0.5-1.0 m de profundidad y longitud de 25 m aproximadamente), y el material de suelo desplazado pendiente abajo hacia el río antes mencionado.

La localidad presenta una población de 6281 habitantes (INEI, 2007), donde los daños personales causados por el deslizamiento constan de 38 familias damnificadas y 23 familias afectadas directamente; daños materiales 13 viviendas colapsadas, 25 viviendas inhabilitadas y siendo afectada la carretera, sistema de agua y desagüe. (INDECI, 2013).



Figura 07: Foto de la localidad de Kelcaybamba tomada de la ladera media del Cerro Ocobamba.

4.2 Accesibilidad

El acceso hacia distrito de Ocobamba se realiza desde la ciudad de Lima por vía aérea hasta la ciudad de Cusco, 573 km aproximadamente en un tiempo de 1h, desde donde se continua por vía terrestre hacía Urubamba, Ollantaytambo, Yanamayo por una carretera asfaltada en buen estado de conservación, posteriormente se continua por una trocha carrozable hasta la localidad de Kelcaybamba en un recorrido de 90 km aproximadamente en línea recta.

Todo este recorrido desde la ciudad Cusco en un tiempo aproximado entre 4 a 5 horas en camioneta.

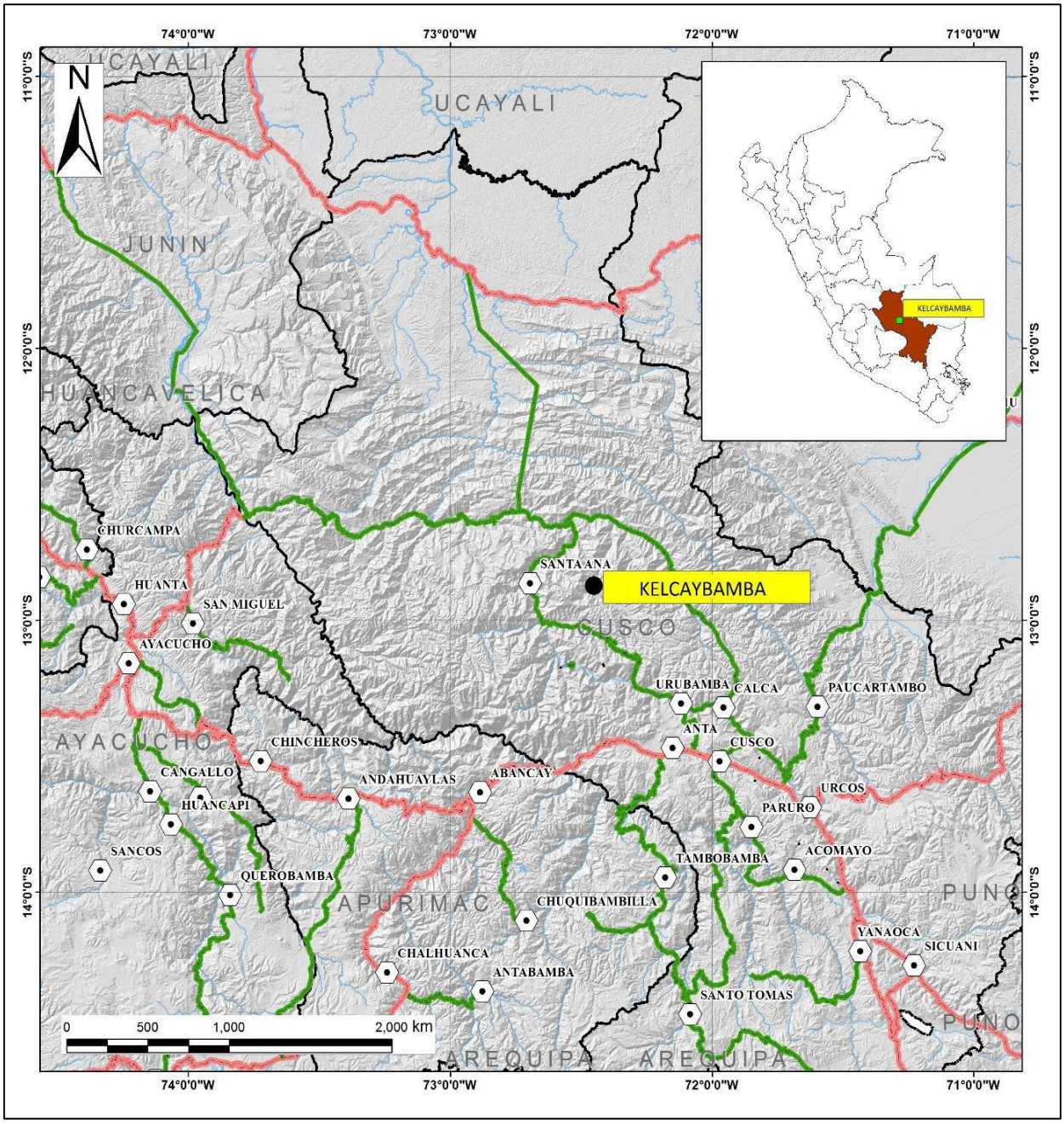


Figura 08: Accesibilidad hacia la localidad de Kelcaybamba, distrito de Ocobamba, región Cusco.

4.3 Aspecto climatológico

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), en la zona estudiada la precipitación pluvial acumulada durante el periodo lluvioso normal (setiembre – mayo) alcanza los 500 y 1000 mm; y para el período de precipitación acumulado durante el evento del fenómeno “El Niño” 1997/1998, fue de 600 a 1200 mm. El mapa de clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1988), Figura 10, muestra que el valle del río Ocobamba, donde se encuentra la zona de estudio,presenta un clima lluvioso, semicálido y muy húmedo, con precipitaciónes estacionales.

En la cuenca del río Ocobamba las estaciones meteorológicas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) se encuentra en la figura 09, de las cuales en la actualidad viene operando solo una estación meteorológica llamada Quebrada Yanatile**.** La ubicación de las estaciones más cercanas puede verse en la siguiente figura.

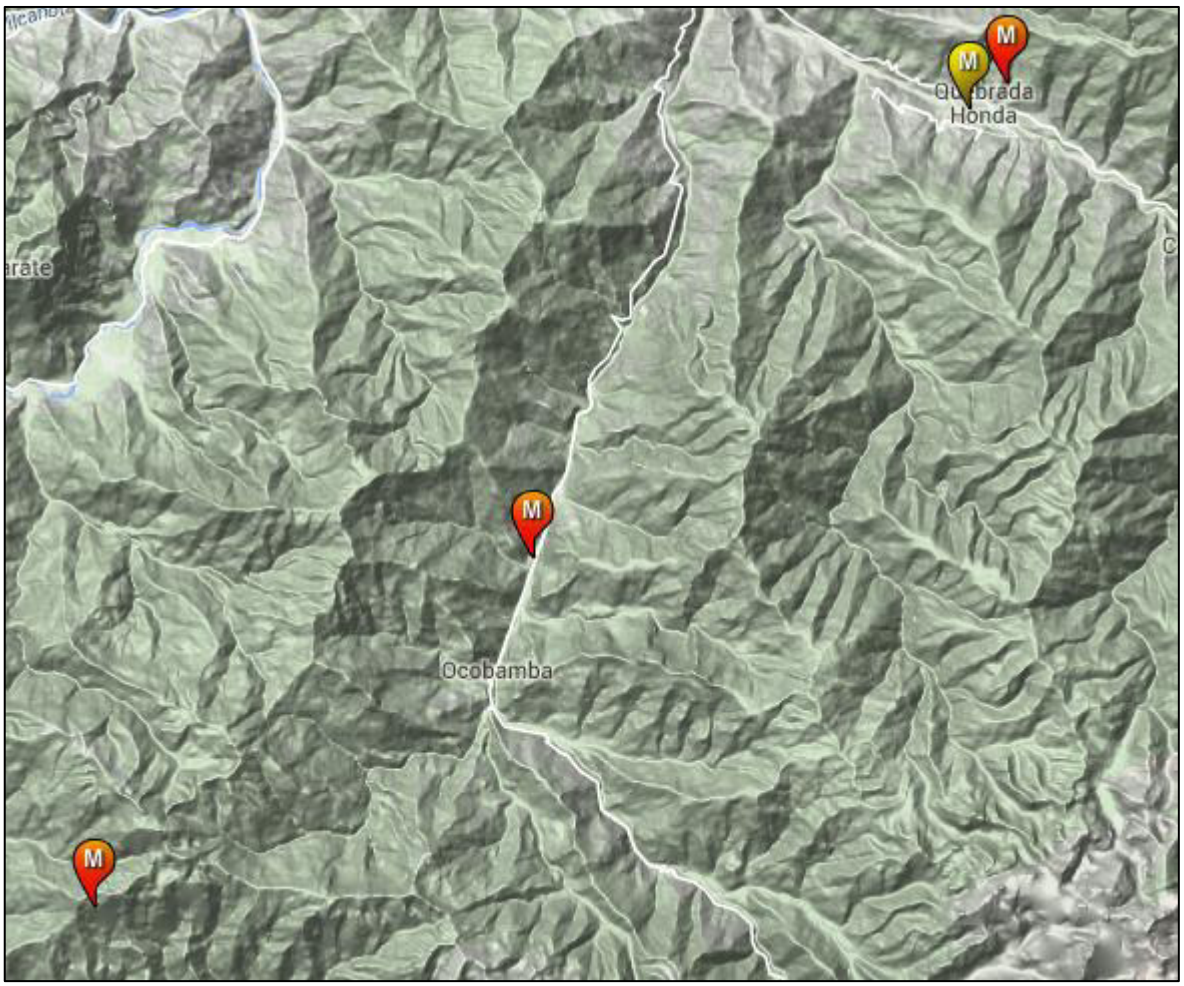


Figura 09:Ubicaciones de las estaciones meteorológicas, representadas por el color amarillo la Quebrada Yanalite (SENAMHI, 2016).

Las estaciones disponibles dentro de la cuenca del río Ocobamba y su estado de funcionamiento se aprecian en el siguiente Tabla:

Tabla 06: Estaciones meteorológicas disponibles.

ESTACIÓN	CODIGO	ESTADO
ECHARATE	000716	No Funcionando
OCOBAMBA	000681	No Funcionando
QUEBRADA YANATILE	000654	Funcionando
LA QUEBRADA	000145	No Funcionando

Las 4 estaciones mencionadas se localizan muy cerca de la zona en estudio (dentro de un radio de 10 km) y presentan similar altitud (entre 1050 y 1540 msnm). La estación más cercana es la estación Ocobamba, sin embargo, la estación elegida para realizar la caracterización climática fue Quebrada Yanatile por estar en funcionamiento a diferencia de los demás.

A continuación, se muestra el resumen de la principal característica de la estación Quebrada Yanatile:

Tabla 07: Estación meteorológica utilizada.

ESTACIÓN	UBICACIÓN			DATOS	PERIODO	FUENTE
	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)			
Quebrada Yanatile	12 41' 1"	72 17' 1"	1050	Temperatura máxima mensual, mínima mensual y media anual	2012-2013	SENAMHI
				Dirección predominante y velocidad del viento	2012-2013	

Tabla 08: Datos meteorológicos de abril del 2012 fuente SENAMHI.

Estación : QUEBRADA YANATILE , Tipo Convencional - Meteorológica

Departamento : CUSCO Provincia : CALCA Distrito : YANATILE Ir : 2012-04

Latitud : 12° 41' 1" Longitud : 72° 17' 1" Altitud : 1050

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Abr-2012	30.8	18.9	20.1	27.8	19.8	19.4	22.2	17.4	.7	0	W	4
02-Abr-2012	30.5	18.2	19.4	29.4	21.4	18.4	22	20.8	-888	.8	SW	4
03-Abr-2012	29.4	16.8	17	28.6	21.3	16.9	21.4	19.6	0	0	W	2
04-Abr-2012	29.2	17.2	19.8	24.8	20.4	19.2	21.8	19.6	4.7	-888	W	2
05-Abr-2012	30.6	16.8	18.2	29.8	20.8	17.2	21.8	19.6	-888	0	SSW	2
06-Abr-2012	28.8	16.2	19.6	28.2	18.6	18.4	24.6	18.4	0	16.7	C	
07-Abr-2012	31	17.4	19.6	28.4	21.2	18.9	25.8	20.6	.1	1.1	W	6
08-Abr-2012	29.2	18.6	19	27.4	19.8	18.4	25.8	19.8	8.6	5.8	SW	2
09-Abr-2012	29.2	18.4	18.5	27.8	19.8	18.1	26.2	20.6	1.4	.4	SW	6
10-Abr-2012	28.6	17.4	18.2	28.2	19.6	18	26.8	19.8	.1	3.5	SSW	4
11-Abr-2012	25.4	19	19.1	25	20.3	18.8	21.2	20.2	12.4	.3	SW	2
12-Abr-2012	25.9	19.2	19.8	24.4	20.2	19.6	20.5	19.6	2	0	SW	4
13-Abr-2012	30.2	18.8	19.1	28.6	20.8	18.8	21.8	19.4	26.8	0	SW	6
14-Abr-2012	28.8	19.1	19.6	27.9	21.2	19.2	22.4	19.6	0	0	W	3
15-Abr-2012	25.7	18.7	19.4	20.4	19.2	18.8	19.6	18.4	1.2	5.5	NNE	2
16-Abr-2012	28.5	16	16.7	26	21.8	16.2	19.8	19.7	.2	0	C	
17-Abr-2012	25	16.9	19.5	24.6	19.6	19.3	20.6	19	8.7	2.7	NE	2
18-Abr-2012	29.2	16.5	17.6	28.8	20.2	17	21.6	19.2	.2	6	W	4
19-Abr-2012	28.8	19.2	19.6	28.1	21.4	19	22.2	19.7	1.4	0	SSW	4
20-Abr-2012	31	18.8	19.4	29	21.6	19.2	21	19.9	.1	.2	W	4
21-Abr-2012	31.2	18.2	18.2	30.4	23	17.7	22.8	20.9	2	-888	N	4
22-Abr-2012	23	18.2	19.1	21.8	18.2	18.4	20.8	17.4	3.7	8.9	C	
23-Abr-2012	30.2	16.4	17	27.2	20.4	16.6	20.4	18.8	.1	0	C	
24-Abr-2012	30.6	16.6	16.8	29.6	21.6	16.4	22.2	19.4	.4	0	SSW	4
25-Abr-2012	27.5	16.8	19.4	24	20.4	18.6	21	19.7	0	7.2	C	
26-Abr-2012	31.4	17.6	18.1	27.1	21.6	17.8	22	19.5	1.3	0	NE	4
27-Abr-2012	26.2	18.2	19.2	23.6	18.8	18.8	20.6	18.2	.9	13.4	SW	2
28-Abr-2012	30.2	15.8	16.8	28.6	21.4	16.2	21	19.2	.1	0	W	6
29-Abr-2012	27.1	15.5	19.7	23.9	20.1	19	20	18.5	0	0	SW	4
30-Abr-2012	30.2	17.4	18.2	28.8	22.1	17.6	21.7	18.8	0	0	C	

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadistica
* Informacion sin Control de Calidad
* El uso de esta Informacion es bajo su entera Responsabilidad

Tabla 09: Datos meteorológicos de abril del 2013, fuente SENAMHI.

Estación : QUEBRADA YANATILE , Tipo Convencional - Meteorológica

Departamento : CUSCO Provincia : CALCA Distrito : YANATILE Ir : 2013-04

Latitud : 12° 41' 1" Longitud : 72° 17' 1" Altitud : 1050

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Abr-2013	30.4	19.2	20.2	28.2	23	19.6	22.2	20.4	0	0	W	4
02-Abr-2013	25.8	20	20.2	25.6	20.5	19.8	21.4	19.6	8.3	.1	W	4
03-Abr-2013	31.4	18	18.2	29.6	21.6	17.8	22.8	19.8	0	0	W	4
04-Abr-2013	26	18.2	19.4	24.2	20.4	19.2	20.8	19.4	1.6	2.7	SSW	4
05-Abr-2013	30.6	17.2	18.2	29.8	21.8	17.6	22.8	19.8	.1	0	NW	4
06-Abr-2013	23.8	18.2	19.8	20.2	19.4	19	19.6	18.8	0	10.5	E	2
07-Abr-2013	28.2	17	17.6	27	19.8	17.2	21.4	19.2	.2	.1	SSW	2
08-Abr-2013	30.8	17.4	18.4	29.6	21.8	18	22.8	20	.1	0	SW	4
09-Abr-2013	29.4	18.6	19	26.8	21.2	18.4	21	20.4	19.3	.3	W	2
10-Abr-2013	30.6	18.4	19.4	29.4	20.2	18.4	22	18.2	2	0	W	2
11-Abr-2013	30.2	18.6	19.8	29.4	20.4	18.8	22.2	20.2	.3	.2	SW	2
12-Abr-2013	31.2	18.4	19.2	30.2	21.8	18.2	22.8	20.6	0	0	SW	4
13-Abr-2013	25.9	17.6	21.7	25	20	20.6	21.9	19.4	0	.8	SW	4
14-Abr-2013	31.4	18.4	18.5	30.8	21	18	22.4	18.3	0	0	E	4
15-Abr-2013	30	18.6	19.6	29.6	21.8	19.2	21.8	19.6	0	0	W	4
16-Abr-2013	30.6	19.4	19.4	29.4	21.6	18.8	22.6	19.8	0	0	W	4
17-Abr-2013	29.4	18.4	19.2	28.6	19.8	18.6	21.6	19.4	11.1	14.4	SW	2
18-Abr-2013	29.4	17.6	19.6	28	20.4	18.6	21.2	18.8	7.8	0	SW	4
19-Abr-2013	29.8	16.2	16.4	28.4	20.8	15.2	21	18.8	0	0	W	2
20-Abr-2013	30.6	15.6	15.8	29	20.8	14.8	20.8	18.2	0	0	W	2
21-Abr-2013	29.2	15.8	17.6	27.8	21.2	16.2	22.4	19	0	0	SW	4
22-Abr-2013	30.4	15.6	17.8	29.8	20.8	16	21.6	19	0	0	W	4
23-Abr-2013	29.4	17.8	19.6	28.2	21	18.6	20.4	18.6	0	0	SW	4
24-Abr-2013	29.5	17.8	19	28.6	21.5	18.2	21	18.1	0	0	SW	4
25-Abr-2013	28.6	16.8	18.2	27.8	22	17.4	21	18.6	0	0	SW	4
26-Abr-2013	30.6	18.4	19.4	30.2	21.8	18.6	20.2	18.8	0	0	W	2
27-Abr-2013	28	19.4	19.8	27	21.4	17.8	21.6	18.8	0	0	W	2
28-Abr-2013	30.8	18.6	19.8	29.4	21.2	18.6	22.8	18.4	0	0	W	2
29-Abr-2013	29.4	17.4	17.8	26.6	22	16.8	20.4	19.8	0	0	SW	4
30-Abr-2013	31.2	16.8	17.2	30.4	22.4	16	21	19.2	0	0	W	2

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadistica
* Informacion sin Control de Calidad
* El uso de esta Informacion es bajo su entera Responsabilidad

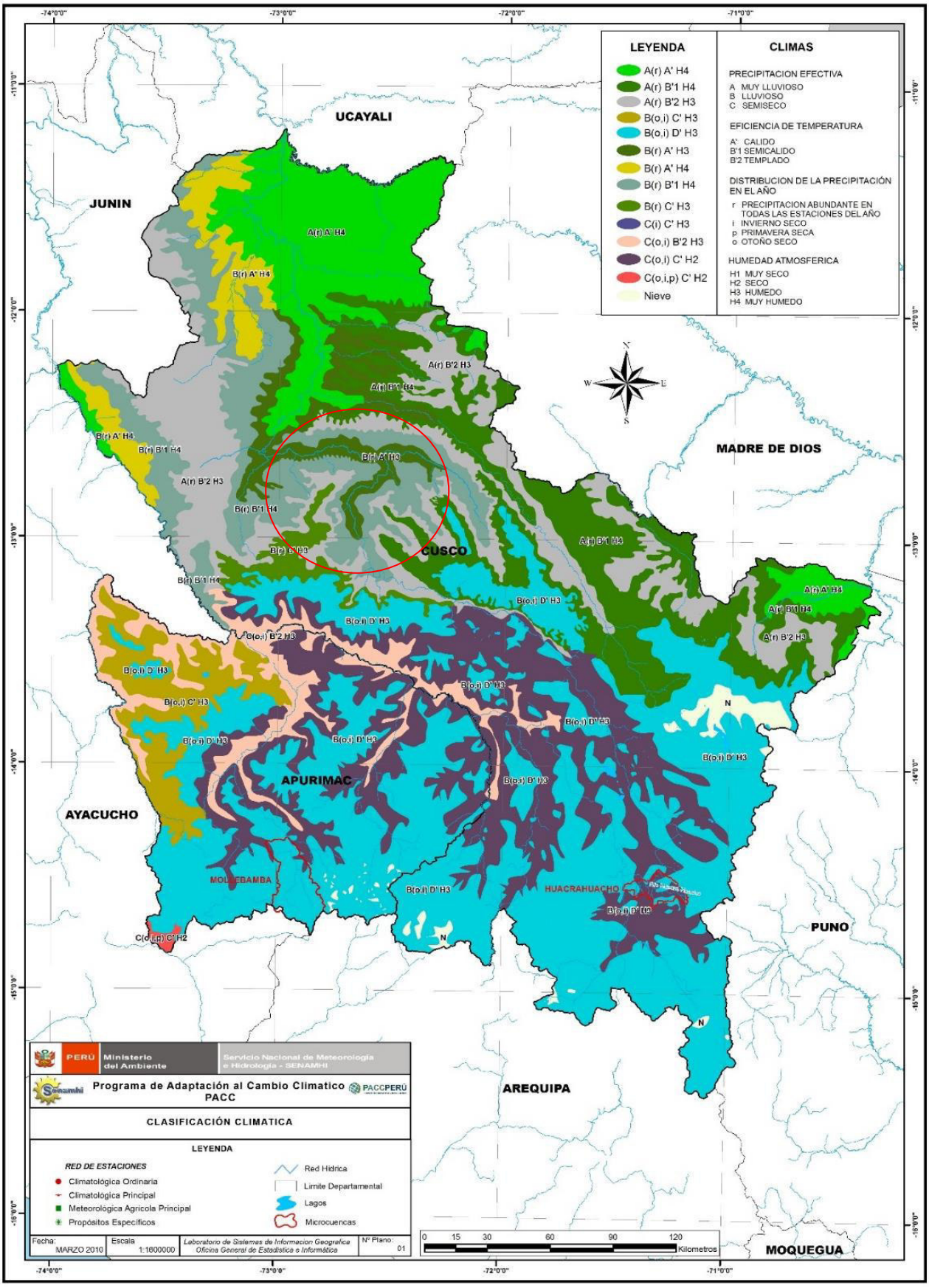


Figura 10: Mapa de clasificación climática de la región Cusco, (SENAMHI, 2010).

4.4 Vegetación

Los tipos de vegetación presentes en la zona según INRENA, (1996) son:

- Bosque Húmedo de Montañas: el relieve en donde se desarrollan es montañoso escarpado, se caracteriza por su complejidad florística (epifitas, hierbas, lianas, arbustos y árboles). Los bosques cambian de fisonomía según se asciende, y se hacen menos exuberantes; los árboles son más delgados, retorcidos y de menor altura como se observa en la figura 11.

-La deforestacion es un problema que presenta este valle, inicialmente constituían bosques primarios, que sufrieron daños irreversibles por efectos de la agricultura migratoria. En estos terrenos se encuentran centros poblados urbanos y rurales, con cultivos anuales y permanentes, pastos y en el peor de los casos en procesos de degradación. Esta zona la podemos encontrar a lo largo del valle del río Ocobamba.



Figura 11: Bosques de arbustos y árboles en las laderas del cerro Ocobamba.

5. Aspectos geomorfológicos

El relieve de la superficie terrestre que presenta la localidad de Kelcaybamba es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas que se suscitaron a través del tiempo, las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones producidas, fundamentalmente por movimientos de componente vertical que es afectado por la tectónica Hercinica, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a erosionar el relieve, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa, agrupándose en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación.

La geodinámica externa como el deslizamiento suscitado en esta localidad es producto de diversos elementos, entre ellos, la configuración morfológica y evolución de las laderas y en la cual las pendientes juegan un papel determinante, para que se genere este tipo de eventos.

Las características de las geoformas presentes en las inmediaciones y alrededores de Ocobamba, en relación a su origen y procesos que modifican el relieve actual, son descritas en base a las herramientas computacionales como: los sistemas de información geográfica (SIG) que han permitido elaborar un mapa geomorfológico, (Anexo 03 **Mapa 02**) a fin de reconocer las características topográficas del terreno y delimitar las unidades geomorfológicas, estas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo**.**

5.1 Unidades geomorfológicas

La descripción de las unidades geomorfológicas existentes en la zona de investigación y sus respectivos orígenes, se toma en cuenta los factores como pendiente tales del terreno y el agente geológico que intervino en el modelado de la superficie.

En el área de estudio se han diferenciado tres unidades geomorfológicas: lecho fluvial, terrazas aluviales y montaña, en base a los criterios geográficos y morfo-estructurales, los cuales se describen a continuación.

Tabla 10: Tipos de modelados de las diferentes unidades y el área en porcentaje que presentan.

MODELADO	TIPO DE PAISAJE	UNIDAD	AREA (%)
Erosional	Fluvial	Lecho fluvial	10%
		Terrazas aluviales	30%
Estructural	Montañoso	Montaña	60%

5.1.1 Origen Erosional

Los procesos de erosión implican movimiento y transporte de los materiales, modifican el relieve, interviniendo en este proceso agentes como el agua y el viento.

5.1.1.1 Lecho fluvial

Esta unidad se formó principalmente por la acción erosiva del agua del río Ocobamba, abarca el 10% del área de estudio y presenta 10 metros de ancho, la fotografía muestra el lecho fluvial del rio fue tomada en la época de estiaje (agosto) como se observa en la figura siguiente.



Figura 12: Vista del lecho fluvial del río Ocobamba donde se observa cantos rodados de composición metamórfica e ígnea.

5.1.1.2 Terrazas

Presenta terrazas de origen aluvio-coluvial producto de la depositación de antiguos deslizamiento, aluviones y de la meteorización de las rocas in situ, cuyos límites ocupan ambos márgenes del río Ocobamba, son constantemente erosionadas por los cambios en la carga fluvial y el caudal del río. Estas terrazas tienen un espesor de 15 m aproximadamente estimada por los ensayos de resistividad eléctrica vertical.



Figura 13: Terraza ubicada en la margen derecha del río Ocobamba, sobre la cual se asienta la localidad de Kelcaybamba y donde se produjo el deslizamiento.



Figura 14: Terraza ubicada en la margen derecha del río Ocobamba, con pendiente de 80 grados con respecto a la horizontal.

5.1.2 Modelos estructurales

Se encuentra relacionado a la actividad tectónica principalmente, se tiene la siguiente unidad geomorfológica:

5.1.2.1 Montaña

Esta unidad se formó por agentes endógenos (tectónicos), representa el 60% del área de estudio, con elevaciones que se encuentran entre los 1375 y 1805 m.s.n.m. La parte inclinada de la montaña recibe el nombre de ladera, conformada por depósitos coluviales debido a la intensa erosión in situ por la acción del agua de escorrentía. Las laderas se encuentran rodeando a la localidad de Kellcaybamba, con pendientes de moderadas a pronunciadas que van desde los 40° hasta los 70°, se encuentran cubiertas por densa vegetación.



Figura 15: Zona de montaña ubicada hacia el Sur de la localidad de Ocobamba.



Figura 16: Ladera de montaña, fotografía tomada desde el deslizamiento de la localidad de kelcaybamba.

6. Aspectos geológicos

El estudio de la geología ayuda a conocer las causas que generaron el deslizamiento en la localidad de Kelcaybamba, puesto que proporciona información petrología, estratigrafía, estructuras, condiciones sedimentológicas en las que se encuentran actualmente y como estas reaccionan ante la meteorización-erosión.

En este ítem se describe el contexto geológico desde el punto de vista regional y local de la localidad en mención, anexo 03 **Mapa 03**.

6.1 Geología Regional

La zona de investigación está ubicada en la Carta Geológica de Perú a escala 1:100,000 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET en el cuadrángulo de Quebrada Honda, Hoja 26-r, compuesta de rocas metamórficas del paleozoico, donde se encontraría las unidades litoestatigraficas como la Formación Ananea, Sandia y el Grupo san José Conformada por la Formaciones Iparo y Purumpata o Yanahuaya. Estos fueron descritos por Salas, Chávez y Cuadros (1999).

6.2 Tectónica

La tectónica que sufrió el Grupo San José, es llamada la Tectónica Hercínica, causando un conjunto de deformaciones que han afectado al basamento paleozoico, entre fines del Devónico superior y la transgresión del Triásico medio marcando los inicios del ciclo andino.

En la región de Cusco la orogénesis Hercínica se ha manifestado por dos fases tectónicas, las que se han sido en el Devónico medio superior y en el Pérmico medio, los cuales han afectado en la zona en estudio al basamento metamórfico y a toda la secuencia paleozoica según Morocco y Pastor (1982).

La tectónica que ha sufrido las rocas del Grupo san José genero diaclasas, fallas, plegamientos y esquistosidad en las rocas presentes en la localidad de Kelcaybamba.

Para entender el comportamiento del cuerpo de roca sometido a esfuerzos que presentan tres planos en este caso pizarra, perpendiculares entre sí, en los que hay solamente esfuerzo normal (σ). Son denominados esfuerzos principales. El de mayor valor es llamado esfuerzo principal máximo (σ1), el de menor valor esfuerzo principal mínimo (σ3) y el tercero tiene un valor intermedio y constituye el esfuerzo principal intermedio (σ2).

Los planos de cizallamientos son representados por ejes de esfuerzo, descritas por las sigmas primarias σ1 y 2, secundario sigma 3, que indican el grado de esfuerzo distribuido en cada plano.

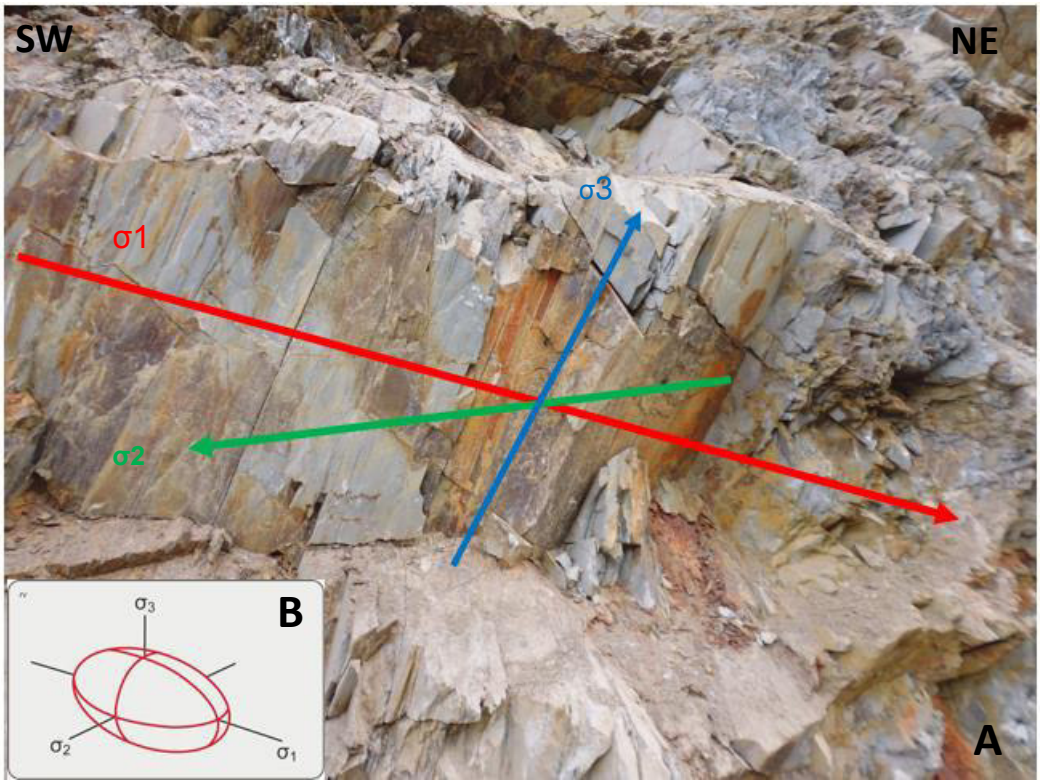


Figura 17: **A**: Representación de los ejes de esfuerzos de las rocas metamórficas pizarrosas, foto tomada en la parte superior de la localidad de Kelcaybamba; **B**: Elipsoide de esfuerzos.

6.3 Geología Local

La geología de la localidad de Kelcaybamba, está conformada principalmente por rocas pizarrosas del Paleozoico, que fueron modeladas por fases tectónicas distensivas y compresivas que se generaron hasta la actualidad, dando como resultado fracturamientos de las rocas y esquistosidad (ordenamiento en láminas con superficies paralelas entre sí, de los minerales, generados por fuerzas compresivas tangenciales) donde las rocas al sufrir proceso de erosión y depositación, se encuentran como cobertura formando depósitos cuaternarios sobre estas.

La localidad de Kelcaybamba, de acuerdo a la cartografía geológica del cuadrángulo de Quebrada Honda (Salas, 1999), está constituida por la Formación Iparo del Grupo San José del periodo Ordovícico, conformada por pizarras de color negro a marrón oscuro o gris acero.

La litoestratigrafía se ha reconocido en base al cartografiado de los afloramientos rocosos y cortes de ladera observados en los alrededores e inmediaciones del deslizamiento de Ocobamba, son graficados y descritos en la figura siguiente, anexo 03, **Mapa 04** y la tabla 11.

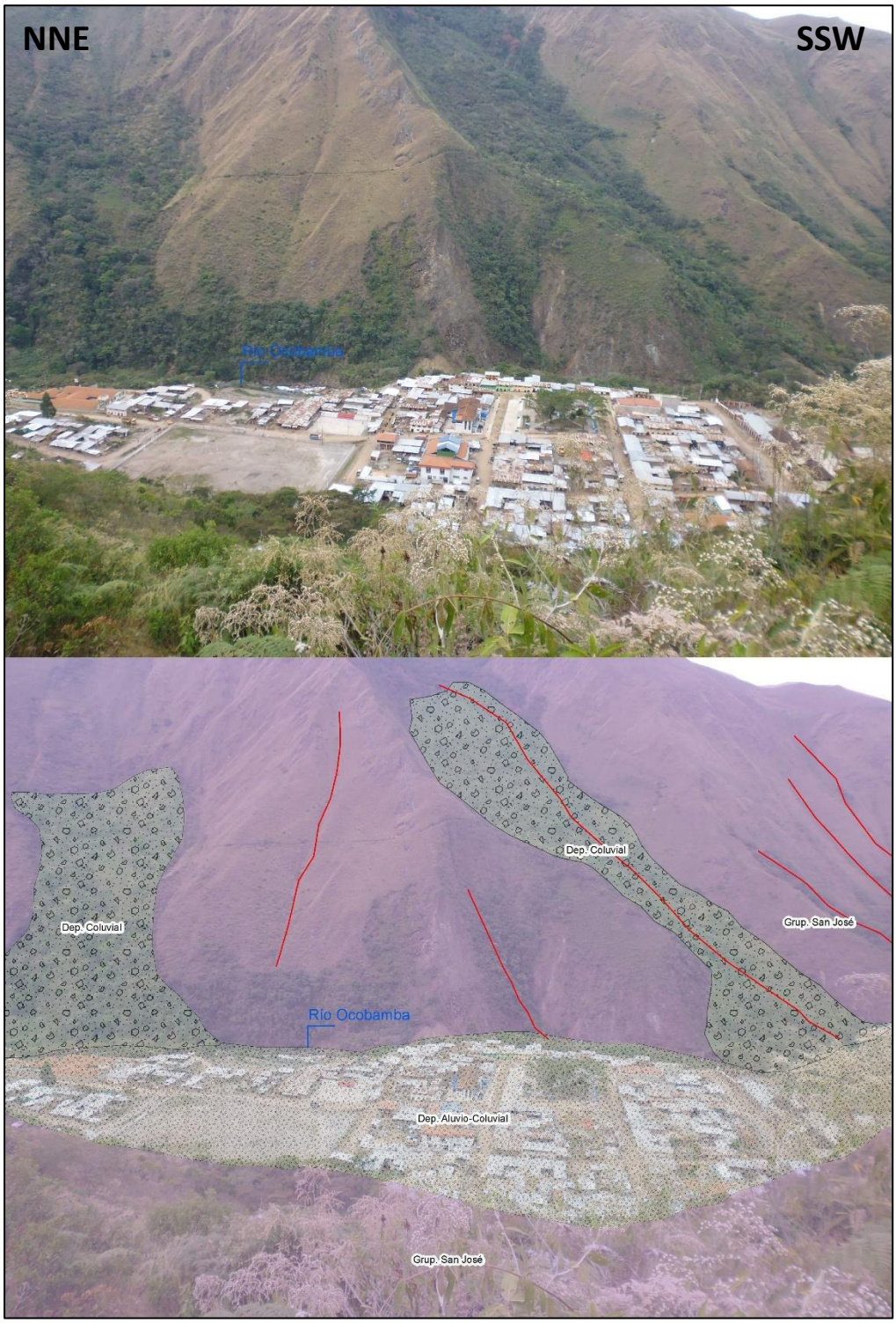
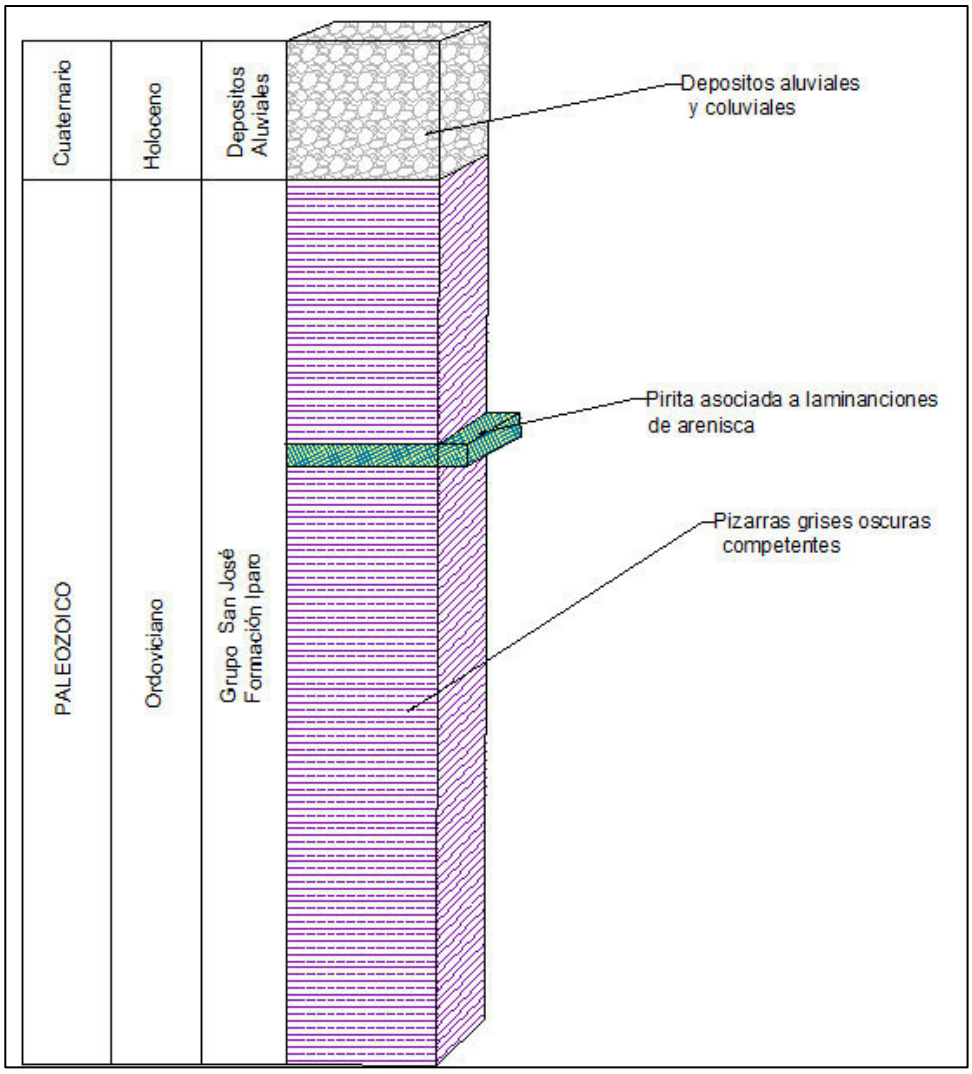


Figura 18: Unidades litoestatigráficas de la localidad de Kelcaybamba: depósitos aluvio-coluviales y la predominancia de las pizarras del Grupo San José.

Tabla 11: Columna estratigráfica localizada en la localidad de Kelcaybamba (INGEMMET ,1999).



6.3.1 Grupo San José (Om-sj)

Inicialmente fue descrita como Formación San José por Laubacher (1974) y posteriormente elevado a grupo por De la Cruz (1996) y se divide dos formaciones: La Fm. Iparo en la parte inferior y la Fm. Purumpata en la parte superior y en la localidad solo aflora la primera formación mencionada.

6.3.1.1 Formación Iparo

Está conformada por pizarras de color negro a marrón oscuro o gris acero, presentan un contenido notorio de pirita cúbica. Tiene más de 2000 m de grosor, y presenta una esquistosidad tipo clivaje moderado, que hace que se partan en lajas de 2 a 5 cm de grosor con pliegues simétricos.

La meteorización que afecta las rocas aflorantes dan una coloración gris plomiso, con costras pardas amarillentas de azufre y óxido de fierro

Las rocas pizarrosas se disponen en estratos métricos y laminados de 4 a 6 cm de grosor. Se encuentran intensamente fracturadas con una orientación N 355° y buzamiento 85° SW.



Figura 19: **A:** Rocas metamórficas fracturadas de orientación N 355° y buzamiento 85°SW; **B**: Inclinación de las diaclasas ; **C**: Bloque diagrama de inclinación.

6.3.2 Depósitos Cuaternarios

Comprenden materiales recientes que han sido originados en los últimos 2.5 millones de años, que han sido transportado y depositados u originados por procesos de meteorización in situ, entre los cuales se tiene:

6.3.2.1 Depósitos aluviales (Q-al)

Los depósitos que presenta esta localidad son producto del transporte, están conformados principalmente por gravas y bloques subangulosos a angulosos, presentan matriz limo-arcillosa poco consolidada, se localizan en las laderas de montaña ubicadas en ambos márgenes del río Ocobamba.



Figura 20: Depósito aluvial compuesta de cantos rodados con matriz arcillosa, localizado alrededor del deslizamiento.

6.3.2.2 Depósitos fluviales (Q-fl)

Se encuentran distribuidos a lo largo del cauce del río Ocobamba, están conformados por gravas redondeadas y arenas de grano medio a fino e intercaladas con depósito aluviales.



Figura 21: Depósitos fluviales de cantos rodados al margen del río Ocobamba.

6.3.2.3 Depósitos proluvio-aluviales (Q-proal)

Conformados por fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), envueltos en matriz arcillo-limosa, se encuentran depositados en el fondo de valle tributario y conos deyectivos, en la confluencia entre quebradas tributarias al río Ocobamba.

6.4 Metamorfismo del substrato

El metamorfismo regional que sufrió el Grupo San José, es un proceso geológico que produjo cambios en la mineralogía y/o la textura estructural de las rocas en estado sólido.

El substrato rocoso donde se produjo el deslizamiento tuvo como protolito una roca llamada arcillita que al metamorfisarse por variaciones de la presión y temperatura en menor medida y la presencia de una fase fluida generado por la actuación de esfuerzos tectónicos en este caso la Orogenia Hercinica, formando así la roca metamórfica de tipo regional llamada pizarra.

La presión y la temperatura son los factores principales del metamorfismo, mientras que los otros factores citados por no estar siempre presentes actuando como catalizadores y favoreciendo las reacciones metamórficas.

El proceso metamórfico cambia estructuralmente los minerales, sufren una orientación perpendicular al esfuerzo al que están sometidas, agrupando en micro cristales en bandas presentando una esquistosidad, esto se puede observar en las rocas de la localidad de Kelcaybamba.

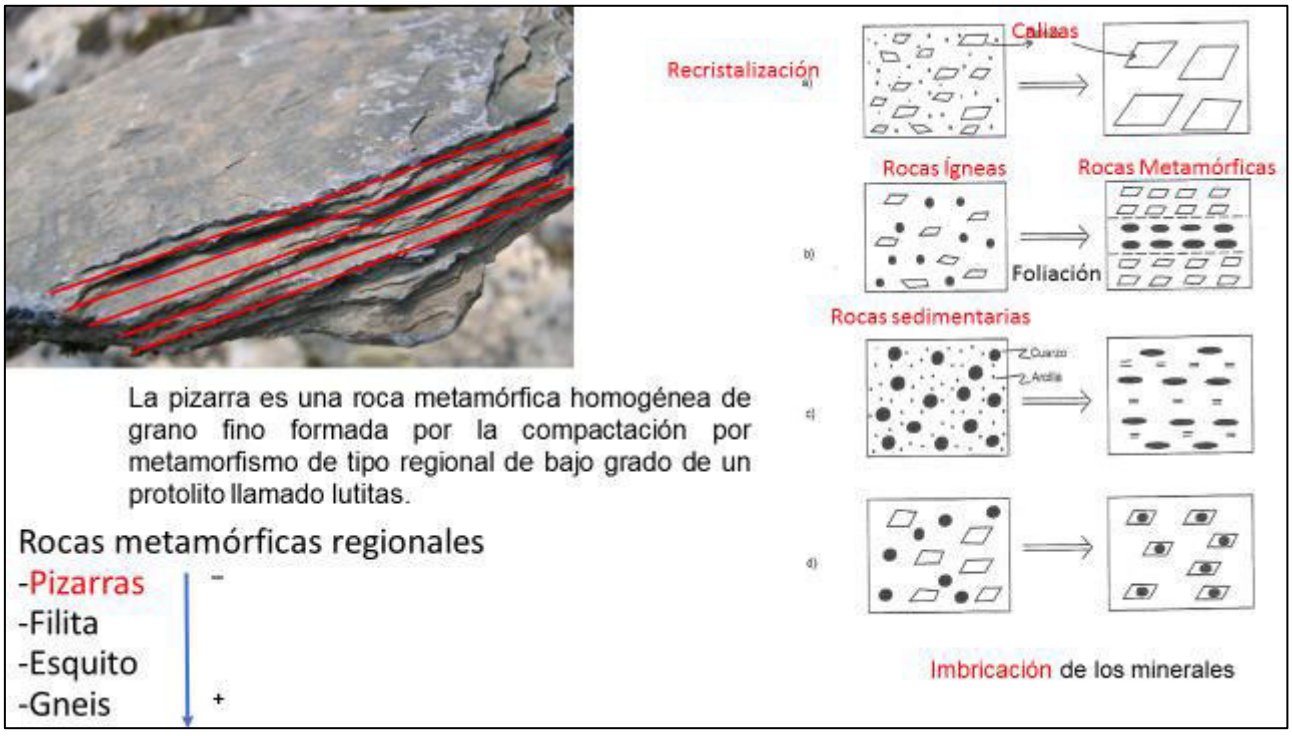


Figura 22: Imbricación de los minerales de un protolito, sometida a altas presiones, temperaturas y fluidos químicamente activos agrupando en bandas (IUGS Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Metamórficas, 2002).

Las rocas metamórficas pizarrosas presentan foliación por orientación preferente de los minerales planares (filosilicatos) y son fácilmente fisibles estas rocas adquieren esa estructura por la presión en la que han estado sometida.

6.5 Procesos de meteorización en rocas metamórficas

La susceptibilidad de las rocas metamórficas al sufrir procesos de meteorización química y física está en función de la mineralogía, textura, presencia de fracturas y su grado de fisibilidad, aumentando cuando el tamaño del grano es irregular, lo cual presenta el Grupo San José. Sin embargo, se considera que el control dominante en el modo de meteorización de esta roca es la agua y la temperatura, al igual que el rápido cambio de dichas variables durante el día esto basándose en lo propuesto por Ollier, (1984).

Las rocas metamórficas del Grupo san José al presentar una esquistosidad alto grado de fracturamiento por el proceso tectónico Hercínica en las que han sometidas y estas al contacto con las aguas pluviales o subterráneas que proporcionan una humedad constante sumados a estos los factores ambientales generan la disgregación de estas pizarras por presentar capas fisibles convirtiéndolos en arcillas de composición ferrosa y alumínica.



Figura 23: Proceso de meteorización de las rocas metamórficas y como se convierten en saprolito.



Figura 24: Pizarra en proceso de meteorización, foto tomado en parte alta del poblado de Ocobamba.



Figura 25: **A**: Pizarra en proceso de meteorización; **B**: Alteración de la moscovita a hidromoscovita por un proceso de meteorización en la localidad de Kelcaybamba-Ocobamba.

En la zona de transición de roca a suelo se encuentra un horizonte saprolito, la creación de este se debe que se encuentra en un ambiente de alta meteorización y alteración.

Para entender el perfil de meteorización de las zonas de estudio se realizó las comparaciones de los diferentes tipos de rocas en proceso de convertirse a suelos.

El perfil de meteorización de la zona de transición roca metamórfica a suelo, es descrito también por diferentes autores, relacionándolos y comparándolos con diferentes tipos de litologías, en

este caso tenemos con las rocas ígneas, sedimentarias metamórficas. Deere y Patton, (1971) compara con las rocas ígneas, donde muestran la diferencia en la disposición de la estructura de roca sana a suelo residual y Sowers, (1988) compara el granito con la pizarra, donde la roca metamórfica presenta un saprolito muy bien delimitado a diferencia de la roca ígnea (granito), estas diferencias son descritas a continuación:

El tipo de roca y la mineralogía que está presenta es importante ya que dé él depende el tipo de material de suelo, por ejemplo, las rocas ígneas son muy ricos en sílice, feldespatos, plagioclasas y máficos, estos al descomponerse generan suelos granulares arcillosos, típico suelo de un intrusivos granítico.

Rocas sedimentarias calcáreas presentan un proceso de disolución al meteorizarse y las areniscas al presentar durezas altas por su composición cuarzosa y son más competentes que las arcillitas, que presentan una estratificación laminar, debido al proceso de diagénesis en la que han estado sometidas.

En conclusión, los saprolitos provenientes de rocas sedimentarias, piroclástico o ígneas y metamórficas, presenta diferentes propiedades físicas y he influirían de acuerdo a estos en la inestabilidad de las laderas según la hipótesis que el saprolito influyen en estado saturado.

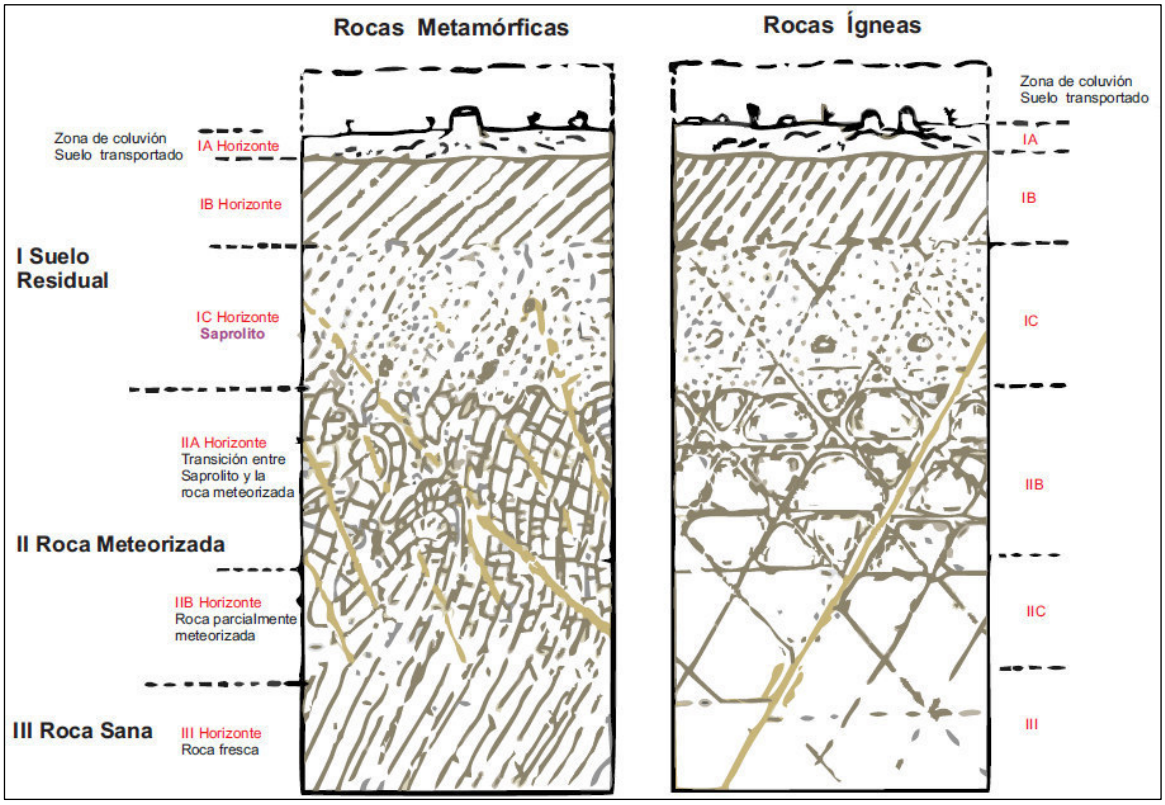


Figura 26: Perfil de meteorización para rocas ígneas y metamórficas, (Deere y Patton, 1971).

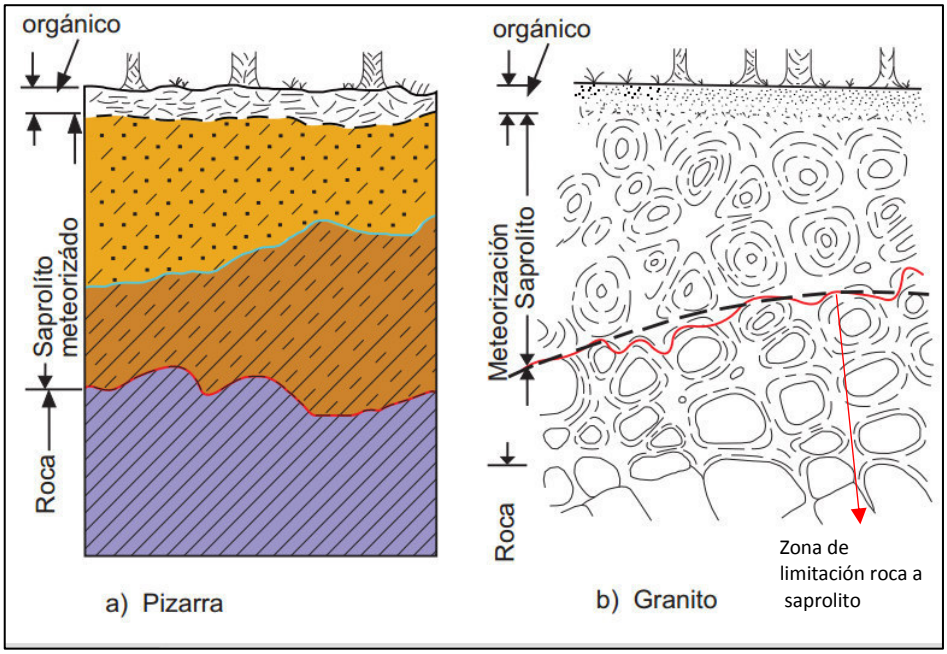


Figura 27: Los perfiles de meteorización varían de acuerdo con la litología. (a) Pizarra. (b) Granito, (Sowers, 1988).

6.6 Saprolito de origen metamórfico pizarroso

La formación del saprolito de origen metamórfico en la localidad de Kelcaybamba es un proceso isovolumétrico (volumen permanece constante) pero la mitad de la masa de la roca pizarrosa se pierde por lixiviación de sílice, hierro y aluminio esto basándose en lo propuesto por Fookes, (1997); Voicu & Bardoux, (2002), para la clasificación y modelo de perfil de meteorización donde se encontraría el saprolito en esta localidad se basó según el perfil de Deere & Patton (1971) donde el saprolito correspondiente al horizonte IC, con menos del 10% de bloques de roca, según Anon (1990) el saprolito se define como el manto meteorizado que se comporta en general como un suelo en términos geotécnicos y que presenta rasgos texturales y estructurales de la roca madre.

El proceso de meteorización de rocas pizarrosas, en la cual se genera este horizonte saprolito en la localidad de Kelcaybamba es debido a la rápida desintegración y alteración de las rocas metamórficas por presentarse fracturadas, con esquistosidad y a su composición mineralógica con presencia de micas como la moscovita, biotita y otros; que contienen filosilicatos (son un tipo de silicatos capaces de retener grandes cantidades de agua por absorción), como la moscovita, tienen estructura atómica en capas, en las cuales las moléculas de agua son fáciles de ingresar, transformándolas en arcillas, un ejemplo es la trasformación de la moscovita a hidromoscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ (moscovita) + H_20 (agua) = $(K,H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$ (Hidromoscovita), que presenta la estructura cristalina y viene hacer la transición hacia la estructura de la montmorillonita y/o caolinita, esto ocurre al contacto con el agua, producto de la hidratación.

Esto proceso de formación del saprolito radica su importancia en la localización geográfica, climática y el tiempo en la que está expuesta sobre agentes de meteorización debido a que un saprolito de roca pizarrosa se comporta de diferente manera en climas cálido-lluvioso-húmedo como en el caso de la zona de estudio a diferencia de climas seco- serrano.

Esto debido al grado de meteorización que en el clima tropical es mayor que en otros climas; en casos excepcionales en zonas de climas secos se generaría saprolito debido al constante contacto de las rocas pizarrosas con las aguas subterráneas de las napas freáticas saturándolas.



Figura 28: Arcilla formada por la alteración de las pizarras en la localidad del Kelcaybamba.



Figura 29: Alteración de la moscovita a hidromoscovita por un proceso de meteorización.

Por lo tanto, este horizonte meteorizado se encuentra en el contacto roca suelo del deslizamiento, está conformado por arcillas de tipo illita en donde los minerales primarios se han transformado in situ con la preservación de estructura y la textura de la roca pizarra, según la definición de meteorización de Velbel (1985).

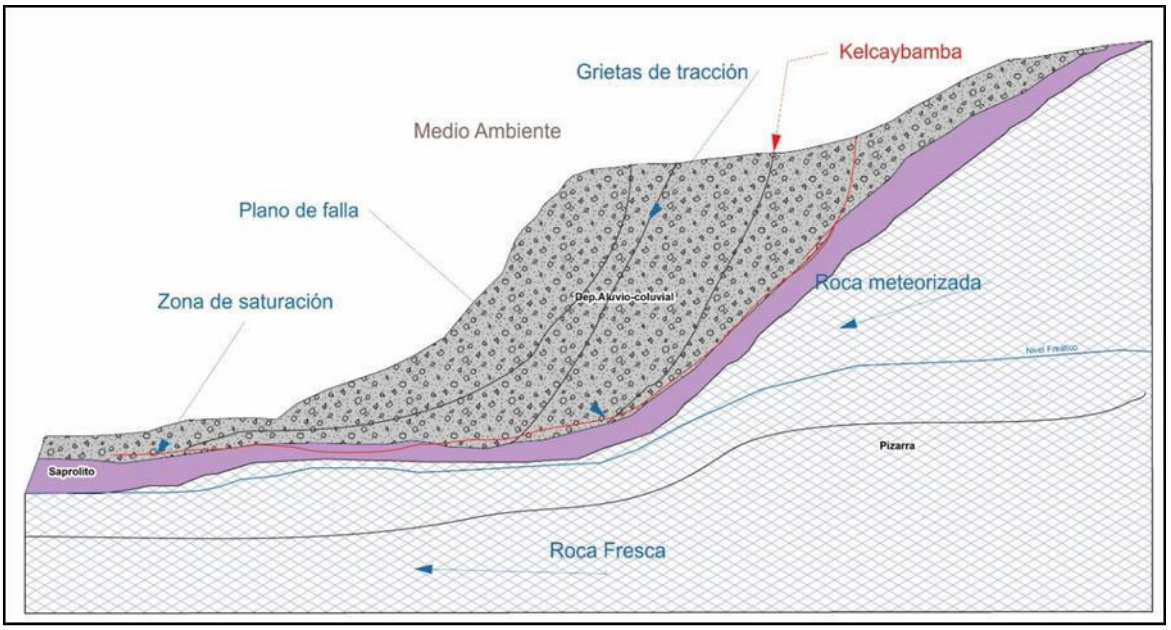


Figura 30: Perfil donde se encuentra asentado el poblado como se encuentra distribuido el horizonte arcilloso (saprolito) y como se desarrolla las superficies de fallas.

Perfil de disposición de la roca pizarra, depósito aluvio-coluvial donde se observa cómo se encuentra el saprolito y por donde se generó las superficies de falla es representado en la figura anterior. El horizonte saprolito de la meteorización de la roca pizarrosa en el deslizamiento de la localidad de Kelcaybamba se puede observar cómo se encuentra dispuesto y el papel que cumple en la generación de este evento geodinámico.

7. Aspecto geodinámico

El deslizamiento que se generó en la localidad de Kelcaybamba es de tipo rotacional (cóncavo) en bloque retrogresivo donde la definición de este tipo de desplazamiento es descrita según la clasificación de Varnes, 1978; Cruden y Varnes, 1996; Corominas y Yagüe, 1997.

El mecanismo de deslizamiento que se generó dependió de las propiedades geométricas, físicas naturales y mecánicas laboratorios (es decir, el tamaño de partícula, la presión de poros, la cohesión, ángulo efectivo de fricción interna, el espesor del suelo, ángulo de la pendiente, densidad aparente, saprolito entre otros), hidrogeológicas (contenido natural de agua en los poros, el grado de la saturación en cada horizonte).

El deslizamiento que se produjo en esta localidad se graficó con los parámetros propuestos por la geofísica que se describirán en el sub capítulo 9, presentando perfiles antes y después del desplazamiento de tierra pendiente abajo sobre el río Ocobamba.



Figura 31: Material desplazado por el deslizamiento donde se observa el superficie de falla y el saprolito entre el contacto del suelo.

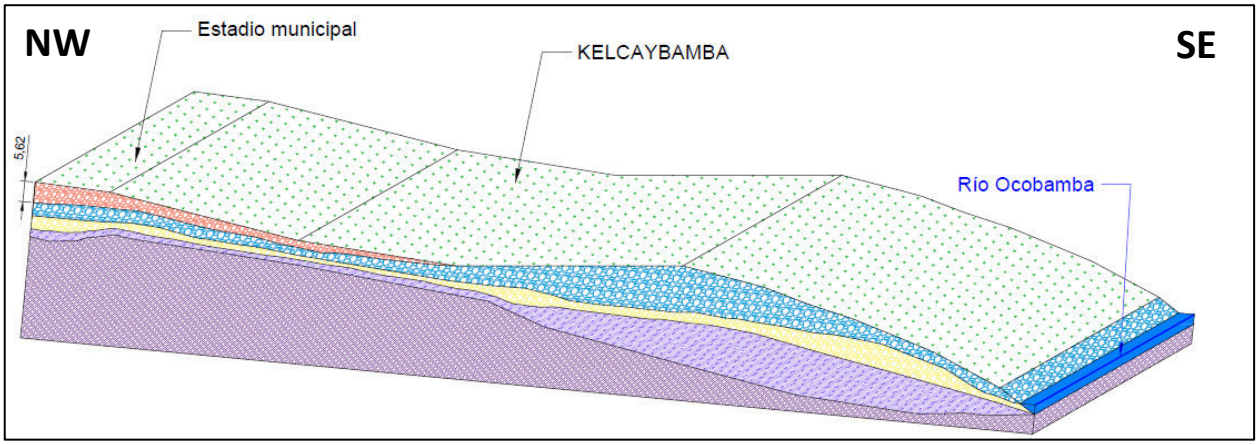


Figura 32: Perfil de la localidad de kelcaybamba, antes de generarse el deslizamiento.

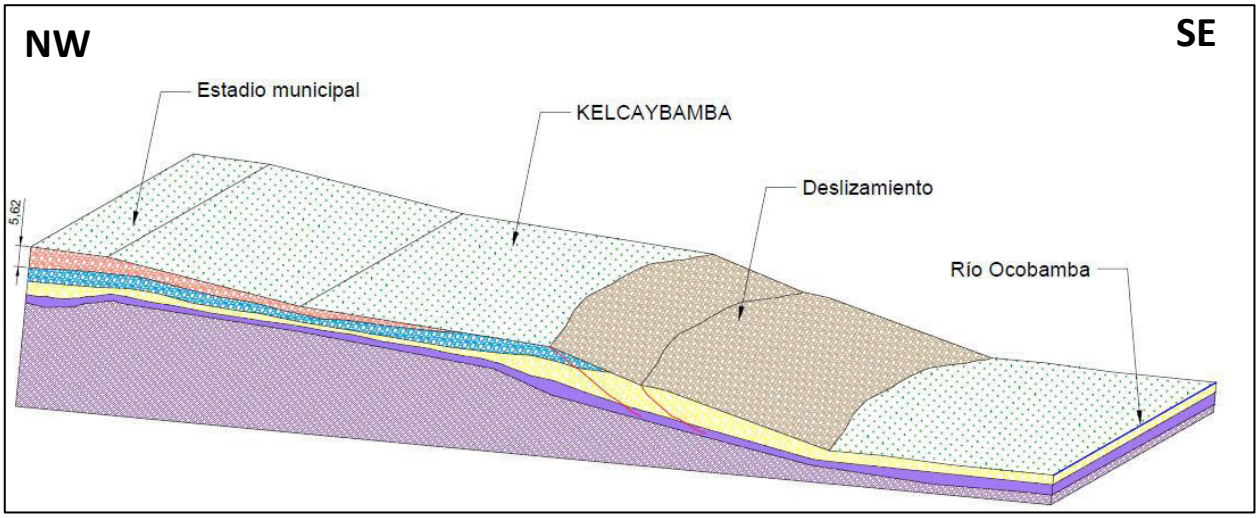


Figura 33: Perfil de la localidad de kelcaybamba, después de generarse el deslizamiento.

Según el perfil presentado por Suarez, (2009) es un modelo clásico de deslizamientos donde la disposición de los suelos se encuentran superpuestos a un horizonte de meteorización donde las propiedades del substrato rocoso se encuentra muy fracturado y como se encuentra en una ladera diferenciando el comportamiento de la roca al ser permeable e impermeable como se observa en la figura siguiente, el desplazamiento de los suelos se da sobre una superficie de falla delimitadas por el suelo y roca; este caso se dio en la localidad de Kelcaybamba donde el desplazamiento de los suelos se da sobre el saprolito de origen metamórfico pizarroso muy fracturada donde se generó la superficie de falla.

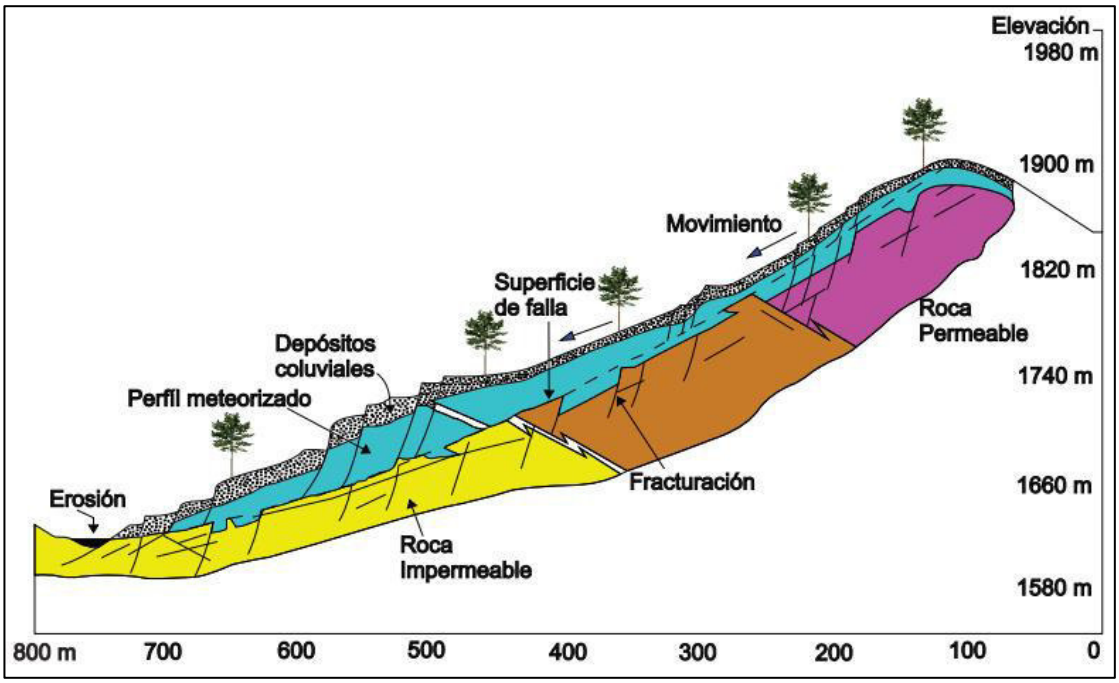


Figura 34: Localización de la superficie de falla y las características litológicas, estructurales y el perfil meteorizado donde se genera el movimiento (Suarez, 2009).

El deslizamiento de tipo rotacional (cóncavo) suscitado en el 2013 en la localidad de Kelcaybamba, presento al inicio de su evolución grietas tensionales o de tracción de 4 m de profundidad, apertura de 0.5 m y de largo de 20 m como se puede observar en la figura siguiente.



Figura 35: Grietas tensionales en las calles de la localidad de Kelcaybamba, dañando las infraestructuras como casas, sistema de alcantarillado, agua y luz.

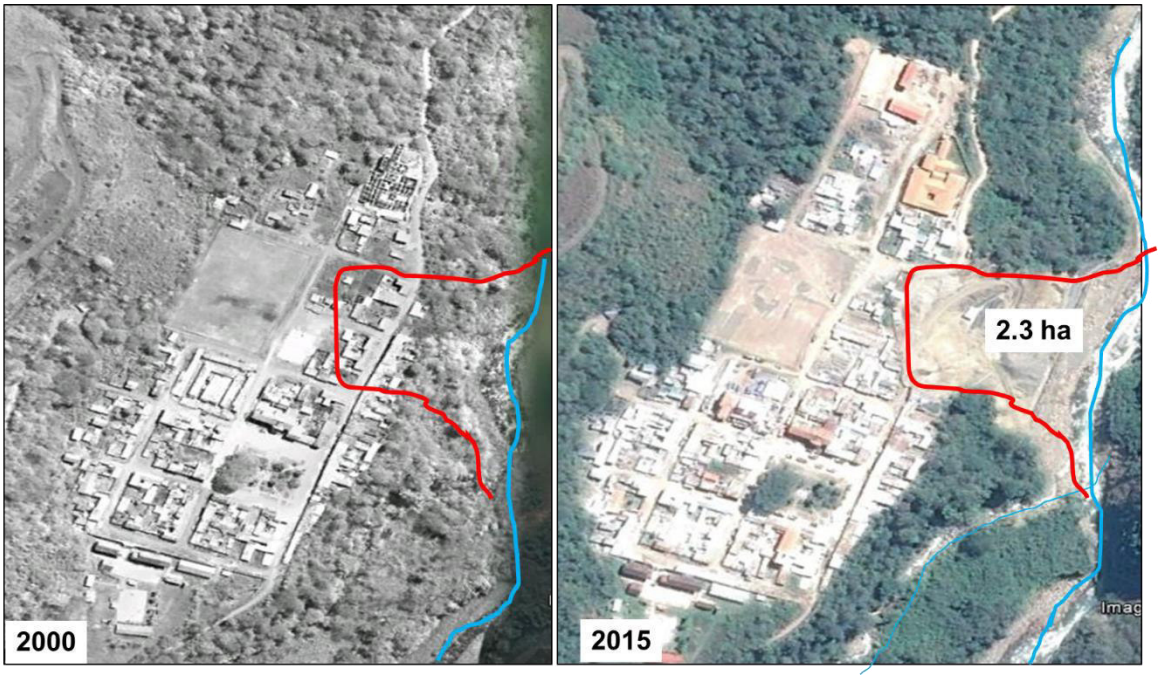


Figura 36: Imagen satelital de la localidad de Kelcaybamba en el año 2000 y 2015, observándose el deslizamiento rotacional en la parte baja de la población.

Las imágenes anteriores muestran el área que abarca la zona afectada por el deslizamiento.

La evolución del deslizamiento rotacional que se produjo en la localidad de Kelcaybamba empezó a gestarse con grietas tensionales o de tracción, procediendo al desplazamientos del suelos localizado en la parte inferior de la ladera al margen derecho del rio Ocobamba como se puede apreciar en la segunda imagen, al desplazarse todo el material se creó una superficie de cizalla en la parte superior del deslizamiento de 5 m aproximadamente, posteriormente estos materiales de suelo fueron transportado por el río y determinando la geomorfología como se puede apreciar en la actualidad descrita en la imagen izquierda de la figura anterior.

En las figuras siguientes, en las dos imágenes se aprecia una zona de color plomo oscuro en la parte inferior del suelo, este vendría a ser el horizonte de transición saprolítica, propuesta en esta tesis para ocurrencia de deslizamientos en rocas metamórficas.

.



Figura 37: Fotografías de la localidad de Kelcaybamba en el año 2013, en la imagen izquierda se observa el deslizamiento antes del 13 de abril e imagen derecha después del 13 de abril, donde el saprolito está representada por color rojo.

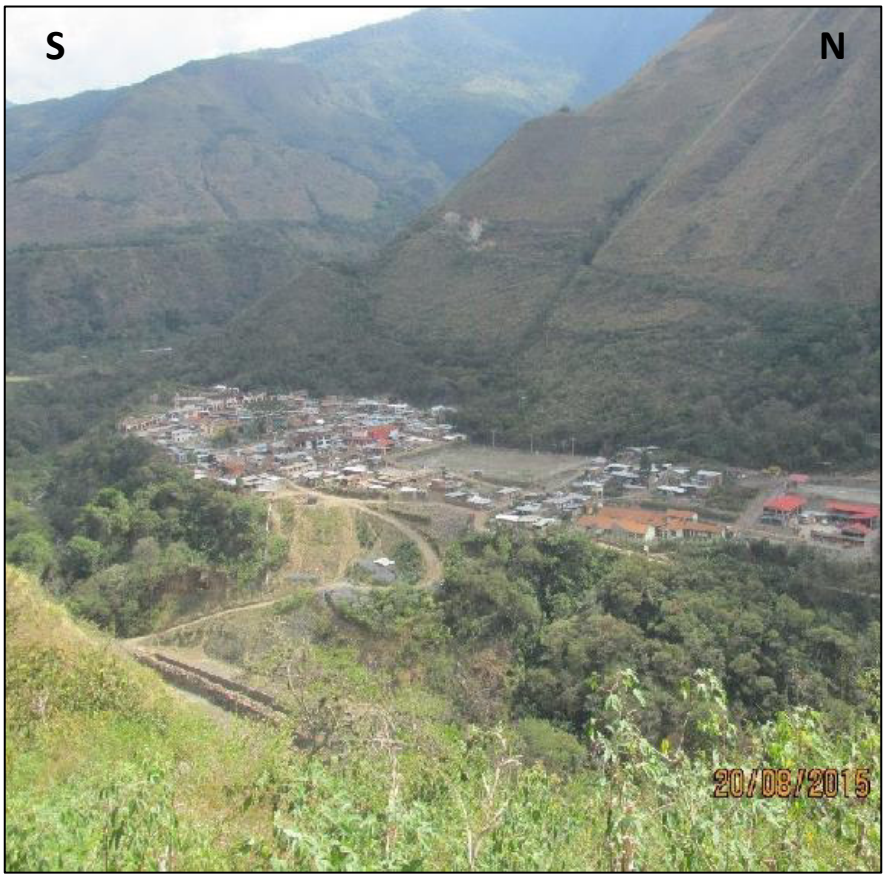


Figura 38: Fotografía de la localidad de Kelcaybamba en el año 2015, donde observa el equilibrio natural que presenta esta ladera.

Evaluar las características físicas de la zona como la geología, geomorfología y geotecnia, en el cual este último evalúa las propiedades de los materiales inconsolidados suprayacentes a basamentos pizarrosos con el propósito de conocer el origen la forma como se desplazan estos suelos generando así un deslizamiento son realizados y propuestos en esta tesis.

8. Aspectos geotécnicos

Conocer la composición de los suelos de la localidad de Kelcaybamba donde se produjo el evento geodinámico, obtener las propiedades físicas como actúan estos materiales ante la compresión, tracción y la interacción con el agua, permitió analizar el comportamiento dinámico del deslizamiento.

Estas propiedades físicas de los materiales en esta localidad influyeron en la percolación del agua en el suelo (permeabilidad) y en la capacidad para retener liquido (absorción). Así estos suelos aluviales, coluviales y de meteorización de las pizarras al ser más finos (arcillas) tienden a retener un mayor volumen de líquido bajo condiciones no-saturadas donde sus equivalentes de textura gruesa esto según lo propuesto por Sidle, (1984). Otro parámetro del suelo que contribuyó a la ocurrencia del deslizamiento de tierra, es la velocidad a la que se infiltra el agua en el suelo a una determinada profundidad, según lo propuesto por Inganga-Ucakuwun, (2001).

Para conocer la dinámica del deslizamiento que se produjo en la localidad de Kelcaybamba, se realizaron ensayos geotécnicos de los suelos suprayacentes de profundidad aproximada de 6 metros determinando las propiedades, donde se produjo el evento y su alrededor, para ello se realizaron prospección, muestreo de calicatas, DPL y ensayos de densidad.

Al conocer estas propiedades de los horizontes de los suelos como generadores de inestabilidad de la ladera se tuvo que investigar el comportamiento del horizonte saprolítico según sus propiedades físicas y su interacción en la roca-suelo.

Las discontinuidades afectan en forma significativa a la permeabilidad y la resistencia cortante del saprolito, por esta razón en los ensayos de laboratorio de muestras relativamente pequeñas se obtienen coeficientes de permeabilidad y resistencias al cortante muy diferentes a la realidad. Además, algunos suelos residuales derivados de las metamórficas, con alto contenido de mica, se expanden en el muestreo y esto produce propiedades equivocadas en los ensayos, según lo propuesto por Bressani y Vaughan, (1989) y Suárez (2009).

Estos Saprolitos retienen las estructuras de la roca parental pizarrosa, pero solamente un poco de la resistencia de este, según la descripción Sowers (1963) y Vaughan (1985) correlacionan las propiedades de los saprolitos con la relación de vacíos más no con los límites de Atterberg, debido a que la relación de vacíos representa en mejor forma el estado de los suelos en el sitio.

Según el fundamento sobre el muestre del saprolito generado por meteorización de un substrato de roca pizarrosa, se tiene en cuenta estas definiciones antes mencionadas, por lo tanto no se tomó muestras del saprolito en la localidad de Kelcaybamba y solo al suelo transportado suprayacente a estos, debido también que a medida que se avanzaba en el perfil meteorización, las propiedades del suelo van cambiando en forma rápida y esto dificulta no solamente los ensayos sino los análisis, debido a que la estructura del material se vuelve muy importante a medida que se van profundizando, pasando de un comportamiento de suelo a un comportamiento de roca.

8.1 Ensayos geotécnicos

8.1.1 Calicatas

Según la Norma ASTM D420 se realizaron excavaciones de profundidad superficial (hasta 3 m aprox.), realizadas con maquinaria (retroexcavadora) para describir los horizontes y sacar muestras para conocer las propiedades físicas.

Estas muestras fueron sacadas de la zona de influencia donde ocurrió el deslizamiento y las posibles zonas a deslizarse, ejecutándose un total de 04 calicatas.

Tabla 12: Ubicación de calicatas realizadas por el (IGP) y municipalidad.

CALICATA	UTM ESTE	UTM NORTE	ELEVACIÓN	PROFUNDIDAD	NIVEL FREÁTICO
	(m)	(m)	(m.s.n.m)	(m)	(m)
CA-01 (IGP)	777178	8575782	1438	3	No presenta
CA-02 (IGP)	777189	8575842	1450	3.4	No presenta
CA-03 (IGP)	777123	8575757	1485	3.2	No presenta
CA-04 (IGP)	777088	8575830	1468	2.4	No presenta
CA-01 (Mpio)	777052.87	8575640.19	1478	4.7	No presenta
CA-02 (Mpio)	777053.14	8575662.58	1477	3	No presenta
CA-03 (Mpio)	777027.12	8575661.35	1478	3	No presenta



Figura 39: Distribución de las calicatas en la localidad de Kelcaybamba.

8.1.2 Ensayo de densidad

En cada calicata se realizó un ensayo de densidad de campo según la Norma ASTM D1556, haciendo uso del método del cono, con la finalidad de conocer la densidad y el contenido de humedad en condiciones naturales. Su aplicación es de suma importancia ya que permiten conocer la compactación de las partículas que conforman un suelo.

Mientras un suelo sea más compacto, van a existir menos espacios vacíos entre las partículas, por tanto, el suelo va a ofrecer mayor resistencia y disminución de la capacidad de deformación. Estos dados contribuyen en el análisis de la cantidad de absorción del suelo y las condiciones peso que ejerce sobre la ladera.

El procedimiento consiste en extraer material del suelo a fin de obtener una relación entre la masa de este y el volumen que ocupa la arena del cono (arena calibrada).

Tabla 13: Datos de la densidad del suelo húmedo y seco de las calicatas 02, 03 y 04.

Punto de Muestreo	CA-02	CA-03	CA-04
Muestra	DC-CA-02	DC-CA-03	DC-CA-04
Fecha	24/06/2015	24/06/2015	25/06/2015
Profundidad (m)	3.00	3.40	2.40
Determinación de la densidad del suelo húmedo			
Peso de Material Extraído (gr)	2,230.00	2,670.00	2,600.00
Peso Arena + Equipo (gr)	6,050.00	5,920.00	5,490.00
Peso Arena que queda + Equipo (gr)	1,920.00	1,580.00	1,670.00
Peso de Arena en Cono (gr)	**1,702.80**	**1,702.80**	**1,702.80**
Peso Arena que queda Final (gr)	3,622.80	3,282.80	3,372.80
Peso Arena empleada (gr)	2,427.20	2,637.20	2,117.20
Densidad arena (gr/cm3)	**1.44**	**1.44**	**1.44**
Volumen hueco (cm3)	1,685.56	1,831.39	1,470.28
Densidad suelo húmedo (gr/cm3)	**1.32**	**1.46**	**1.77**
Determinación de la densidad del suelo seco			
Peso húmedo (gr)	104.30	84.40	94.60
Peso seco (gr)	92.20	77.50	85.30
Contenido de humedad (%)	13.12	8.90	10.90
Peso de agua en material extraído (gr)	292.66	237.72	283.47
Densidad suelo seco (gr/cm3)	**1.15**	**1.33**	**1.58**

Los resultados obtenidos se adjuntan en el anexo 01 (geotecnia) y se mencionan a continuación:

Tabla 14: Densidades realizadas en campo.

CALICATA	Muestra	Profundidad (m)	Densidad húmeda (g/cm^3)	Densidad seca (g/cm^3)
CA-01	DC-ACA-01	2.1	-----	-----
CA-02	DC-ACA-02	2.7	1.32	1.15
CA-03	DC-ACA-03	1.5	1.46	1.33
CA-04	DC-ACA-04	2.8	1.77	1.58

De acuerdo a los valores antes citados, se evidencia que los materiales ubicados en las inmediaciones del deslizamiento presentan densidades de valores bajos a muy media es decir de poca cohesión, lo cual se interpreta que se debe a que los suelos se encuentran inestables y sueltos, mientras que, los suelos de la zona urbana presentan mayor compactación, de lo cual se infiere que aún presentan estabilidad precaria y resistencia baja.

8.1.3 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)

El DPL un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la resistencia del material (suelo) al hincado del cono dinámico.

El procedimiento consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra un cono metálico de penetración de 60° de punta, mediante la aplicación de golpes de un martillo de 10 kg, este se deja caer desde una altura de 50 cm. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el numero N° (número de golpes por cada 10 cm de penetración), ha sido correlacionado con algunas propiedades relativas al suelo, particularmente con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna.

La ventaja del equipo es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente. Se hace mención que, esta exploración solo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limos arenosos, presentando dificultades para ser aplicados en suelos tales como gravas, fragmentos gruesos, conglomerados o terrenos rocosos.

Se realizaron ensayos de penetración usando la Norma DIN 4094. Este método sirvió indirectamente para saber la cohesión que presenta un suelo estos ensayos fueron realizados a 3 metros de cada calicata presentando en la zona del deslizamiento una baja cohesión y aproximadamente a 5 metros de profundidad se puedo observar al sacar la barrilla un suelo de tonalidad ploma oscura muy arcillosa que se estima que es el saprolito. Por presentar una alta plasticidad y humedad alta.



Figura 40: Ensayo de DPL en deslizamiento DPL 01 profundidad de 0.6m, DPL 02, extremo derecho del deslizamiento alcanzo una profundidad de 5.8 m.

En la Tabla 15, se indica la ubicación de los ensayos de penetración ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de la zona urbana de Ocobamba, la profundidad alcanzada y el ángulo de fricción, asimismo en el anexo 1 se adjuntan los resultados.

Tabla 15: Datos de ubicación y profundidad de los ensayos de penetración dinámica ligera.

DPL	UBICACIÓN			Profundidad (m)	Rango de fricción interna(°)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (m.n.s.m)		
DPL-01	777177	8575785	1439	0.6	33 - 38
DPL-02	777194	8575844	1441	5.7	27 - 35

Los ensayos de DPL han alcanzado una profundidad máxima de 5.20 m y mínima de 0.60 m, ya que los suelos están conformados por gravas y arena, presentan ángulos de fricción promedio de 27 y 38°, característico de suelos granulares intercalados con arenas limosas y semicompactas los altos rangos son debido a bloques de rocas en la línea de perforación.

Tabla 16: Angulo de fricción interna de los suelos finos de Principios de Ingeniería Geotécnica (2006).

Tipo de terreno	Φ (°)
Arcilla suave	0-15
Arcilla media	15-30
Limo seco y suelto	27-30
Limo denso	30-35
Arena suelta y grava	30-40
Arena densa y grava	25-35
Arena suelta, seca y bien graduada	33-35
Arena densa, seca y bien graduada	42-46

Se observa que los datos del DPL 2, son las más representativos por localizarse en la menor escarpa izquierda (Minor scrap) del deslizamiento, por tener la mayor profundidad de penetración, este ensayo proporciona el Angulo fricción interna indirectamente; relacionando el número de golpes con la profundidad de penetración; al correlacionar los datos de la figura 41 y la tabla 16, observamos que el tipo de suelo, presente hasta los 4.5 m es una grava y a medida que profundizamos se torna más suave simulando hacia una arcilla, por mantener una constante baja en número de golpes (4 golpes por 0.5 m).

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m²)	Ø' (°)
0.00			
0.10	8	0.0	29.3
0.20	6	0.0	28.5
0.30	10	0.0	30.0
0.40	8	0.0	29.3
0.50	6	0.0	28.5
0.60	3	0.0	27.2
0.70	3	0.0	27.2
0.80	7	0.0	28.9
0.90	7	0.0	28.9
1.00	11	0.0	30.4
1.10	7	0.0	28.9
1.20	10	0.0	30.0
1.30	16	0.0	32.0
1.40	6	0.0	28.5
1.50	6	0.0	28.5
1.60	7	0.0	28.9
1.70	10	0.0	30.0
1.80	26	0.0	35.0
1.90	25	0.0	34.7
2.00	11	0.0	30.4
2.10	13	0.0	31.1
2.20	13	0.0	31.1
2.30	9	0.0	29.6
2.40	13	0.0	31.1
2.50	11	0.0	30.4
2.60	25	0.0	34.7
2.70	28	0.0	35.5
2.80	13	0.0	31.1
2.90	13	0.0	31.1
3.00	9	0.0	29.6
3.10	13	0.0	31.1
3.20	11	0.0	30.4
3.30	25	0.0	34.7
3.40	28	0.0	35.5
3.50	13	0.0	31.1
3.60	13	0.0	31.1
3.70	11	0.0	30.4
3.80	16	0.0	32.0
3.90	18	0.0	32.7
4.00	18	0.0	32.7
4.10	10	0.0	30.0
4.20	11	0.0	30.4
4.30	11	0.0	30.4
4.40	13	0.0	31.1
4.50	13	0.0	31.1
4.60	22	0.0	33.9
4.70	15	0.0	31.7
4.80	5	0.0	28.1
4.90	3	0.0	27.2
5.00	4	0.0	27.6
5.10	4	0.0	27.6
5.20	4	0.0	27.6

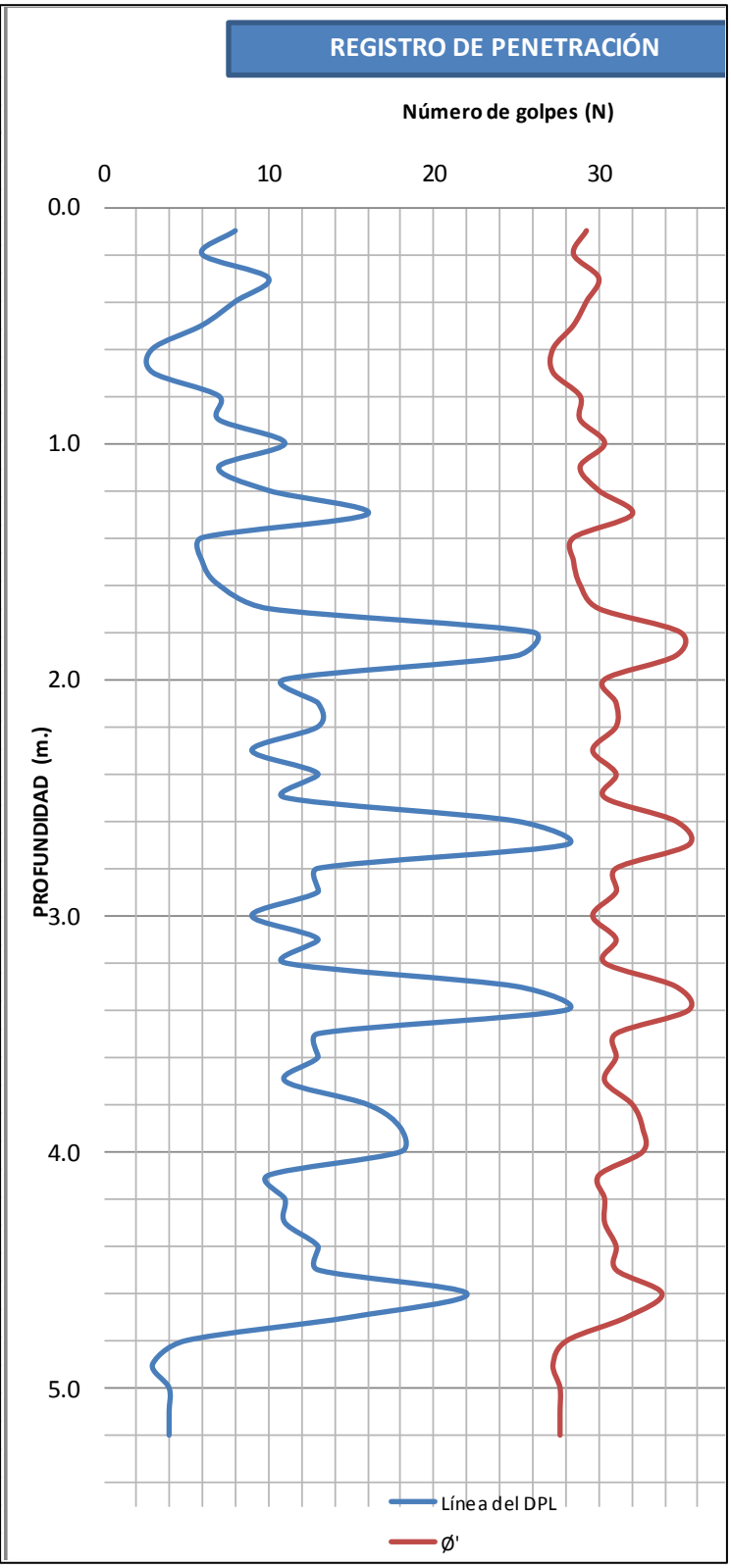


Figura 41: Registro de penetración del DPL 2, relacionando la profundidad con números de golpes (Línea de DPL) y ángulo de fricción interna (Ø).

8.2 Tipos de suelos en el distrito de Ocobamba

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas realizadas en el poblado de Kellcaybamba obtenidos de los ensayos standard de suelos granulométricos y límites de Atterberg, realizados de las muestras obtenidas en el campo de la prospección y su análisis en el laboratorio mecánica de suelos de Keremca S.A, se han identificados 03 tipos de suelos haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los resultados de estos ensayos se pueden observar en el anexo 02.

a) Suelos tipo GM

Están conformados por gravas bien gradadas limosas con algo de arena cuyo contenido de humedad se halla en rango de 16.3 hasta 31.8%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es media, los suelos presentan un índice de plasticidad bajo entre 2.98 a 2.99 %, estos suelos se ubican en la calicata C-01.

b) Suelos tipo GP-GC

Están conformados por gravas pobremente gradadas a arcillosas, presentando un contenido de humedad que se halla en rango de 8.9 hasta. 13.12%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es media, presentan un índice de plasticidad media de 9.45 a 15.92% lo que indica que es muy sensible a la humedad (un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo lo transformaría de semisólido a la condición liquida), estos suelos se ubican en las calicatas C-02, C-03.

c) Suelos tipo GP-GM

Están conformados por gravas pobremente gradadas limosas presentando un contenido de humedad que se halla en rango de 10.90%, por lo cual se considera que su capacidad de retención (permeabilidad) es media, presentan un índice de plasticidad bajo de 2.96%, estos suelos se ubican en la calicata C-04.

Tabla 17: Datos de las propiedades de los suelos en cada calicata (Laboratorio).

DESCRIPCION ENSAYOS	RESULTADOS							
Calicatas	CA - 01 A	CA - 01 B	CA - 02 A	CA - 02 B	CA - 03 A	CA - 03 B	CA - 04 A	CA - 04 B
Profundidad (m)	3.00	3.00	3.40	3.40	3.20	3.20	2.40	2.40
Limites Líquido (%)	24.00	24.07	33.30	33.25	26.47	26.46	26.62	26.65
Límite Plástico (%)	21.01	21.09	17.38	17.39	16.61	16.61	23.66	23.69
Indice Plástico (%)	2.99	2.98	15.92	15.86	9.86	9.85	2.96	2.96
Granulometría (Clasificación SUCS)	GM	GM	GP - GC	GP - GC	GP-GC	GP-GC	GP-GM	GP - GM
Granulometría (Clasificación ASSHTO)	A-1-a	A-1-a	A-2-7	A-2-7	A-2-4	A-2-4	A-1-a	A-1-a
Angulo de friccion (°)	38	38	35	35	37	37	39	39
Cohesion	0.697	0.711	0.98	0.99	0.98	0.96	0.67	0.67

El índice de plasticidad se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Permite definir el campo plástico de un suelo y representa el porcentaje de humedad que deben tener las arcillas para conservarse en estado plástico, este valor permitió determinar los parámetros de asentamiento de los suelos y expansibilidad potencial

Tabla 18: Datos de las propiedades de los suelos en cada calicata proporcionados por la Municipalidad.

Muestra	Granulometría			Plasticidad			$P_{especifico}$ gr/cm^3	Humedad W%
	Piedra (grava) < N °4	*Arena N° 4>o >N°200*	*Finos <N°200*	LL	LP	IP		
C-1 MA-1 1,50 m (Muestra 1)	68,00	25,10	6,90	28,9	22,9	6,0	-	8,52
C-1 MA-3 4,50 m (Muestra 2)	49,00	37,40	13,60	25,2	20,2	5,3	-	8,70
C-2 MA-1 2,50 m (Muestra 3)	84,00	11,80	4,20	25,6	20,2	5,3	-	8,82
C-3 MA-1 1,50 m (Muestra 4)	63,00	27,30	9,70	29,7	22,3	7,4	2,71	8,07
C-1 MA-3 2,50 m (Muestra 5)	61,00	29,20	9,80	28,8	22,8	6,0	-	8,81
C-2 MA-2 3,00 m (Muestra 6)	71,00	28,00	1,00	24,1	20,4	3,7	2,73	8,73
C-3 MA-2 2,50 m (Muestra 7)	63,00	27,20	9,80	27,1	20,5	6,7	-	-
C-1 MA-2 2,00 m (Muestra 8)	62,00	27,70	10,30	24,1	20,1	4,1	2,70	8,54

Los datos proporcionados de la municipalidad mostrados en la tabla anterior se observan que el índice plástico bajo que se halla en el rango de 3.7 a 7.4.

Tabla 19: Rangos de permeabilidad relativo al tipo de suelo, Terzaghi K, Peck R (1980).

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	suelo típico
Muy permeable	> 1*10e-1	Grava gruesa
Moderadamente permeable	1*10e-1 a 1*10e-3	Arena, arena fina
Poco permeable	1*10e-3 a 1*10e-5	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	1*10e-5 a 1*10e-7	Arcilla y limo
Impermeable	< 1*10e-7	Arcilla

8.3 Geomecánica

La Geomecánica procedente del prefijo griego *geo-* significando "tierra"; y "mecánica", el estudio del comportamiento de la roca su aplicación nos permite conocer el substrato rocoso donde se generó el deslizamiento y el grado de fracturamiento que posee, proporcionando un índice para conocer como afecto la meteorización a la roca expuesta.

El tipo de cartografiado geomecánico empleado es el RMR (Rock Mass Rating) clasificación Geomecánica de Bieniawski. Donde según la valorización de los parámetros de la roca indica el grado de fracturamiento del substrato donde se produjo el deslizamiento que es el caso del estudio es de clase IV (roca mala).

Los datos como el grado de fracturamiento y espaciamiento entre estas es un factor muy importante para conocer un índice del grado de infiltración de las aguas de lluvias.

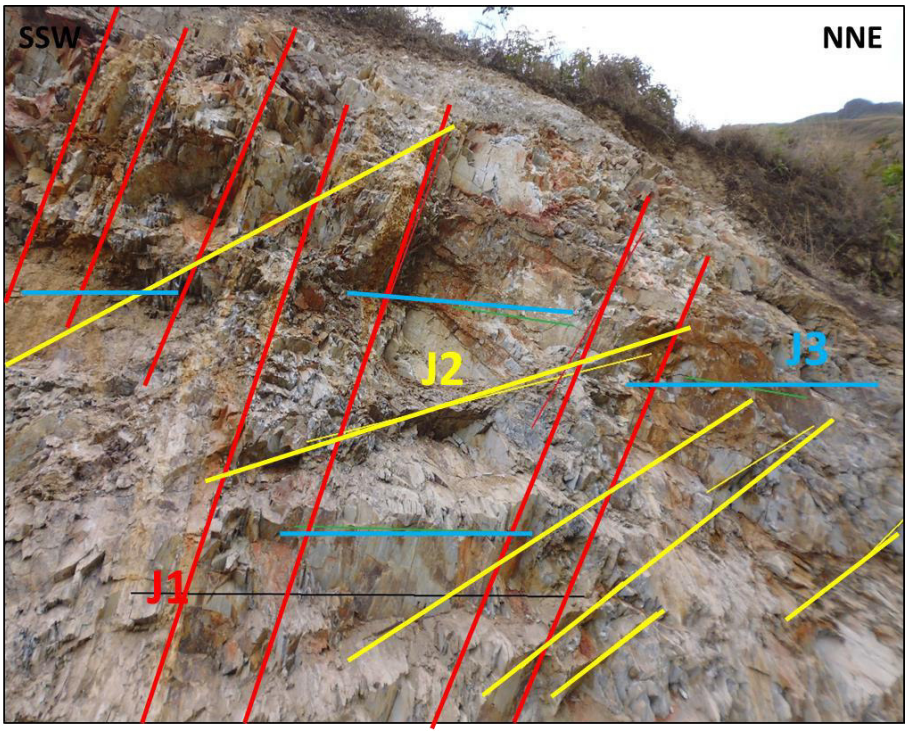


Figura 42: Macizo rocoso fracturado y la orientación de las juntas;

8.3.1 Análisis de proyección estereográfica (Análisis cinemático)

El análisis de las orientaciones de las diaclasas o fracturas (juntas) se realizó con aplicando el software llamado Dips, donde se observa la predominancia de tres familias de discontinuidades

Donde el mayor número de discontinuidades mantienen una dirección del Nor-Oste

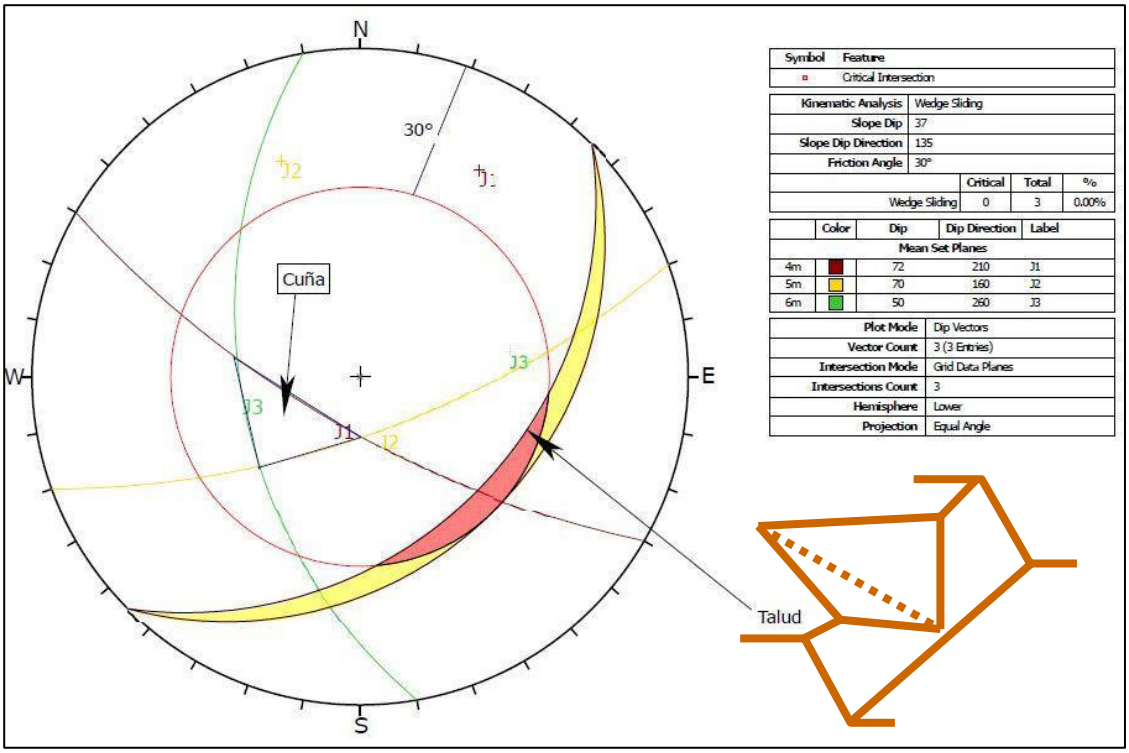


Figura 43: Curvas isovaloricas de los planos de orientaciones de las discontinuidades.

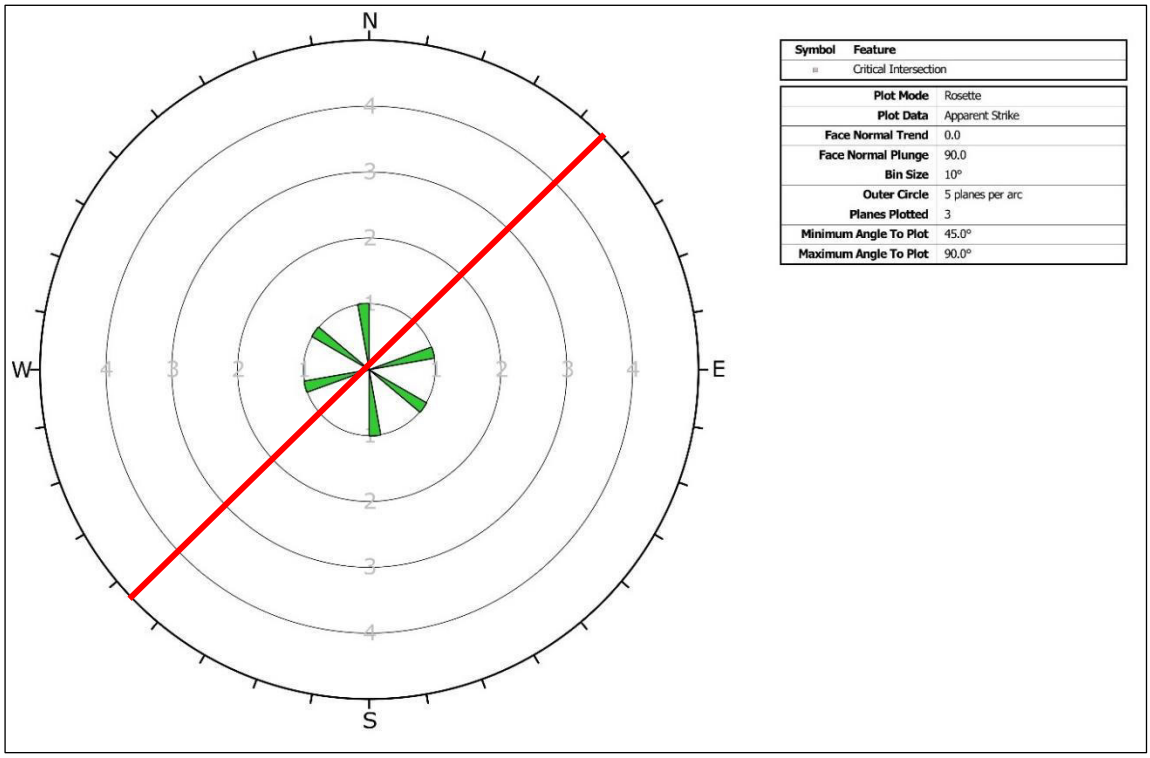


Figura: 44: Roseta de orientaciones de dirección de 3 planos.

8.3.2 Aplicación del R.M.R para taludes

El método Rock Mass Rainting (RMR) para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1972-73) y modificado posteriormente en 1996 y 1979, en base a los más de 300 caso reales de túneles, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide con el de 1979, permitiendo, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades. Con el valor del RMR es posible establecer algunas propiedades geotécnicas preliminares del macizo, para analizar la estabilidad del talud.

Para obtener los resultados, se consultan los valores en las tablas 20,21 y 22 de CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI CSIR (R.M.R.), a cada valor cuantificado observado en campo se le dará un determinado puntaje.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material
- El RQD (Rock Quality Designation)
- El espaciamiento de las discontinuidades
- El estado de las discontinuidades
    - Longitud de la discontinuidad
    - Abertura
    - Rugosidad
    - Relleno
    - Alteración
- La presencia de agua
- La orientación de las discontinuidades, según sea para cimentaciones, túneles o taludes.

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros y oscila entre 0 y 100, y que es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

- CLASE I: RMR>80, Roca muy buena
- CLASE II: 80<RMR<60, Roca buena
- CLASE III: 60<RMR<40, Roca media
- CLASE IV: 40<RMR<20, Roca mala
- CLASE V: RMR<20, Roca muy mala

En función de la clase obtenida, se puede establecer una estimación de las características geotécnicas (ángulo y cohesión) y de su comportamiento frente a excavaciones.

Tabla 20: Parámetros de clasificación y su valoración corregido (Bieniawski, 1989).

Parámetro				Escala de valores						
J1	Resistencia de la roca inalterada	Índice de la carga de punta		> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial		
		Resistencia a V comp. uniaxial		> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	**3-10 MPa**	1-3 MPa
	Valuación			15	12	7	4	2	**1**	0
J2	Calidad de corazones, explosión, RQD			90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	**< 25 %**		
	Valuación			20	17	13	8	**3**		
J3	Espaciamiento de juntas			> 2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	**< 60 mm**		
	Valuación			20	15	10	8	**5**		
J4	Persistencia			<1m	**1-3m**	3-10m	10-20m	>20m		
	Valuación			6	**4**	2	1	0		
	Abertura			No presenta	<0.1mm	**0.1-1.0mm**	1-5mm	>5mm		
	Valuación			6	5	**4**	1	0		
	Rugosidad			Muy rugoso	Rugoso	**Ligeramente rugoso**	Liso	Fallado		
	Valuación			6	5	**3**	1	0		
	Relleno			Limpia	Duro < 5mm	Duro> 5mm	**Suave < 5 mm**	Suave > 5 mm		
	Valuación			6	4	2	**2**	0		
	Alteración/Meteorización			Sana	Lig. Intempe.	**Mod.Intempe.**	Muy Intempe	Descompuesta		
	Valuación			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		
	Valuación			15	10	**7**	4	0		

De los parámetros de la clasificación se obtuvieron los siguientes puntajes, siendo el resultado de la valorización de la roca un promedio de 34.

.

Tabla 21: Ajuste de valoración por orientación de discontinuidades (Bieniawski, 1989).

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

Después se realiza la corrección por la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades, operando la resta: 34 - 5 = 29

PARÁMETROS		VALUACIÓN
A	Subtotal	34
B	Orientación del Rumbo y Buzamiento	-5
C	**Total**	**29**

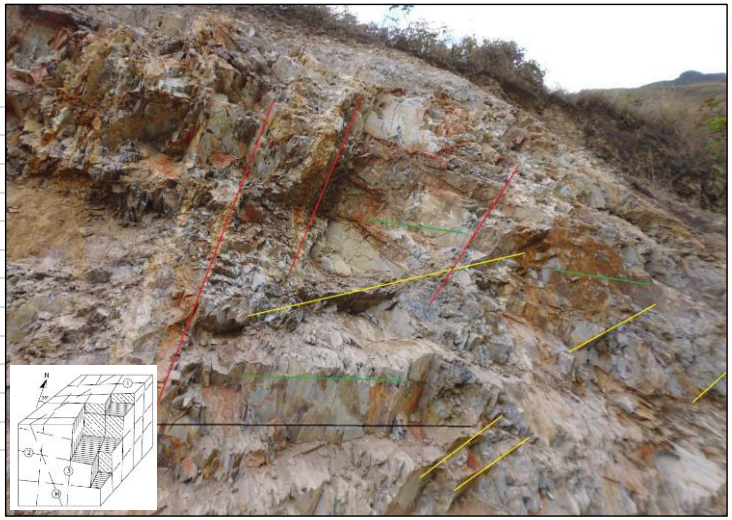
De acuerdo con la siguiente tabla de clasificación del macizo, el valor de 29 está comprendido en el rango de una **roca mala**.

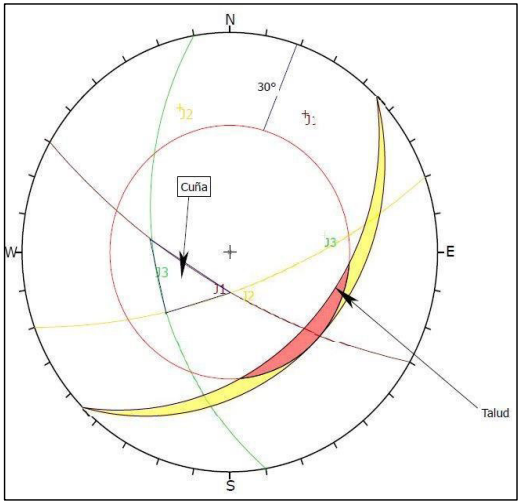
Tabla 22: Clases de Macizos Rocosos a partir de la valoración (Bieniawski, 1989).

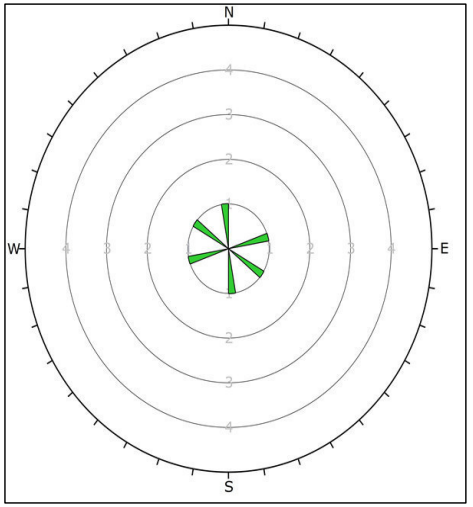
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Clasificación N°	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena Roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

Tabla 23: RMR de las rocas pizarrosas en la localidad de Kelcaybamba.

RMR de la roca pizarrosa en la localidad de Kelcaybamba															
Ubicación			Norte	Este	Altitud	Fecha	15 de marzo de 2016		ASESOR: Angeles Giron, Rosendo Olimpio						
			85575676	776709	1625				Elaborado por:		Roy Jack Arone Padilla				
				J-1	J-2	J-3	J-4					J-5			
DISC. Nro.	Tipo de roca	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	Resistencia	RQD	Espaciamiento (m)	Persistencia (m)	Apertura (m)	Tipo de relleno	Rugosidad	Alteración/ Meteorización	Agua	Coeficiente de corrección	RMR	
1	Pizarra	210	85	1	3	5	2	4	2	3	3	10	5	28	Valorización
2		160	70	1	8	5	4	5	2	3	3	7	5	33	Valorización
3		260	50	1	3	5	2	4	2	5	1	7	5	25	Valorización
														29	**Valorización**







8.3.3 Aplicación del criterio de Hoek - Brown del substrato pizarroso

Para saber cómo se encuentra el macizo rocoso y el grado de fracturamiento del substrato pizarroso donde se produjo el deslizamiento se realizó un Cartografiado Geomecánico (RMR) para obtener el valor de resistencia y sus propiedades físicas.

Para ello hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR_{76}, del año 1976, y el RMR_{89}, del año 1989. La diferencia reside en los valores que se les asignan a los parámetros de: presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades, y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades. En la Tabla 24 se muestra la diferencia entre valores que se le dan a los parámetros según el criterio.

Tabla 24: Diferencias de valores entre RMR_{76} y RMR_{89}.

Parámetro	RMR76	RMR89
RQD y Espaciado de las discontinuidades	8 – 50	8– 40
Condición de las discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia de agua subterránea	0 – 10	1 – 15

Relaciones entre RMR y GSI

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación:

Para el caso de RMR_{76}

$RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR_{76}$

$RMR_{76} < 18 \rightarrow$ No se puede utilizar el RMR_{76} para la obtención del GSI

Para el caso de RMR_{89}

$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$

$RMR_{89} < 23 \rightarrow$ No se puede utilizar el RMR_{89} para la obtención del GSI.

En este caso se tomó como RMR_{89} donde el valor de le RMR es de 29 como se muestra en la tabla 23 donde la relación con el GSI vendría ser:

$GSI = RMR - 5$

$GSI = 29-5$

$GSI=24$

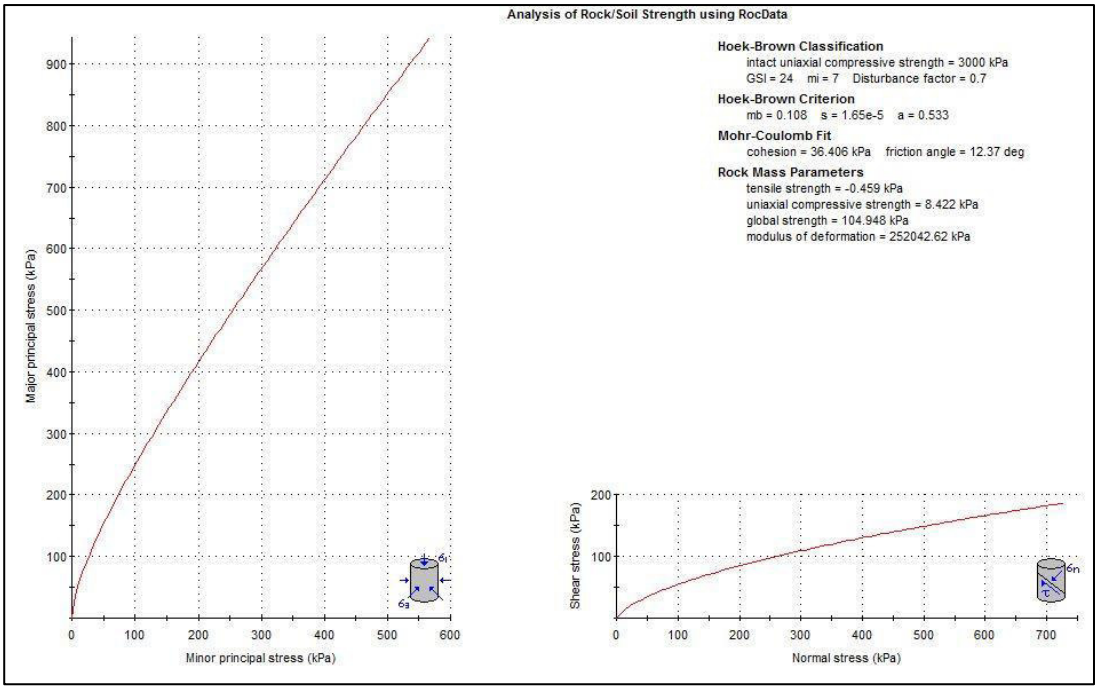
En la aplicación del criterio de Hoek - Brown, y en la interpretación de los valores de resistencia obtenidos debe tenerse en cuenta:

- El criterio es válido únicamente para macizos rocosos con comportamiento isotrópico (muy fracturado)
- El índice GSI se basa en estimaciones cualitativas, y en modelos simples que rara vez coinciden con las condiciones reales.
- Los resultados deben ser cotejados con otros métodos siempre que sea posible con datos de campo y análisis a posteriori o retroanálisis.

Una de las primeras dificultades que aparecen en muchos problemas geotécnicos, particularmente en el ámbito de la estabilidad de taludes, es que es más conveniente tratar el criterio original de Hoek - Brown en términos de esfuerzos normales y al corte más que en términos de esfuerzos principales.

Estos datos fueron usados para obtener los parámetros geotécnicos de un macizo rocoso por el método de Hoek - Brown que fueron usados en la estabilidad del talud.

Tabla 25: Parámetros geotécnicos del macizo Pizarroso, en el programa Rocdata.



9. Aspectos geofísicos

En la siguiente figura se aprecia el comportamiento de la onda donde su longitud, amplitud y frecuencia varía dependiendo los tipos de horizontes en un perfil, donde se observa el suelo, saprolito y la roca.

La finalidad del estudio geofísico de sondaje eléctrico vertical (SEV) en la localidad de Kelcaybamba es de estimar la profundidad, espesor del saprolito y determinar la localización del nivel freático.

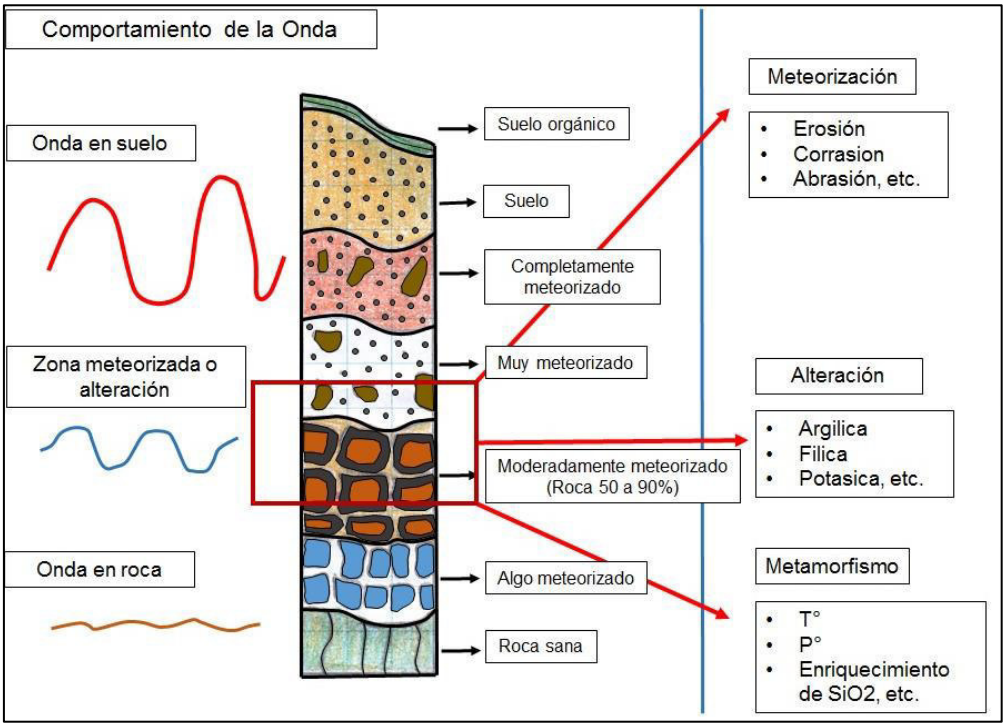


Figura 45:Comportamiento de la onda en la roca, suelo, saprolito y

9.1 Sondajes eléctricos verticales (SEV)

Esta técnica intenta distinguir o reconocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante un parámetro físico, es decir por su resistividad. Este método se utilizó por su sencillez y la relativa economía del equipo. Permitiendo evaluar la resistividad media del subsuelo mediante la medición de una diferencia de potencial entre dos electrodos situados en la superficie.

El objetivo fue estimar la detección del substrato rocoso realizando ensayos geofísicos de resistividad eléctrica vertical, los resultados permitieron inferir el horizonte saprolito, el suelo superpuestos a estos obteniendo el espesor- profundidad y el nivel freático, tomando como referencia la superficie, estos ensayos se realizaron en puntos distribuidos en la localidad de Kelcaybamba y el deslizamiento.



Figura 46: Ensayo de resistividad eléctrica donde se observa el método para la colocación de sensores y la observación del sub suelo.

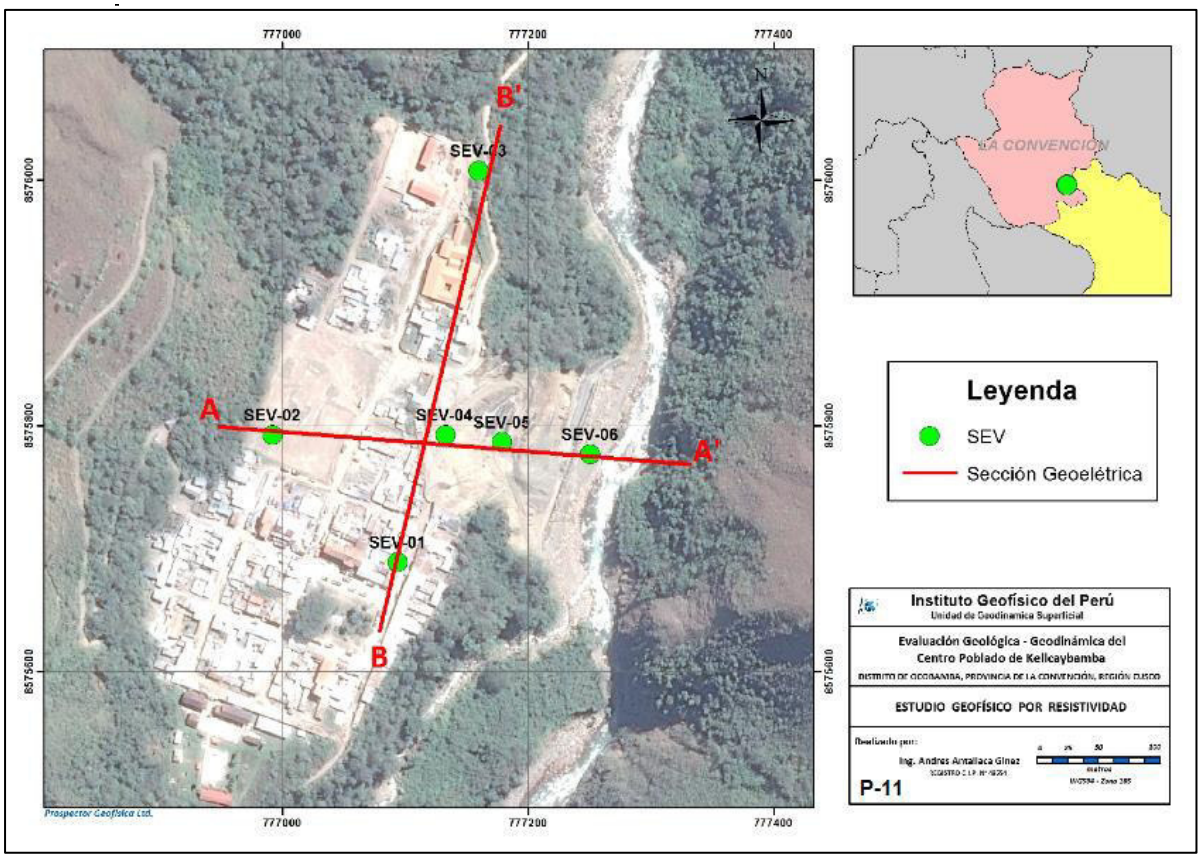


Figura 47: Mapa de ubicación de los puntos SEV y los perfiles A-A' y B-B'. (Fuente, IGP).

9.2 Resultados interpretados

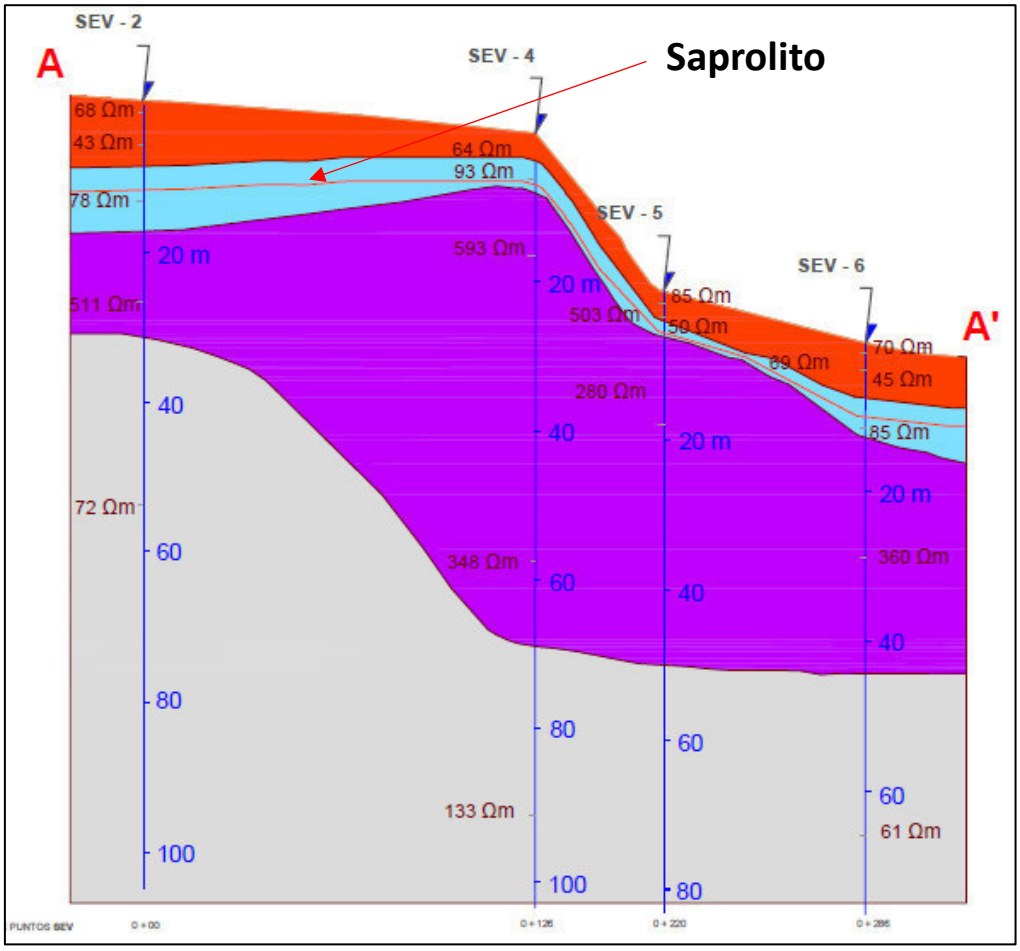
Se realizaron seis sondajes eléctricos verticales, según la distribución mostrada en la figura 47, donde la interpretación de los sondeos eléctricos, ha permitido estimar espesores de las capas horizontales que a su vez representan una secuencia geoestratigráfica con los cuales se elaboró cada sección geoeléctrico, cuyo análisis permite conocer las características y condiciones del subsuelo llegando a definir cuatro capas resistivas con cierta homogeneidad en cuanto a su estratificación geoeléctrica.

Se ha obtenido dos Secciones geoeléctricas A – A' y B – B' elaborados en trazo transversal y longitudinal con referencia al deslizamiento en Kelcaybamba y a la zona inestable. Las secciones referidas están elaboradas de acuerdo a la profundidad de penetración de las respuestas de SEV bajo el área estudiada.

La interpretación de los Sondajes Eléctricos Verticales está basada en la valoración de secciones procesadas cuantitativamente, en tanto para propósitos de estudio los resultados muestran las características de la estructura indirecta del subsuelo con significado hidrogeológico en cada localización.

9.2.1 Sección Geoeléctrica A – A'

La sección está elaborada en trazo transversal la localidad de Kelcaybamba coincidente en la dirección del deslizamiento y está compuesto por SEV–02, SEV–04, SEV–05 y SEV–06. En la siguiente figura se muestra su representación.



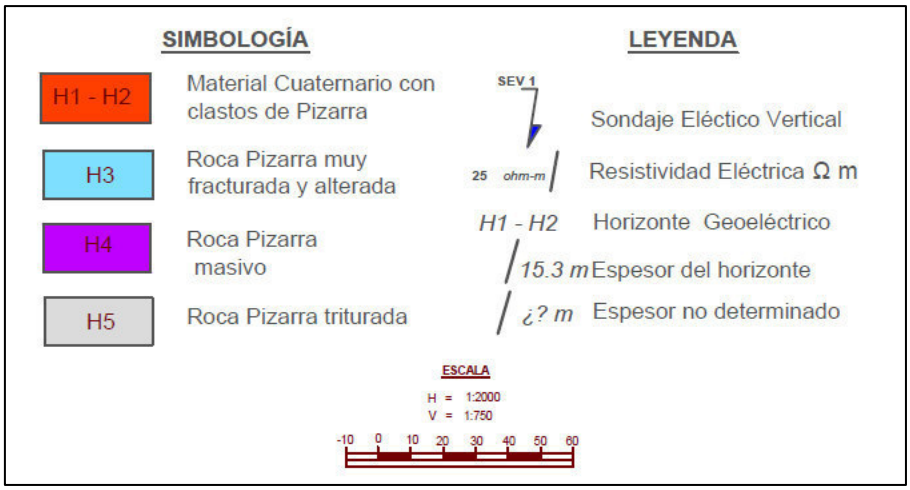


Figura 48: Sección Geoeléctrico A-A', elaborado en base a las secciones verticales SEV–02, SEV–04, SEV–05 y SEV–06.

El subsuelo ha sido diferenciado en horizontes geoeléctricos: H1, H2, H3, H4 y H5 según las resistividades en la posición vertical de estructura derivada, donde la sección de SEV–04, SEV–05 y SEV–06 se encuentra localizado el deslizamiento. Los horizontes en el subsuelo se describen a continuación:

I. **HORIZONTE H1 – H2** (color naranja)

Representa la cobertura superficial de terreno compuesta por los primeros dos horizontes cuyas resistividades variables se correlacionan a litología compuesta por material aluvio-proluvial Cuaternario alcanzando mayor espesor bajo el tramo de SEV–02 en extremo inicial con correlación de suelo de la calicata (Ca-01) de SM, GP y GM

II. **HORIZONTE H3** (color celeste)

Describe la estructura rocosa de la pizarra que se encuentra muy fracturada, alterada e indicando la zona del saprolito, emplazada a nivel sub-superficial con geometría mayor en tramos extremos y en parte intermedia es regular. El parámetro de resistividad que define esta secuencia refiere presencia húmeda con agua subterránea en esta estructura contiene el nivel freático.

III. **HORIZONTE H4** (color morado)

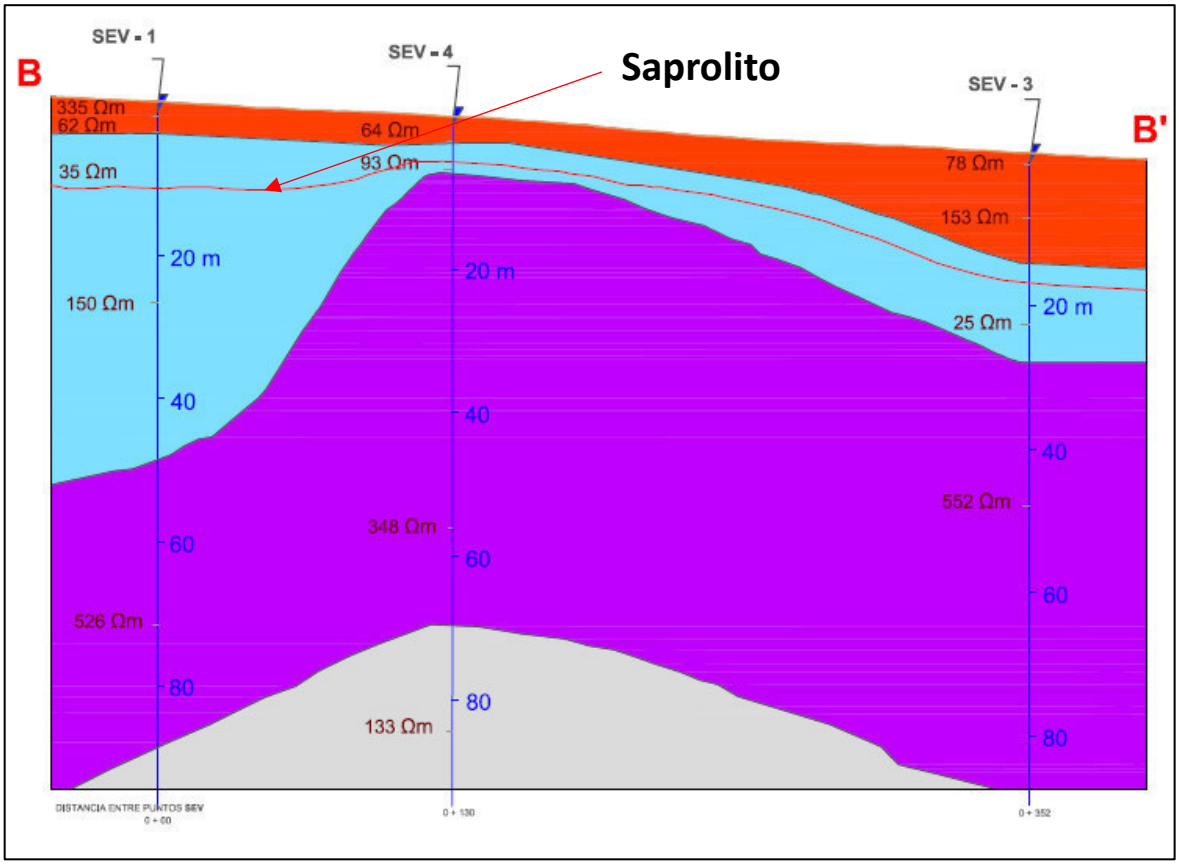
Configura una morfología relevante en el arreglo físico alcanzando fuerte geometría vertical bajo el SEV–04. De acuerdo al rango de resistividades con valores altos conforma una estructura compuesta por roca pizarra de aspecto masivo, lo que refleja baja capacidad en la conductividad hídrica del subsuelo en esta secuencia.

IV. **HORIZONTE H5** (color plonmo)

Ocupa los niveles subyacentes a profundidades cuyas características óhmicas hacen correlaciones a unas rocas pizarrosas trituradas en su geología local cuyas condiciones hídricas se asemejan análogamente respecto a H3.

9.2.2 Sección Geoeléctrica B – B

La sección está elaborada por las disposiciones de SEV–01, SEV–04 y SEV–03 emplazados en alineamiento longitudinal del poblado Kelcaybamba limitados por los acantilados de río Ocobamba. En figura 48 se muestran las representaciones de formas similares a las anteriores donde ponemos observar que en SEV–01 el espesor de suelo es mucho mayor al SEV–03, y esta sección será analizada en el sub capítulo 10, para obtener el factor de estabilidad.



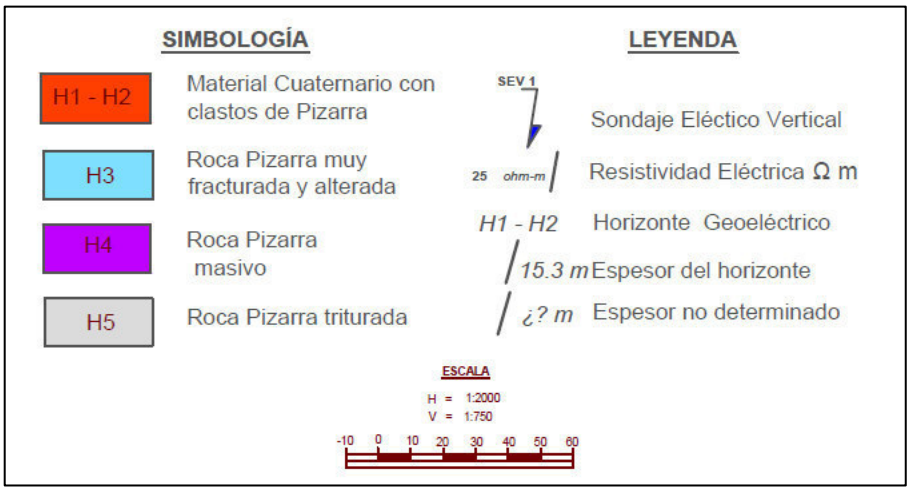


Figura 49: Sección Geoeléctrico B - B', elaborado de los perfiles SEV–01, SEV–04 y SEV–03 donde se encuentran distribuidas los horizontes H1 a H5.

Los rangos de resistividades de los horizontes en las secciones geofísicas elaboradas se encuentran distribuidas en la siguiente tabla 26. Estos rangos son comprobados con los parámetros internacionales de resistividades de los suelos en ohmios por metro, lo cual cumple con la estimación de las propiedades del horizonte saprolito propuesta para la generación de deslizamientos en laderas de montañas con substratos rocosos metamórficos.

Tabla 26: Rangos de resistividad y los materiales que presenta

Horizontes	Resistividad (ohm*m)	Material
H1- H2	70-400	Suelo
H3	25-150	Saprolito
H4	250-560	Roca
H5	60-130	Roca Saturada

MATERIAL	RESISTENCIA VERDADERA	MATERIAL	RESISTIVIDAD VERDADERA
Granito	6.1^{3}-10^{5} Ωm	Arcilla	1-100 Ωm
Esquisto	30-10^{4} Ωm	Marga	4-90 Ωm
Mármol	100-4.10^{8} Ωm	Depósitos aluviales	10-900 Ωm
Cuarcita	100-3.10^{8} Ωm	Agua marina	10-100 Ωm
Pizarra	800-5.10^{7} Ωm	Agua dulce	0.3 Ωm
Caliza	70-7.10^{3} Ωm	Esquisto grafítico	10^{-4}-7.10^{-3} Ωm
Arenisca	10-6.10^{3} Ωm	Carbón antracitico	10^{-3}-7.10^{5} Ωm

Figura 50: Valores de resistividad de algunos suelos, rocas y materiales presentes en la naturaleza (Loke, 2004).

Para observar cómo se generó este deslizamiento se realizó un análisis de estabilidad de taludes con el propósito de generar perfiles hidrogeológicos. Los perfiles fueron diseñados en base a los parámetros geotécnicos y secciones geofísicas.

10. Análisis de estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de taludes se ha realizado con la finalidad de determinar las zonas susceptibles a deslizarse y como se encuentra actualmente el deslizamiento, estas zonas fueron determinadas por el perfil geofísico donde se determinó las posibles áreas inestables; los parámetros utilizados fueron la mecánicas de suelos y las dimensiones tomadas del ensayo eléctrico vertical, para el caso del deslizamiento de Kelcaybamba y su alrededores se utilizó los criterios de correlación de horizontes y un modelo matemático (SLIDE), lo que ha posibilitado estimar detalladamente la configuración de falla donde este modelo analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo peso unitario, cohesión, Angulo de fricción interna e infiltración para suelo **Mohr - Coulomb** y para el substrato rocoso **Hoek - Brown** (1997).



Figura 51: Mapa de ubicación de los perfiles de estabilidad de taludes en la localidad de Kelcaybamba.

10.1 Descripción del perfil estratigráfica de los taludes estudiados

La zona en estudio está compuesta por suelos de materiales sueltos de tipo aluvio-coluvial, la primera capa superficial de suelos está constituido por intercalación con material antrópico, cuya potencia va desde 1 a 2 metros, la segunda capa de 3 a 6 metros y la tercera capa más el saprolito de 4 a 8 metros de espesores y a 20 metros de profundidad aproximadamente se puede encontrar un substrato rocoso conformado por rocas de tipo metamórfico de tipo pizarra estas profundidades son diseñadas según los perfiles geofísicos y la excavación de las calicatas .

La distribución de las calicatas y la morfología del substrato rocoso metamórfico son utilizadas para la elaboración de un perfil geológico y geotécnico, tomando como base el estadio municipal pasando por el deslizamiento con dirección hacia el río Ocobamba, este perfil tiene siguientes dimensiones.

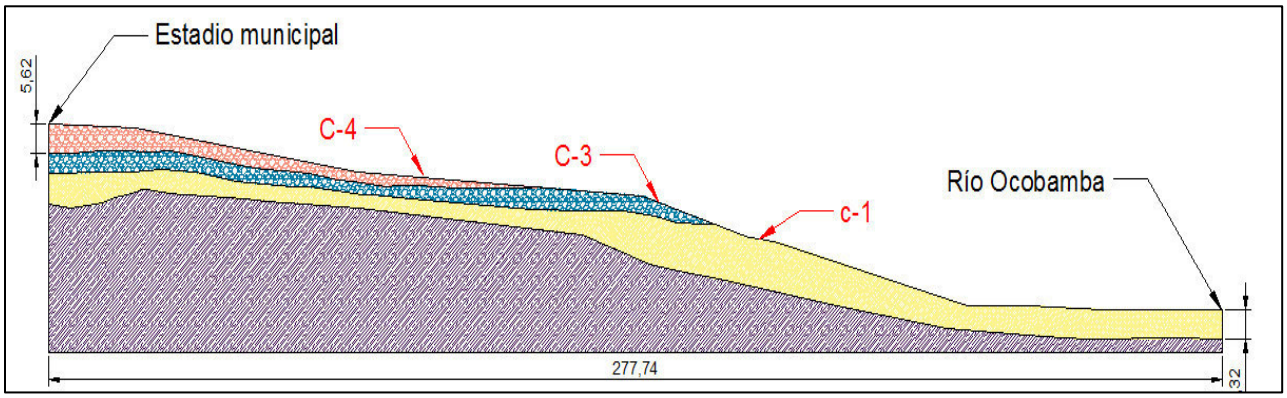


Figura 52: Perfil del deslizamiento de Ocobamba sus dimensiones, espesores y la ubicación de las calicatas (A-A').

10.2 Metodología de Análisis de Estabilidad

Para realizar los análisis de estabilidad se realizaron cálculos de tipo deterministas, considerando los parámetros geotécnicos del suelo y roca.

Para los análisis de estabilidad se emplea la metodología de Bishop simplificado y GLE/Morgenstern-price en Condición Estática y Condición Pseudoestático.

10.3 Factores de seguridad mínima sugerido en la ingeniería

El análisis de estabilidad de taludes, tuvo como finalidad establecer la susceptibilidad a deslizarse y porque se produjo el deslizamiento, basándose en parámetros geotécnicos del suelo y el saprolito, donde los factores mayores a 1.2 – 2.0 en estado estático, 1.0-1.2 en estado pseudoestático indicarían la estabilidad de la ladera y menores a estos la inestabilidad.

Tabla 27: Factores de seguridad de una ladera (Alva, 2000).

Factor de seguridad		Nivel o grado de estabilidad
Estático	Pseudoestático	
1.0-1.2	Menor a 1.0	Inestable
1.2- 2.0	1.0-1.2	Estable
Mayor a 2.0	Mayor a 1.2	Muy estable

Estos factores presentan un índice cercano a la verdad real taxativa con respecto a la variación en los parámetros de análisis implicados dentro de la estabilidad de taludes. Para el presente trabajo estos factores sirven a manera de índice y de realizar la respectiva comparación con los resultados obtenidos para nuestro caso.

10.4 Sismicidad y coeficientes

Para simular el efecto sísmico en los análisis de estabilidad se consideran los valores de aceleración sísmica presentes en la zona de estudio, según el mapa de zona sísmica de máximas aceleraciones observadas en el Perú, el cual está basado en isosistas de sismos ocurridos en el Perú para un 10 % de excedencia en 100 años (Jorge Alva Hurtado, Jorge Castillo, 1993)

La simulación sísmica se realizó mediante un análisis-estático y pseudoestático.
Para el cálculo de la aceleración vertical se empleó la siguiente formula
av = 0.00247 + 0.4998 ah (Prof. Huaco 1982).

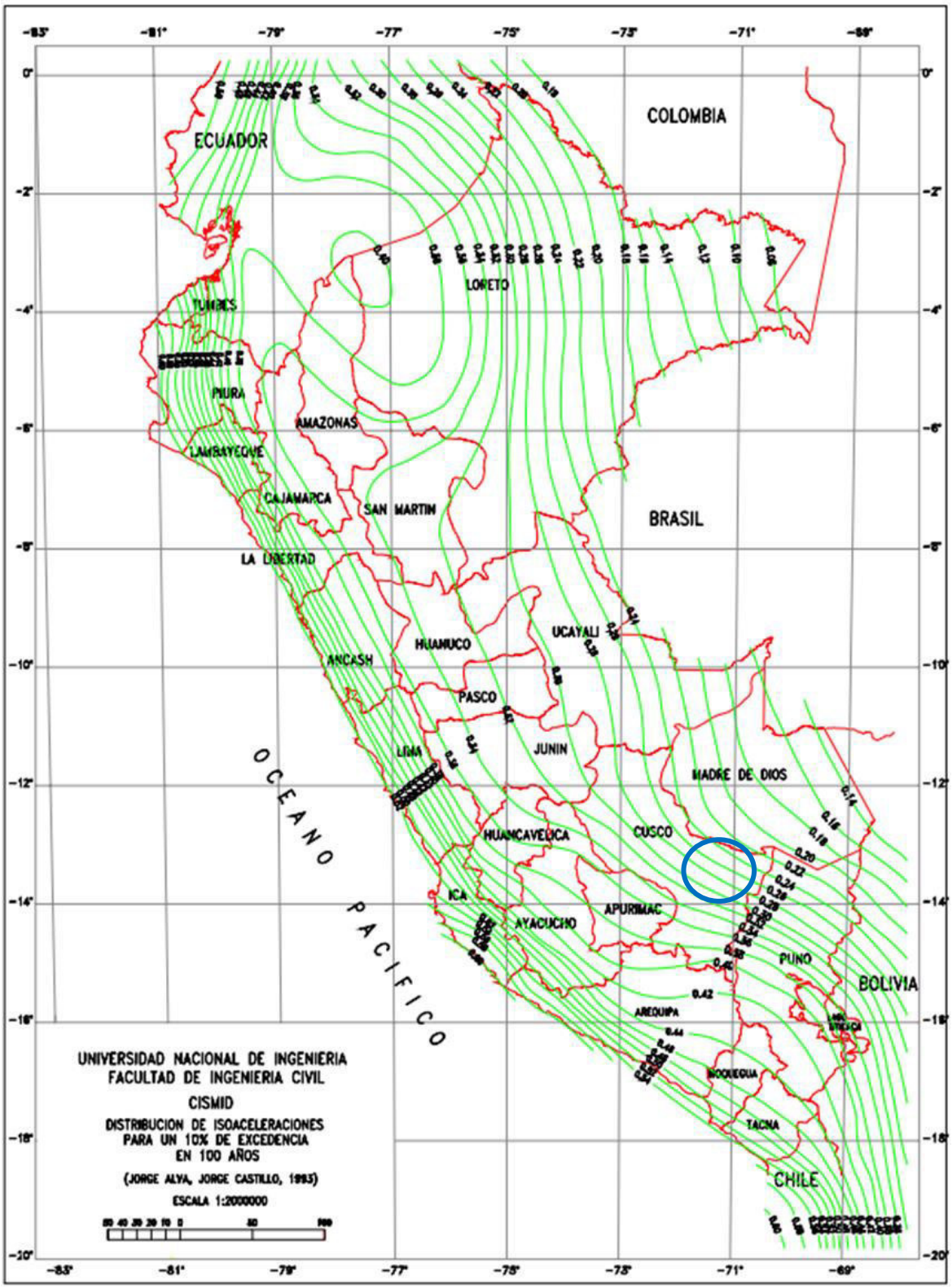


Figura 53: Mapa de Distribución de Isoaceleraciones para 10% de Excedencia en 50 años.

10.5 Caracterización de los parámetros y análisis de taludes

Para llevar a cabo el proceso de análisis de las secciones de los taludes previamente se realizó un proceso de caracterización geotécnica de los parámetros de resistencia de los suelos y rocas presentes en la zona en estudio.

La caracterización de los parámetros se empleó procedimientos de Back análisis para el material tipo aluvio-coluvial ad - Coulomb, y la metodología de Hoek - Brown, para el substrato rocoso.

Tabla 28: Parámetros geotécnicos de los suelos de la localidad de Kelcaybamba, usados para modelar los perfiles de estabilidad e hidrogeológicos.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	KS (m/s)
Horizonte 01		13.3	Mohr-Coulomb	0.98	37				0.001
Horizonte 02		11.3	Mohr-Coulomb	0.96	35				0.0002
Horizonte 03		11.2	Mohr-Coulomb	0.7	38				0.0001
Pizarra		26.7	Generalised Hoek-Brown			3000	0.1	1e-005	1e-007
Saprolito		20.5	Mohr-Coulomb	2	13				1e-008

Se realizó dos modelos de cálculo de elementos finitos (Slide) de estabilidad de taludes, sin el horizonte saprolito y nivel freático (Figura 54) y con el horizonte (Figura 55), el resultado de esta simulación da como factor de seguridad de 3.2 sin el saprolito indicando que la ladera donde se produjo el deslizamiento se encuentra estable en esas condiciones. El segundo modelo toma en cuenta el horizonte saprolito presentando un factor de seguridad 1.9.

Esta variación de factor de seguridad de 1.3, indicaría que el saprolito influye en inestabilidad de una ladera de substrato rocoso pizarroso, por lo tanto, se debe que tener en cuenta el horizonte al calcular la estabilidad de los taludes con este tipo de substratos pizarrosos para ello a continuación se presentan los siguientes casos.

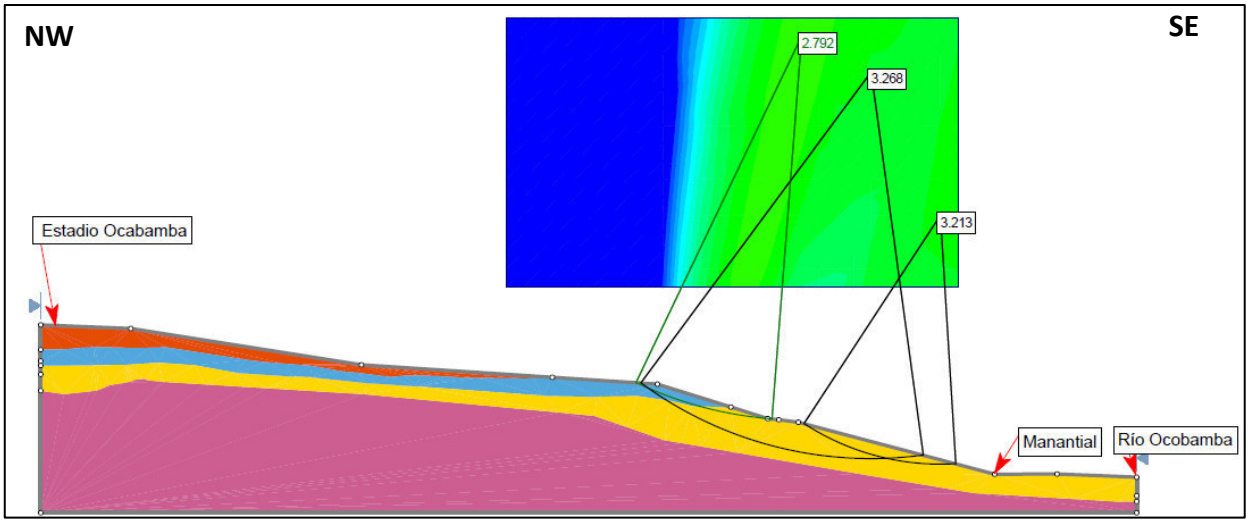


Figura 54: Perfil de estabilidad sin el horizonte arcilloso arroja como resultado un factor de seguridad 3.2.

10.5.1 Deslizamiento de Ocobamba (A-A')

El perfil A-A', que se realizó en el deslizamiento es para conocer el factor de seguridad que presenta actualmente y la susceptibilidad a reactivarse.

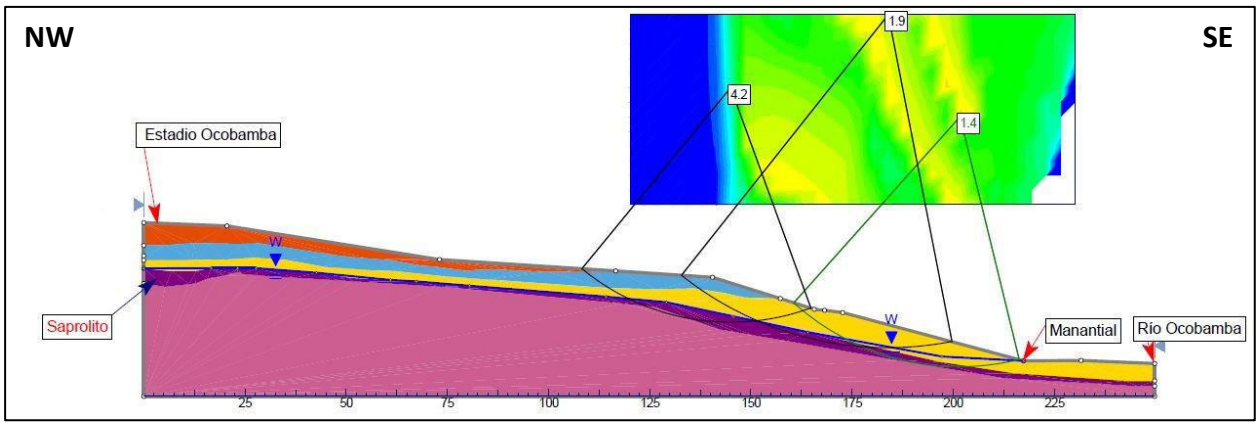


Figura 55: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado estático de1.9

Actualmente el deslizamiento se considera estable con factores de seguridad en estado estático de 1.4 a 1.9, como se observa en la figura 55.

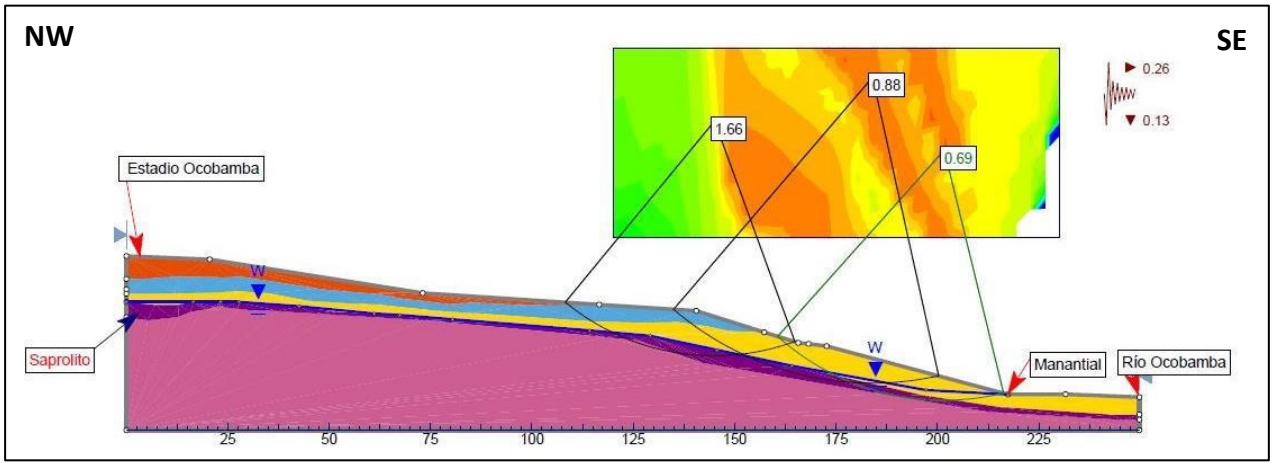


Figura 56: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado Pseudoestático de 0.88

Al generarse algún movimiento sísmico el deslizamiento se reactivaría, por presentar factores de seguridad en estado Pseudoestático de 1.6 en la parte alta y 0,88 en la parte media, indicadores de inestabilidad en estas condiciones figura 56.

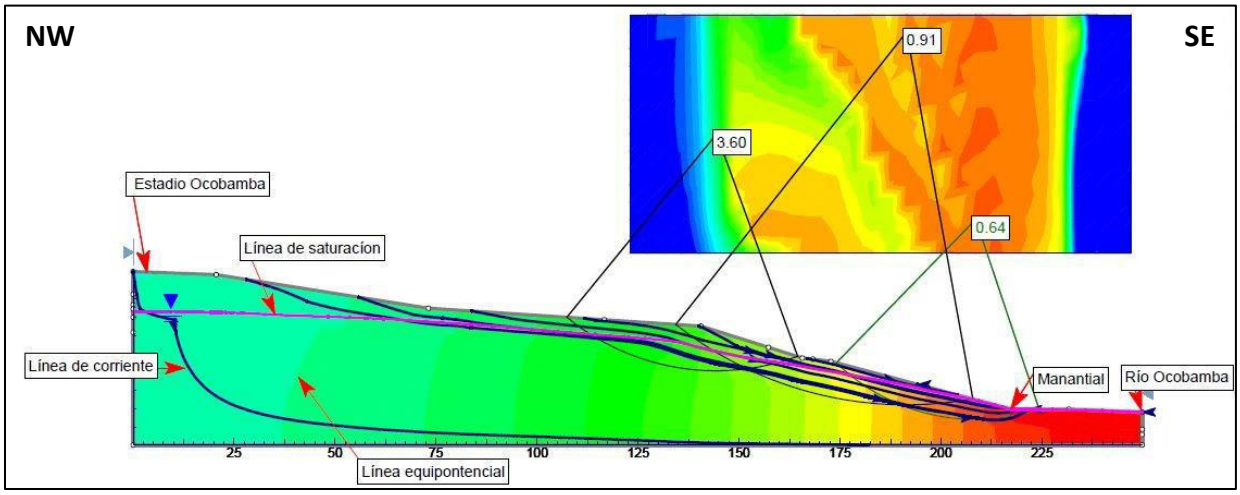


Figura 57: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado estático con una simulación de infiltración de lluvia constante de 0.04 m/d.

En épocas de lluvias con un caudal pluvial de 600 mm a 1000mm (Senamhi,2015) la zona de cizalla del deslizamiento se reactivará y genera un deslizamiento con dirección hacia el rio Ocobamba, esto se debe a la influencia de horizonte saprolítico al saturarse, donde el factor de seguridad decrece a 0.9 a 0.64, figura 57.

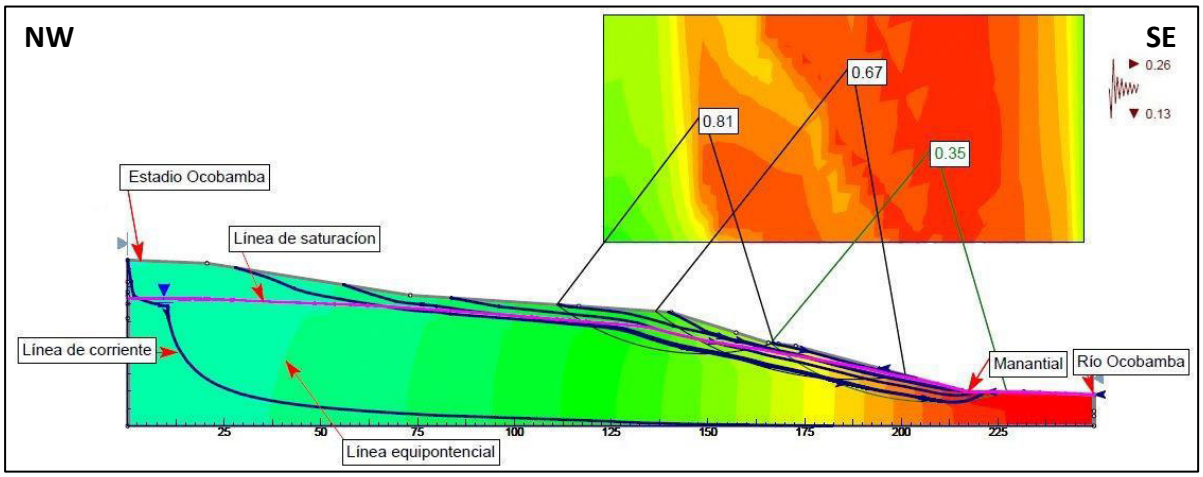


Figura 58: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', es estado Pseudoestático con una analisis de infiltración de lluvia constante de 0.04 m/d, presentando un factor de seguridad de 0.3 a 0.8, indicando que el deslizamiento se reactivaría cuando ocurre un sismo y/o temporadas de lluvia.

En la figura 59 se observa la infiltración de las aguas de lluvia se percola en el suelo y en la roca metamórfica fracturada para posteriormente salir por la parte baja creándose un manantial hacia el río Ocobamba, liberando así la presión total ejercida hacia la parte baja del deslizamiento

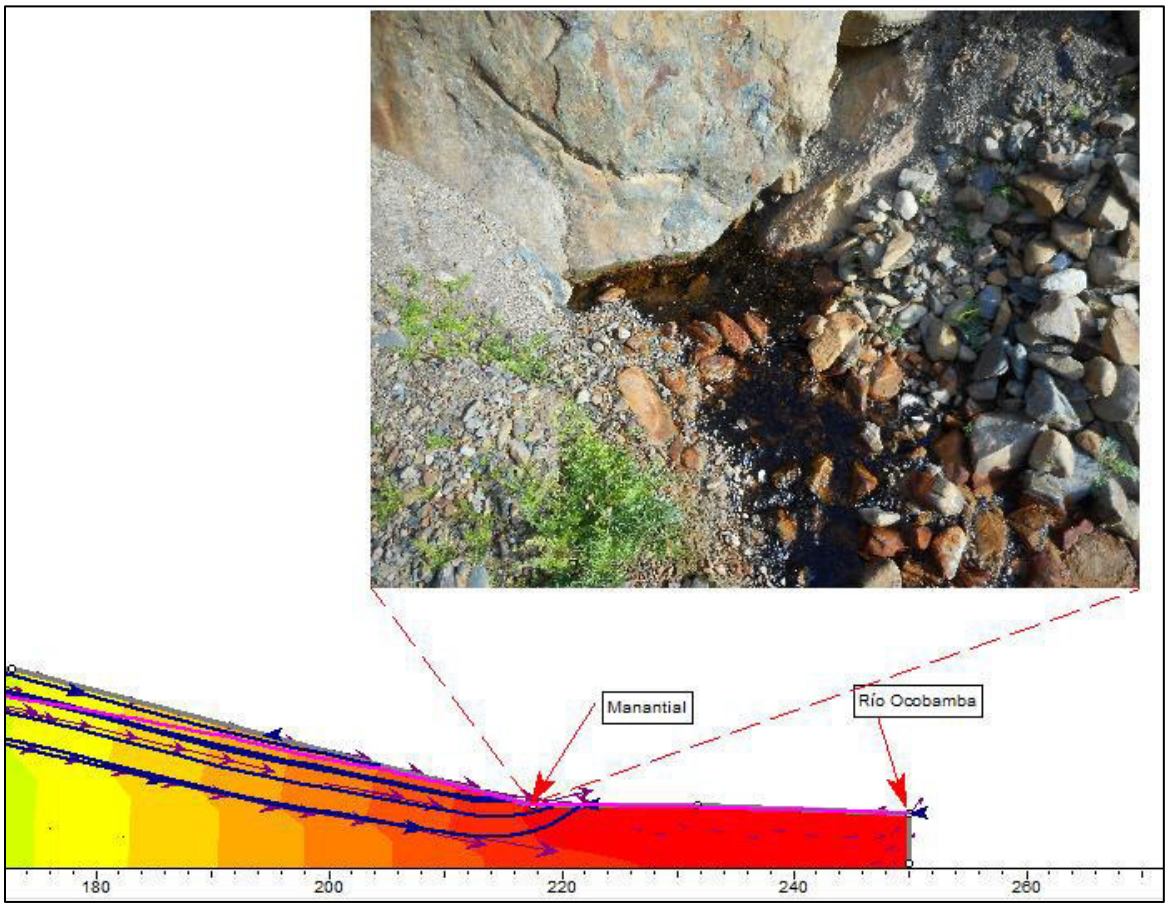


Figura 59: Manantial donde aflora el nivel freático, las líneas y flechas de color azul indican el movimiento del agua, imagen tomada en la parte baja del deslizamiento.



Figura 60: Manantial donde aflora el nivel freático, con coloración marrón producto del contenido de pirita en rocas pizarrosas del Grupo San José.

10.5.2 Perfil B-B

Este perfil se realizó tomando como referencia la plaza de Kelcaybamba hacia la quebrada Piscontilla, por observase en los ensayos geofisicos un horizonte de saprolito con espesor mayor a 10 m, las propiedades inducirian a un posterior deslizamiento, este perfil fue modelado apartir de los datos geofisicos y con los parametros de los suelos distribuidos en la localidad.

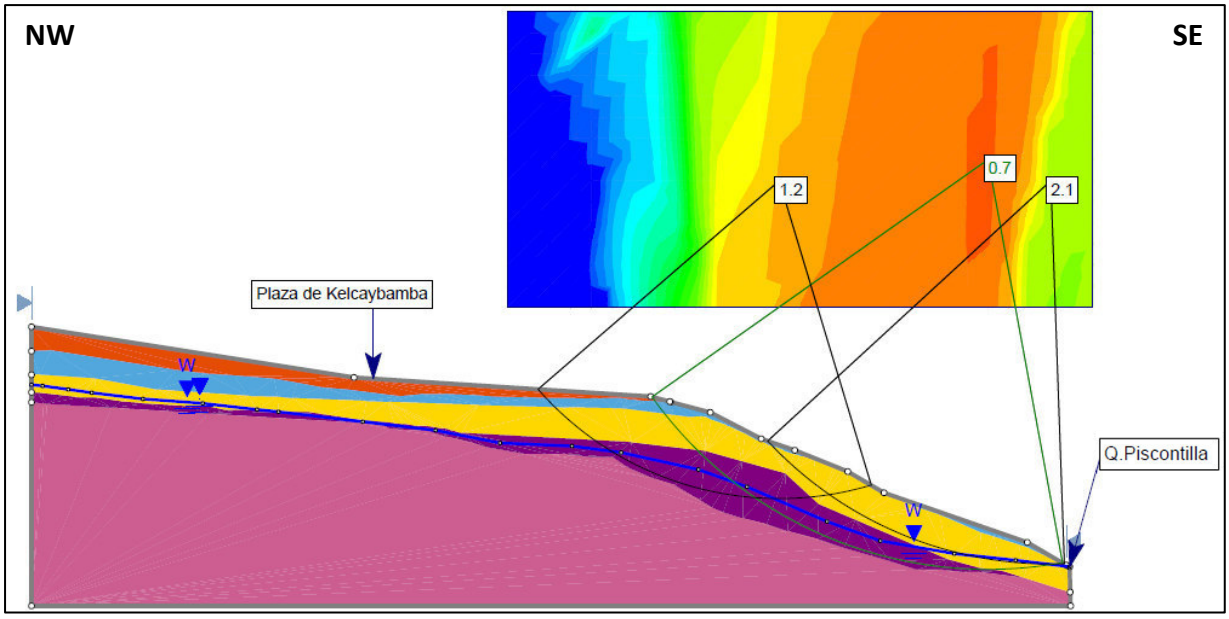


Figura 61: El factor de seguridad del perfil B-B', actualmente se presenta un factor de seguridad de 0.7, indicando una susceptibilidad a desplazarse hacia la quebrada Piscontilla.

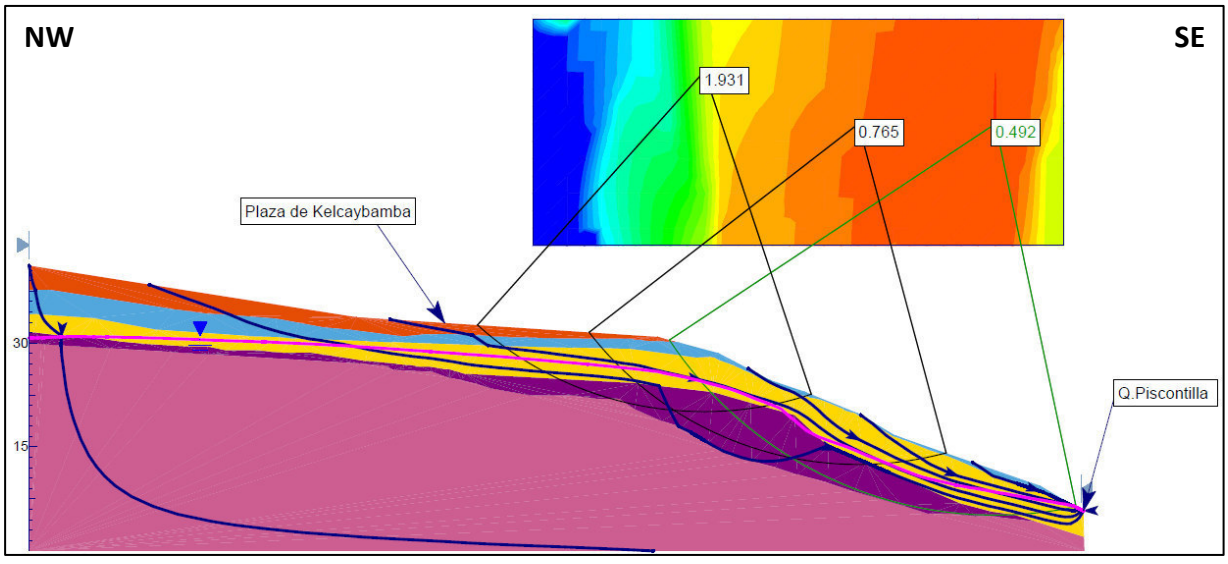


Figura 62: El factor de seguridad del perfil B-B', en estado estático, con una simulación de infiltración. presenta un factor de seguridad de 0.49 a 1.93, indicada que es susceptible a generarse un deslizamiento.

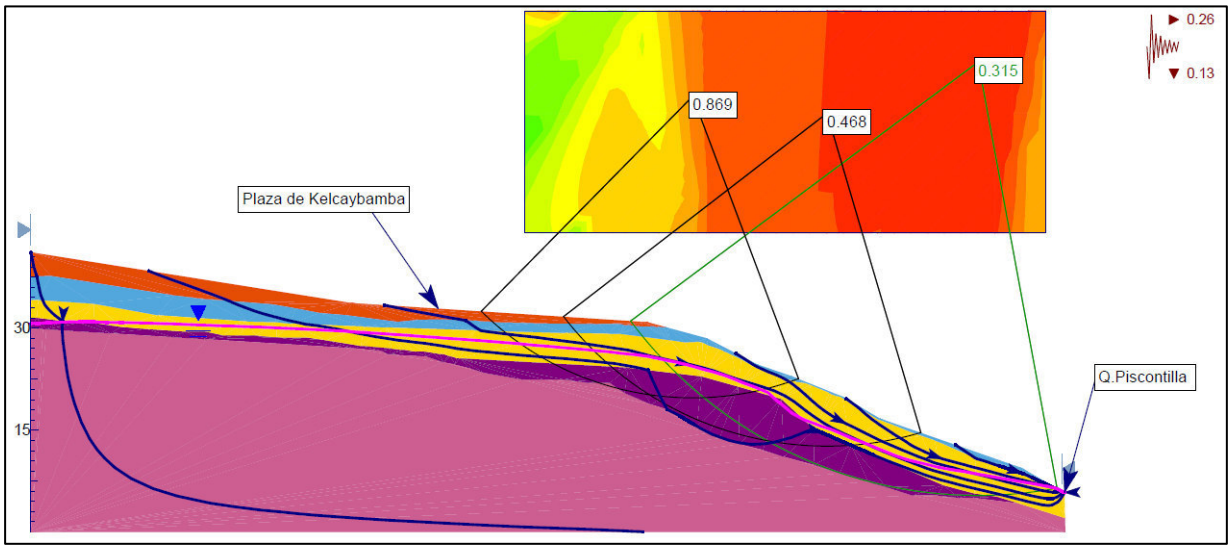


Figura 63: Factor de seguridad del perfil B-B', en estado pseudoestático con simulación de infiltración, presentando un factor de seguridad de 0.4 a 0.8, indicando que es susceptible a generarse un deslizamiento, cuando ocurre un sismo y/o en temporadas de lluvias (Setiembre- Marzo).

10.5.3 Perfil C-C'

Este perfil de estabiliadad se realizó tomando como referencia el centro de salud Kelcaybamba hacia el río Ocobamba, por observase en los ensayos geofisicos un horizonte de saprolito con un espesor de aproximadamente mayor a 5 m, y cuales propiedades inducirian a un posterior deslizamiento.

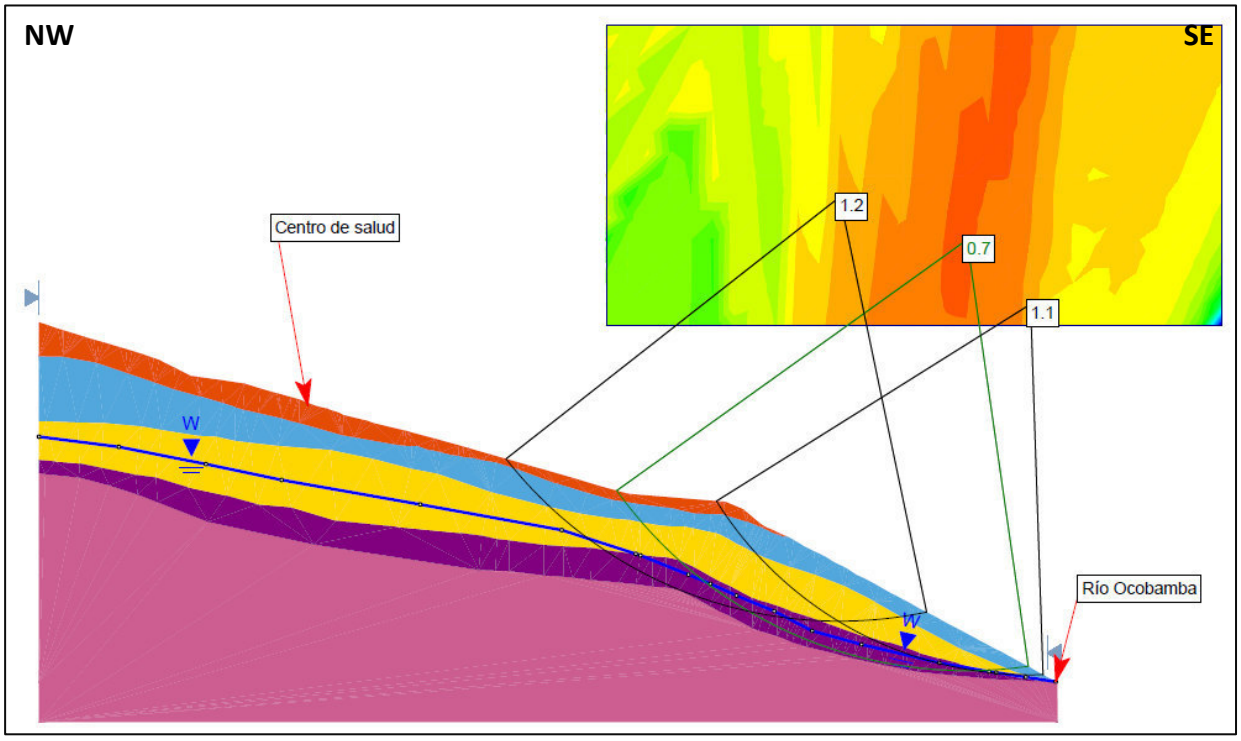


Figura 64: Factor de seguridad del perfil C-C', se encuentra actualmente presentando un factor de seguridad de 0.7, indicando una susceptibilidad a desplazarse hacia el río Ocobamba

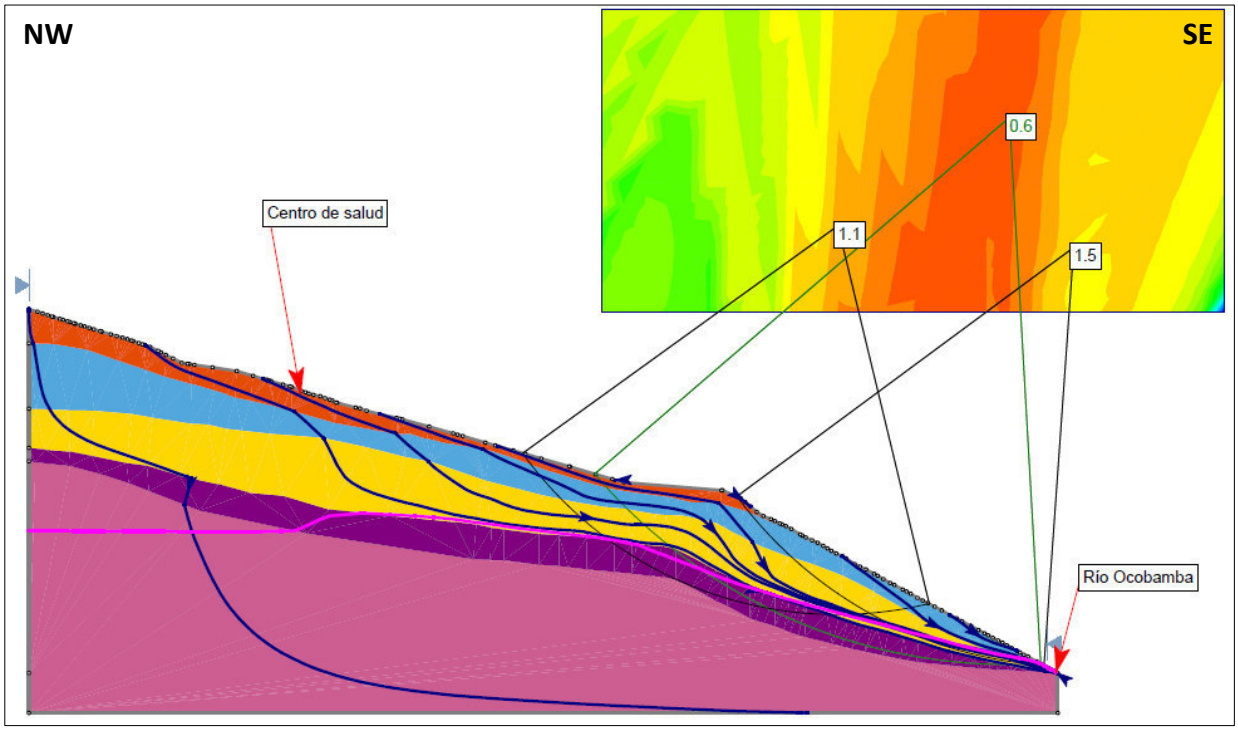


Figura 65: El factor de seguridad del perfil C-C', en estado estático con una simulación de infiltración con un factor de seguridad de 0.6 a 1.5, indicando ser susceptible a la generación de un deslizamiento.

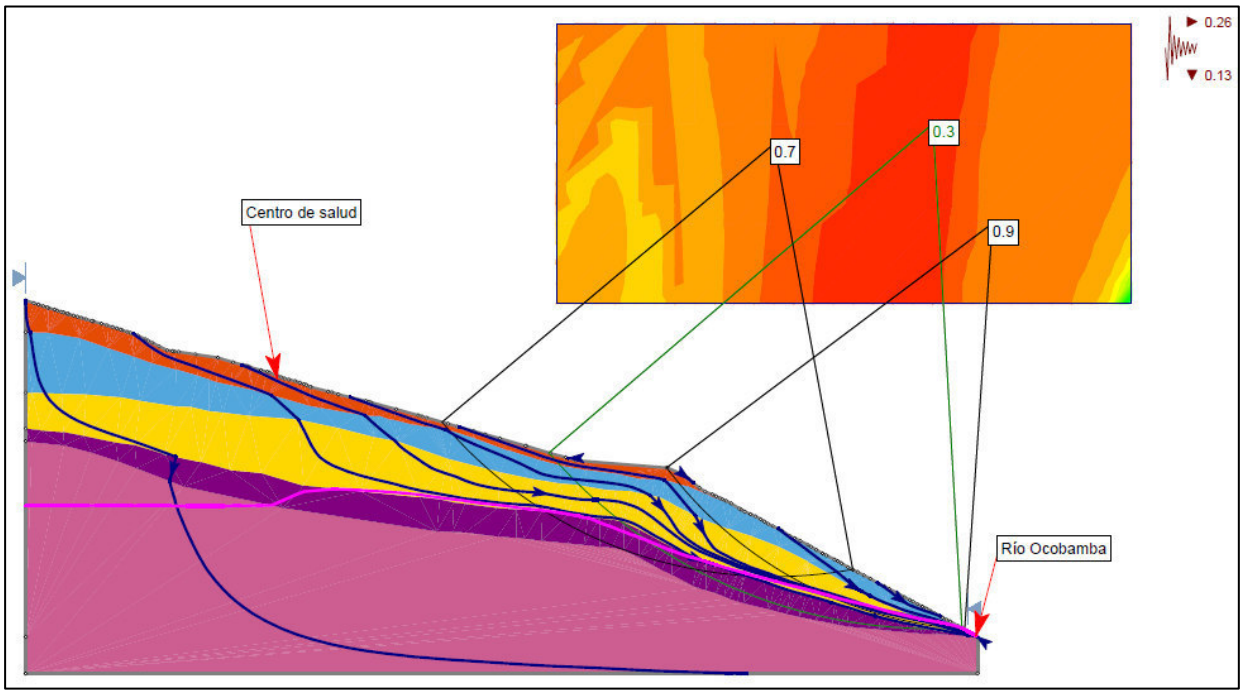


Figura 66: El factor de seguridad del perfil C-C', en estado pseudoestático con simulación de infiltración presentando un factor de seguridad de 0.3 a 0.9, indicando que es susceptible a la generación de un deslizamiento, cuando ocurra un sismo y/o en temporadas de lluvias (Setiembre- Marzo).

10.6 Análisis Numérica Usando Phase2

El análisis de estabilidad del talud global con MEF fue realizado con el programa Phase2 y usando la técnica de reducción de resistencia al corte. Las propiedades de los materiales del talud están presentadas están expresadas en términos de resistencia de Mohr-Coulomb y Hoek - Brown.

En las Figuras siguientes se muestran la configuración del talud importado desde Slide, con la misma geometría y materiales usadas para el análisis por MEL y el modelo se compone de 6880 elementos triangulares para el análisis, mostrando los resultados de análisis de estabilidad con phase2, ilustra los FoS, el mecanismo de falla por reducción de resistencia y la superficie de falla crítica no circular.

10.6.1 Perfil A-A'

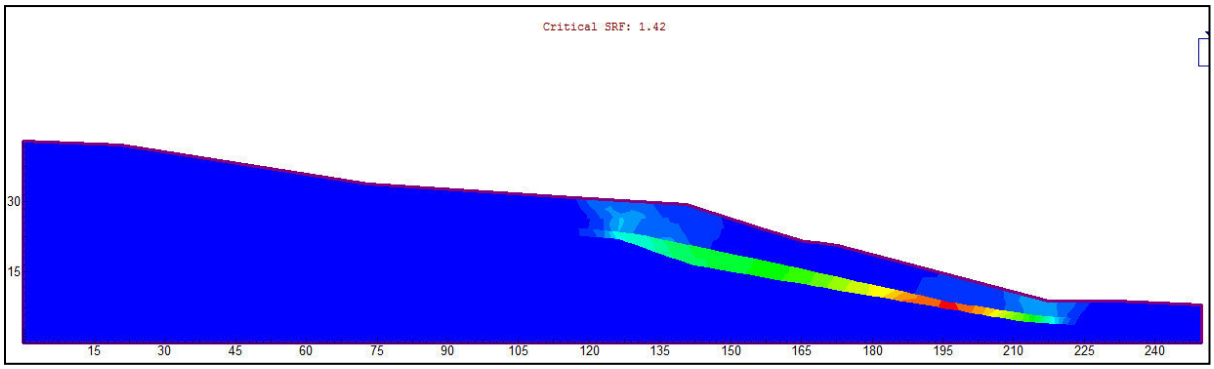


Figura 67: Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 1.42.

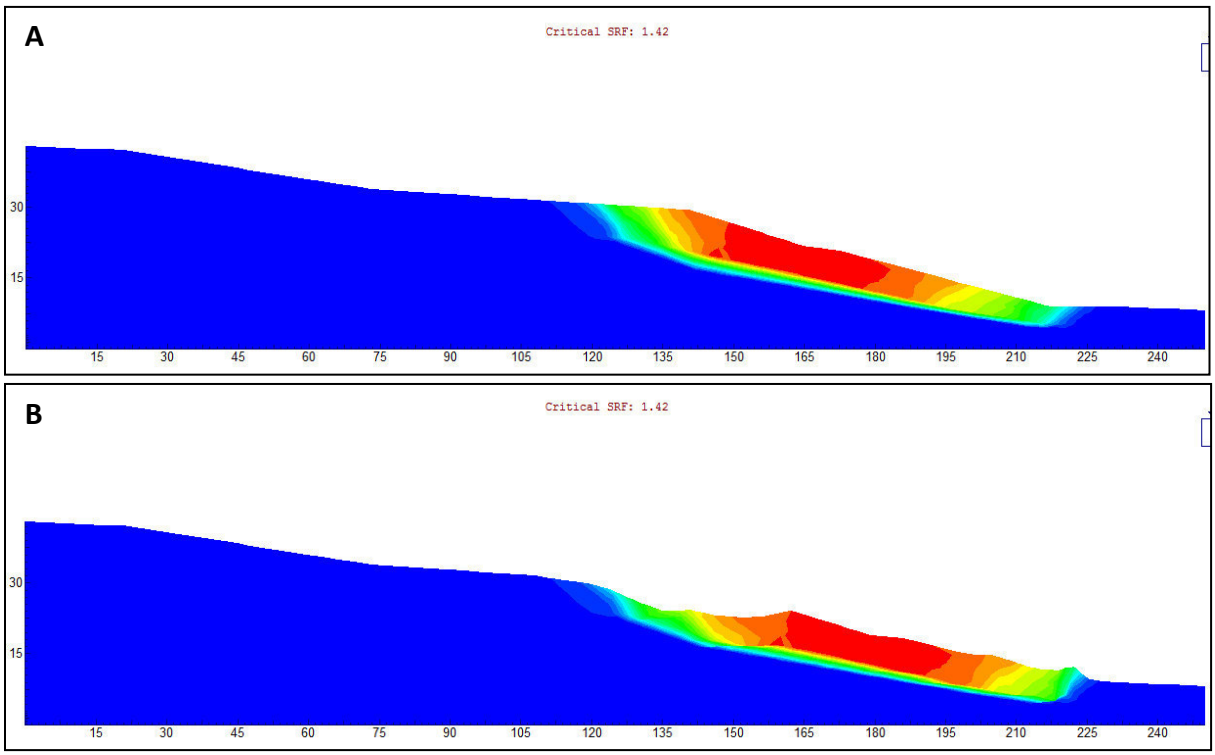


Figura 68: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.

10.6.2 Perfil B-B'

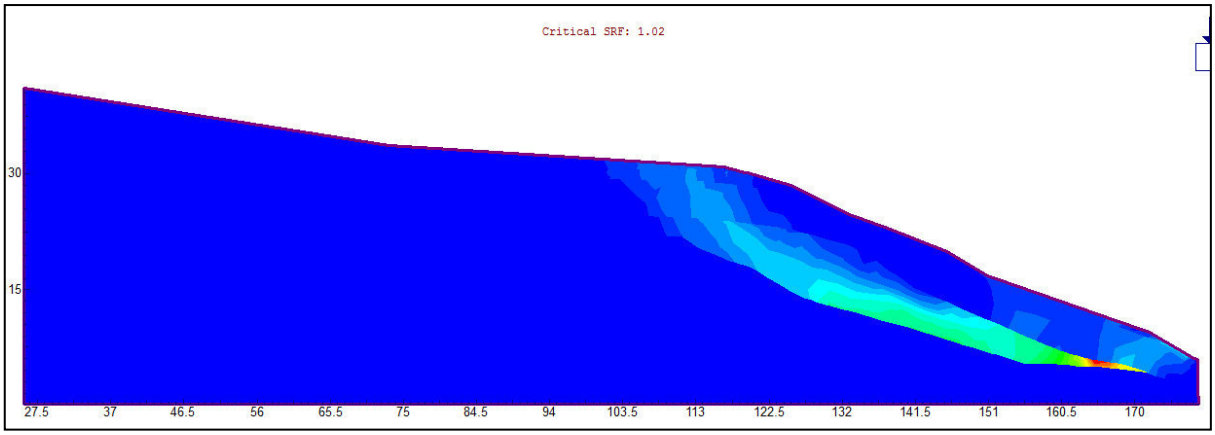


Figura 69:Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 1.02.

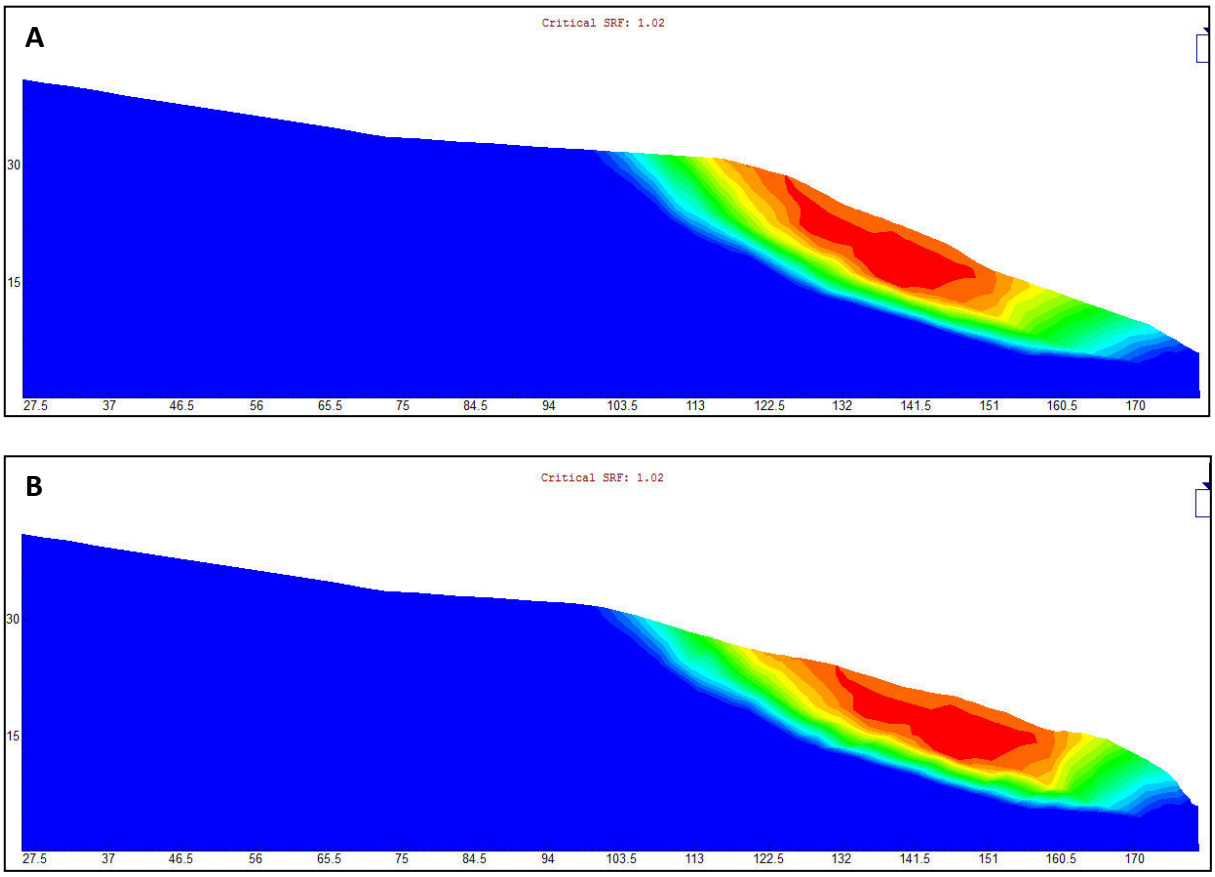


Figura 70: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.

10.6.3 Perfil C-C’

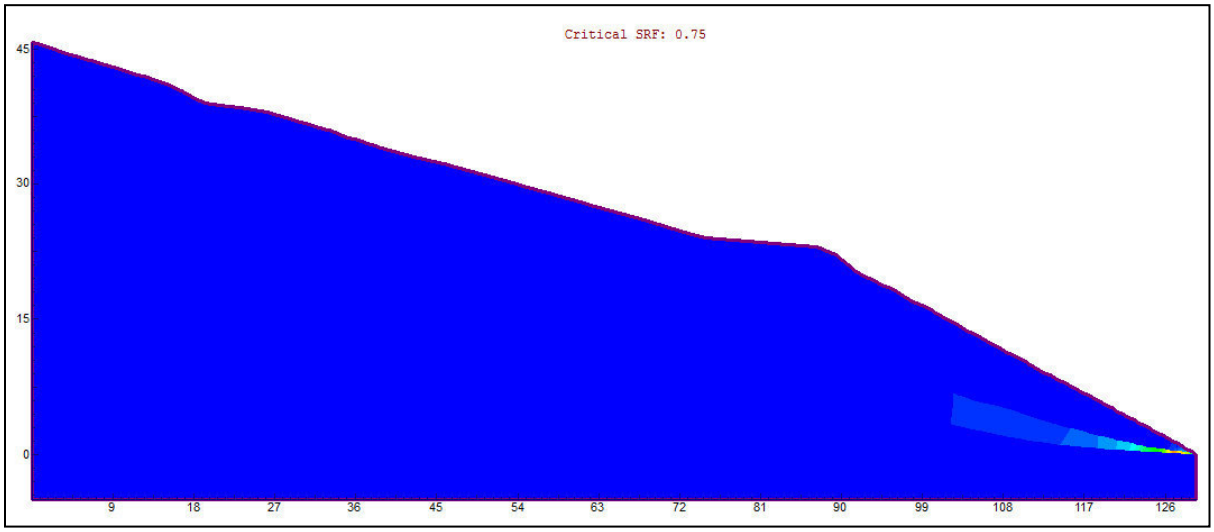


Figura 71:Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 0. 75.

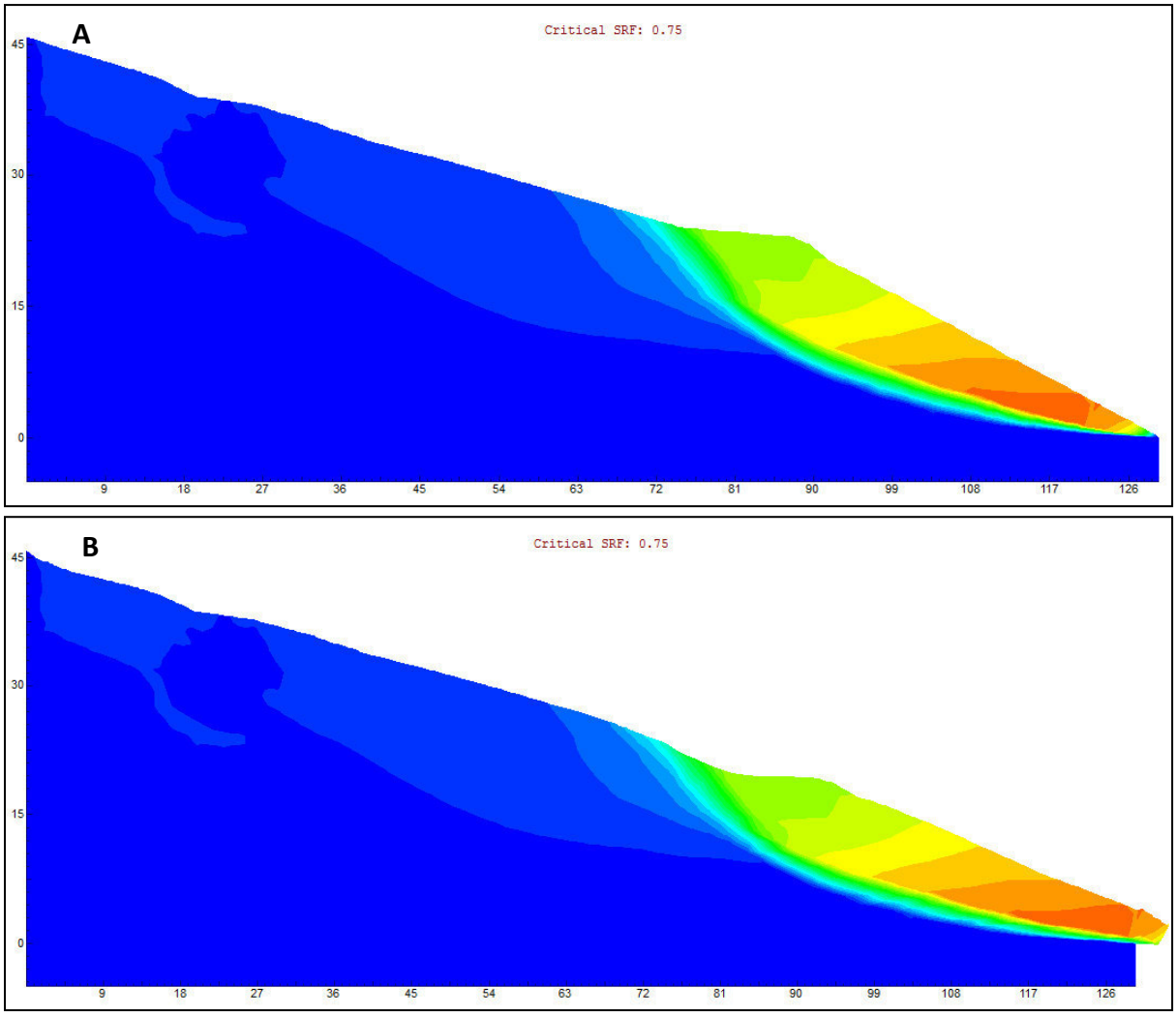


Figura 72: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.

CAPÍTULO V

11. Discusión

La presenta tesis formula como hipótesis que el horizonte de transición de roca a suelo denominado saprolito en estado saturado es el principal generador de la ocurrencia de deslizamientos de suelo en substratos rocosos metamórficos pizarrosos, sin embargo, cabe efectuar una discusión sobre los inconvenientes encontrados en la elaboración de la tesis; a continuación, se describe los principales hallazgos de este estudio.

1. La influencia de un saprolito generado por la meteorización y/o alteración de un substrato metamórfico pizarroso que la altera la composición mineralógica (silicatos de aluminio hidratados) en arcillas, y cómo influye en la susceptibilidad de la inestabilidad de una ladera, fue el tema a desarrollar; a diferencia de otros basamentos de origen ígneo, volcánico o sedimentario (exceptuando a las rocas arcillitas).

   Generalmente los substratos de origen ígneo y volcánico de composición feldespática, por efectos de la meteorización-alteración, producen suelos residuales y saprolitos de estructuras granulares y discontinuas con matrices arcillosas, los suelos sedimentarios calcáreos presentan fracturamiento de la roca y colapso de la misma por el proceso de disolución. En cambio, los basamentos metamórficos pizarrosos y las arcillitas generan como productos de la meteorización y alteración suelos arcillosos por presentar en su estructura interna minerales de aluminio.

   Ocurre una diferencia entre las rocas pizarrosas y las rocas sedimentaria lutitas o llamadas arcillitas para originar el horizonte saprolito y generar un deslizamiento, pizarras al estar sometidas a altas temperaturas y presiones elevadas (metamorfismo regional), ocasiona agrupamiento y orientación lineal de los agregados mineralógicos componentes de roca (foliación) y en este procesos los minerales de aluminio se agrupan formando cristales de moscovita presentándose en capas fisibles, éste al contacto con el agua y meteorización intensa se convierte en hidromoscovita que presenta una estructura cristalina de transición a arcillas de caolinita o montmorillonita, esto hace posible su rápida desintegración hacia arcilla a diferencia de las lutitas que presentan microminerales de aluminio muy dispersos.

2. El saprolito que se origina de la meteorización de las rocas metamórficas pizarrosas, solo actúa como generador de inestabilidad de la ladera al estar saturado, lo cual indica lo importante que son los desencadenantes pluviales que intervienen, cuando aumenta la cantidad de flujo infiltrarían al aumentar el nivel freático saturando así al saprolito.

El tamaño de espesores del saprolito dependerá del grado de meteorización en la que ha estado expuesta la roca pizarra, esto con referencia al clima tropical y subtropical donde se encuentra localizado, por lo tanto; a mayor grado de meteorización (mayor espesor de saprolito) la probabilidad de que ocurra un deslizamiento es de tipo rotacional (cóncavo), traslacional o de forma compuesta, esto debido a que no presentar la misma distribución de espesores en toda la superficie del substrato rocoso. Este proceso se representa a continuación en las figuras 73 al 77.

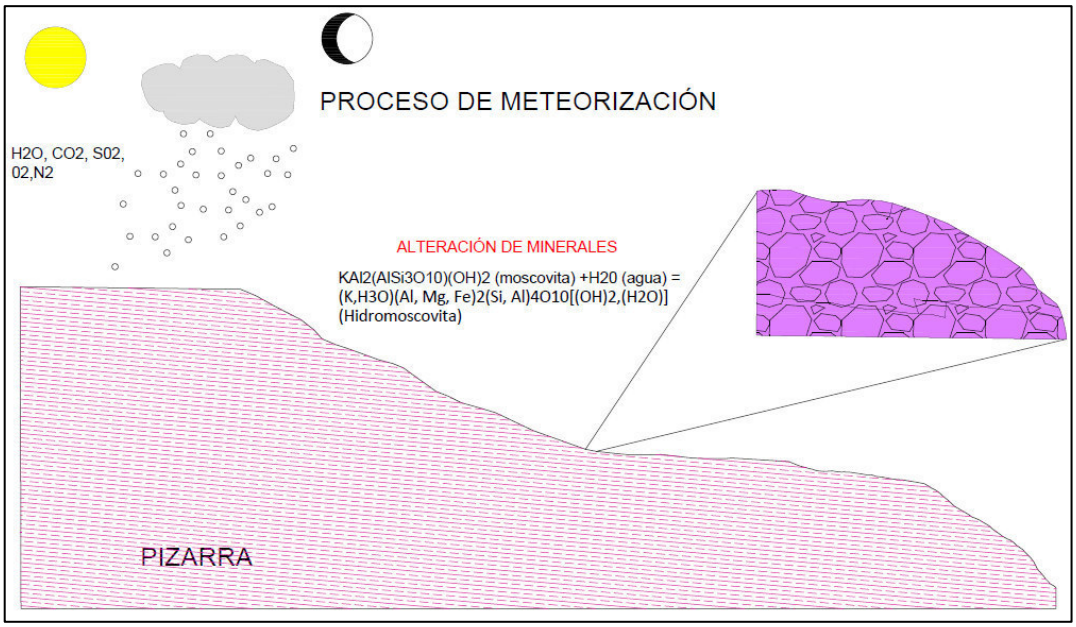


Figura 73: Proceso de meteorizaciòn que sufre las rocas metamòrficas expuestas a cambios ambientales y temperatura.

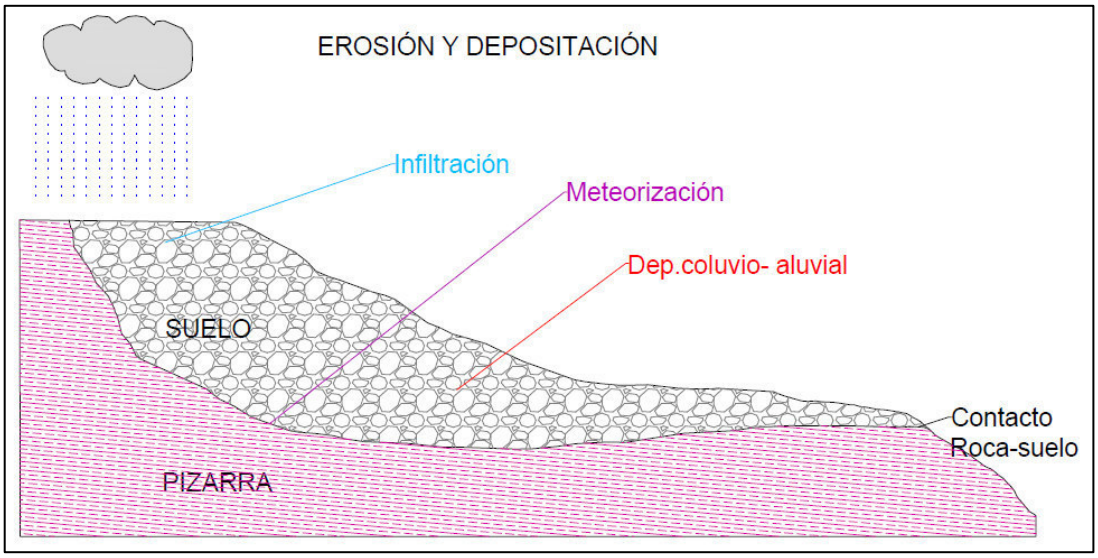


Figura 74: Erosión y depositaciòn de los suelos, sobreyacente sobre el substrato pizarroso, observàndose un proceso de meteorizaciòn en el contacto roca-suelo.

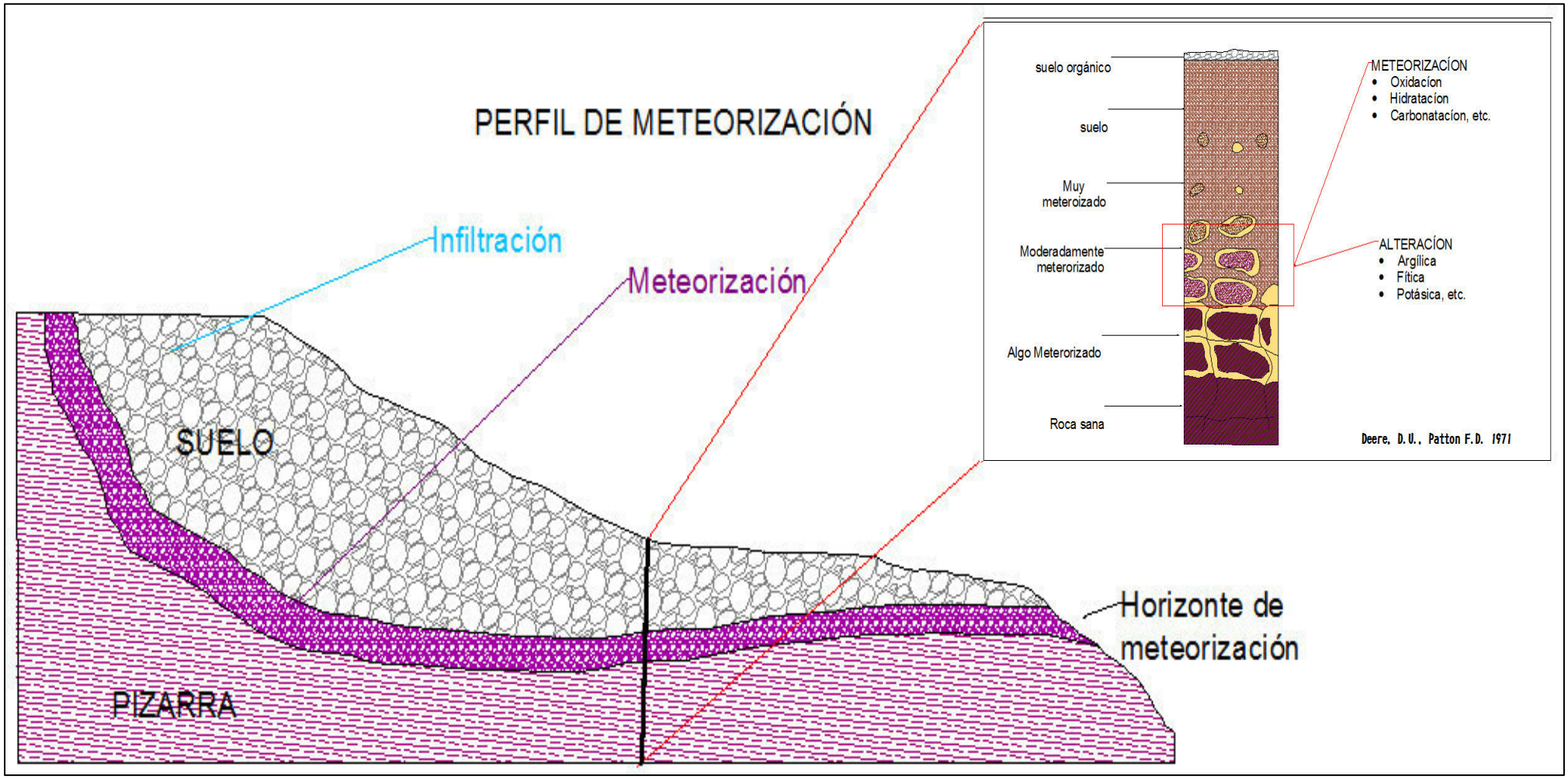


Figura 75: Generación de un horizonte saprolito, producto de la meteorización de la pizarra que interactua con el suelo transportado donde se observa el perfil de meteorizaciòn propuesto por Deere y Patton (1971).

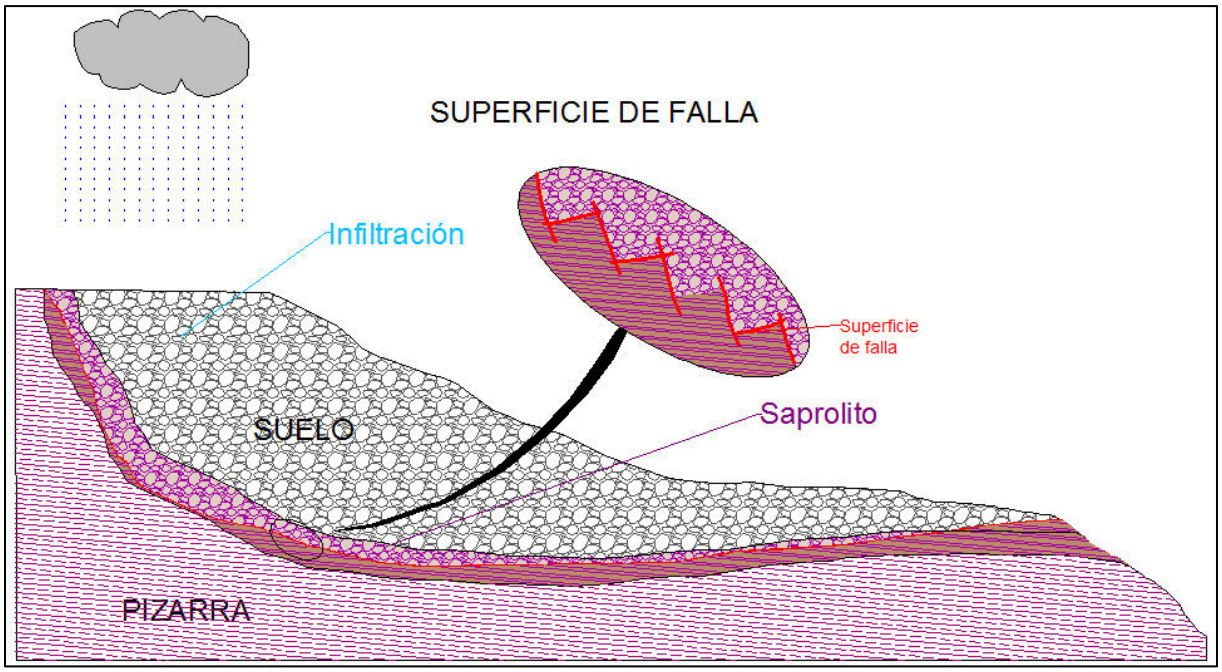


Figura 76: La superficie de falla es generado en el horizonte saprolìtico donde se originan microfracturas.

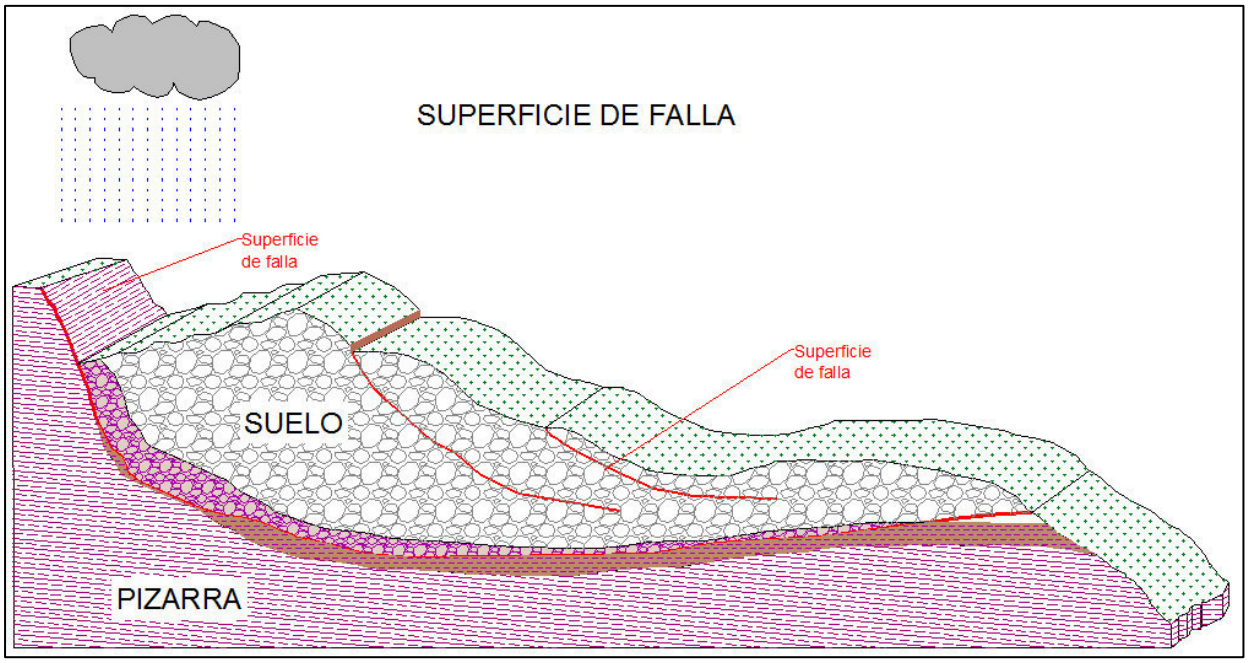


Figura 77: El deslizamiento que se genera en substratos rocosos pizarrosos puede ser de tipo traslacional en la parte superior y rotacional en la parte inferior, esto se debe a la distribución no homogénea del espesor del saprolito en el substrato.

Modelos teóricos sobre la disposición de los saprolitos en diferentes tipos de rocas y como estos son generadores de estos horizontes, por ello se puede observar en diferentes perfiles esquemáticos, (Taylor,2001).

En la figura 78 saprolito subyacente a una variedad de litologías, incluyendo granito, pizarras plegadas, plegadas pizarras intercaladas y areniscas (cuarcitas), indicando así el tipo de saprolito y las propiedades que estas presentan.

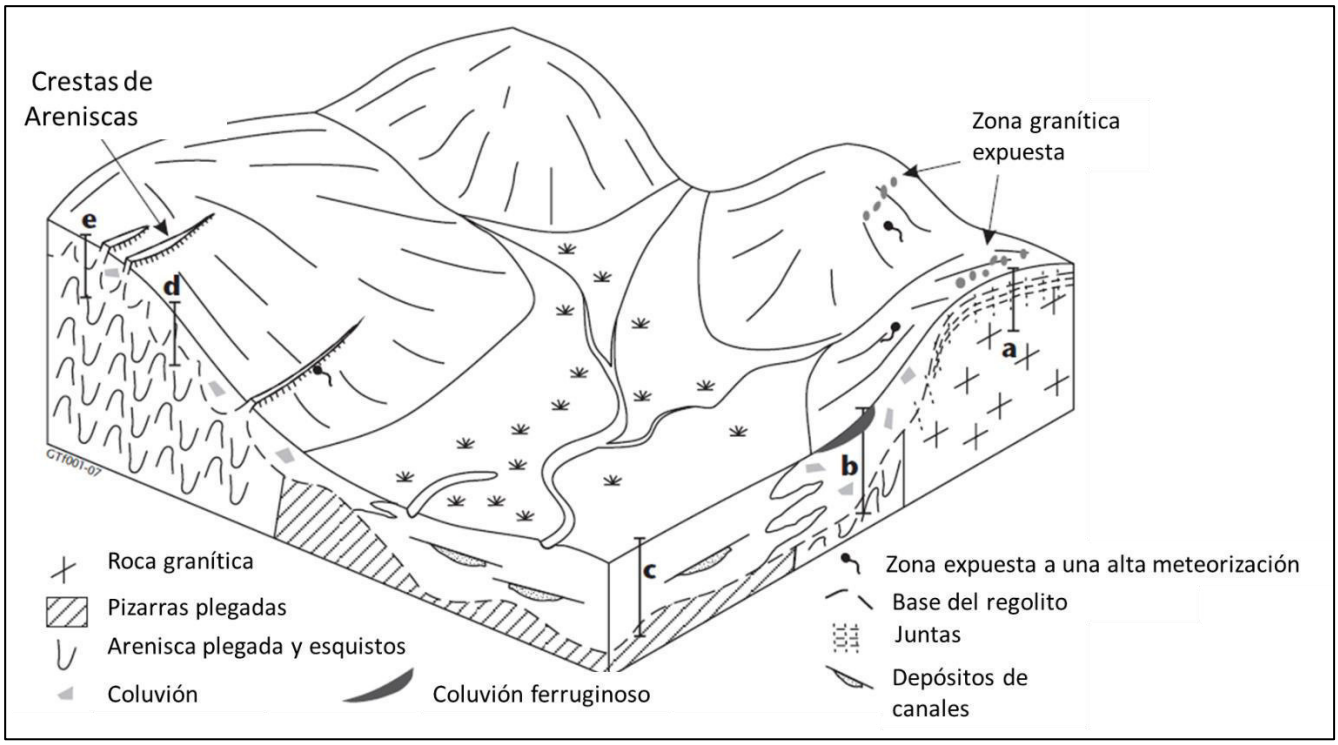


Figura 78: Un modelo hipotético formado sobre una geología mixta, que ilustra el funcionamiento de procesos que influyen en la formación de morfología y su cobertura saprolítica.

A continuación, se muestra cinco perfiles con una determinada profundidad a través del suelo a roca en varias partes de un ambiente, que ilustran la variación en la facies del saprolito.

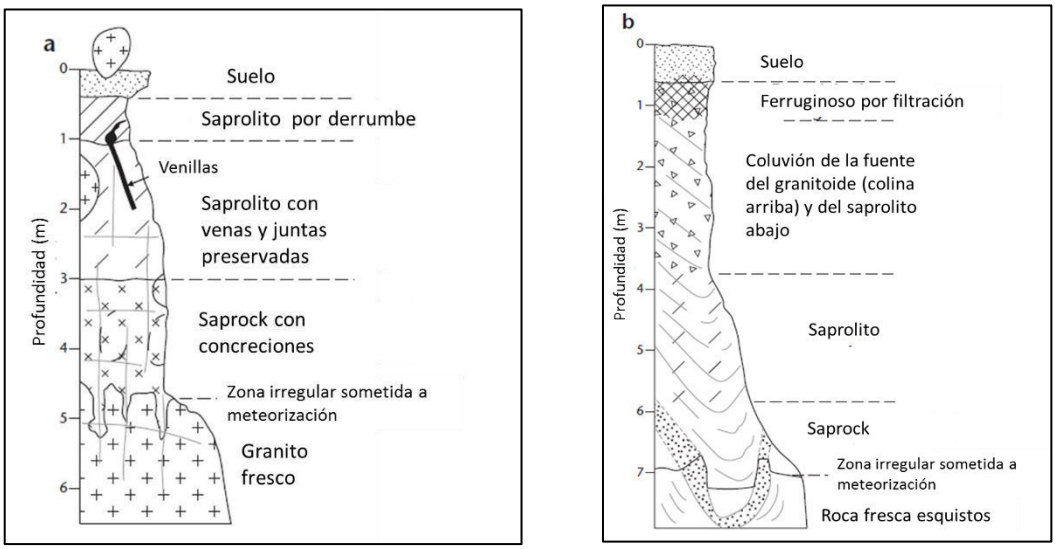


Figura 79: **a**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca granítica, **b:** Perfil de meteorización de una roca esquisto.

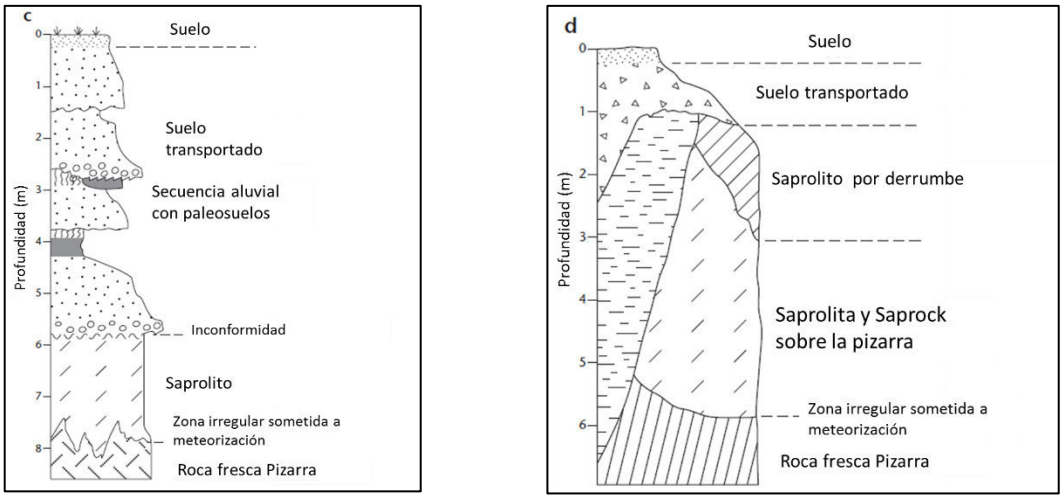


Figura 80:**c**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca pizarra, **d:** Perfil de meteorización de una roca pizarra.

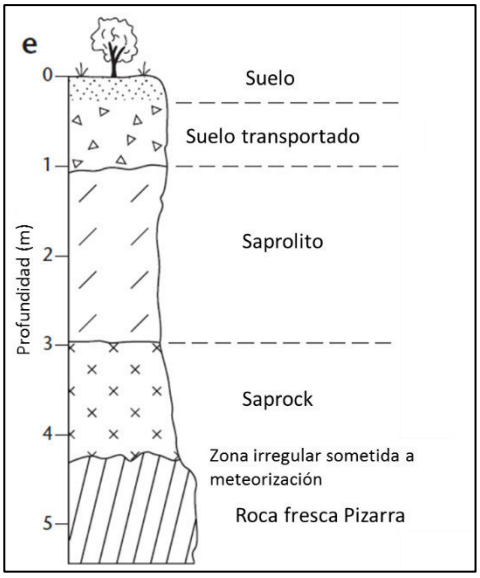


Figura 81:**e**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca pizarra.

Los perfiles de meteorización de **c**, **d** y **e** muestran saprolitos de origen pizarroso a diferencias de los otros perfiles como **a** y **b**; la diferencia que existe entre estos horizontes se debe a la composición de las rocas.

CAPÍTULO VI

12. Conclusiones y recomendaciones

12.1 Conclusiones

- Para analizar la influencia de la meteorización y el saprolito en la inestabilidad de las laderas, se estableció un marco teórico donde se presenta el origen de los saprolitos enfocados al comportamiento resultante de la meteorización de la roca madre; esto debido a que no es posible establecer un único mecanismo de falla el cual es necesario para determinar la estabilidad de los taludes, por lo cual se hizo necesario efectuar una profunda investigación para comprender el comportamiento de las rocas pizarrosas y posteriormente observar los procesos de meteorización para llegar a definir el origen de los deslizamientos generados por los saprolitos. Esto se hizo debido a que el saprolito proveniente de una roca pizarrosa tiene un comportamiento diferente a un saprolito de una roca sedimentaria, piroclástico o ígnea y viceversa.

- Para el estudio o la ejecución de obras civiles en rocas pizarrosas es necesario analizar: la textura, la matriz, el grado de fracturamiento de la roca madre, la localización geográfica-climática, los factores exógenos, el grado y tipo de meteorización, así como otros factores (humedad, anisotropía, alteración, etc.), que juegan un papel importante en el comportamiento de la roca que influyen la estabilidad de los taludes.

- Las características geodinámicas-litológicas en la localidad de Kelcaybamba fueron importantes en la generación del deslizamiento cóncavo con una superficie de falla localizada en el horizonte saprolítico donde se encuentra la roca metamórfica pizarrosa y el suelo aluvio-coluvial compuesto principalmente de gravas arcillosas.

- Para el análisis del deslizamiento que se efectuó en el talud donde se asienta el poblado de Kelcaybamba se realizaron toma de muestras para obtener parámetros geotécnicos de mecánica de suelos con el fin de conocer las propiedades físicas del material desplazado y no desplazado, dando como resultado gravas arcillosas GP-GC y GM de plasticidad media 9.86 a 15.92%, donde los ensayos de densidad presentan valores de rango medio de poca cohesión (seco-1.77 y húmedad-1.58 gr/m3), datos que sirvieron para conocer el grado de absorción, permeabilidad del suelo y cómo influyo en la generación del deslizamiento.

- Para estimar detección del substrato rocoso se realizaron ensayos geofísicos de resistividad eléctrico vertical en Kelcaybamba, los resultados permitieron inferir el horizonte saprolito a +-13 metros de profundidad y un espesor de ±5 a ±8 m., el substrato metamórfico se encontró próximo a los ± 20 m., donde la presencia del nivel freático se localiza a una profundidad de +-13 metros.

- El deslizamiento de Kelcaybamba actualmente se encuentra estable, F.S: 1.9, solamente se reactivaría si las condiciones hidrológicas y sísmicas presentan valores altos o anómalos como, por ejemplo: lluvias intensas por el fenómeno El Niño y movimientos sísmicos.

- Según el análisis de estabilidad de taludes del Perfil B-B,' da como resultado la generación de un deslizamiento por presentar una alta susceptibilidad a deslizarse detectado mediante el análisis estático, F.S.: 1.2, y mediante el análisis pseudoestático que determinó el F.S: 0.8.

- Según el análisis de estabilidad de taludes del Perfil C-C' da como resultado la generación deslizamiento por presentar una alta susceptibilidad a deslizarse determinado por el análisis estático que dio como resultado FS 1.2 y pseudoestático F.S: 0.9.

- El grado de saturación del saprolito es importante porque genera deslizamientos en este tipo de roca pizarrosa debido a que la meteorización de estas genera un horizonte arcilloso que sirve como lubricante en la superficie de falla.

12.2 Recomendaciones

- En todo análisis de los deslizamientos ocurrentes en rocas pizarrosas se deben tomar en cuenta el horizonte saprolítico (espesor y grado de saturación), por influir en el desplazamiento de material inconsolidado sirviendo como lubricante en la superficie de falla.

- Esta tesis debe complementarse con otras investigaciones en base a perforación diamantina o excavación más profunda que las calicatas, para tener más información de campo de cada uno de los horizontes incluidos el saprolito.

- Para mitigar el deslizamiento en la localidad de Kelcaybamba, se debe hacer otros perfiles posibles analizados para construir una cuneta de canalización revestida en la parte media de la ladera donde se asienta el poblado para captar y evacuar las aguas superficiales de lluvia evitando la filtración y posterior saturación del horizonte saprolítico.

- Se recomienda a la municipalidad de Kelcaybamba-Ocobamba mantenerse alerta, vigilancia constante ante la aparición de nuevos agrietamientos en la zona deslizada y en otros sectores que se ubican cerca del borde de la terraza aluvio-coluvial donde se encuentra asentada esta localidad, para realizar las acciones de evacuación de personas de ser necesarias ante cualquier evento.

- Se debe de realizar en el poblado de Kelcaybamba-Ocobamba la identificación y señalización de rutas de evacuación hacia las zonas altas y aledañas, así como de las zonas de refugio de producirse algún un evento geodinámico que ponga en peligro la seguridad de las habitantes del lugar.

- El resultado del estudio es dirigido a investigadores o técnicos especializados en geodinámica externa, construcción-ejecución de obras de ingeniería y otros; para así contribuir en la caracterización de las condiciones geológicas, geotécnicas en este tipo de materiales con la finalidad de establecer medidas de control de ingeniería para mitigar sus efectos.

- Se recomienda esta investigación que tiene como finalidad y contribución a la gestión de riesgos de desastres naturales, con el fin de generar información que sirva a los organismos encargados de la planificación urbana, preparación y respuesta ante desastres como El Instituto Nacional de Defensa Civil, CENEPRED, gobiernos locales y regionales.

Referencias bibliográficas

- **Anon (1990).** “Geological Society Engineering Group Working Party Report: Tropical Residual Soils”. Quarterly Journal of Engineering Geology, 23, 1-101.
- **Anon. (1995).** description and classification of weathererd rocks for engineering purposes (Vol. 23). London: Quarterly. Journal of Engineering Geology.
- **Alva Hurtado J.E. (1990),** " Análisis Dinámico de la Presa Palo Redondo-Nivel Factibilidad. Alternativa de Materiales Gruesos con Pantalla de Concreto". Informe presentado a GMI S.A., Proyecto Chavimochic.
- **ASTM** Committee D-18. 1993. D248-93 Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure) en Soil and rock.
- **ASTM D2216** - 05 Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass.
- **ASTM D2937** -04 Standard test methods for density of soil in place by the drive-cylinder method.
- **ASTM D854** - 06 Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer.
- **ASTM D4318** - 05 Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils.
- **ASTM D2166**-06 - Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- **ASTM D3080**-04 Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.
- **ASTM D5298** - 03 Standard test methods for measurement of soil potential (Suction) using filter paper.
- **Bai, X et. al (1992).** Polarising microphotometric analysis. Geotechnique 44, pp. 80-175.
- **Bieniawski, Z.T. (1989).** Engineering rock mass classifications. John Wiley and Sons, Inc.
- **Bishop A.W. (1955),** "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes", Geotechnique, Vol. 5, pp. 7-17.
- **Blight, Wardle, &Fourie, (1997).,** ‘’ the tailing dam flow failure at Merriespruit, South Africa, Causes consequences’’ confenrece of Tailangs and Mine Waste, 1997, Colorado State University, January 1997.
- **Bressani, L.A., Vaughan P.R. (1989).** “Damage to soil structure during Triaxial testing”. In Proc., 12th International conference on soil mechanics and foundation engineering, Río de Janeiro, Brazil, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- **Brand E.W. (1982)** “Analysis and design in residual soils”. Geotechnical office, Hong Kong.
- **Brand, E.W. (1985).** “Predicting the performance of residual soil slopes”. In Proc., 11th International conference on soil mechanics and foundation engineering, San Francisco, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 5, pp. 2541-2578.
- **Brand E.W., Phillipson H.B. (1985)** “Review of International Practice for the Sampling and Testing of Residual Soils”. Sampling and Testing of Residual Soils. A Review of International Practice.- Hong Kong

- **Casagrande, A., (1932),** Research on the Atterberg limits of soils, Public Roads, Vol. 13, 121-130 & 136.
- **Casagrande, A., (1948),** Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
- **Castillo J. y Alva Hurtado J.E. (1993),** "Peligro Sísmico en el Perú", VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones", Lima, pp. 409- 431.
- **Camilo M.O. (1992)** '' Fundamentos de geomorfología'' México, D.F. [México] : Trillas 2ª ed ,102 p.
- **Chavez, A. Salas, G. Cuadros, J y Gutierres, E. (1996).** Geología de los Cuadrángulos de Putina y la Rinconada. INGEMMET: Seria A: Carta Geológica Nacional (Boletín 66), Fimart S.A. 144 paginas.
- **Corominas, J. y García Yagüe, A. (1997). "**Terminología de los movimientos de ladera". IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3: 1051-1072.
- **Collins, K. (1985).** Towards characterization of tropical soil microstructure. TropicaLS'85. pp. 85-96.
- **Cruden, D. M. y Varnes D.J. (1996).** "Landslide types and processes". In A. K. Turner y R.L. Schuster (Editores): Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D.C. pp. 36-75.
- **Cruden, D. M.,(1991)** A simple definition of a landslide. IAEG Bull., 43,27-29.
- **Deere, D.U., Patton F.D. (1971).** Slope stability in residual soils. En Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Puerto Rico. Vol. 1, Pàg. 87-170.
- **Dearman, W. (1995).** Description and claificacion of weathered rocks for engineering purposes: the background (Vol. 28). London: Quarterly Jornal of Engineering Geology.
- **Elison y De La Cruz (1989),** Mapa Geológico del Cuadrángulo de Lagunillas. INGEMMET.
- **Fookes, P. G. (1985).** Tropical residual soils. Geological Society Engineering Group, Working Party Revised report. 184 pag. London.
- **Geotechnical Engineering** Office -GEO- 1988. Geoguide 3: Guide to rock and soil descriptions. 186 pág
- **GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE. CIVIL ENGINEERING SERVICESDEPARTMENT HONG KONG**: Geoguide 3. Guide to rock and soil descriptions.1ª Ed. 1988.
- **Geoslope International Ltd (1998).** "User´s Guide for Slope/W for Slope Stabillty Analysis".
- **González de Vallejo, L. Editor. (2002).** Ingeniería Geológica. Cap. 2, pp.18-114.
- **Grant, K. (1974).** "Laterites, fericretes, bauxites and silcretes". Proceding of the Second international Congress of the International Association of Engineering Geology, Sao Paulo, Brasil, Vol. 1.
- **Hutchinson, J. N. (1988).** "Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology". In Ch. Bonnard (Ed.): Landslides. Proceeding 5th International Conference on Landslides. Lausanne. Vol. 1. pp. 3-35.

- **Hoyos, F. (2004).** Suelos Residuales tropicales. (P. G. Fookes, Ed., & F. Hoyos, Trad.) Medellin: Hombre nuevo Editores.
- **Hunt, R. (2007).** Characteristics of geologic materials and formations a field guide for geotechnical engineers. Boca Ratón: C.R.C Press.
- **Hutchinson JN (1988).** General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. In: Proceedings of 5th international symposium on landslides, vol 1, Balkema, Rotterdam, pp 3–35
- **Inganga S, Ucakuwun E (2001).** Rate of swelling of expansive soils: a critical factor in triggering of landslides and damage to structure. Documenta Naturae 136:93–98
- **Laubacher, G. (1974).** Le Paléozoïque inférieur de la Cordillère orientale du sud-est du Pérou. Cahiers ORSTOM, série Géologique, 6 (1), 29-40.
- **Little, A.L. (1969**). "The engineering classification of residual tropical soils". Proceedings of the specialty session on the engineering properties of laterite soils, Vol. 1, 7th. International conference on soil mechanics and foundation engineering, Mexico City, p.p. 1 - 10.
- **Mitchell, S.A. (1993).** Hope and dread in psychoanalysis. New York: Basic Book
- **Mirchell, J., & Soga, K. (2005).** Fundamental of soil behavior 3rd edition. John Wiley of sons.
- **Marocco.R; Pastror, P (1982).** Una intrusió contemporánea de la tectónica Herciana: ElOrtogenesis de Amparaes, Cordillera Oriental del Sur del Perú, Quinto Congreso Latinoamericano De Geología, Argentina Actas III ,4237-439p
- **Newmark N.W. (1965),** "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", Geotechnique, London, Vol. 15, pp. 139-160.
- **Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969).** Soil Mechanics. Wiley.
- **Ollier, C. (1984).** Weathering. London: Longman.
- **Price, D. (1995).** Weathering and weathering processes. (Vol. 28). London: Quarterly Journal of Engineering Geology.
- **Phillipson H. B., Brand E.W. (1985).** "Sampling and testing of Residual Soils in Hong Kong". Sampling and Testing of Residual Soils. A Review of International Practice.- Hong Kong.
- **Salas, G., Chavez, A., y Cuadros, J. (1999).** Geología de los cuadrángulos de Quebrada Honda y Porobamba. Serie A, Boletín N° 128. Lima: INGEMMET.
- **SEMERNAT.** (15 de 11 de 2007). Instituto nacional de Geología Mexico. (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales) Recuperado el 01 de 09 de 2012.
- **Suárez, J. (1998).** Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- **Suárez, J. (2009).** Deslizamientos (Vol. 1). Bucaramanga, Colombia: Publicaciones UIS.
- **Sidle RC (1984)** Shallow groundwater fluctuations in unstable hill slopes of coastal Alaska. Zeitschriftfu¨r Gletscher kundeund Glazial geoleologie 20:79–95.
- **Small, R. J. (1982).** Slopes and Weathering . Cambridge: Cambridge Topics in geography.
- **Sowers, G. F. (1979)** "Introductory Soil Mechanics and Foundations," 4th edition. Macmillan, 621, New York.

- **Sowers G. F. (1985)** "Residual Soils in the United States". Sampling and Testing of Residual Soils. A Review of International Practice.- Hong Kong.
- **Tarbuck & Lutgens (2005),** ''Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física'' Octava edición, pag, 736.
- **Taylor,G. and Eggleton,R.A.(2001**): Regolith Geology and Geomorphology. John Wiley&Sons, NY, Brisbane, p.375.
- Townsend, F.C. (1985), "Geotechnical characteristics of residual soils". Journal of the geotechnical engineering division, ASCE, Vol. 2, pp. 591-597.
- **The Geological Society. (1997).** Tropical residual soils. Professionalhandbook. London, editorial The Geological Society Publishing, House.
- **Terzaghi K, Peck R (1980).** Soil mechanics in engineering practice (2nd edn) (Wiley: New York).
- **Varnes, D. J. (1978).** Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- **Velbel MA (1985)** Geochemical mass balance and weathering rates in forested water sheds of the Southern Blue ridge. Am J Sci 285:904–930.
- **Vilchez. (2013)** Informe técnico del derrumbe en el Distrito de Ocobamba, provincia de la Convención, región Cusco. Lima: INGEMMET, (Informe técnico N° A6630).
- **Vilches, M (2013)** INGEMMET, informe técnico A6630.
- **Wesley, L. (2009).** Geotechnical Engineering in Residual Soils. New Jersy: John Wiley & Sons.

Páginas electrónicas

- http://www.sciencedirect.com/science/journal/16747755
- http://www.hindawi.com/journals/mpe/2010/901095/
- https://books.google.com.pe/books?id=5oErll55yacC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- http://enriquemontalar.com/problemas-mecanica-rocas-fundamentos-e-ingenieria-taludes/
- https://www.crcpress.com/Mechanics-of-Residual-Soils-Second-Edition/Blight-Leong/9780415621205
- http://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/Intro01.htm
- http://www.catalogo.uni.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14926&query_desc=kw%2Cwrdl%3A%20deslizamientos/
- http://cybertesis.unmsm.edu.pe/simple-earch?location=%2F&query=geolog%C3%ADa&rpp=10&sort_by=score&order=desc
- http://landslides.usgs.gov/
- http://biblioteca.unach.edu.ec/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=6043
- http://jimcollinvestigacion.blogspot.pe/2009/11/analisis-de-estabilidad-de-taludes-en.html
- http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/massmovementexercisesF11.htm
- http://patribiogeo.wix.com/tarentola#!5--geodinámica-externa/cis5
- http://www.ub.edu/dyn/cms/continguts_es/Resultats.html?q=GEODINAMICA&M-021_submit.x=40&M-021_submit.y=14&M-021_submit=%3E%3E
- http://wa.water.usgs.gov/data/oso.html
- http://www.academia.edu/1320230/Diccionario_de_Geotecnia_S
- https://gpemso.wordpress.com/linhas-de-pesquisa/saprolito/
- http://blogs.agu.org/landslideblog/
- http://www.opentopography.org/community/workshops/15_UNAMhttp://qjegh.geoscienceworld.org/content/43/1/69.full

Lista de figuras

*Figura 01: **A**.: Deslizamiento de Chango- Cerro de Pasco, **B**: Deslizamiento de Carampa- Huancavelica, (IGP, 2015)* ---------- *17*
*Figura 02: **A**.: Deslizamiento de Chagavara- La Libertad, **B**: Deslizamiento Pijobamba- La Libertad, (IGP, 2015)* ---------- *17*
*Figura 03: A: Deslizamiento de Toccopuquio -Cusco, **B**: Deslizamiento del sector de Pirhua, (INGEMMET, 2013)* ---------- *17*
Figura 04: Perfil general de un suelo observándose los horizontes de meteorización (SEMERNAT, 2007). ---------- *21*
Figura 05: Perfil de meteorización de Dearman (1995 en Hoyos, 2004) ---------- *22*
Figura 06: Perfiles de meteorización de diferentes tipos de roca y modelos teóricos (Vallejo, 2002). *24*
Figura 07: Foto de la localidad de Kelcaybamba tomada de la ladera media del Cerro Ocobamba. - *41*
Figura 08: Accesibilidad hacia la localidad de Kelcaybamba, distrito de Ocobamba, región Cusco. -- *42*
Figura 09:Ubicaciones de las estaciones meteorológicas, representadas por el color amarillo la Quebrada Yanalite (SENAMHI, 2016). ---------- *43*
Figura 10: Mapa de clasificación climática de la región Cusco, (SENAMHI, 2010). ---------- *46*
Figura 11: Bosques de arbustos y árboles en las laderas del cerro Ocobamba. ---------- *47*
Figura 12: Vista del lecho fluvial del río Ocobamba donde se observa cantos rodados de composición metamórfica e ígnea. ---------- *49*
Figura 13: Terraza ubicada en la margen derecha del río Ocobamba, sobre la cual se asienta la localidad de Kelcaybamba y donde se produjo el deslizamiento. ---------- *50*
Figura 14: Terraza ubicada en la margen derecha del río Ocobamba, con pendiente de 80 grados con respecto a la horizontal. ---------- *50*
Figura 15: Zona de montaña ubicada hacia el Sur de la localidad de Ocobamba. ---------- *51*
Figura 16: Ladera de montaña, fotografía tomada desde el deslizamiento de la localidad de kelcaybamba. ---------- *51*
*Figura 17: **A**: Representación de los ejes de esfuerzos de las rocas metamórficas pizarrosas, foto tomada en la parte superior de la localidad de Kelcaybamba; **B**: Elipsoide de esfuerzos.* ---------- *53*
Figura 18: Unidades litoestatigráficas de la localidad de Kelcaybamba: depósitos aluvio-coluviales y la predominancia de las pizarras del Grupo San José. ---------- *54*
*Figura 19: **A:** Rocas metamórficas fracturadas de orientación N 355° y buzamiento 85°SW; **B**: Inclinación de las diaclasas ; **C**: Bloque diagrama de inclinación.* ---------- *56*
Figura 20: Depósito aluvial compuesta de cantos rodados con matriz arcillosa, localizado alrededor del deslizamiento. ---------- *57*
Figura 21: Depósitos fluviales de cantos rodados al margen del río Ocobamba. ---------- *57*
Figura 22: Imbricación de los minerales de un protolito, sometida a altas presiones, temperaturas y fluidos químicamente activos agrupando en bandas (IUGS Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Metamórficas, 2002). ---------- *58*
Figura 23: Proceso de meteorización de las rocas metamórficas y como se convierten en saprolito. *59*

Figura 24: Pizarra en proceso de meteorización, foto tomado en parte alta del poblado de Ocobamba. ---------- *60*
Figura 25: ***A****: Pizarra en proceso de meteorización;* ***B****: Alteración de la moscovita a hidromoscovita por un proceso de meteorización en la localidad de Kelcaybamba-Ocobamba.* ---------- *60*
Figura 26: Perfil de meteorización para rocas ígneas y metamórficas, (Deere y Patton, 1971). -------- *61*
Figura 27: Los perfiles de meteorización varían de acuerdo con la litología. (a) Pizarra. (b) Granito, (Sowers, 1988). ---------- *62*
Figura 28: Arcilla formada por la alteración de las pizarras en la localidad del Kelcaybamba. ---------- *63*
Figura 29: Alteración de la moscovita a hidromoscovita por un proceso de meteorización. ---------- *63*
Figura 30: Perfil donde se encuentra asentado el poblado como se encuentra distribuido el horizonte arcilloso (saprolito) y como se desarrolla las superficies de fallas. ---------- *64*
Figura 31: Material desplazado por el deslizamiento donde se observa el superficie de falla y el saprolito entre el contacto del suelo. ---------- *65*
Figura 32: Perfil de la localidad de kelcaybamba, antes de generarse el deslizamiento. ---------- *66*
Figura 33: Perfil de la localidad de kelcaybamba, después de generarse el deslizamiento. ---------- *66*
Figura 34: Localización de la superficie de falla y las características litológicas, estructurales y el perfil meteorizado donde se genera el movimiento (Suarez, 2009). ---------- *67*
Figura 35: Grietas tensionales en las calles de la localidad de Kelcaybamba, dañando las infraestructuras como casas, sistema de alcantarillado, agua y luz. ---------- *67*
Figura 36: Imagen satelital de la localidad de Kelcaybamba en el año 2000 y 2015, observándose el deslizamiento rotacional en la parte baja de la población. ---------- *68*
Figura 37: Fotografías de la localidad de Kelcaybamba en el año 2013, en la imagen izquierda se observa el deslizamiento antes del 13 de abril e imagen derecha después del 13 de abril, donde el saprolito está representada por color rojo. ---------- *69*
Figura 38: Fotografía de la localidad de Kelcaybamba en el año 2015, donde observa el equilibrio natural que presenta esta ladera. ---------- *69*
Figura 39: Distribución de las calicatas en la localidad de Kelcaybamba. ---------- *71*
Figura 40: Ensayo de DPL en deslizamiento DPL 01 profundidad de 0.6m, DPL 02, extremo derecho del deslizamiento alcanzo una profundidad de 5.8 m. ---------- *74*
Figura 41: Registro de penetración del DPL 2, relacionando la profundidad con números de golpes (Línea de DPL) y ángulo de fricción interna (Ø). ---------- *76*
Figura 42: Macizo rocoso fracturado y la orientación de las juntas; ---------- *79*
Figura 43: Curvas isovaloricas de los planos de orientaciones de las discontinuidades. ---------- *80*
Figura: 44: Roseta de orientaciones de dirección de 3 planos. ---------- *80*
Figura 45:Comportamiento de la onda en la roca, suelo, saprolito y ---------- *87*
Figura 46: Ensayo de resistividad eléctrica donde se observa el método para la colocación de sensores y la observación del sub suelo. ---------- *88*
Figura 47: Mapa de ubicación de los puntos SEV y los perfiles A-A' y B-B'. (Fuente, IGP). ---------- *88*
Figura 48: Sección Geoeléctrico A-A', elaborado en base a las secciones verticales SEV–02, SEV–04, SEV–05 y SEV–06. ---------- *90*

Figura 49: Sección Geoeléctrico B - B', elaborado de los perfiles SEV–01, SEV–04 y SEV–03 donde se encuentran distribuidas los horizontes H1 a H5. ---------- *92*
Figura 50: Valores de resistividad de algunos suelos, rocas y materiales presentes en la naturaleza (Loke, 2004). ---------- *93*
Figura 51: Mapa de ubicación de los perfiles de estabilidad de taludes en la localidad de Kelcaybamba. ---------- *94*
Figura 52: Perfil del deslizamiento de Ocobamba sus dimensiones, espesores y la ubicación de las calicatas (A-A'). ---------- *95*
Figura 53: Mapa de Distribución de Isoaceleraciones para 10% de Excedencia en 50 años. ---------- *97*
Figura 54: Perfil de estabilidad sin el horizonte arcilloso arroja como resultado un factor de seguridad 3.2. ---------- *98*
Figura 55: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado estático de1.9 ---------- *99*
Figura 56: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado Pseudoestático de 0.88 ---------- *99*
Figura 57: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', en estado estático con una simulación de infiltración de lluvia constante de 0.04 m/d. ---------- *100*
Figura 58: Factor de seguridad del deslizamiento de kelcaybamba perfil A-A', es estado Pseudoestático con una analisis de infiltración de lluvia constante de 0.04 m/d, presentando un factor de seguridad de 0.3 a 0.8, indicando que el deslizamiento se reactivaría cuando ocurre un sismo y/o temporadas de lluvia. ---------- *100*
Figura 59: Manantial donde aflora el nivel freático, las líneas y flechas de color azul indican el movimiento del agua, imagen tomada en la parte baja del deslizamiento. ---------- *101*
Figura 60: Manantial donde aflora el nivel freático, con coloración marrón producto del contenido de pirita en rocas pizarrosas del Grupo San José. ---------- *101*
Figura 61: El factor de seguridad del perfil B-B', actualmente se presenta un factor de seguridad de 0.7, indicando una susceptibilidad a desplazarse hacia la quebrada Piscontilla. ---------- *102*
Figura 62: El factor de seguridad del perfil B-B', en estado estático, con una simulación de infiltración. presenta un factor de seguridad de 0.49 a 1.93, indicada que es susceptible a generarse un deslizamiento. ---------- *102*
Figura 63: Factor de seguridad del perfil B-B', en estado pseudoestático con simulación de infiltración, presentando un factor de seguridad de 0.4 a 0.8, indicando que es susceptible a generarse un deslizamiento, cuando ocurre un sismo y/o en temporadas de lluvias (Setiembre- Marzo). ---------- *103*
Figura 64: Factor de seguridad del perfil C-C', se encuentra actualmente presentando un factor de seguridad de 0.7, indicando una susceptibilidad a desplazarse hacia el río Ocobamba ---------- *103*
Figura 65: El factor de seguridad del perfil C-C', en estado estático con una simulación de infiltración con un factor de seguridad de 0.6 a 1.5, indicando ser susceptible a la generación de un deslizamiento. ---------- *104*
Figura 66: El factor de seguridad del perfil C-C', en estado pseudoestático con simulación de infiltración presentando un factor de seguridad de 0.3 a 0.9, indicando que es susceptible a la

generación de un deslizamiento, cuando ocurra un sismo y/o en temporadas de lluvias (Setiembre-Marzo). ----------104
Figura 67: Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 1.42.----------105
*Figura 68: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.----------105*
Figura 69:Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 1.02.----------106
*Figura 70: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.----------106*
Figura 71:Contornos de máxima deformación por tensiones de corte para el talud, Superficie de Falla Crítica F.S de 0. 75.----------107
*Figura 72: Variación de las secciones descritas en 2 tipos; **A**: Antes de la deformación, **B**: Después de la deformación.----------107*
Figura 73: Proceso de meteorizaciòn que sufre las rocas metamòrficas expuestas a cambios ambientales y temperatura. ----------109
Figura 74: Erosión y depositaciòn de los suelos, sobreyacente sobre el substrato pizarroso, observàndose un proceso de meteorizaciòn en el contacto roca-suelo.----------109
Figura 75: Generación de un horizonte saprolito, producto de la meteorización de la pizarra que interactua con el suelo transportado donde se observa el perfil de meteorizaciòn propuesto por Deere y Patton (1971). ----------110
Figura 76: La superficie de falla es generado en el horizonte saprolìtico donde se originan microfracturas.----------111
Figura 77: El deslizamiento que se genera en substratos rocosos pizarrosos puede ser de tipo traslacional en la parte superior y rotacional en la parte inferior, esto se debe a la distribución no homogénea del espesor del saprolito en el substrato. ----------111
Figura 78: Un modelo hipotético formado sobre una geología mixta, que ilustra el funcionamiento de procesos que influyen en la formación de morfología y su cobertura saprolítica. ----------112
*Figura 79: **a**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca granítica, **b:** Perfil de meteorización de una roca esquisto. ----------113*
*Figura 80:**c**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca pizarra, **d:** Perfil de meteorización de una roca pizarra. ----------113*
*Figura 81:**e**: Perfil de meteorización donde se muestra un saprolito de la desintegración de una roca pizarra. ----------114*

Lista de tablas

Tabla 01: Clasificación de Hong Kong (Suárez J, 2009). ---- 22
Tabla 02: Perfil de meteorización (Deere & Patton, 1971).---- 25
Tabla 03: Perfiles de meteorización (Pastore, 1995). ---- 26
Tabla 04: Perfil de meteorización (E. Brand, 1988). ---- 27
Tabla 05: Perfil de meteorización (Little. Al, 1969).---- 28
Tabla 06: Estaciones meteorológicas disponibles. ---- 44
Tabla 07: Estación meteorológica utilizada.---- 44
Tabla 08: Datos meteorológicos de abril del 2012 fuente SENAMHI.---- 45
Tabla 09: Datos meteorológicos de abril del 2013, fuente SENAMHI.---- 45
Tabla 10: Tipos de modelados de las diferentes unidades y el área en porcentaje que presentan. ---- 48
Tabla 11: Columna estratigráfica localizada en la localidad de Kelcaybamba (INGEMMET ,1999). --- 55
Tabla 12: Ubicación de calicatas realizadas por el (IGP) y municipalidad. ---- 71
Tabla 13: Datos de la densidad del suelo húmedo y seco de las calicatas 02, 03 y 04. ---- 72
Tabla 14: Densidades realizadas en campo. ---- 73
Tabla 15: Datos de ubicación y profundidad de los ensayos de penetración dinámica ligera. ---- 74
Tabla 16: Angulo de fricción interna de los suelos finos de Principios de Ingeniería Geotécnica (2006). ---- 75
Tabla 17: Datos de las propiedades de los suelos en cada calicata (Laboratorio).---- 77
Tabla 18: Datos de las propiedades de los suelos en cada calicata proporcionados por la Municipalidad. ---- 78
Tabla 19: Rangos de permeabilidad relativo al tipo de suelo, Terzaghi K, Peck R (1980).---- 78
Tabla 20: Parámetros de clasificación y su valoración corregido (Bieniawski, 1989).---- 82
Tabla 21: Ajuste de valoración por orientación de discontinuidades (Bieniawski, 1989). ---- 83
Tabla 22: Clases de Macizos Rocosos a partir de la valoración (Bieniawski, 1989). ---- 83
Tabla 23: RMR de las rocas pizarrosas en la localidad de Kelcaybamba.---- 84
Tabla 24: Diferencias de valores entre RMR76 y RMR89. ---- 85
Tabla 25: Parámetros geotécnicos del macizo Pizarroso, en el programa Rocdata. ---- 86
Tabla 26: Rangos de resistividad y los materiales que presenta ---- 93
Tabla 27: Factores de seguridad de una ladera (Alva, 2000). ---- 95
Tabla 28: Parámetros geotécnicos de los suelos de la localidad de Kelcaybamba, usados para modelar los perfiles de estabilidad e hidrogeológicos. ---- 98

Anexo 01 – Ensayos de campo de Calicatas, DPL Y Densidad

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

REGISTRO DE CALICATAS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO	CALICATA:	CA - 01				
	UBICACIÓN:	Parte central de deslizamiento de tierra en el poblado de Kellcaybamba, provincia de Ocobamba				
	DISTRITO:	Ocobamba	PROVINCIA:	La Convención	REGIÓN:	Cusco
	PROFUNDIDAD:	3.00 m	NIVEL FREÁTICO:	No presenta	FECHA:	24/06/2015
		COORDENADAS UTM:				
	NORTE (m):	8575782	ESTE (m):	777178	COTA (m.s.n.m):	1438
ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla	REVISADO POR:	Ing. Juan Carlos Gómez Avalos	ASESOR:		MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3) Dh	DENSIDAD (gr/cm3) Ds	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
	0.00								
	0.10						SM		Suelo de cobertura conformado por arenas limosas de grano medio, color beige, semicompactas, secas, no plásticas, presenta escasamente gravas redondeadas. Composición: Grava 5%, Arena 80% y Finos 15%.
	0.20								
	0.25								
	0.40						GP		Gravas arenosas, cuyos clastos son redondeados y presentan diámetros de hasta 3" , color beige, semicompactas, moderadamente húmeda, plasticidad baja y se presenta con ciertas oxidaciones en algunos sectores. Composicion: Grava 70%, Arena 25% y Finos 5%.
	0.50								
	0.60								
	0.70								
	0.80								
	0.90								
	1.00								
	1.10								
	1.20						GM		Gravas limosas, cuyos clastos son redondeados y angulosos, presentan diámetros de hasta 3", color marrón oscuro, semicompactas, moderadamente húmedas, plasticidad baja. Composicion: Grava 87%, Arena 1% y Finos 12%.
	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								
	2.60								
	2.70								
	2.80								
	2.90								
	3.00	M-01							

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CA - 01





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

REGISTRO DE CALICATAS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO	CALICATA:	CA - 02				
	UBICACIÓN:	Margen izquierda del deslizamiento en el poblado de Kellcaybamba, provincia de Ocobamba				
	DISTRITO:	Ocobamba	PROVINCIA:	La Convención	REGIÓN:	Cusco
	PROFUNDIDAD:	3.40	NIVEL FREÁTICO:	No presenta	FECHA:	24/06/2015
	COORDENADAS UTM:					
	NORTE (m):	8575842	ESTE (m):	777189	COTA (m.s.n.m):	145
ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla	REVISADO POR:	Ing. Juan Carlos Gómez Avalos		ASESOR:	MSc. Ángeles Girón, Rosendo	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3) Dh	DENSIDAD (gr/cm3) Ds	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
	0.00								
	0.10								
	0.20								
	0.30								
	0.40								
	0.50								
	0.60						GC		Gravas arcillosas de grano medio, color rojizo, semicompactas, secas, moderadamente plásticas. Composición: Grava 60%, Arena 10% y Finos 30%.
	0.70								
	0.80								
	0.90								
	1.00								
	1.10								
	1.20								
	1.30								
	1.40								
	1.50								
	1.60								
	1.70						SP		Arena de grano medio, color beige, semicompacta, humedad media, no plástica, presenta gravas aísladas. Composición: Grava 10%, Arena 70% y Finos 20%.
	1.80								
	1.90								
	2.00								
	2.10								
	2.20								
	2.30								
	2.40								
	2.50								
	2.60								
	2.70								
	2.80								
	2.90								
	3.00								
	3.10								
	3.20								
	3.30								
	3.40	M-1	13.12	1.32	1.15		GP-GC		Gravas areno - arcillosas, color gris, suelta, moderadamente húmeda, plasticidad media, presenta clastos angulosos aíslados menores a 2". Composición: Grava 85%, Arena 8% y Finos 7%.
	3.50								

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CA - 02





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

REGISTRO DE CALICATAS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO REGIÓN CUSCO	CALICATA:	CA - 03				
	UBICACIÓN:	Margen derecho del deslizamiento en el poblado de Kellcaybamba, provincia de Ocobamba				
	DISTRITO:	Ocobamba	PROVINCIA:	La Convención	REGIÓN:	Cusco
	PROFUNDIDAD:	3.20	NIVEL FREÁTICO:	No presenta	FECHA:	24/06/2015
		COORDENADAS UTM:				
	NORTE (m):	8575757	ESTE (m):	777123	COTA (m.s.n.m):	1485
ELABORADO: Bach. Roy Jack Arone Padilla	REVISADO POR:	Ing. Juan Carlos Gómez Avalos		ASESOR:	MSc. Ángeles Girón, Rosendo	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3) Dh	DENSIDAD (gr/cm3) Ds	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
	0.00								
	0.10						SM		Arenas limosas, color beige oscuro, semicompactas, secas, moderadamente plásticas. Composición: Grava 10%, Arena 60% y Finos 30%.
	0.20								
	0.30						GM		Gravas limosas de forma redondeada, color beige, compactas, secas, moderadamente plásticas. Composición: Grava 60%, Arena 10% y Finos 30%.
	0.40								
	0.50								
	0.60								
	0.70								
	0.80								
	0.90								
	1.00						GP		Gravas arenosas de forma redondeada, color beige, compactas, moderadamente húmedas, presenta plásticidad media. Composición: Grava 70%, Arena 20% y Finos 10%.
	1.10								
	1.20								
	1.30								
	1.40								
	1.50						GC		Gravas arcillosas de forma redondeada, color rojizo, compactas, moderadamente húmedas, presenta plásticidad media y oxidaciones. Composición: Grava 60%, Arena 10% y Finos 30%.
	1.60								
	1.70								
	1.80						GP-GC		Gravas areno-arcillosas, color marrón, suelta, moderadamente húmeda, plasticidad media. Composición: Grava 84%, Arena 11% y Finos 5%.
	1.90								
	2.00								
	2.10								
	2.20								
	2.30								
	2.40								
	2.50								
	2.60								
	2.70								
	2.80								
	2.90								
	3.00								
	3.10								
	3.20	M-1	8.90	1.46	1.33				
	3.30								
	3.40								
	3.50								

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CA - 03





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

REGISTRO DE CALICATAS

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO	CALICATA:	CA - 04				
	UBICACIÓN:	Zona urbana del poblado de Kellcaybamba, provincia de Ocobamba.				
	DISTRITO:	Ocobamba	PROVINCIA:	La Convención	REGIÓN:	Cusco
	PROFUNDIDAD:	2.40	NIVEL FREÁTICO:	No presenta	FECHA:	24/06/2015
	COORDENADAS UTM:					
	NORTE (m):	8575830	ESTE (m):	777088	COTA (m.s.n.m):	1468
ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla	REVISADO POR:	Ing. Juan Carlos Gómez Avalos		ASESOR:	MSc. Ángeles Girón, Rosendo	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3) Dh	DENSIDAD (gr/cm3) Ds	GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
	0.00								
	0.10						SM		Arena limosa de grano medio, color beige oscuro, semicompacta, seca, plasticidad baja, presenta escasamente gravas redondeadas menores a 1" de diámetro. Composición: Grava 5%, Arena 80% y Finos 15%.
	0.20								
	0.25								
	0.40								
	0.50						GM		Gravas limosas, cuyos clastos son redondeados. Composicion: Grava 60%, Arena 10% y Finos 30%.
	0.60								
	0.70								
	0.80								
	0.90								
	1.00								
	1.10						GP		Gravas arenosas, cuyos clastos son redondeados, presentan diámetros de hasta 3", color beige, compactas, moderadamente húmedas, plasticidad baja. Composicion: Grava 86%, Arena 12% y Finos 2%.
	1.20								
	1.30								
	1.40								
	1.50								
	1.60								
	1.70								
	1.80								
	1.90						GP-GM		Gravas areno - limosas, cuyos clastos son redondeados y angulosos, presentan diámetros de hasta 3", color rojizo, compactas, moderadamente húmedas, plasticidad baja y presenta oxidaciones en algunos sectores. Composicion: Grava 83%, Arena 15% y Finos 2%.
	2.00								
	2.10								
	2.20								
	2.30								
	2.40	M-01	11.00	1.77	1.58				
	2.50								
	2.60								
	2.70								
	2.80								
	2.90								
	3.00								

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CA - 04





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO

UBICACIÓN: Parte central del deslizamiento de tierra.

PROFUNDIDAD: 0.60 m

COORDENADAS: 777,177 E
8'575,785 N

ENSAYO: DPL-01

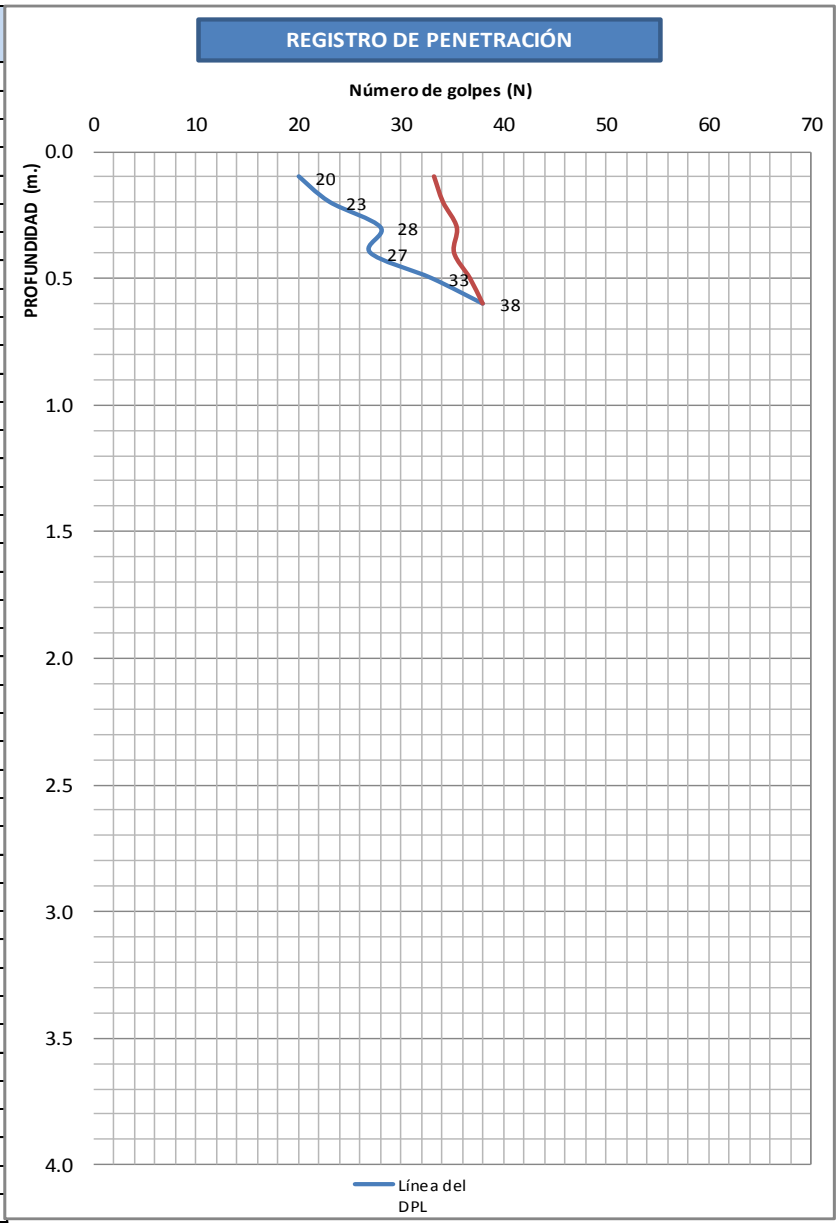
HOJA: 1/1

FECHA: 24 De Junio del 2015

ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla

ASESOR: MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m²)	Ø' (°)
0.00			
0.10	20	0.0	33.3
0.20	23	0.0	34.1
0.30	28	0.0	35.5
0.40	27	0.0	35.2
0.50	33	0.0	36.8
0.60	38	0.0	38.0
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			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: El ensayo se paraliza a 0.60 m. debido a que se obtienen 38 golpes.
La barra de DPL ingresa a partir de 0.60 m. con golpes mayores a 38.

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO

UBICACIÓN: Margen izquierda del deslizamiento de tierra.

PROFUNDIDAD: 5.80 m

COORDENADAS: 777,194 E
8'575,844 N

ENSAYO: **DPL-02**

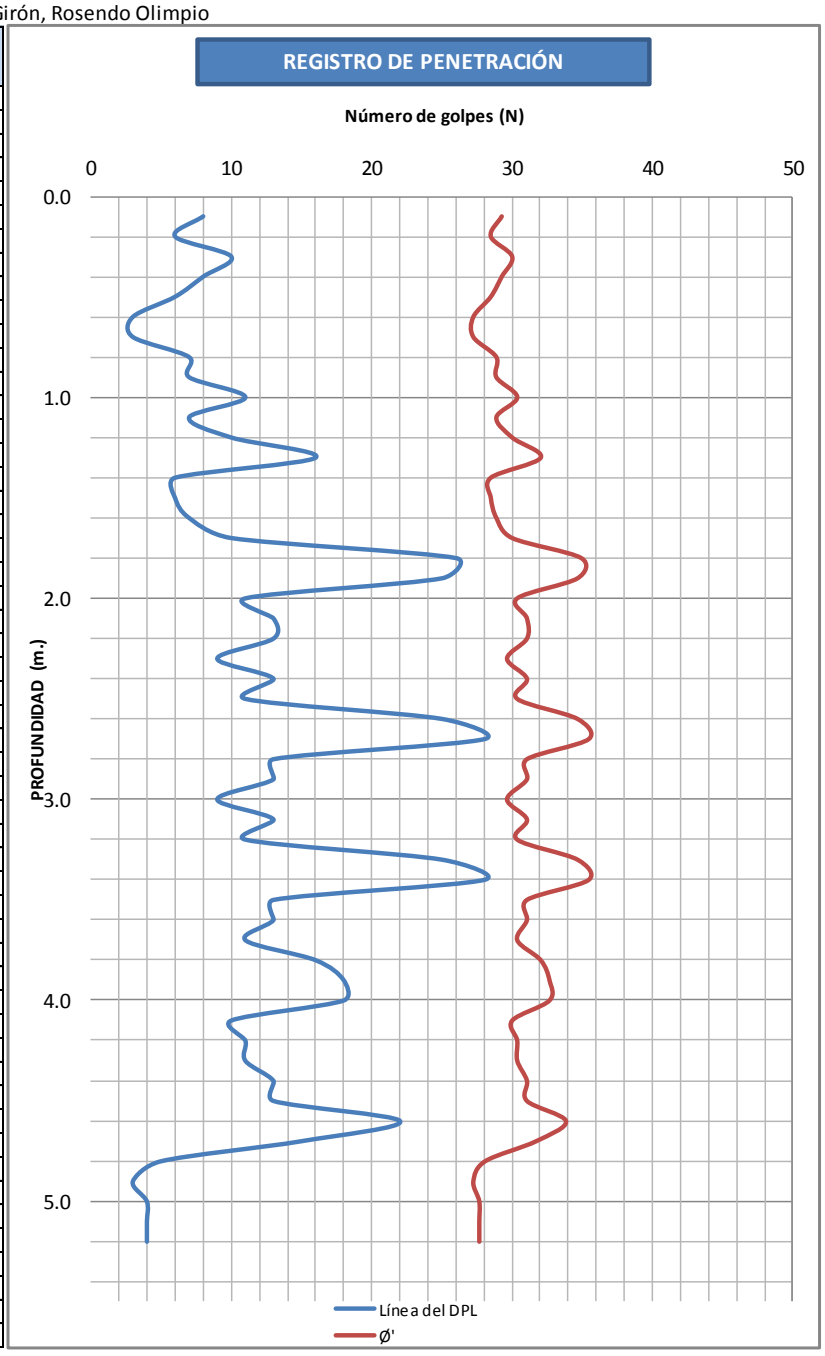
HOJA: 1/1

FECHA: 24 de Junio del 2015

ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla

ASESOR: MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m²)	Ø' (°)
0.00			
0.10	8	0.0	29.3
0.20	6	0.0	28.5
0.30	10	0.0	30.0
0.40	8	0.0	29.3
0.50	6	0.0	28.5
0.60	3	0.0	27.2
0.70	3	0.0	27.2
0.80	7	0.0	28.9
0.90	7	0.0	28.9
1.00	11	0.0	30.4
1.10	7	0.0	28.9
1.20	10	0.0	30.0
1.30	16	0.0	32.0
1.40	6	0.0	28.5
1.50	6	0.0	28.5
1.60	7	0.0	28.9
1.70	10	0.0	30.0
1.80	26	0.0	35.0
1.90	25	0.0	34.7
2.00	11	0.0	30.4
2.10	13	0.0	31.1
2.20	13	0.0	31.1
2.30	9	0.0	29.6
2.40	13	0.0	31.1
2.50	11	0.0	30.4
2.60	25	0.0	34.7
2.70	28	0.0	35.5
2.80	13	0.0	31.1
2.90	13	0.0	31.1
3.00	9	0.0	29.6
3.10	13	0.0	31.1
3.20	11	0.0	30.4
3.30	25	0.0	34.7
3.40	28	0.0	35.5
3.50	13	0.0	31.1
3.60	13	0.0	31.1
3.70	11	0.0	30.4
3.80	16	0.0	32.0
3.90	18	0.0	32.7
4.00	18	0.0	32.7
4.10	10	0.0	30.0
4.20	11	0.0	30.4
4.30	11	0.0	30.4
4.40	13	0.0	31.1
4.50	13	0.0	31.1
4.60	22	0.0	33.9
4.70	15	0.0	31.7
4.80	5	0.0	28.1
4.90	3	0.0	27.2
5.00	4	0.0	27.6
5.10	4	0.0	27.6
5.20	4	0.0	27.6



OBSERVACIONES: El ensayo se paraliza a 5.80 m. debido a que se mantena constante y no encontraba materiales granulares, presentando golpes menores a los 26 golpes.

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO

UBICACIÓN: Zona urbana del poblado de Kelcaybamba.

PROFUNDIDAD: 1.5

COORDENADAS: 777,088 E
8'575,832 N

ENSAYO: **DPL-03**

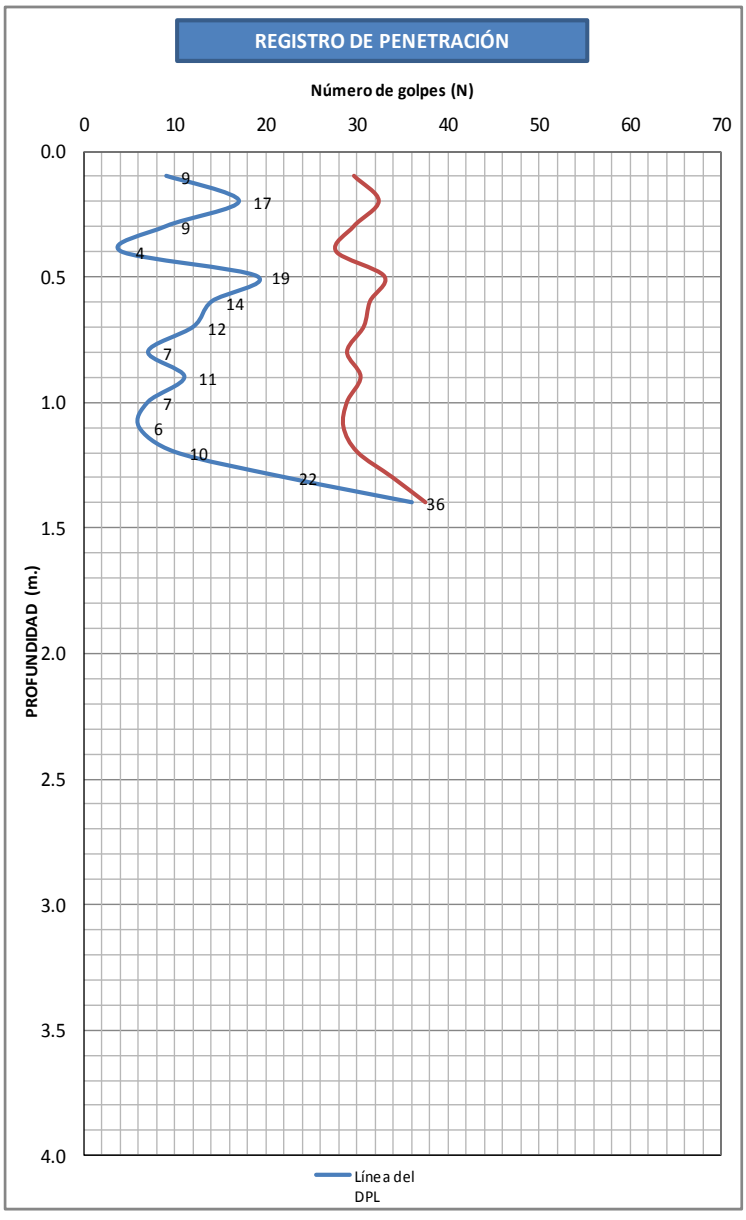
HOJA: 1/1

FECHA: 24 de Junio del 2015

ELABORADO POR: Bach. Roy Jack Arone Padilla

ASESOR: MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m^2)	Ø' (°)
0.00			
0.10	9	0.0	29.6
0.20	17	0.0	32.4
0.30	9	0.0	29.6
0.40	4	0.0	27.6
0.50	19	0.0	33.0
0.60	14	0.0	31.4
0.70	12	0.0	30.7
0.80	7	0.0	28.9
0.90	11	0.0	30.4
1.00	7	0.0	28.9
1.10	6	0.0	28.5
1.20	10	0.0	30.0
1.30	22	0.0	33.9
1.40	36	0.0	37.5
1.50			
1.60			
1.70			
1.80			
1.90			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: El ensayo se paraliza a 1.50 m. debido a que se obtienen 36 golpes.
La barra de DPL ingresa a partir de 1.50 m. con golpes mayores a 36.

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA, GEOGRÁFICA Y CIVIL

ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, CON SUBSTRATOS PIZARROSOS, CASO LOCALIDAD DE KELCAYBAMBA-OCOBAMBA REGIÓN CUSCO

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO - MÉTODO DEL CONO DE ARENA (ASTM D1556)

DISTRITO:	Ocobamba	**PROVINCIA:**	La Convención	**REGIÓN:**	Cusco
METODO:	Densidad Natural - Cono de Arena (ASTM D1556)				
ELABORADO POR:	Bach. Roy Jack Arone Padilla				
REVISADO POR:	MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio				
ASESOR:	MSc. Ángeles Girón, Rosendo Olimpio				

Punto de Muestreo	CA-02	CA-03	CA-04
Muestra	**DC-CA-02**	**DC-CA-03**	**DC-CA-04**
Fecha	24/06/2015	24/06/2015	25/06/2015
Profundidad (m)	3.00	3.40	2.40
Determinación de la densidad del suelo húmedo			
Peso de Material Extraído (gr)	2,230.00	2,670.00	2,600.00
Peso Arena + Equipo (gr)	6,050.00	5,920.00	5,490.00
Peso Arena que queda + Equipo (gr)	1,920.00	1,580.00	1,670.00
Peso de Arena en Cono (gr)	**1,702.80**	**1,702.80**	**1,702.80**
Peso Arena que queda Final (gr)	3,622.80	3,282.80	3,372.80
Peso Arena empleada (gr)	2,427.20	2,637.20	2,117.20
Densidad arena (gr/cm3)	**1.44**	**1.44**	**1.44**
Volumen hueco (cm3)	1,685.56	1,831.39	1,470.28
Densidad suelo húmedo (gr/cm3)	**1.32**	**1.46**	**1.77**
Determinación de la densidad del suelo seco			
Peso húmedo (gr)	104.30	84.40	94.60
Peso seco (gr)	92.20	77.50	85.30
Contenido de humedad (%)	13.12	8.90	10.90
Peso de agua en material extraído (gr)	292.66	237.72	283.47
Densidad suelo seco (gr/cm3)	**1.15**	**1.33**	**1.58**

OBSERVACIONES: Pruebas de densidad fueron tomadas en los niveles indicados, a las 10 de la mañana

Anexo 02 –Ensayo de laboratorio

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYSAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYSAMBA, parte media de deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, Julio del 2015	MUESTRA:	CA - 01 A

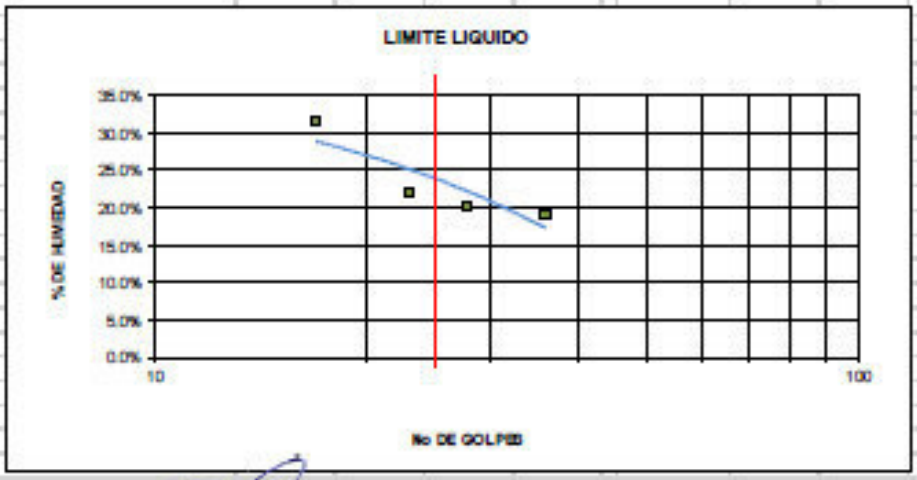
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	X	Y	Z	D
Peso de la capsula	51.65	53.65	50.88	45.79
Peso capsula. + suelo humedo	66.44	69.99	66.25	60.71
Peso capsula + suelo seco	62.87	67.03	63.66	58.29
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	11.22	13.38	12.78	12.5
Peso agua	3.57	2.96	2.59	2.42
% humedad	31.8%	22.1%	20.3%	19.4%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

LIMITE PLASTICO			
Muestra	A	B	C
Peso de la capsula	27.90	29.94	19.15
Peso capsula. + suelo humedo	29.74	31.69	20.86
Peso capsula + suelo seco	29.37	31.38	20.62
Peso suelo seco	1.47	1.44	1.47
Peso agua	0.37	0.31	0.24
% humedad	25.2%	21.5%	16.3%

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	24.00%
LIMITE PLASTICO	21.01%
INDICE PLASTICO	2.99%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
ASESORES Y ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, Julio del 2015	MUESTRA:	CA - 01 B

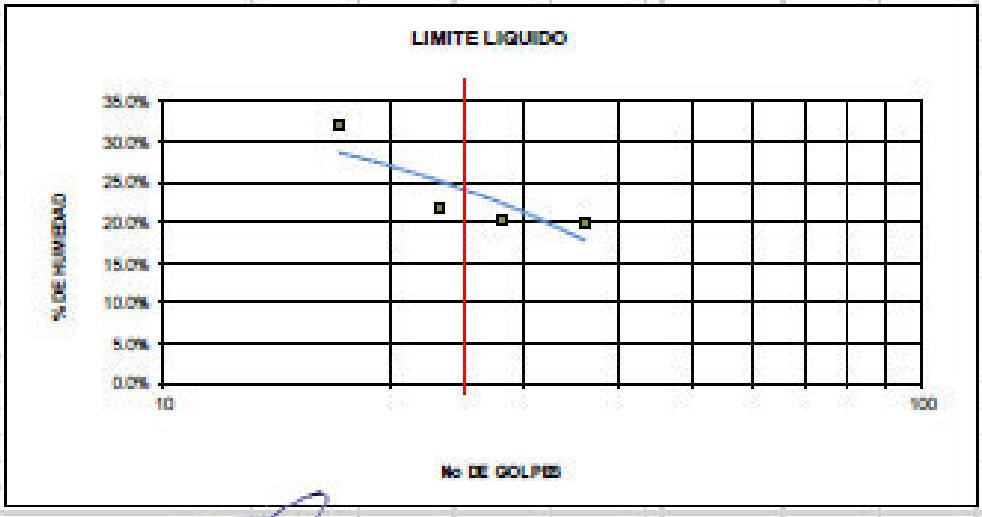
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	1	2	3	4
Peso de la capsula	51.65	53.6	50.85	45.75
Peso capsula. + suelo humedo	66.43	69.97	66.27	60.73
Peso capsula + suelo seco	62.88	67.04	63.65	58.25
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	11.21	13.44	12.8	12.5
Peso agua	3.57	2.93	2.62	2.48
% humedad	31.8%	21.8%	20.5%	19.8%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

LIMITE PLASTICO			
Muestra	X	T	G
Peso de la capsula	27.95	29.93	19.16
Peso capsula. + suelo humedo	29.73	31.68	20.87
Peso capsula + suelo seco	29.38	31.38	20.63
Peso suelo seco	1.41	1.45	1.47
Peso agua	0.37	0.30	0.24
% humedad	26.2%	20.7%	16.3%

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	24.07%
LIMITE PLASTICO	21.09%
INDICE PLASTICO	2.98%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCCOBAMBA

FECHA: Quillcatamba, Julio del 2015

CAJA DE CORTE N°	0019-2015		LONG.	6	cm		
ANCHO	6	cm	ALTURA	4	cm		
AREA	36	cm2	VOLUMEN	144	cm3		
Gs	2.6		%W	9	%		
VELOCIDAD	1	mm/min	FACTOR DE CALIBRACION	4.55lb			
Wm	270	gr					

UBICACION — Coord. UTM: E 777170, N 8575702

SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de distribución

DISTRITO: OCCOBAMBA — Profundidad: 3.00 Mt.

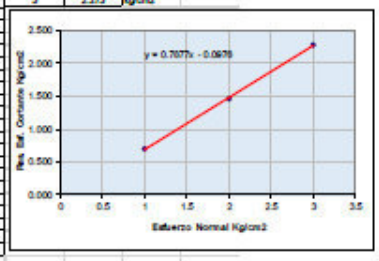
PROVINCIA: LA CONVENCION

DPTO: CUSCO

SUBSTRAL: QA - 21 A

T min	D.H cm	Lo	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1 L.D (un)	1 F.C. Kg	1 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)	σ2 L.D (un)	2 F.C. Kg	2 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)	σ3 L.D (un)	3 F.C. Kg	3 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	1.700	7.750	0.219	2.300	10.466	0.296	3.000	13.677	0.386
1.50	0.150	5.850	35.100	2.100	9.574	0.273	3.500	15.957	0.455	5.000	22.795	0.649
2.00	0.200	5.800	34.800	2.500	11.396	0.328	7.200	32.825	0.943	10.200	46.502	1.336
2.50	0.250	5.750	34.500	3.000	13.677	0.396	7.600	34.648	1.004	13.400	61.091	1.771
3.00	0.300	5.700	34.200	3.400	15.501	0.453	7.900	36.018	1.053	13.700	62.458	1.826
3.50	0.350	5.650	33.900	3.700	16.868	0.498	8.400	38.296	1.130	13.900	63.370	1.869
4.00	0.400	5.600	33.600	4.000	18.234	0.543	8.800	39.207	1.167	14.000	63.826	1.900
4.50	0.450	5.550	33.300	4.300	19.604	0.589	9.100	41.487	1.246	14.300	65.194	1.958
5.00	0.500	5.500	33.000	4.800	21.883	0.663	10.100	46.048	1.395	15.400	70.209	2.128
5.50	0.550	5.450	32.700	5.000	22.795	0.697	10.500	47.870	1.464	16.300	74.312	2.273
6.00	0.600	5.400	32.400	4.900	22.339	0.689	10.200	46.502	1.435	16.000	72.944	2.251
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.667	kg/cm2
2	1.464	kg/cm2
3	2.273	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.70
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	36.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCCOBAMBA

FECHA: Quillcatamba, Julio del 2015

CAJA DE CORTE N°	0020-2015		LONG.	6	cm		
ANCHO	6	cm	ALTURA	4	cm		
AREA	36	cm2	VOLUMEN	144	cm3		
Gs	2.6		%W	9	%		
VELOCIDAD	1	mm/min	FACTOR DE CALIBRACION	4.55lb			
Wm	270	gr					

UBICACION — Coord. UTM: E 777170, N 8575702

SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de distribución

DISTRITO: OCCOBAMBA — Profundidad: 3.00 Mt.

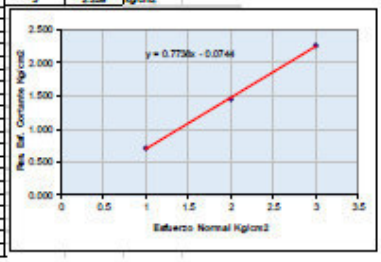
PROVINCIA: LA CONVENCION

DPTO: CUSCO

SUBSTRAL: QA - 21 B

T min	D.H cm	Lo	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1 L.D (un)	1 F.C. Kg	1 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)	σ2 L.D (un)	2 F.C. Kg	2 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)	σ3 L.D (un)	3 F.C. Kg	3 Kg/cm2 τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	1.800	8.206	0.232	2.400	10.942	0.309	3.000	13.677	0.386
1.50	0.150	5.850	35.100	2.100	9.574	0.273	3.500	15.957	0.455	5.100	23.251	0.662
2.00	0.200	5.800	34.800	2.400	10.942	0.314	7.100	32.369	0.930	10.200	46.502	1.336
2.50	0.250	5.750	34.500	3.100	14.133	0.410	7.800	34.648	1.004	13.400	61.091	1.771
3.00	0.300	5.700	34.200	3.400	15.501	0.453	7.800	35.560	1.040	13.700	62.458	1.826
3.50	0.350	5.650	33.900	3.800	17.324	0.511	8.300	37.840	1.116	13.800	62.914	1.856
4.00	0.400	5.600	33.600	4.100	18.692	0.556	8.500	38.752	1.153	14.000	63.826	1.900
4.50	0.450	5.550	33.300	4.400	20.060	0.602	9.100	41.487	1.246	14.300	65.194	1.958
5.00	0.500	5.500	33.000	4.900	22.339	0.677	10.300	46.502	1.409	15.700	71.578	2.169
5.50	0.550	5.450	32.700	5.100	23.251	0.711	10.400	47.414	1.450	16.200	73.858	2.259
6.00	0.600	5.400	32.400	4.900	22.339	0.689	10.200	46.502	1.435	15.400	70.209	2.167
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.711	kg/cm2
2	1.450	kg/cm2
3	2.259	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.71
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	36.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	C.P. KELLCAYBAMBA Parte media del deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, julio del 2015	MUESTRA:	CA - 02 A

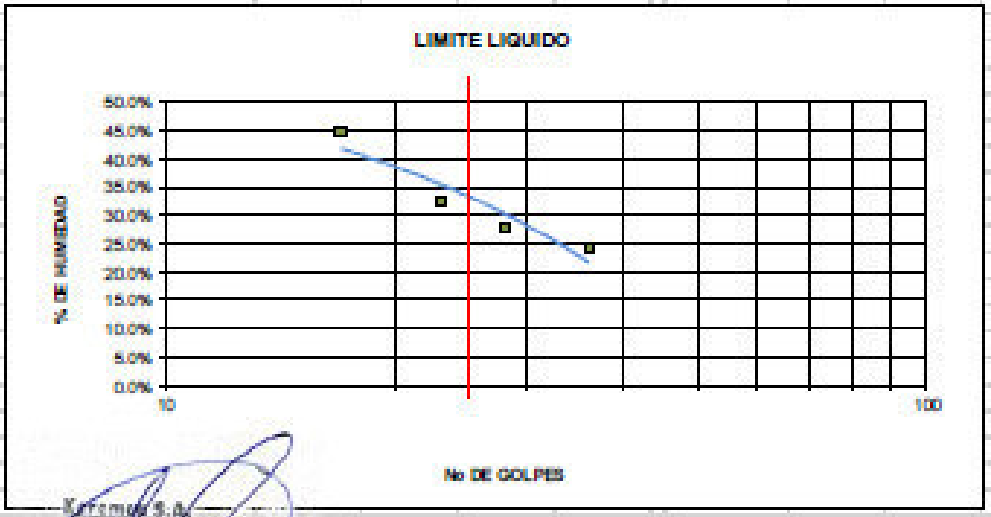
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	A	B	C	V
Peso de la capsula	51.63	50.21	50.71	45.8
Peso capsula. + suelo humedo	66.3	69.85	66.32	60.77
Peso capsula + suelo seco	61.77	65.03	62.92	57.88
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	10.14	14.82	12.21	12.08
Peso agua	4.53	4.82	3.4	2.89
% humedad	44.7%	32.5%	27.8%	23.9%

LIMITE PLASTICO			
Muestra	X	Y	Z
Peso de la capsula	27.10	29.01	19.01
Peso capsula. + suelo humedo	29.74	31.69	20.87
Peso capsula + suelo seco	29.31	31.27	20.64
Peso suelo seco	2.21	2.26	1.63
Peso agua	0.43	0.42	0.23
% humedad	19.5%	18.6%	14.1%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	33.30%
LIMITE PLASTICO	17.38%
INDICE PLASTICO	15.81%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	C.P. KELLCAYBAMBA
			Parte media del deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, julio del 2015	MUESTRA:	CA - 02 B

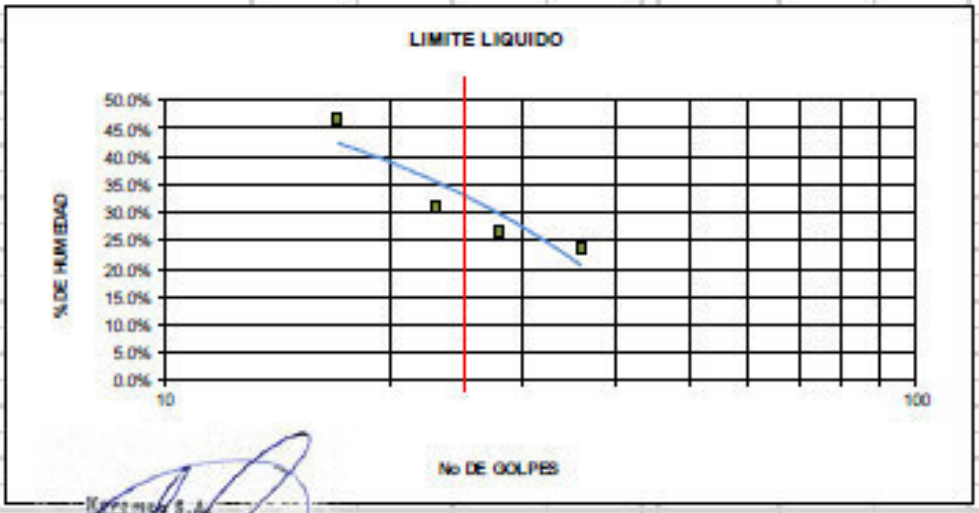
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	F	T	G	Z
Peso de la capsula	51.6	51.1	50.2	45.5
Peso capsula. + suelo humedo	66.5	69.48	66.31	60.72
Peso capsula + suelo seco	61.75	65.11	62.91	57.81
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	10.15	14.01	12.71	12.31
Peso agua	4.75	4.37	3.4	2.91
% humedad	46.8%	31.2%	26.8%	23.6%

LIMITE PLASTICO			
Muestra	A	H	Y
Peso de la capsula	28.20	28.50	20.22
Peso capsula. + suelo humedo	29.65	31.74	20.47
Peso capsula + suelo seco	29.37	31.21	20.45
Peso suelo seco	1.17	2.71	0.23
Peso agua	0.28	0.53	0.02
% humedad	23.9%	19.6%	8.7%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	33.25%
LIMITE PLASTICO	17.38%
INDICE PLASTICO	15.88%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

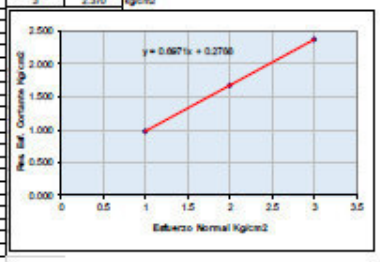
UBICACION				Coord. UTM	E 777159
SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento				N 8575842
DISTRITO:	OCOBAMBA			Profundidad	3.40 MT.
PROVINCIA:	LA CONVENCION				
DPTO:	CUSCO				
MUESTRA:	CA - 03 A				

CAJA DE CORTE Nº 0021-2015

ANCHO	6	cm	LONG	6	cm		
AREA	36	cm2	ALTURA	4	cm		
Gs	2.6		VOLUMEN	144	cm3		
VELOCIDAD	1	mm/min	%W	8	%		
Wm	270	gr.	FACTOR DE CALIBRACION		4.559		

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1	1	Kg/cm2	σ2	2	Kg/cm2	σ3	3	Kg/cm2
				L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	2.400	10.942	0.309	4.400	20.060	0.567	6.400	29.175	0.824
1.50	0.150	5.850	35.100	2.900	13.221	0.377	6.300	28.726	0.819	8.400	38.296	1.091
2.00	0.200	5.800	34.800	3.200	14.589	0.419	7.800	35.568	1.022	10.300	46.953	1.349
2.50	0.250	5.750	34.500	3.800	17.324	0.502	8.100	36.926	1.070	11.400	51.973	1.506
3.00	0.300	5.700	34.200	4.100	18.692	0.547	8.800	40.119	1.173	13.500	61.547	1.800
3.50	0.350	5.650	33.900	4.600	21.883	0.646	9.900	45.134	1.331	14.000	63.826	1.883
4.00	0.400	5.600	33.600	5.200	23.707	0.706	10.700	48.791	1.452	14.900	67.929	2.022
4.50	0.450	5.550	33.300	5.800	26.442	0.794	11.100	50.605	1.520	15.700	71.576	2.149
5.00	0.500	5.500	33.000	6.700	30.545	0.926	11.500	52.429	1.589	16.200	73.856	2.238
5.50	0.550	5.450	32.700	7.000	31.913	0.976	12.000	54.706	1.673	17.000	77.503	2.370
6.00	0.600	5.400	32.400	6.500	29.634	0.915	11.300	51.517	1.590	16.400	74.766	2.308
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.976	kg/cm2
2	1.673	kg/cm2
3	2.370	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.97
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	35.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

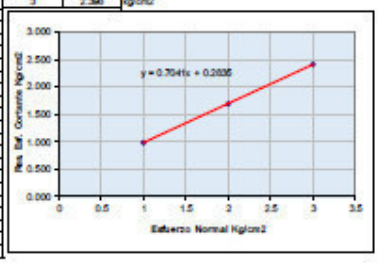
UBICACION				Coord. UTM	E 777159
SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento				N 8575842
DISTRITO:	OCOBAMBA			Profundidad	3.40 MT.
PROVINCIA:	LA CONVENCION				
DPTO:	CUSCO				
MUESTRA:	CA - 03 B				

CAJA DE CORTE Nº 0023-2015

ANCHO	6	cm	LONG	6	cm		
AREA	36	cm2	ALTURA	4	cm		
Gs	2.6		VOLUMEN	144	cm3		
VELOCIDAD	1	mm/min	%W	8	%		
Wm	270	gr.	FACTOR DE CALIBRACION		4.559		

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1	1	Kg/cm2	σ2	2	Kg/cm2	σ3	3	Kg/cm2
				L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	2.300	10.488	0.296	4.300	19.604	0.554	6.300	28.722	0.811
1.50	0.150	5.850	35.100	2.900	13.221	0.377	6.200	28.268	0.805	8.400	38.296	1.091
2.00	0.200	5.800	34.800	3.200	14.589	0.419	7.800	35.568	0.998	10.300	46.953	1.336
2.50	0.250	5.750	34.500	3.700	16.868	0.489	8.200	37.394	1.084	11.300	51.517	1.493
3.00	0.300	5.700	34.200	4.100	18.692	0.547	8.800	40.119	1.173	13.500	61.547	1.800
3.50	0.350	5.650	33.900	4.800	21.883	0.646	9.800	44.678	1.318	14.000	63.826	1.883
4.00	0.400	5.600	33.600	5.300	24.163	0.719	10.700	48.791	1.453	14.800	67.473	2.008
4.50	0.450	5.550	33.300	5.800	26.442	0.794	11.000	50.149	1.506	15.700	71.576	2.149
5.00	0.500	5.500	33.000	6.800	31.001	0.939	11.500	52.429	1.589	16.100	73.400	2.224
5.50	0.550	5.450	32.700	7.100	32.369	0.990	12.100	55.164	1.687	17.200	78.415	2.398
6.00	0.600	5.400	32.400	6.500	29.634	0.915	11.400	51.973	1.604	16.400	74.766	2.308
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.990	kg/cm2
2	1.687	kg/cm2
3	2.398	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.98
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	35.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, Julio del 2015	MUESTRA:	CA - 03 A

LIMITE LIQUIDO

Muestra N°	V	T	H	O
Peso de la capsula	50.23	50.28	50.42	50.25
Peso capsula. + suelo humedo	65.84	69.22	64.93	58.23
Peso capsula + suelo seco	61.67	65.15	61.84	57.13
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	11.44	14.87	11.42	6.88
Peso agua	4.17	4.07	2.49	1.1
% humedad	36.5%	27.4%	21.8%	16.0%

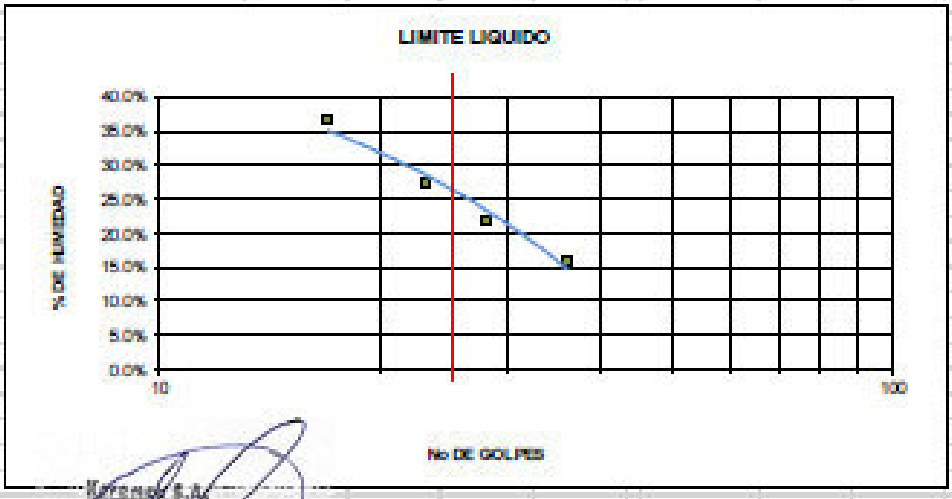
OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

LIMITE PLASTICO

Muestra	F	E	B
Peso de la capsula	28.05	28.12	22.34
Peso capsula. + suelo humedo	29.63	31.93	24.53
Peso capsula + suelo seco	29.41	31.29	24.27
Peso suelo seco	1.36	3.17	1.93
Peso agua	0.22	0.64	0.26
% humedad	16.2%	20.2%	13.5%

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	28.47%
LIMITE PLASTICO	18.61%
INDICE PLASTICO	9.86%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

INGENIERIA & ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, Julio del 2015	MUESTRA:	CA - 03 B

LIMITE LIQUIDO

Muestra N°	C	T	B	I
Peso de la capsula	50.25	50.3	50.35	50.3
Peso capsula. + suelo humedo	68.2	68.58	65.03	57.87
Peso capsula + suelo seco	61.75	65.17	61.71	57.21
Numero de golpes	17	23	28	38
Peso suelo seco	11.5	14.87	11.36	6.91
Peso agua	4.45	3.41	3.32	0.66
% humedad	38.7%	22.9%	29.2%	9.6%

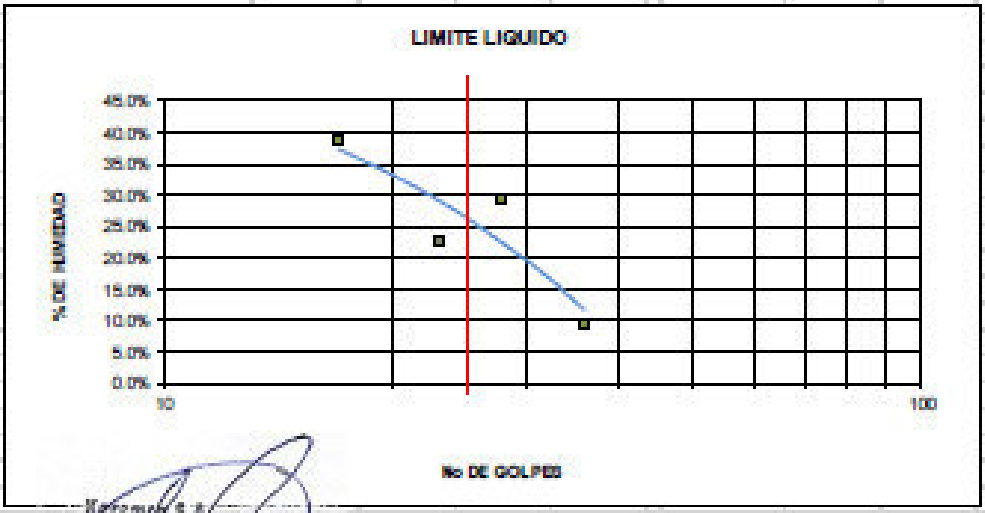
OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

LIMITE PLASTICO

Muestra	D	H	T
Peso de la capsula	28.11	28.15	22.35
Peso capsula. + suelo humedo	29.68	31.91	24.59
Peso capsula + suelo seco	29.45	31.50	24.21
Peso suelo seco	1.34	3.35	1.86
Peso agua	0.23	0.41	0.38
% humedad	17.2%	12.2%	20.4%

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	28.48%
LIMITE PLASTICO	18.61%
INDICE PLASTICO	9.86%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACION
SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO
MUESTRA: CA - 03 A

Coord. UTM: E 777123 N 8575757
Profundidad: 3.00 MT.

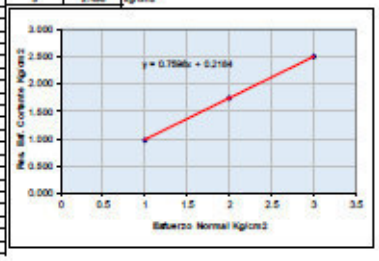
SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA
FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

CAJA DE CORTE N°: 2023-2015
ANCHO: 6 cm
AREA: 36 cm2
Ka: 2.6
VELOCIDAD: 1 mm/min
Wm: 270 gr.

LONG: 6 cm
ALTURA: 4 cm
VOLUMEN: 144 cm3
%W: 9 %
FACTOR DE CALIBRACION: 4.559

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1	1	Kg/cm2	σ2	2	Kg/cm2	σ3	3	Kg/cm2
				L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	2.200	10.030	0.283	4.300	19.604	0.554	6.400	29.178	0.824
1.50	0.150	5.850	35.100	2.800	12.765	0.364	6.100	27.810	0.792	8.400	38.296	1.091
2.00	0.200	5.800	34.800	3.100	14.133	0.406	7.700	35.104	1.009	10.200	46.502	1.336
2.50	0.250	5.750	34.500	3.800	17.325	0.502	8.200	37.384	1.084	11.400	51.973	1.506
3.00	0.300	5.700	34.200	4.000	18.238	0.533	8.800	40.119	1.173	13.500	61.547	1.800
3.50	0.350	5.650	33.900	4.700	21.427	0.632	9.700	44.222	1.304	14.200	64.736	1.910
4.00	0.400	5.600	33.600	5.200	23.707	0.706	10.800	48.325	1.438	14.800	67.473	2.008
4.50	0.450	5.550	33.300	6.000	27.364	0.821	11.600	52.149	1.566	15.600	71.120	2.136
5.00	0.500	5.500	33.000	6.700	30.545	0.926	11.800	52.884	1.603	16.800	76.591	2.321
5.50	0.550	5.450	32.700	7.000	31.913	0.976	12.500	56.988	1.743	17.900	81.606	2.496
6.00	0.600	5.400	32.400	6.700	30.545	0.943	12.200	55.620	1.717	16.500	75.224	2.322
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.976	kg/cm2
2	1.743	kg/cm2
3	2.496	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.36
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	37.0

V°B°

LABORATORISTA

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACION
SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO
MUESTRA: CA - 03 B

Coord. UTM: E 777123 N 8575757
Profundidad: 3.00 MT.

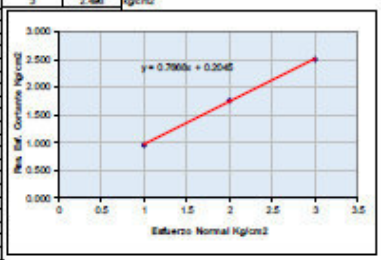
SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA
FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

CAJA DE CORTE N°: 0024-2015
ANCHO: 6 cm
AREA: 36 cm2
Ka: 2.6
VELOCIDAD: 1 mm/min
Wm: 270 gr

LONG: 6 cm
ALTURA: 4 cm
VOLUMEN: 144 cm3
%W: 9 %
FACTOR DE CALIBRACION: 4.559

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1	1	Kg/cm2	σ2	2	Kg/cm2	σ3	3	Kg/cm2
				L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	2.100	9.574	0.270	4.300	19.604	0.554	6.300	28.722	0.811
1.50	0.150	5.850	35.100	2.900	13.221	0.377	6.100	27.810	0.792	8.400	38.296	1.091
2.00	0.200	5.800	34.800	3.100	14.133	0.406	7.700	35.104	1.009	10.200	46.502	1.336
2.50	0.250	5.750	34.500	3.800	16.412	0.476	8.100	36.928	1.070	11.300	51.517	1.493
3.00	0.300	5.700	34.200	4.000	18.238	0.533	8.800	40.119	1.173	13.500	61.547	1.800
3.50	0.350	5.650	33.900	4.600	20.971	0.619	9.700	44.222	1.304	14.200	64.736	1.910
4.00	0.400	5.600	33.600	5.200	23.707	0.706	10.700	48.781	1.452	14.700	67.017	1.995
4.50	0.450	5.550	33.300	5.900	26.898	0.808	11.000	50.149	1.506	15.600	71.120	2.136
5.00	0.500	5.500	33.000	6.700	30.545	0.926	11.500	52.429	1.589	16.600	76.591	2.321
5.50	0.550	5.450	32.700	6.900	31.457	0.962	12.600	57.443	1.757	17.900	81.606	2.496
6.00	0.600	5.400	32.400	6.800	30.089	0.929	12.300	56.076	1.731	17.000	77.503	2.392
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.962	kg/cm2
2	1.757	kg/cm2
3	2.496	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.36
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	37.0

V°B°

LABORATORISTA

Keremca S.A.

INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAY BAMBA, parte media de
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Ocobamba, Julio de 2015	MUESTRA:	CA. - 04 A

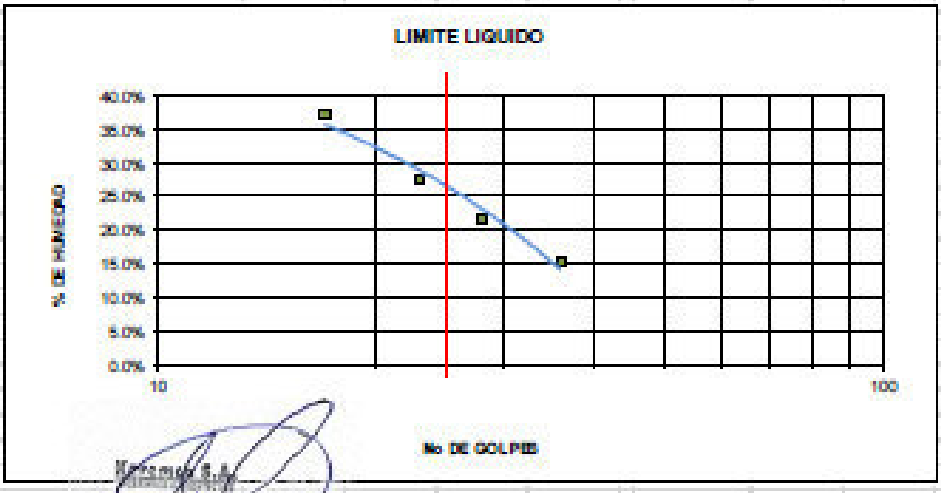
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	C	Y	B	U
Peso de la capsula	50.25	50.29	50.44	50.22
Peso capsula. + suelo humedo	65.87	69.25	64.32	58.24
Peso capsula + suelo seco	61.84	65.13	61.85	57.17
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	11.39	14.84	11.41	6.95
Peso agua	4.23	4.12	2.47	1.07
% humedad	37.1%	27.8%	21.6%	15.4%

LIMITE PLASTICO			
Muestra	X	Y	Z
Peso de la capsula	28.09	28.11	22.34
Peso capsula. + suelo humedo	29.84	31.92	24.51
Peso capsula + suelo seco	29.31	31.25	24.11
Peso suelo seco	1.22	3.14	1.77
Peso agua	0.53	0.67	0.40
% humedad	27.0%	21.3%	22.6%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	28.82%
LIMITE PLASTICO	23.88%
INDICE PLASTICO	2.98%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM D4318

PROYECTO:	ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA	UBICACIÓN:	
		SECTOR:	CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento
		DISTRITO:	OCOBAMBA
SOLICITANTE:	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA	PROVINCIA:	LA CONVENCION
		DPTO:	CUSCO
FECHA:	Quillabamba, Julio del 2015	MUESTRA:	CA - 04 B

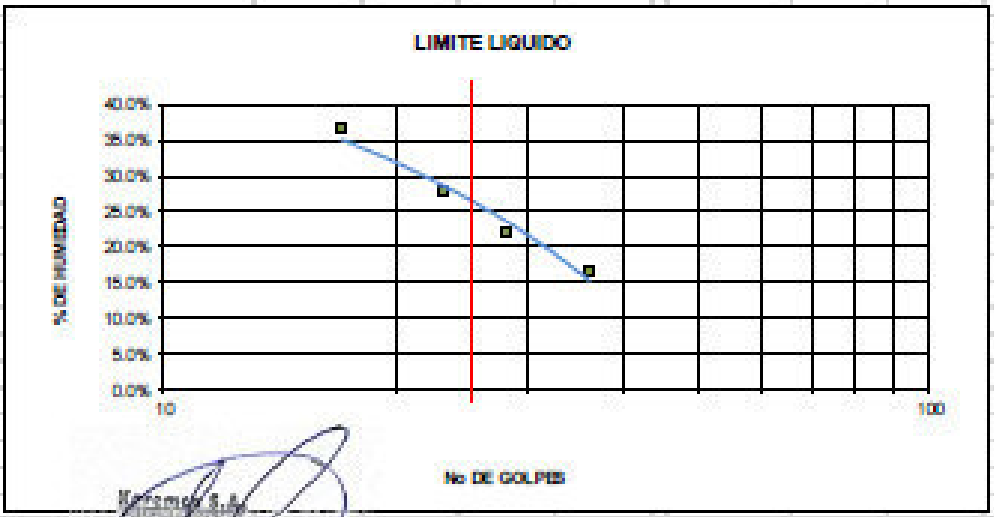
LIMITE LIQUIDO				
Muestra N°	C	R	J	U
Peso de la capsula	50.22	50.25	50.45	50.22
Peso capsula. + suelo humedo	65.84	69.32	64.31	58.33
Peso capsula + suelo seco	61.67	65.18	61.82	57.19
Numero de golpes	17	23	28	36
Peso suelo seco	11.45	14.93	11.37	6.97
Peso agua	4.17	4.14	2.49	1.14
% humedad	36.4%	27.7%	21.9%	16.4%

LIMITE PLASTICO			
Muestra	1	2	3
Peso de la capsula	28.10	28.10	22.35
Peso capsula. + suelo humedo	29.62	31.94	24.55
Peso capsula + suelo seco	29.52	31.19	24.15
Peso suelo seco	1.22	3.09	1.80
Peso agua	0.50	0.75	0.40
% humedad	24.6%	24.3%	22.2%

OBSERVACIONES:
Muestras, proporcionadas por el solicitante.

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO	28.66%
LIMITE PLASTICO	23.68%
INDICE PLASTICO	2.98%



V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

UBICACION
SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de distribución
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO
MUESTRA: CA - 04 A

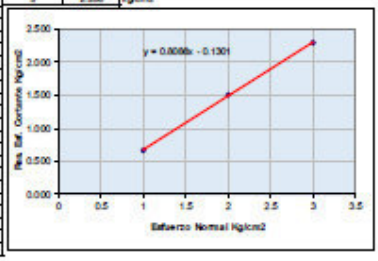
Coord. UTM: E 777066 N 857830
Profundidad: 2.40 MT.

CAJA DE CORTE N°: 0026-2015
ANCHO: 6 cm
AREA: 36 cm2
h: 2.6
VELOCIDAD: 1 mm/min
Wm: 270 gr

LONG: 6 cm
ALTURA: 4 cm
VOLUMEN: 144 cm3
%W: 8 %
FACTOR DE CALIBRACION: 4.559

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1 LD (un)	σ1 F.C. Kg	σ1 τ (Kg/cm2)	σ2 LD (un)	σ2 F.C. Kg	σ2 τ (Kg/cm2)	σ3 LD (un)	σ3 F.C. Kg	σ3 τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	1.800	8.206	0.232	3.400	10.942	0.309	3.000	13.677	0.386
1.50	0.150	5.850	35.100	2.200	10.030	0.286	3.600	16.413	0.468	7.200	32.825	0.935
2.00	0.200	5.800	34.800	2.400	10.942	0.314	7.000	31.913	0.917	9.800	44.678	1.284
2.50	0.250	5.750	34.500	2.900	13.221	0.383	7.500	34.190	0.991	10.300	46.958	1.361
3.00	0.300	5.700	34.200	3.800	18.472	0.480	8.000	36.472	1.066	11.000	50.149	1.466
3.50	0.350	5.650	33.900	3.800	17.324	0.511	8.300	37.840	1.116	12.100	55.164	1.627
4.00	0.400	5.600	33.600	4.100	18.692	0.556	8.600	39.207	1.167	13.400	61.091	1.818
4.50	0.450	5.550	33.300	4.300	19.604	0.589	9.400	42.855	1.287	14.500	66.106	1.985
5.00	0.500	5.500	33.000	4.600	20.971	0.635	10.000	45.590	1.382	15.700	71.578	2.169
5.50	0.550	5.450	32.700	4.800	21.883	0.669	10.600	48.237	1.536	16.400	74.768	2.286
6.00	0.600	5.400	32.400	4.800	20.971	0.647	10.300	46.958	1.449	15.900	72.488	2.237
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.669	kg/cm2
2	1.536	kg/cm2
3	2.286	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.87
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	39.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-90

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

UBICACION
SECTOR: CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA, parte media de distribución
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO
MUESTRA: CA - 04 A

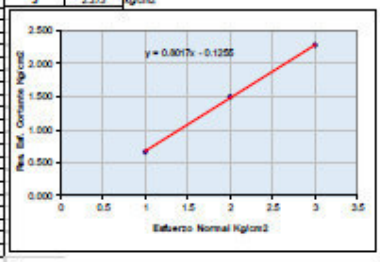
Coord. UTM: E 777066 N 857830
Profundidad: 2.40 MT.

CAJA DE CORTE N°: 0026-2015
ANCHO: 6 cm
AREA: 36 cm2
h: 2.6
VELOCIDAD: 1 mm/min
Wm: 270 gr

LONG: 6 cm
ALTURA: 4 cm
VOLUMEN: 144 cm3
%W: 8 %
FACTOR DE CALIBRACION: 4.559

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm2)	σ1 LD (un)	σ1 F.C. Kg	σ1 τ (Kg/cm2)	σ2 LD (un)	σ2 F.C. Kg	σ2 τ (Kg/cm2)	σ3 LD (un)	σ3 F.C. Kg	σ3 τ (Kg/cm2)
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	0.100	5.900	35.400	1.900	8.662	0.245	3.400	10.942	0.309	3.000	13.677	0.386
1.50	0.150	5.850	35.100	2.100	9.574	0.273	3.900	17.780	0.507	5.100	23.251	0.662
2.00	0.200	5.800	34.800	2.400	10.942	0.314	5.100	23.251	0.668	7.400	33.737	0.969
2.50	0.250	5.750	34.500	2.900	13.221	0.383	6.700	30.545	0.885	9.800	44.678	1.295
3.00	0.300	5.700	34.200	3.400	15.501	0.453	8.000	36.472	1.066	10.400	47.414	1.386
3.50	0.350	5.650	33.900	3.800	17.324	0.511	8.300	37.384	1.103	11.500	52.429	1.547
4.00	0.400	5.600	33.600	4.100	18.692	0.556	8.600	39.207	1.167	12.100	55.164	1.642
4.50	0.450	5.550	33.300	4.400	20.060	0.602	9.400	42.855	1.287	13.200	60.179	1.807
5.00	0.500	5.500	33.000	4.600	20.971	0.635	9.900	45.134	1.368	14.900	67.929	2.058
5.50	0.550	5.450	32.700	4.800	21.883	0.669	10.700	48.781	1.492	16.300	74.313	2.273
6.00	0.600	5.400	32.400	4.500	20.518	0.633	10.300	46.958	1.449	16.000	72.944	2.251
6.50	0.650	5.350	32.100									
7.00	0.700	5.300	31.800									
7.50	0.750	5.250	31.500									
8.00	0.800	5.200	31.200									
8.50	0.850	5.150	30.900									
9.00	0.900	5.100	30.600									

σ	τ	
1	0.669	kg/cm2
2	1.492	kg/cm2
3	2.273	kg/cm2



COHESIÓN (kg/cm²):	0.87
ÁNGULO ROZAMIENTO (°):	39.0

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: CP KELLCAYBAMBA
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

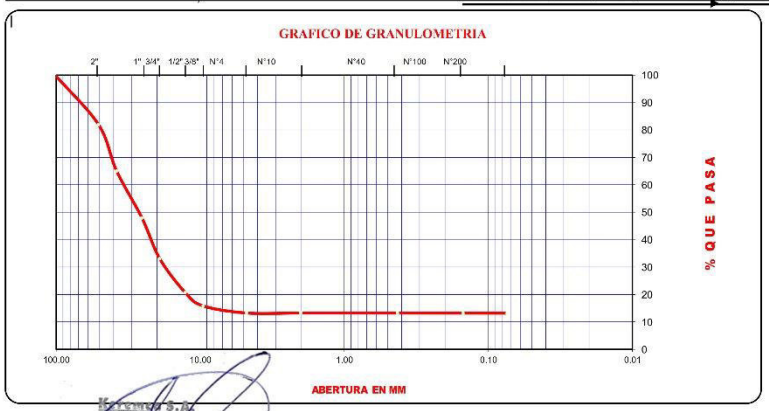
MUESTRA: CA -01 A

TAMAÑO DE TAMIZES		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr)	(%)	(%)
4"	101.60	258.10		100.00
2"	50.80	354.20	18.09	81.91
1 1/2"	38.10	329.80	16.84	65.06
1"	25.40	335.80	17.15	47.91
3/4"	19.10	291.30	14.88	33.03
1/2"	12.70	242.00	12.36	20.67
3/8"	9.52	94.80	4.84	15.83
Nº 4	4.76	50.20	2.56	13.27
Nº 10	2.00	0.30	0.02	13.25
Nº 40	0.43	0.40	0.02	13.23
Nº 100	0.15	0.30	0.02	13.22
Nº 200	0.07	0.22	0.01	13.21
CAZUELA	0.07	0.45	0.02	
TOTAL :		**1,957.87**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	13.27
PASA N°10	13.25
PASA N°40	13.23
PASA N°200	13.21
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	24.00%
LP	21.01%
IP	2.99%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-1-a**
SUCS	**GM**

V°B°

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis L. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: CP KELLCAYBAMBA
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

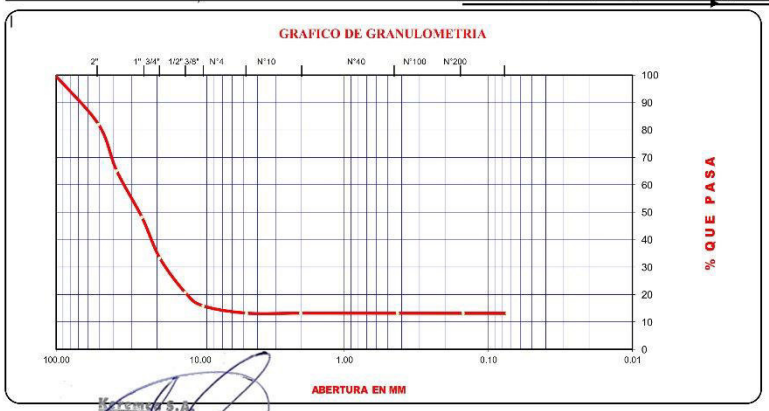
MUESTRA: CA -01 B

TAMAÑO DE TAMIZES		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr)	(%)	(%)
4"	101.60	258.15		100.00
2"	50.80	354.21	18.03	81.97
1 1/2"	38.10	329.87	16.79	65.18
1"	25.40	334.50	17.03	48.16
3/4"	19.10	291.70	14.85	33.31
1/2"	12.70	248.00	12.62	20.69
3/8"	9.52	95.10	4.84	15.85
Nº 4	4.76	51.40	2.62	13.23
Nº 10	2.00	0.32	0.02	13.21
Nº 40	0.43	0.45	0.02	13.19
Nº 100	0.15	0.31	0.02	13.17
Nº 200	0.07	0.23	0.01	13.16
CAZUELA	0.07	0.47	0.02	
TOTAL :		**1,964.71**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	13.23
PASA N°10	13.21
PASA N°40	13.19
PASA N°200	13.16
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	24.07%
LP	21.09%
IP	2.98%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-1-a**
SUCS	**GM**

V°B°

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis E. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C.P. KELLCAYBAMBA
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

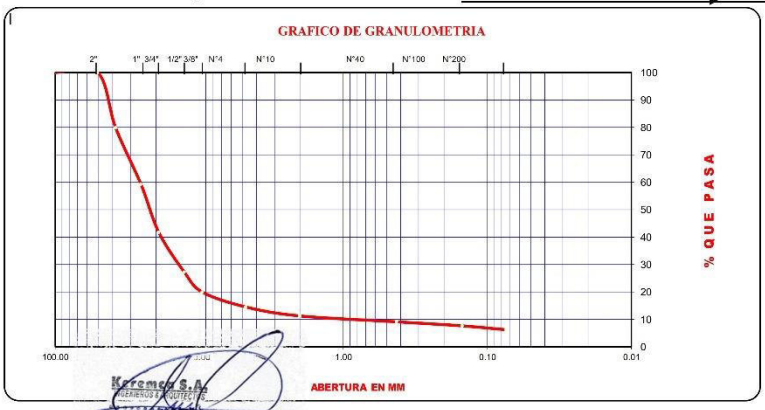
FECHA: Quillabamba, julio del 2015

MUESTRA: CA - 02 A

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	(mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	332.20	20.13	79.87
1"	25.40	340.50	20.63	59.24
3/4"	19.10	289.42	17.54	41.71
1/2"	12.70	239.00	14.48	27.23
3/8"	9.52	120.30	7.29	19.94
Nº 4	4.76	89.50	5.42	14.51
Nº 10	2.00	54.20	3.28	11.23
Nº 40	0.43	35.24	2.14	9.09
Nº 100	0.15	24.50	1.48	7.61
Nº 200	0.07	23.40	1.42	6.19
CAZUELA	0.07	102.20	6.19	
TOTAL :		**1,650.46**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	14.51
PASA N°10	11.23
PASA N°40	9.09
PASA N°200	6.19
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	33.30%
LP	17.38%
IP	15.91%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-2-7**
SUCS	**GP - GC**

V°B°

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis I. Ancesi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C.P. KELLCAYBAMBA
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

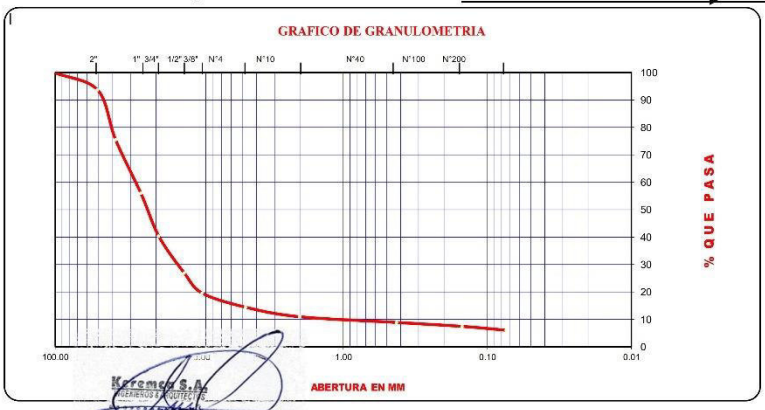
FECHA: Quillabamba, julio del 2015

MUESTRA: CA - 02 B

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	(mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	114.50	6.38	93.62
1 1/2"	38.10	325.70	18.15	75.46
1"	25.40	351.20	19.57	55.89
3/4"	19.10	279.52	15.58	40.31
1/2"	12.70	241.50	13.46	26.85
3/8"	9.52	131.20	7.31	19.54
Nº 4	4.76	92.10	5.13	14.40
Nº 10	2.00	62.35	3.48	10.93
Nº 40	0.43	37.20	2.07	8.85
Nº 100	0.15	25.80	1.44	7.42
Nº 200	0.07	24.87	1.39	6.03
CAZUELA	0.07	108.20	6.03	
TOTAL :		**1,794.14**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	14.40
PASA N°10	10.93
PASA N°40	8.85
PASA N°200	6.03
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	33.25%
LP	17.39%
IP	15.86%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-2-7**
SUCS	**GP - GC**

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis J. Ancesi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C. P. DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

MUESTRA: CA - 03 A

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	(mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	150.54	8.20	91.80
1 1/2"	38.10	201.30	10.97	80.83
1"	25.40	310.20	16.90	63.93
3/4"	19.10	281.30	15.32	48.61
1/2"	12.70	257.40	14.02	34.59
3/8"	9.52	182.50	9.94	24.64
Nº 4	4.76	159.35	8.68	15.96
Nº 10	2.00	85.65	4.67	11.30
Nº 40	0.43	70.23	3.83	7.47
Nº 100	0.15	23.45	1.28	6.19
Nº 200	0.07	18.25	0.99	5.20
CAZUELA	0.07	95.45	5.20	
TOTAL :		**1,835.62**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	15.96
PASA N°10	11.30
PASA N°40	7.47
PASA N°200	5.20
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	26.47%
LP	16.61%
IP	9.86%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-2-4**
SUCS	**GP - GC**

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis L. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C. P. DE KELLCAYBAMBA, parte alta de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

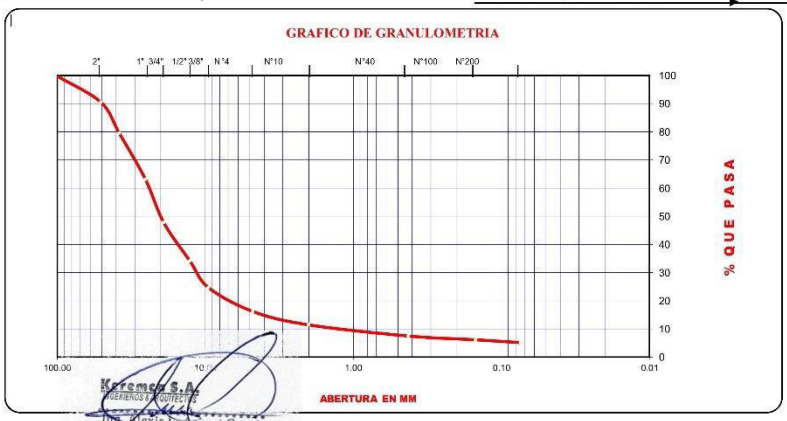
MUESTRA: CA - 03 B

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	(mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	181.54	9.50	90.50
1 1/2"	38.10	210.40	11.01	79.49
1"	25.40	312.24	16.34	63.15
3/4"	19.10	293.50	15.36	47.78
1/2"	12.70	261.35	13.68	34.11
3/8"	9.52	180.47	9.45	24.66
Nº 4	4.76	162.30	8.49	16.17
Nº 10	2.00	90.57	4.74	11.43
Nº 40	0.43	75.54	3.95	7.47
Nº 100	0.15	25.68	1.34	6.13
Nº 200	0.07	19.25	1.01	5.12
CAZUELA	0.07	97.84	5.12	
TOTAL :		**1,910.68**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	16.17
PASA N°10	11.43
PASA N°40	7.47
PASA N°200	5.12
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	26.46%
LP	16.61%
IP	9.85%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-2-4**
SUCS	**GP - GC**

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis E. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111969

V°B°

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C. P. DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

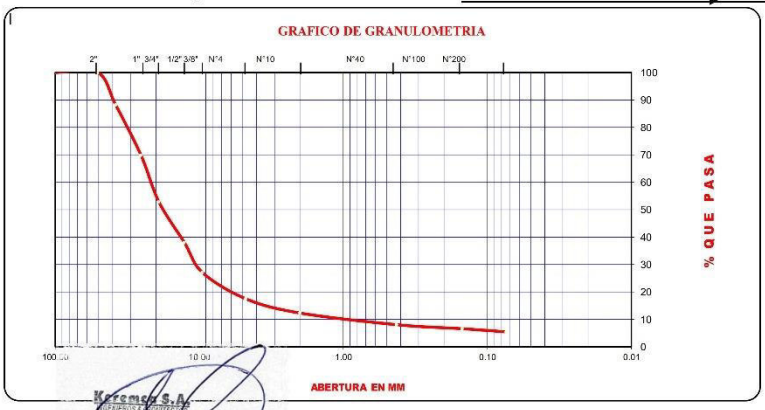
FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

MUESTRA: CA - 04 A

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	TAMAÑO DE TAMIZES (mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	197.54	11.76	88.24
1"	25.40	308.50	18.37	69.87
3/4"	19.10	285.40	16.99	52.88
1/2"	12.70	249.55	14.86	38.03
3/8"	9.52	183.54	10.93	27.10
Nº 4	4.76	161.25	9.60	17.50
Nº 10	2.00	87.49	5.21	12.29
Nº 40	0.43	71.44	4.25	8.04
Nº 100	0.15	24.63	1.47	6.57
Nº 200	0.07	19.20	1.14	5.43
CAZUELA	0.07	91.22	5.43	
TOTAL :		**1,679.76**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	17.50
PASA N°10	12.29
PASA N°40	8.04
PASA N°200	5.43
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	26.62%
LP	23.66%
IP	2.96%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-1-a**
SUCS	**GP - GM**

V°B°

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis L. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111966

LABORATORISTA:

Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO: ESTUDIO DE PROTECCIÓN DEL CENTRO POBLADO DE KELLCAYBAMBA

UBICACIÓN:
SECTOR: C. P. DE KELLCAYBAMBA, parte media de deslizamiento
DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: LA CONVENCION
DPTO: CUSCO

SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE OCOBAMBA

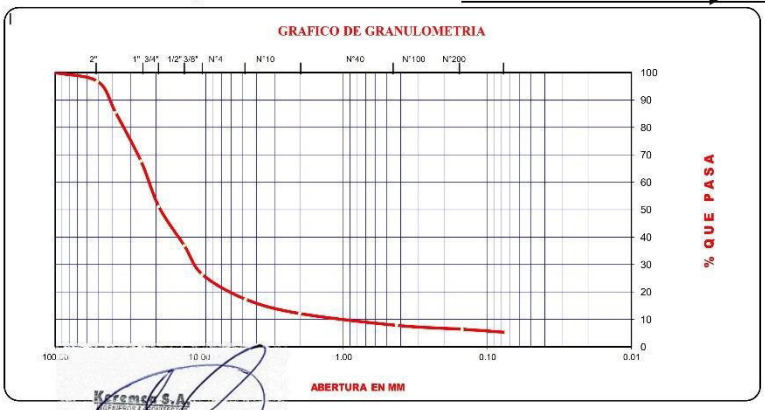
FECHA: Quillabamba, Julio del 2015

MUESTRA: CA - 04 B

TAMAÑO DE TAMIZES (Pulg.)	(mm.)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	101.60	0.00		100.00
2"	50.80	57.20	3.25	96.75
1 1/2"	38.10	199.87	11.34	85.41
1"	25.40	312.45	17.73	67.67
3/4"	19.10	291.52	16.55	51.13
1/2"	12.70	251.65	14.28	36.84
3/8"	9.52	184.52	10.47	26.37
Nº 4	4.76	159.84	9.07	17.30
Nº 10	2.00	91.54	5.20	12.10
Nº 40	0.43	75.74	4.30	7.80
Nº 100	0.15	25.01	1.42	6.38
Nº 200	0.07	20.14	1.14	5.24
CAZUELA	0.07	92.35	5.24	
TOTAL :		**1,761.83**	**100**	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 99
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retiene malla N°4	GW	Gravas bien graduadas , mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava,arena y limo
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diamtomizados, Limos elásticos
		CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad
Altamente Orgánico		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos



DATOS PARA CLASIFICACION	
PASA N° 4	17.30
PASA N°10	12.10
PASA N°40	7.80
PASA N°200	5.24
D10	12.50
D30	20.88
D60	33.91
Cu	2.71
Cc	1.03
LL	26.65%
LP	23.69%
IP	2.96%
CLASIFICACION	
AASHTO	**A-1-a**
SUCS	**GP - GM**

Keremca S.A. INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis L. Ancasi García
GERENTE GENERAL
C.I.P. 111965

V°B°

LABORATORISTA:

Anexo 03 – Mapas