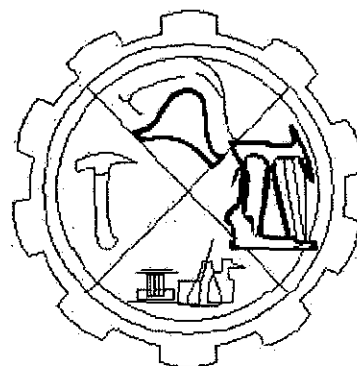


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN GEODINÁMICA Y MODELAMIENTO DEL  
DESLIZAMIENTO-FLUJO YANACOLPA EN EL DISTRITO DE  
PAROBAMBA, PROVINCIA DE POMABAMBA,  
REGIÓN ANCASH”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLÓGO  
CRISTHIAN ANDERSON CHIROQUE HERRERA**

**2016**

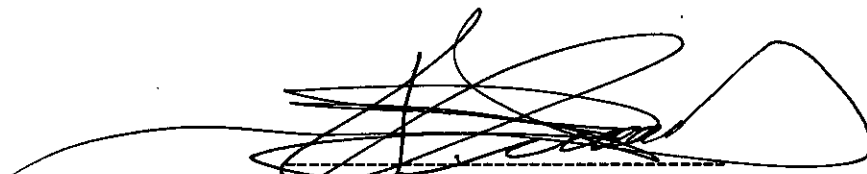
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN GEODINÁMICA Y MODELAMIENTO DEL  
DESLIZAMIENTO-FLUJO YANACOLPA EN EL DISTRITO DE  
PAROBAMBA,  
PROVINCIA DE POMABAMBA, REGIÓN ANCASH.”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLÓGO**



**Bach. Cristhian Anderson Chiroque Herrera**  
**(EJECUTOR)**



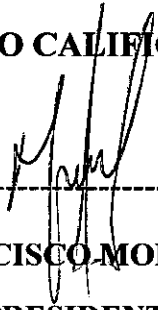
**DR. ING. RENATO UMERES CÁCERES**  
**(ASESOR)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN GEODINÁMICA Y MODELAMIENTO DEL  
DESLIZAMIENTO-FLUJO YANACOLPA EN EL DISTRITO DE  
PAROBAMBA,  
PROVINCIA DE POMABAMBA, REGIÓN ANCASH.”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLÓGO**

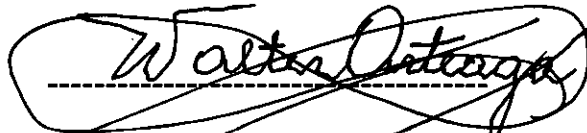
**JURADO CALIFICADOR:**



-----  
**DR. JUAN FRANCISCO MOREANO SEGOVIA**  
**(PRESIDENTE)**



-----  
**DR. WALTER UMERES RIVEROS**  
**(SECRETARIO)**



-----  
**ING. WALTER ARTEAGA ARAMBULO**  
**(VOCAL)**



## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Martha y Edgardo por haber creído en que el saber a través de la educación puede cambiar la vida de las personas, por sus enormes sacrificios, paciencia y amor. Que esta tesis sea un pequeño reconocimiento a su sacrificio. Gracias por haberme enseñado a ser siempre fiel en el amor a Dios y al prójimo.

Finalmente, a Yanina gracias por acompañarme en este largo camino, eres el pequeño motor que me alentó siempre a seguir adelante, en estos 7 años hemos crecido juntos, gracias por todo.

Cristhian Chiroque Herrera



## AGRADECIMIENTO

Agradecerle a Dios por bendecirme cada día de mi vida por todo lo bueno y lo malo, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi casa de estudios, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mis profesores de universidad que durante toda mi carrera han aportado con un granito de arena a mi formación, a los Ing. Arturo Córdova, Francisco Moreano, Walter Arteaga, Walter Umeres y a los Ing. Reinaldo Arellano y Dante Llanos (Q.E.P.D), a todos por sus enseñanzas, consejos y más que todo por su amistad.

A mis asesores de tesis, Ing. Renato Umeres y Juan Carlos Gómez, por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han logrado en mí una persona con éxito. Por la visión crítica de los aspectos cotidianos de la vida, por la rectitud en la profesión, por los consejos brindados, los cuales me formaron como persona e investigador. Al Ing. Juan Carlos Linares, por las oportunidades, los consejos y sabias palabras, gracias por todo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecer su amistad, consejos, apoyo, y ánimo. Sin importar en donde estén, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

## RESUMEN

El distrito de Parobamba está ubicado al NE de la Región Ancash, aquí se han registrado movimientos en masa (MM). La ocurrencia de estos eventos está relacionada a la complejidad geológica, geomorfológica y meteorológica de la zona. Las precipitaciones pluviales son el factor vinculado a reactivaciones de grandes MM entre deslizamientos, flujos, aluviones, avalanchas de rocas y movimientos complejos.

El sector denominado Yanacolpa ubicado en el distrito de Parobamba, está siendo afectado por un deslizamiento de tipo rotacional, en la que grandes volúmenes de rocas y sedimentos se desprenden y se desplazan cuesta abajo como una sola unidad sobre una superficie de falla de forma cóncava. La escarpa principal llega a medir 300 m de largo con un salto de 5 m, con movimiento retrogresivo. Este deslizamiento tiene una posterior fase de flujo de 2.5-3 km de largo y 500 metros de ancho, la cual llega hasta la quebrada Chogo, con la amenaza de un posible represamiento y posterior embalse. Dicho evento está clasificado como movimiento complejo, pues resulta de la combinación de dos o más tipos de eventos: Deslizamiento rotacional (Cota 3800 – 3450 m.s.n.m) y Flujo (Cota 3450 – 3100 m.s.n.m). Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño y extensión, afectando laderas completas. (Antoine, 1992)

La ocurrencia de grandes deslizamientos en el distrito de Parobamba, entre las que destaca el deslizamiento-flujo “Yanacolpa”, ha quedado demostrada con claras evidencias geológicas-geodinámicas en procesos recientes de reactivación de estos MM. Estos procesos movilizaron grande volúmenes de materiales y modificaron la morfología de la zona.

Si bien se estima que pueden tener lugar en ciertos periodos de años en la que los factores detonantes tienen mayor incidencia, los deslizamientos, flujos y reptación de suelos son procesos comunes en el distrito de Parobamba. Sin embargo, poco se sabe acerca de los mecanismos que intervienen en la ocurrencia y reactivación de estos eventos.

**Palabras clave:** movimientos en masa, deslizamientos, flujos.

## ABSTRACT

Parobamba district is located to the northeast of the Ancash region, here there have been mass movements (MM). The occurrence of these events is related to the geological, geomorphological and meteorological complexity of the area. Rainfall is the factor related to reactivation of large MM between slides, flows, landslides, avalanches of rocks and complex movements.

The area called Yanacolpa located in the district of Parobamba, is being affected by a sliding rotational type, in which large volumes of rock and sediment break off and move downhill as a single unit on a fault surface concave. The main escarpment grows to 300 m long with a jump of 5 m, with retrogressive movement. This slide has a downstream flow of 2.5-3 km long and 500 meters wide, which reaches the Chogo broken, with the threat of a possible dam and reservoir back. The event is classified as complex movement, as results from the combination of two or more types of events: rotational Slip (Cota 3800-3450 m) and EBITDA (Cota 3450-3100 m). These movements usually reach large size and extent, affecting entire hillsides. (Antoine, 1992)

The occurrence of large landslides in the district Parobamba, among which the slip-flow "Yanacolpa", has been demonstrated by clear evidence geological-geodynamic processes in recent reactivation of these MM. They mobilized these processes large volumes of materials and changed the morphology of the area.

While it is estimated that may occur at certain times of year in which the triggering factors have the greatest impact, landslides, flows and soil creep processes are common in the district of Parobamba. However, little is known about the mechanisms involved in the occurrence of these events and reactivation.

**Keywords: Landslides, mudslides, flows.**



---

**CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO I</b> .....	22
<b>ASPECTOS GENERALES</b> .....	22
1.1 INTRODUCCIÓN .....	22
1.2 ANTECEDENTES .....	23
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	25
1.4 DELIMITACION DE PROBLEMA .....	26
1.5 HIPÓTESIS .....	26
1.6 OBJETIVOS .....	27
1.7 JUSTIFICACIÓN .....	27
1.8 METODOLOGÍA .....	29
1.9 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS .....	32
1.10 HIDROGRAFÍA .....	34
1.11 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO .....	35
<b>CAPÍTULO II</b> .....	36
<b>MOVIMIENTO EN MASA</b> .....	36
2.1 ¿QUE SON LOS MOVIMIENTOS EN MASA (MM)? .....	36
2.2 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA (MM) .....	37
2.3 NOMENCLATURA .....	39
2.4 DIMENSIONES DE UN DESLIZAMIENTO .....	42
2.5 DESLIZAMIENTO (Slide) .....	44
2.5.1 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS .....	44
2.5.2 TAMAÑO DEL DESLIZAMIENTO .....	47
2.5.3 EVIDENCIAS DE DESLIZAMIENTOS .....	47
2.5.4 FLUJOS .....	49
2.5.5 CAÍDAS .....	50
2.5.6 VUELCOS .....	50





---

2.5.7 PROPAGACIÓN LATERAL.....	51
2.6 OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA – CAUSAS .....	52
2.6.1 Factores condicionantes .....	52
2.6.2 Factores detonantes .....	55
2.7 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE DESLIZAMIENTOS.....	56
2.7.1 Piezómetro de hincado.....	57
2.8 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	60
2.8.1 Clasificación de suelos.....	60
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>65</b>
<b>GEOLOGÍA .....</b>	<b>65</b>
3.1 ESTRATIGRAFÍA.....	65
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	65
3.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	66
3.3.1 Formación Chicama (Js-Ch).....	66
3.3.2 Depósitos palustres (Q-pal).....	67
3.3.3 Depósitos Fluvio-aluviales (Q-fl/al).....	68
3.3.4 Depósitos de talud o detritos (Q-ta).....	68
3.3.5 Depósitos Coluviales (Q-co).....	69
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	70
3.4.1 Unidades Estructurales.....	70
3.4.1.1 Pliegues .....	71
3.4.1.2 Falla inferida.....	71
3.4.1.3 Falla de la Cordillera Blanca.....	72
3.4.1.4 Falla de Quiches .....	72
3.5 SISMICIDAD .....	73
3.5.1 Sismotectónica .....	74
3.5.2 Sismicidad Histórica .....	75

---



3.5.3 Catálogo sísmico para el Perú .....	76
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>79</b>
<b>GEOMORFOLOGÍA Y GEODINÁMICA SUPERFICIAL .....</b>	<b>79</b>
4.1 GEOMORFOLOGÍA .....	79
4.1.1 Modelo Digital de Terreno (MDT) .....	80
4.1.2 Plano de Pendientes .....	81
4.1.3 Unidades Geomorfológicas .....	82
4.1.3.1 Cumbres de montaña (Cu-m).....	83
4.1.3.2 Ladera de montaña (La-m).....	83
4.1.3.3 Terrazas aluvionales (Te-a).....	85
4.1.3.4 Valle angosto (Va-a).....	85
4.2 GEODINAMICA SUPERFICIAL.....	86
4.2.1 Factores Condicionantes .....	88
4.2.1.1 Geología .....	88
4.2.1.2 Geomorfología .....	88
4.2.1.3 Pendiente.....	89
4.2.1.4 Hidrología.....	89
4.2.2 Factores Detonantes.....	89
4.2.2.1 Precipitación pluvial.....	90
4.2.2.2 Sismicidad.....	90
4.2.3 EVENTOS DE GEODINÁMICA SUPERFICIAL.....	91
4.2.3.1 DESLIZAMIENTO YANACOLPA (Fase Inicial).....	92
4.2.3.2 FLUJOS DE DETRITOS "YANACOLPA" (Segunda Fase) .....	97
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>109</b>
<b>ASPECTOS GEOTECNICOS .....</b>	<b>109</b>
5.1 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS.....	109



---

5.1.1 Exploraciones a cielo abierto (Calicatas) .....	109
5.1.1.1 Principio .....	110
5.1.1.2 Instrumentos .....	110
5.1.1.3 Procedimiento .....	110
5.1.1.4 Descripción de calicatas.....	111
5.1.2 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL, Norma DIN4094) .....	111
5.1.2.1 Principio .....	111
5.1.2.2 Equipos y materiales .....	112
5.1.2.3 Procedimiento .....	114
5.1.3 Exploraciones con posteadora manual o mecánica .....	115
5.2 Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos.....	116
5.2.1 Tipos de suelos en el deslizamiento-flujo Yanacolpa (SUCS).....	116
5.2.2 Corte Directo .....	118
5.2.2.1 Descripción del ensayo .....	119
5.2.2.2 Equipo.....	119
5.2.2.3 Resultados .....	120
5.2.3 Capacidad de Carga Admisible .....	120
5.3 Perfiles Geológicos Geotécnicos.....	122
5.4 Análisis de Estabilidad de Taludes .....	122
5.4.1 Principio del Análisis.....	123
5.4.2 Condiciones del Análisis.....	124
5.4.3 Factor de seguridad.....	125
5.4.4 Resultados del análisis .....	126
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>129</b>
<b>MODELAMIENTO COMPUTACIONAL</b> .....	<b>129</b>
6.1 Modelamiento Computacional mediante RAMMS .....	129
6.2 Resultados obtenidos.....	131

---



6.3	Fenómeno de “El Niño” .....	131
6.4	Descripción de Escenarios de ocurrencia de eventos extremos .....	131
6.5	Deslizamiento y Flujo de detritos Yanacolpa .....	132
	A. Escenario 1 .....	132
	B. Escenario 2 .....	134
6.6	Estimación de la peligrosidad del deslizamiento y flujos de detrito Yanacolpa ....	136
	6.6.1 Deslizamiento .....	136
	6.6.1.1 Parámetros de evaluación de deslizamientos.....	137
	6.6.1.2 Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos .....	138
	6.6.1.3 Estimación de la peligrosidad a deslizamientos.....	141
	6.6.1.4 Zonificación de la peligrosidad a deslizamientos .....	142
	6.6.2 Flujos de detritos.....	143
	6.6.2.1 Parámetros de evaluación por flujos de detritos.....	143
	6.6.2.2 Estimación de la susceptibilidad por flujos de detritos .....	144
	6.6.2.3 Zonificación de la susceptibilidad por flujos de detritos .....	147
	6.6.2.4 Estimación de la peligrosidad por flujo de detritos.....	148
	<b>CAPÍTULO VII</b> .....	150
	<b>RESULTADOS</b> .....	150
7.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	150
	<b>CAPÍTULO VIII</b> .....	152
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152



---

## RELACIÓN DE PLANOS

- P-01. Ubicación
- P-02. Hidrografía
- P-03. Cobertura Vegetal y Uso de Suelos
- P-04. Geología Regional
- P-05. Geología Local
- P-06. Geología Estructural
- P-07. Modelo digital del Terreno (MDT)
- P-08. Pendientes
- P-09. Geomorfología
- P-10. Geodinámica Superficial
- P-11. Ubicación de Ensayos Geotécnicos
- P-12. Clasificación de Suelos SUCSS
- P-13. Capacidad de Carga Admisible
- P-14. Sección Geológica – Geotécnica A-A'
- P-15. Sección Geológica – Geotécnica B-B'
- P-16. Sección Geológica – Geotécnica C-C'
- P-17. Facies Granulométricas
- P-18. Mapa de peligrosidad

## RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Foto 01: Contraste en la distribución de deslizamientos entre laderas boscosas y pastizales, Isla Norte, Nueva Zelanda. Obsérvese que en la ladera cubierta por pastizales ocurren diversos eventos de deslizamientos, mientras que en la ladera reforestada no se aprecia alguno. Fuente: Crozier, 2010. Foto: Graham.

Foto 02. Laguna originada por la emanación de agua proveniente de varios puntos ubicados en cotas superiores, los sedimentos arcillosos se sobresaturan aumentando el peligro de nuevos deslizamientos. Se observó que dichos flujos tienden a infiltrarse en el subsuelo.

Foto 03. En algunos sectores se observan depósitos coluvio-aluviales llamados así por la combinación e intercalación de los tipos de depósitos antes mencionados.

Foto 04. Este tipo de depósito se ubica en la parte media del flujo en la cota 3450 aprox, se concentran en la parte central y lateral del flujo. La reactivación del año 2013 definió claramente la granulometría de estos materiales.

Foto 05. Zona correspondiente a la fase inicial del deslizamiento, los depósitos coluviales están conformados por clastos angulosos debido a su corto o escaso recorrido, se han observado también deslizamientos y caída de rocas de baja magnitud en tamaño y volumen.

Foto 06. Plegamientos del tipo sinclinal marcado en línea de color amarillo, se observan a 50 metros del deslizamiento Yanacolpa.

Foto 07a. Unidad cumbres de montañas límite con la unidad ladera de montañas, obsérvese la intensa actividad geodinámica sobre esta última unidad. Foto 07b. Las flechas indican los agrietamientos (líneas amarillas discontinuas), evidenciando formación de nuevas zonas de debilidad, estas zonas se ubican 50m hacia la parte posterior de la escarpa principal.

Foto 08. Parte alta del deslizamiento Yanacolpa se observan laderas con pendiente superior a 30° de inclinación cubierta por materiales coluviales y escasa cobertura vegetal.

Foto 09. Vista de la parte media del deslizamiento-flujo Yanacolpa en el sector Yanacolpa, son laderas con pendiente suave de 15° a 30°.

Foto 10. Zona de acumulación de materiales de origen aluvional (línea discontinua color amarillo)

Foto 11. Quebrada Chogo que presenta cauce estrecho.

Foto 12a. Vista frontal de la escarpa principal con salto entre 5-7 m de altura hasta la escarpa secundaria, Foto 12b. Vista lateral de la escarpa principal que se extiende hasta 200 m de longitud en dirección NE, Foto 12c. Afloramientos de agua en el pie de la escarpa principal, estas se infiltran en el subsuelo a través de las grietas, Foto 12d. Agrietamiento de 30 cm de ancho, este se extiende 70m en dirección casi perpendicular a la dirección de la escarpa principal.

Fotos 13 e, f, g y h. Estos bloques se encuentran en la zona de acumulación o también llamada zona de depositación. Los sedimentos conformados por arcillas al entrar en contacto con el agua aumentan su densidad transportando rocas de 2m hasta 30cm de diámetro (e, f). La pendiente en esta zona pasa de moderadamente empinada a suave, el canal se acorta debido a este cambio de topografía (g, h).

Foto 14. Deslizamiento y posterior flujo de detritos sector Yanacolpa.

Foto 15 (a-b) a. Vista desde la cota 3500 hacia el área urbana del distrito de Parobamba, en su parte inicial el flujo tiene forma de embudo, zona donde se acumuló los materiales procedentes del deslizamiento (Origen). Hacia la parte media (cota 3300) el canal del flujo se acorta. b. Vista frontal del flujo, hacia la parte final del flujo (cota 3150) los sedimentos se depositan en forma de abanico tomando dirección SE.

Foto 16. Se observa que los sedimentos han tenido subsidencia, que es la deformación vertical de la superficie, en algunos casos de hasta 2m de profundidad.

Foto 17 (a, b) En ambas fotografías se puede observar el material desplazado (<50m de largo por 2-3m de profundidad) los sedimentos han sido transportados a más de 100m de su ubicación inicial.

Foto 18 (a). La línea continua representa el nivel original del área con respecto a la zona levantada (líneas discontinuas). (b) En algunos casos los sedimentos han cabalgado sobre otros, y sobre los cuales también se observan agrietamiento.

Foto 19. Vista panorámica del flujo Yanacolpa (líneas amarillas), hacia la parte final cota inferior la zona de acumulación.

Foto 20. Corte natural provocado por el agua que discurre de la quebrada Yanacolpa, se observan bloques y clastos angulares a subredondeados de (0.50m a 0.80m de diámetro), dispersos y mal clasificados dentro de una matriz areno arcillosa.

Foto 21. Zonas de erosión avanzada que han formado canales.

Foto 22. Equipos y accesorios que conforman el DPL.

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 01. Temperaturas máximas y mínimas de la Estación Curayacu, periodo (2008 – 2012). (SENAMHI, 2012)

Figura 02. Precipitaciones durante el periodo (2008-2012). Referencia (SENAMHI, 2012).

Figura 03. Partes principales de un deslizamiento. Fuente: Varnes 1978.

Figura 04. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides, 1990.

Figura 05. a) Deslizamiento traslacional b) Deslizamiento rotacional.

Figura 06. Signos para reconocer un problema de deslizamientos. Fuente: Suárez, 1998.

Figura 07. a) Avalancha de detritos b) Flujo de detritos (Skinner & Porter, 1992) c) Flujo de tierra.

Figura 08. a) Esquema de caída de rocas b) "Colapso" según Corominas y Yagué, 1997.

Figura 09. Esquema del vuelco en bloque. Fuente: Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976.

Figura 10. Block esquemático de una propagación lateral. Fuente: Varnes, 1978.

Figura 11. Diseño tipo de un sensor de piezómetro.

Figura 12. Esquema común del sensor piezométrico.

Figura 13. Curvas de gradación típica, suelo A es bien gradado, suelo B es uniforme y suelo C es gradación discontinua (Berry & Reid, 1993)

Figura 14. Límites de Atterberg o de consistencia. Fuente: Braja 2008.

Figura 15. Mapa sísmico del Perú entre 1960 – 2011. (Tavera, H. 2011)



Figura 16. Mapa de isoaceleraciones máximas para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Jorge Alva Hurtado. 1993)

Figura 17. Procedimiento para la obtención del MDT. Fuente: Propia.

Figura 18. Procedimiento para la obtención del mapa de pendientes. Fuente: Propia.

Figura 19. Esquema de las partes de un deslizamiento (Varnes, 1991).

Figura 20. Partes básicas de un flujo (Bateman y otros, 2006).

Figura 21. Esquema para la distribución de los materiales (Iverson, 1997).

Figura 22: Métodos aplicados para el análisis de estabilidad de taludes.

Figura 23. Sección A-A', presenta un factor de seguridad de 1.15, por lo tanto se considera como inestable.

Figura 24. Sección B-B', presenta un factor de seguridad de 1.21, por lo tanto este talud se considera en estado precario.

Figura 25. Sección C-C', presenta un factor de seguridad de 1.49, por lo tanto se considera como un talud estable a muy estable.

Figura 26. Sección A-A', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.708, por lo tanto se considera como un talud inestable.

Figura 27. Sección B-B', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.819, por lo tanto se considera como un talud inestable.

Figura 28. Sección C-C', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.734, por lo tanto se considera como un talud inestable.

Figura 29. Flujo de trabajo del Software RAMMS mostrando tanto las características específicas y los datos de entrada y salida para los módulos RAMMS.

Figura 30. Resultado de la simulación del Salezer avalancha cerca de Davos Dorf Cantón Grisones, Suiza (haga clic para ver la animación). Imágenes © 2010 swisstopo (JD100007)

Figura 31. Esquema del deslizamiento flujos Yanacolpa.

Figura 32. Esquema del deslizamiento flujos Yanacolpa, presencia de evento “El Niño”.

Figura 33. Zonificación por peligrosidad realizado en base al modelamiento del Deslizamiento Flujo Yanacolpa.

Figura 34. Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos de origen natural

### RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 01. Tipos de MM. Fuente Cruden y Varnes (1996).

Tabla 02. Escala de velocidades para los movimientos en masa. Fuente. Cruden y Varnes (1996).

Tabla 03. Tamaño de deslizamientos por área en planta. Fuente: Conforth, 2005.

Tabla 04. Clasificación de pendientes propuesta por Zulfahmi et al, 2002.

Tabla 05. Clasificación de la pendiente y manifestación de procesos morfodinámicos, Fuente: Castro (1995).

Tabla 06. Tipos de Subsistencia.

Tabla 07: Rango de capacidad Portante.

Tabla 08. Coeficientes sísmicos para el análisis de estabilidad de taludes, fuente: Reglamento nacional de construcciones - Suelos y cimentaciones E-050, Lima 2002.

Tabla 09. Grado de estabilidad de los taludes. Fuente: Curso de actualización UNI, Dr. Alva Hurtado.

Tabla 10. Textura del suelo, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 11. Pendiente, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 12. Erosión, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 13. Velocidad del desplazamiento, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 14. Evaluación del deslizamiento, CENEPRED, 2014



Tabla 15. Relieve del Terreno, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 16. Tipos de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 17. Cobertura Vegetal, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 18. Uso actual de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 19. Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes. Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 20. Hidrometeorológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 21. Geológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 22. Inducidos por la acción del hombre, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 23. Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 24. Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio. Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 25. Estimación de la peligrosidad por deslizamiento

Tabla 26. Textura del suelo, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 27. Pendiente, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 28. Erosión, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 29. Velocidad del desplazamiento, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 30. Evaluación del evento por flujos de detritos. Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 31. Relieve del Terreno, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 32. Tipos de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 33. Cobertura Vegetal, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 34. Uso actual de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 35. Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes

Tabla 36. Hidrometeorológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 37. Geológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 38. Inducidos por la acción del hombre, Fuente: CENEPRED, 2014

Tabla 39. Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes, Fuente:  
CENEPRED, 2014

Tabla 40. Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio, Fuente:  
Propia

Tabla 41. Estimación de la peligrosidad por eventos geodinámicos de reptación

## RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 01. Temperaturas máximas y mínimas promedio del área en estudio. Fuente  
SENAMHI 2012.

Cuadro 02. Precipitaciones normales anuales del periodo 2008-2012. Fuente SENAMHI  
2012.

Cuadro 03. Datos Macrosísmicos de la Región Ancash Fuente: Silgado, 1978; IGP, 2005.

Cuadro 04. Parámetros geométricos del deslizamiento Yanacolpa. Fuente propia.

Cuadro 05. Parámetros geométricos de la fase de flujo Yanacolpa. Fuente propia.

Cuadro 06: Ubicación de calicatas.

Cuadro 07: Datos de ubicación y profundidad de los ensayos de penetración dinámica  
ligera. Fuente. Unidad de Geodinámica Superficial, 2015.

Cuadro 08: Ubicación de posteos.

Cuadro 09. Clasificación SUCS de las nueve (09) calicatas elaboradas en la zona de  
estudio. Fuente: UNALM, 2014.

Cuadro 10. Datos obtenidos del ensayo de corte directo realizado en la UNALM, 2014.



Cuadro 11. Capacidad portante de las diez (10) calicatas elaboradas en el deslizamiento flujo Yanacolpa. Fuente UNALM (2014).

Cuadro 12: Resultados del análisis de estabilidad de las tres secciones estudiadas.

Cuadro 13. Parámetros esperados en el primer escenario extremo.

Cuadro 14. Parámetros esperados en el segundo escenario extremo.

Cuadro 15. Rango establecido para determinar el nivel de susceptibilidad, elaborada en base a los niveles de peligrosidad establecidos por CENEPRED, 2014

Cuadro 16. La estratificación del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. El área de estudio presenta peligro alto (0.134 – 0.260). Fuente: CENEPRED

Cuadro 17. Rango establecido para determinar el nivel de susceptibilidad, elaborada en base a los niveles de peligrosidad establecidos por CENEPRED, 2014

Cuadro 18. La descripción del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto, muy alto. El área de estudio presenta peligro alto. Fuente CENEPRED, 2014

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

El término movimientos en masa (MM) incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 1999a, en Glade y Crozier, 2005).

El Perú forma parte del borde occidental de América del Sur, caracterizada por ser una de las regiones sísmicas más activas del mundo. Esta actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, generando terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia. Un segundo tipo de actividad sísmica está producida por las deformaciones en la corteza presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menores en magnitud y frecuencia.

La región Ancash está ubicada en la zona central y occidental del territorio Peruano, entre el Océano Pacífico al oeste y el río Marañón al este. Ancash posee un alto índice de ocurrencia de desastres ocasionados por movimientos en masa detonados principalmente por lluvias y sismos. La mayor cantidad de “aluviones” ocurridos en el país se han registrado en esta región.

Los desastres por movimientos en masa más recordados ocurrieron el siglo pasado, como el 13 de diciembre de 1941 (4 000 muertes en la ciudad de Huaraz por un aluvión), el del 17 de Enero de 1945 en Chavín de Huántar (400 muertos), el de Ranrahirca en 1962 (3000 muertos) y el del 31 de mayo de 1970 en particular que



causaron muchas muertes en muchas provincias (se estimó en 69 mil los muertos y más de 140 mil heridos, y de la destrucción de más de 160 mil viviendas correspondieron a Yungay, sepultado por la avalancha y flujo de detritos y, en Huaraz cuyas viviendas se convirtieron en una trampa mortal para 10 mil de sus habitantes), así como en el Callejón de Conchucos numerosos poblados rurales y capitales de provincia, afectados por movimientos en masa, (Modificado de INGEMMET, 2009).

En el contexto hidroclimático respecto al evento de El Niño, procesos de movimientos en masa (huaycos y deslizamientos), se presentaron en gran número durante el evento excepcional entre los años 1997 – 98, sin embargo en la región son frecuentes estos procesos en épocas de lluvias estacionales. (FRANCO, E., 1998)

Esta investigación está centrada en el distrito de Parobamba, ubicado al NE de la Región Ancash, aquí se han registrado movimientos en masa (MM). La ocurrencia de estos eventos está relacionada la complejidad geológica, geomorfológica y climatológica de la zona. Las precipitaciones pluviales son el factor vinculado a reactivaciones de grandes MM entre deslizamientos, flujos, reptación de suelos, aluviones, avalanchas de rocas y movimientos complejos.

## 1.2 ANTECEDENTES

El departamento de Ancash tiene un alto índice de ocurrencia de movimientos en masa esto debido a las características geológicas, sísmicas y climáticas. Así mismo la mayor cantidad de deslizamientos y aluviones que han causado alto grado de destrucción en el país se han registrado en esta región. (INGEMMET, 2007)

Los procesos de remoción en masa desarrollados en el distrito de Parobamba han sido abordados desde diferentes estudios, de manera directa o indirecta, la mayoría como inspecciones técnicas, informes de emergencia, etc. A continuación se describen los más importantes.



En el año 2000, la Municipalidad de Parobamba y la Oficina Regional de Defensa Civil encargaron un estudio sobre Seguridad Física de Parobamba, en dicho estudio se evaluó la geología, morfología y drenaje de la zona. Se describió los principales eventos geodinámicos que han ocurrido en Parobamba, con la finalidad de establecer las causas, influencia de los fenómenos y plantear medidas de mitigación que permitan reducir la vulnerabilidad en la zona. Este estudio recomienda realizar un levantamiento topográfico detallado del área del deslizamiento de mayor magnitud ubicado en el sector Yanacolpa, que permita llevar un control de la evolución geodinámica (Zapata, 2000), el cual no se ha hecho a la fecha.

En el año 2007, el Ministerio de Energía y Minas, a través del INGEMMET realizó el estudio de “Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Ancash”, el cual incluye mapas de susceptibilidad a movimientos en masa, y zonas críticas por peligros geológicos, identificando el MM en la quebrada Gotush y el sector Yanacolpa, clasificándolo como deslizamiento-flujo de detritos activo afectando terrenos de cultivo en gran extensión y viviendas ribereñas en la quebrada Chogo. (Zavala, 2007)

INGEMMET en el año 2008, elabora el informe: “Peligros Geológicos en el distrito de Parobamba”, cuya finalidad fue inventariar los eventos geodinámicos, daños causados y el estado en que se encuentran los sectores afectados por movimientos en masa en el distrito antes mencionado. El reporte recomienda la reubicación del distrito de Parobamba, ya que la mayoría de las viviendas han sido afectadas por movimientos complejos (asentamientos, deslizamientos y flujos), enmarcados en la quebrada Gotush y el sector Yanacolpa consignados como zonas críticas de la provincia de Pomabamba. (Zavala, 2008), dicha reubicación no se ha llevado a cabo hasta la actualidad.

En el año 2009 el INGEMMET publica el boletín N° 38 de la serie C titulado “Riesgos geológicos en la Región Ancash – Geodinámica e Ingeniería Geológica”, inventariando y delimitando las zonas con altos índices de incidencia por peligros



geológicos (Zavala y otros, 2009). En dicho boletín se incluye al deslizamiento Yanacolpa dentro de los eventos históricos de peligros que produjeron daños en la región Ancash.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie o plano de falla o ruptura, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Es posible que inicialmente no se defina el plano de falla y el proceso se origine por la presencia de un sustrato plástico, el movimiento de bloques sobre este sustrato ejerce esfuerzos y la falla del terreno pueda generarse después, lo que ocasionaría la inestabilidad.

La influencia de diferentes factores determina la ocurrencia o reactivación de estos MM. La coincidencia de factores influyentes tales como las condiciones físicas y mecánicas de las rocas, pendiente del terreno, tipo de suelos, movimientos en masa antiguos, precipitaciones extraordinarias, cobertura vegetal, sismicidad, sumadas a la actividad antrópica representada por el uso inadecuado de la tierra, contribuyen al desarrollo de nuevos procesos de inestabilidad de laderas (deslizamientos, flujos de detritos, reptación, entre otras) con serias repercusiones en la infraestructura física y socioeconómica.

El deslizamiento “Yanacolpa” es el evento de mayor magnitud hasta ahora registrado en el distrito de Parobamba, la escarpa principal se ubica a 3780 m.s.n.m, mide 300m de largo con un salto de 5m aproximadamente y con escarpas secundarias del mismo orden. La zona de acumulación del deslizamiento se encuentra a 3570 m.s.n.m. Este evento tienen una fase de flujo que llega medir hasta 2.2 Km de largo y 500m de ancho en promedio.



## Formulación

Debido a la problemática analizada en el cerro Yanacolpa, surge la pregunta clave sobre este evento:

¿Existen las condiciones Geológicas, Geotécnicas e Hidrológicas para la reactivación de un deslizamiento de gran magnitud que afecte la seguridad física de los poblados Yanacolpa y Parobamba?

### 1.4 DELIMITACION DE PROBLEMA

El deslizamiento y posterior fase de flujo “Yanacolpa”, se ubica a 300m al NW de la zona urbana del distrito de Parobamba. El área de estudio se ubica entre las coordenadas 8°40' 33" y 8°40'4" latitud sur y 77°25'23" y 77°25'54" longitud Oeste, entre las cotas 4000 y 3150 m.s.n.m., cubriendo un área total 1.62 Km<sup>2</sup>. Geográficamente influye sobre los caseríos Yanacolpa Nuevo, Yanacolpa Viejo, Parrajirca, Laurel; pertenecientes al distrito de Parobamba, provincia de Pomabamba, región Ancash, **Plano P-01**.

### 1.5 HIPÓTESIS

#### General

La litología compuesta por estratos de rocas muy fracturadas de poca resistencia y de naturaleza principalmente arcillosa, compuesta por lutitas. La presencia de este sustrato altamente plástico identificado en la fase geotécnica.

Las fuentes de agua evidenciadas en manantes y oconales saturan los sedimentos desestabilizando la zona proximal conformada por materiales palustres en su mayoría limos y arcillas y en menor proporción areniscas. Las precipitaciones pluviales sobresaturan los materiales de cobertura altamente porosos, el agua de escorrentía se

infiltra y aumenta el nivel freático.

## 1.6 OBJETIVOS

### General

Determinar las condiciones geológicas, hidrológicas y geotécnicas que podrían darse en un caso de reactivación del deslizamiento y la magnitud de este evento.

Para alcanzar el objetivo principal se desarrollaron diversas tareas como:

- Cartografiado geológico – geodinámico de los deslizamientos, que afectan la seguridad física de estos poblados.
- Delimitar de zonas susceptibles a movimientos en masa en el distrito de Parobamba.

### Específicos

- Inventariar y cartografiar las características geológicas y geodinámicas de la zona de estudio.
- Clasificar los tipos de suelo y determinar el factor de seguridad del deslizamiento de mayor magnitud Yanacolpa.
- Delimitar las zonas susceptibles a movimientos en masa en el distrito de Parobamba y anexo Cajas.

## 1.7 JUSTIFICACIÓN

La ocurrencia de grandes deslizamientos en el distrito de Parobamba, entre las que destaca el deslizamiento – flujo “Yanacolpa”, ha quedado demostrada con claras evidencias geológicas – geodinámicas en los procesos de reactivación ocurridos en los últimos 40 años (1970, 1987, 2000, 2013). Estos procesos movilizaron grandes volúmenes de materiales y modificaron la morfología de la zona. Si bien se estima que pueden tener lugar en ciertos periodos de años en la que los factores detonantes tienen

mayor incidencia, los deslizamientos, flujos y reptación de suelos son procesos comunes en el distrito de Parobamba. Sin embargo, poco se sabe acerca de las causas, mecanismos y los factores que más influyen en su ocurrencia.

Esta investigación se ha planteado con el objetivo de profundizar en el conocimiento de estos procesos y se ha centrado fundamentalmente en el estudio del deslizamiento de mayor magnitud generado en el sector Yanacolpa.

La originalidad de esta tesis radica tanto en el tema a investigar como en su enfoque, basado en la aplicación de la geotecnia, los métodos de la ingeniería geológica y el uso de modelos computacionales modelar los flujos ocurridos en Yanacolpa, todos estos utilizados en el desarrollo de las diferentes fases de trabajo de la investigación.

Debido a que, existen escasos antecedentes de aplicación de técnicas de ingeniería acompañados de ensayos de laboratorio apoyados con datos cuantitativos y cualitativos para determinar la calidad de los suelos sobre los cuales se desarrollan estos eventos.

La razón fundamental que justifica esta tesis es la falta de conocimientos actuales, a nivel nacional, de los mecanismos que originan los MM, los principales factores locales que los causan y los modelos computacionales para estimar la peligrosidad de eventos extremos.

La importancia de esta investigación es saber con certeza si futuros eventos extremos ocurridos en el deslizamiento de mayor magnitud “Yanacolpa” afectaran seriamente la seguridad física de la parte baja de Yanacolpa Nuevo (20 viviendas) y de la zona urbana de Parobamba, ya que de darse las condiciones de materiales de aporte, lluvias intensas y sismo con magnitud mayor a 7.5NM, el deslizamiento y posterior flujo llegará hasta la quebrada Chogo produciendo el embalse de esta, y posiblemente afecte a la parte urbana de Parobamba.

Los beneficiados de esta tesis serán los estudiantes que pretenden dedicarse al estudio de la geodinámica de los movimientos en masa. Las comunidades, centros poblados, regiones y autoridades tendrán una herramienta a seguir para enfrentar los principales peligros de origen geológico especialmente los Movimiento en Masa.

## 1.8 METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de esta investigación, se dividió en varias fases que toman en cuenta tanto el trabajo de campo como de gabinete.

El estudio se realizó en cuatro fases:

### **Fase Gabinete I**

- Se recopilaron todos los datos disponibles, tanto bibliográficos como cartográficos, sobre eventos similares ocurridos en la región, a nivel nacional e internacional sobre la temática de investigación de la zona. Estos datos han sido analizados y en algunos casos, procesados para ser utilizados en fases posteriores de la investigación.
- Se llevó a cabo la recopilación de información cartográfica (mapas topográficos digitales del IGN a escala 1:100 000), fotografías aéreas e imágenes satelitales, bibliografía sobre aspectos geodinámicos (peligros geológicos).
- Información acerca de la geología regional teniendo como base la carta geológica del INGEMMET.
- Análisis de la sismicidad histórica de la región e información de las aceleraciones máximas en la zona, tomados de la base de datos del IGP.



### **Trabajo de Campo I**

Por otro lado, se han llevado a cabo trabajos de campo (por un periodo de 3 meses en la que se acumularon un total de 23 días) y ensayos de laboratorio cuyos resultados han permitido describir los procesos y caracterizar los materiales involucrados en los deslizamientos, flujos y reptación de suelos.

- Se realizó la inspección y delimitación del área de estudio, mediante toma de puntos de control (GPS Navegador), sectores Yanacolpa Viejo, Yanacolpa Nuevo, Sector Laurel, Parrajirca.
- Cartografiado geológico e inventario de peligros geológicos: deslizamientos, flujo de detritos, etc.
- Evaluación de la vulnerabilidad física de los centros poblados de Parobamba como parte de la gestión de riesgo de desastres.
- Estudios geotécnicos y geomecánicos con la toma de muestras a través de exploraciones a cielo abierto – calicatas. Elaboración de perfiles estratigráficos de 2 a 3 metros de profundidad.
- Toma de datos como niveles piezométrico del suelo.

### **Gabinete II**

- Digitalización y composición de mapas temáticos: geología regional, geología local, geomorfología, geodinámica superficial, pendientes, etc.
- Elaboración de la base de datos de peligros geológicos – geodinámicos: inventario de movimientos en masa del área de estudio.
- Evaluación de la peligrosidad en función de factores detonantes (precipitaciones y sismicidad).
- Zonificación geodinámica.

## **Trabajo de Campo II**

En el mes de Julio del 2013, el deslizamiento flujo Yanacolpa se reactivó, esto fue un punto vital dentro de la investigación, ya que tendríamos un evento para comparar con los resultados esperados de los modelos ya establecidos.

- Se realizó un nuevo cartografiado, se inspecciono y delimitó mediante toma de puntos de control (GPS Navegador), nuevos agrietamientos, escarpes, planos de fallas, etc.
- Se estableció nuevos sectores de inestabilidad, volúmenes de materiales aportantes a futuros eventos.
- Se elaboraron nuevos perfiles estratigráficos de 2 a 3 metros de profundidad.

## **Laboratorio de Geotecnia**

Con el objetivo de determinar las propiedades físicas y clasificar los tipos de suelos encontrados en el Cerro Yanacolpa, las muestras recolectadas durante la etapa de Campo I se sometieron a ensayos de mecánica de suelos: granulometría, límites de Atterberg o consistencia y corte directo. Los estudios de suelos mencionados anteriormente fueron realizados en el laboratorio de la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), cuyos resultados permitieron elaborar el plano de Tipos de Suelos a escala 1:7,500.

## **Gabinete III**

- Finalmente, se realizó la compilación, sistematización y procesamiento de los datos obtenidos en las etapas de: Gabinete I, Campo I y II, Laboratorio I. Esta información permitió la redacción de la Tesis Final.

**Tipo de investigación:**

Esta investigación es de tipo descriptiva ya que en la primera etapa de este estudio reconocemos las características principales de los movimientos en masa. En la segunda fase correlacionamos los factores detonantes como las precipitaciones pluviales, la presencia de emanaciones de agua y la litología con la ocurrencia y reactivación de los movimientos en masa principalmente deslizamientos y reptación de suelos. En la última fase de esta investigación, construimos modelos donde podamos simular eventos con condiciones controladas mediante modelos computacionales.

**Métodos e instrumentos**

Análisis cuantitativos y/o cualitativos de medición o recolección de datos e información mediante ensayos de laboratorio como granulometría, índice de plasticidad, corte directo y ensayos en campo como piezómetros.

## 1.9 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

La Región Ancash se ubica en la zona intertropical (tropical y subtropical) por lo que presenta climas variados con frecuentes lluvias durante todo el año intensificadas en los meses de diciembre a marzo, la presencia de diferentes pisos altitudinales define distintos rasgos climáticos.

Los datos tomados de la estación meteorológica más cercana a Parobamba está en la localidad de Curayacu, a 10 km de Parobamba ubicada en las coordenadas: Latitud: 08°48'99.7" Sur, longitud: 77°27'59.2" Oeste, a una altitud de 2 990 m.s.n.m. en la provincia de Pomabamba.

El área de estudio se caracteriza por presentar un clima templado – frío con temperaturas medias anuales que varían entre 2C° y 10C°, y máximas que sobrepasan



los 22°C, según detalla la tabla adjunta para el periodo 2008 – 2012. (SENAMHI, 2012).

Variable	Meses (°)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	22	24.4	21.9	23.3	22.8	23.1	23.7	23.8	25.8	23.2	25.1	25.4
T° Min Promedio (°C)	8	7.4	7	7.1	4	2	1	2	4	6.1	6	5.4

Cuadro 01. Temperaturas máximas y mínimas promedio del área en estudio. Fuente SENAMHI 2012.

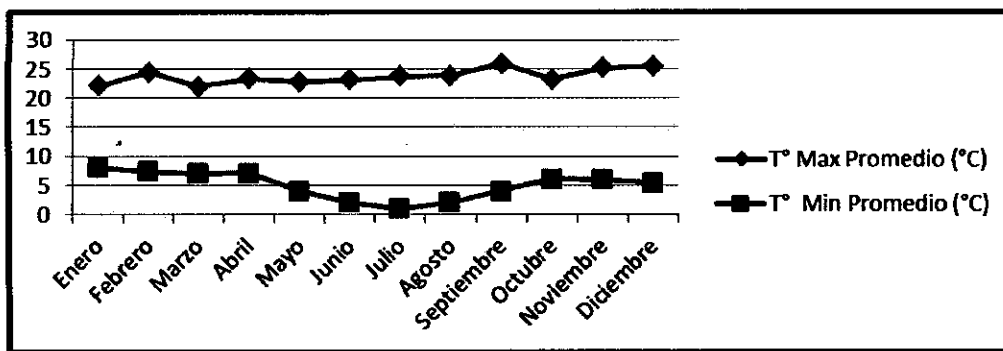


Figura 01. Temperaturas máximas y mínimas de la Estación Curayacu, periodo (2008 – 2012). (SENAMHI, 2012)

Según el mapa de precipitaciones de SENAMHI (2003), las lluvias acumuladas para el período lluvioso normal entre los meses de Diciembre a Abril (alcanzan entre 80 a 300 mm por año). Mientras que, en presencia del evento “El Niño” varía entre 600 a 800 mm por año.

De acuerdo a la información disponible la precipitación pluvial anual de la zona varía entre 14 – 271 mm (SENAMHI, 2012).



Variable	Meses (mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación 2008 - 2012	12.2	14.9	250.9	271.2	13.6	61.9	1.5	11.6	13.4	33.3	76.5	85.7
Precipitación Histórica	12.2	7.4	250.9	271.2	13.6	61.9	1.5	11.6	13.4	33.3	76.5	85.7

Cuadro 02. Precipitaciones normales anuales del periodo 2008-2012. Fuente SENAMHI 2012.

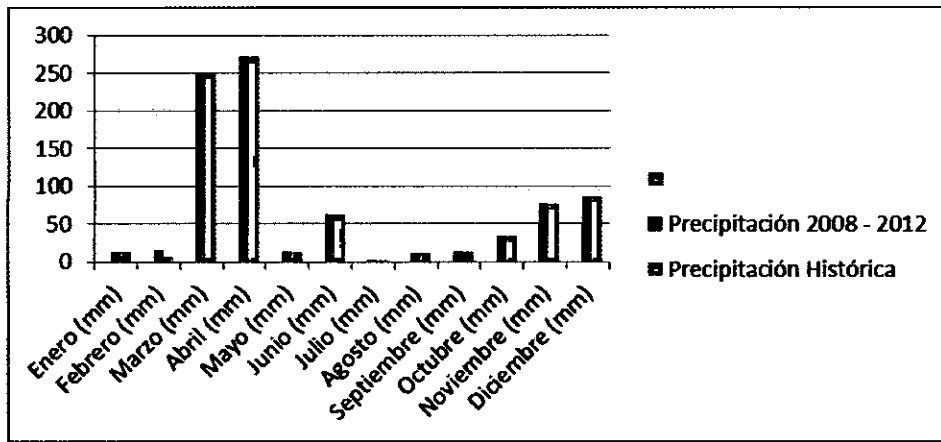


Figura 02. Precipitaciones durante el periodo (2008-2012). Referencia (SENAMHI, 2012).

### 1.10 HIDROGRAFÍA

La zona de investigación se ubica en la vertiente del río Amazonas, Cuenca Marañón, conformada por varias quebradas, la más importante la quebrada Chogo. Esta última fluye con dirección W-E y cruza a 300 metros al norte de Parobamba, siendo el principal colector de las quebradas Gotush y Yanacolpa de drenaje paralelo y que irrigan el cerro Yanacolpa, **Plano P-02**.

El área se caracteriza por tener quebradas de corto recorrido, régimen temporal y caudales variables con periodo de avenida de tres a cinco meses: diciembre a mayo (Zavala, 2009).



---

### 1.11 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

- En la zona se cultiva preferentemente especies como la papa, maíz, trigo, cebada, centeno, arvejas, habas, chocho, quiwicha, quinua, olluco, etc. El calendario agrícola es de octubre a enero (siembra) y cosecha hasta julio (MEF, 2012).

Cabe resaltar que, la deforestación ha deteriorado extensas áreas debido a actividades agropecuarias mal planificadas, esto es un factor antrópico que genera condiciones de inestabilidad de laderas, **Plano P-03**.



---

## CAPÍTULO II

### MOVIMIENTO EN MASA

#### 2.1 ¿QUE SON LOS MOVIMIENTOS EN MASA (MM)?

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 1999a, en Glade y Crozier, 2005).

En la literatura científica se han propuesto diversas clasificaciones de movimientos en masa; sin embargo la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales desplazados, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación.

Las clasificaciones de movimientos en masa de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988) son, hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo tanto en Europa como en Latinoamérica. Varnes (1958 y 1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra. De esta manera, presenta definiciones para varias posibles combinaciones de tipo de movimiento y material.

Es común encontrar en la literatura terminología que no es consistente y definiciones ambiguas para los distintos tipos de movimientos en masa. Como un ejemplo, Hungr et al., (2001) mencionan los *flujos de tierra* en la clasificación de

Varnes los cuales son conocidos como *deslizamientos de lodo* en la clasificación de Hutchinson. Numerosas observaciones de campo han demostrado que tales movimientos en masa se mueven predominantemente por *deslizamiento* a lo largo de superficies de corte discretas, y no por flujo (Hutchinson, 1970; Brunsden, 1984).

Es importante tener en cuenta que en la práctica es difícil asignar un movimiento en masa a una clase en particular, debido a que la mayoría de los procesos son bastante complejos y presentan diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria, debido a las propiedades de los materiales involucrados, mencionadas antes. Además, hay factores externos que influyen en el tipo de movimiento, por ejemplo, mientras que una determinada ladera pudiera fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (Crozier y Glade, 2005).

Dado que la mayoría de los movimientos en masa tienen comportamiento más complejo y presentan varias fases, sistemas como este conducen a nombres largos y complicados, es por ello que Cruden y Varnes (1996) asignan términos específicos a cada fase de movimiento.

Considerando lo explicado en párrafos arriba, y el hecho de que los sistemas de clasificación más empleados, mencionados anteriormente Cruden y Varnes (1996), están conceptualmente relacionados, propongo el uso de este sistema ya que esto facilita la “traducción” entre los diferentes sistemas y entre los términos prevalecientes en otros idiomas.

## 2.2 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA (MM)

En este ítem se presentan definiciones para las siguientes clases de movimientos en masa: *deslizamientos, flujos, caídas, vuelcos, propagaciones laterales, reptaciones*; se describe además cierto tipo de *deformaciones gravitacionales profundas* (Tabla 01).



Además para cada tipo de MM se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que esta se relaciona con la intensidad y la amenaza que pueden presentar. Se menciona la relación del intervalo de velocidades típicas con la escala de velocidades propuesta por Cruden y Varnes (1996), la cual se presenta en la Tabla 02.

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

Tabla 01. Tipos de MM. Fuente Cruden y Varnes (1996).

Clase de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido		
		$5 \times 10^3$	5 m/s
6	Muy rápido		
		$5 \times 10^1$	3m/min
5	Rápido		
		$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/h
4	Moderada		
		$5 \times 10^{-3}$	13m/mes
3	Lenta		
		$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/año
2	Muy lenta		
		$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año
1	Extremadamente lenta casi imperceptible		

Tabla 02. Escala de velocidades para los movimientos en masa. Fuente. Cruden y Varnes (1996).

Antes de describir estos dos tipos de deslizamientos, explicaré la nomenclatura empleada para detallar los componentes o partes de un deslizamiento.

### 2.3 NOMENCLATURA

Los taludes y sus procesos son estudiados por una gran variedad de disciplinas del conocimiento tales como: La geología, la geomorfología, la geotecnia, las ciencias del suelo, la hidrología, etc.

La nomenclatura más comúnmente utilizada en las ciencias geotécnicas, se basa en los sistemas de clasificación propuestos por Hutchinson (1968) y por Varnes (1958 y 1978). Este último sistema fue actualizado por Cruden y Varnes en el "Special Report 247" del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996) y es el sistema de nomenclatura y clasificación más utilizado en el mundo.

- **Talud**

Un "talud" o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como "ladera" cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y "talud" cuando se conformó artificialmente (Figura 03).

Las laderas o taludes permanecen estables por muchos años, sin embargo pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Al momento de describir el talud o ladera de un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie o, desde una cota superior hasta la cota inferior del evento; en el cual se pueden reconocer las siguientes partes características, Figura 03:

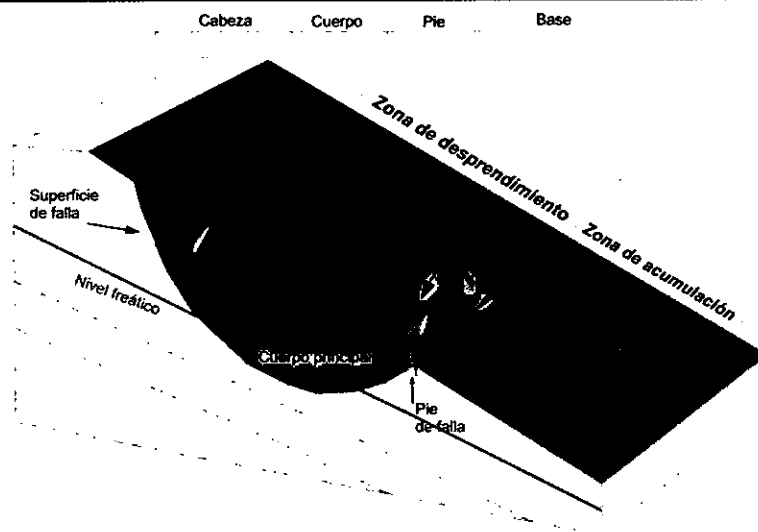


Figura 03. Partes principales de un deslizamiento. Fuente: Varnes 1978.

- **Corona**

Zona ubicada a una cota superior del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi-paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

- **Cabeza**

Parte superior del cuerpo principal de un deslizamiento a lo largo del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

- **Cima**

Punto más alto del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

- **Escarpe principal**

Superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.





- **Escarpes secundarios**

Superficies de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento dentro de este material.

- **Cuerpo principal**

Parte del material desplazado que yace sobre la superficie de falla, entre el escarpe principal y el pie de la superficie de falla.

- **Superficie de falla**

Superficie de ruptura o plano de falla, corresponde al plano más débil a lo largo del cual se rompe el material debido a que las fuerzas que actúan sobre él son superiores a la resistencia interna del material a lo largo de ese plano.

- **Flanco**

Costado izquierdo o derecho del cuerpo principal de un deslizamiento.

- **Depresión**

Volumen de un deslizamiento que está limitado por el escarpe principal, la masa deprimida y la superficie original del terreno.

- **Pie**

Porción de material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura.

- **Dedo**

Margen del material desplazado más distante del escarpe principal.

- **Punta**

Punto sobre el perímetro del pie que se encuentra más alejado de la corona del deslizamiento.

- **Base**

Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

- **Superficie original del terreno**

Superficie de la ladera que existía antes de la ocurrencia del deslizamiento.

- **Zona de acumulación**

Corresponde al área donde el material desplazado es depositado.

## 2.4 DIMENSIONES DE UN DESLIZAMIENTO

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG, Figura 04:

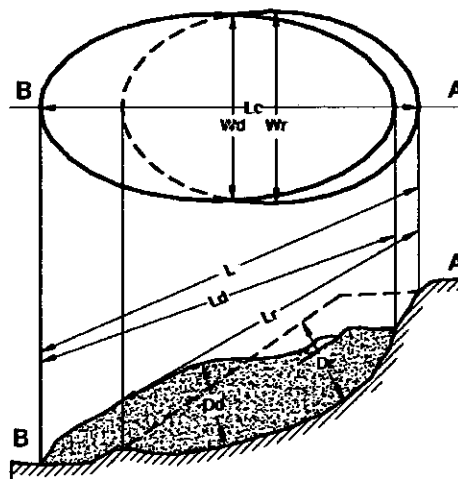


Figura 04. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides, 1990.

- **Ancho de la masa desplazada  $W_d$**

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud,  $L_d$ .



- **Ancho de la superficie de falla  $W_r$**

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud  $L_r$ .

- **Longitud de la masa deslizada  $L_d$**

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

- **Longitud de la superficie de falla  $L_r$**

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

- **Profundidad de la masa desplazada  $D_d$**

Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por  $W_d$  y  $L_d$ .

- **Profundidad de la superficie de falla  $D_r$**

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por  $W_r$  y  $L_r$ .

- **Longitud total  $L$**

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

- **Longitud de la línea central  $L_{cl}$**

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

## 2.5 DESLIZAMIENTO (Slide)

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales, esta clasificación es la más usada.

### 2.5.1 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS

Según la geometría de la superficie de ruptura se diferencian dos tipos: deslizamientos traslacionales y rotacionales, Figura 05. 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 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.

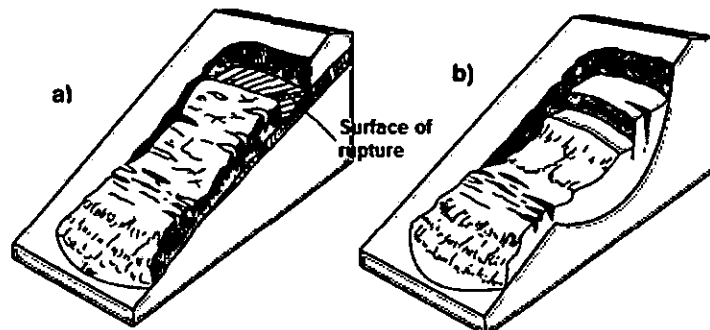


Figura 05. a) Deslizamiento traslacional b) Deslizamiento rotacional.



Según el 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, un horizonte podogénico o una superficie estructural en correspondencia a una unión permeable/impermeable, la superficie de falla generalmente se desarrolla en el contacto entre el regolito y el lecho 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, disminuye 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 movimientos 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.

## 2.5.2 TAMAÑO DEL DESLIZAMIENTO

En cuanto a la magnitud no hay tamaños estandarizados para la descripción de deslizamientos que pueda proporcionar alguna referencia. La Tabla 03, es usada en el presente trabajo de investigación, como guía para describir el tamaño de deslizamientos.

Descriptor	Área (pies <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Muy pequeña</b>	< 2 000	< 200
<b>Pequeña</b>	2 000 – 20 000	2 00 – 2 000
<b>Media</b>	20 000 – 200 000	2 000 – 20 000
<b>Extensa</b>	200 000 – 2 000 000	20 000 – 200 000
<b>Muy Extensa</b>	2 000 000 – 20 000 000	200 000 – 2 000 000
<b>Enorme</b>	> 20 000 000	> 2 000 000

Tabla 03. Tamaño de deslizamientos por área en planta. Fuente: Conforth, 2005.

## 2.5.3 EVIDENCIAS DE DESLIZAMIENTOS

En ocasiones existen evidencias claras de deslizamiento del terreno, pero es común que estos eventos no sean detectados a simple vista, por lo que se deben

tener en cuenta algunos signos que nos indiquen un problema de deslizamiento. La Figura 06, muestra algunos de los signos más comunes que se presentan cuando existe un problema de deslizamiento en el terreno. Las evidencias más comunes son las siguientes:

- Escarpas (en caso si el material es suelto) o escarpes (si el material es roca).
- Grietas (suelo) o fisuras (roca) en el terreno.
- Afloramientos de agua (manantiales, lagunas, etc.) a diferentes niveles topográficos del terreno.
- Inclinción de árboles.
- Grietas en las paredes de las viviendas.
- Presencia de terrazas escalonadas y depresiones en el terreno.
- Estructuras rotas como canales, carreteras, cercos, etc.
- Desplazamientos o asentamientos en el terreno.

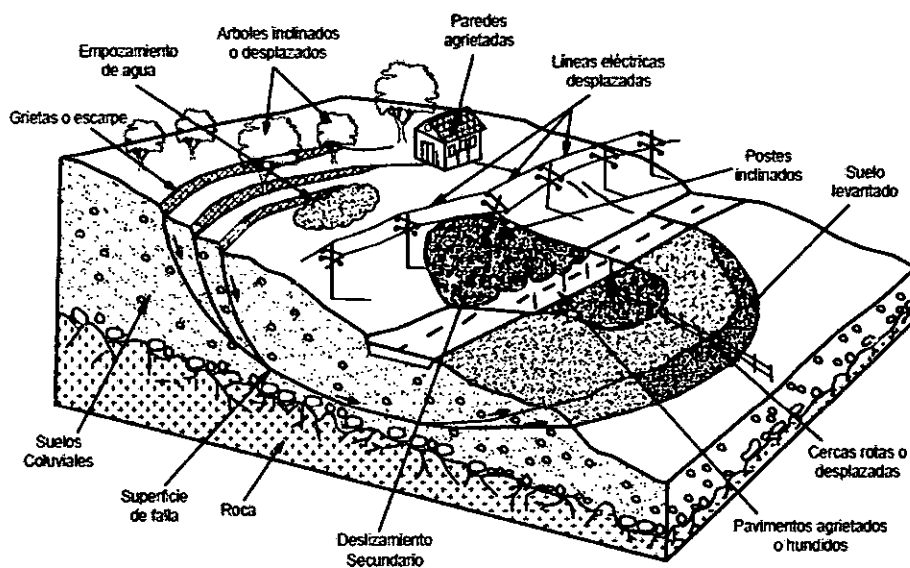


Figura 06. Signos para reconocer un problema de deslizamientos. Fuente: Suárez, 1998.



## 2.5.4 FLUJOS

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco, Figura 07. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Los flujos extremadamente rápidos se conocen también con el nombre de “avalanchas” y comúnmente son flujos de materiales de suelo o residuos de roca, entremezclados con agua, en los cuales la dinámica del movimiento controla su comportamiento. En Indonesia para identificar los flujos de lodo provenientes del deshielo de conos volcánicos se les denomina “*Lahares*”; en nuestro país lo denominamos “*Huaycos*” a los flujos rápidos de aguas turbias y turbulentas de corta duración, cargados de sólidos de diferentes tamaños y tipos de rocas (Colegio de ingenieros del Perú, 1998), en Bolivia se denomina “*Riadas*” para identificar los flujos torrenciales cargados de sedimentos, flujos de tierra, flujos de lodo, flujos de lodo rocoso, flujos de escombros, aluviones, flujos de residuos, entre otros.

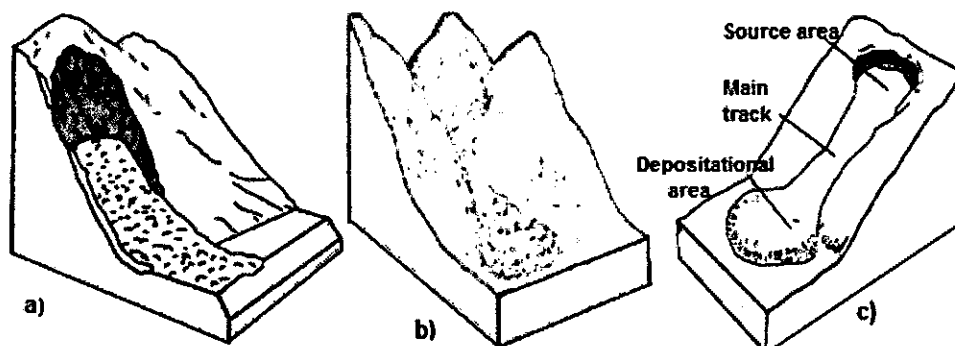


Figura 07. a) Avalancha de detritos b) Flujo de detritos (Skinner & Porter, 1992) c) Flujo de tierra.

### 2.5.5 CAÍDAS

Tipo de movimientos en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable, Figura 08. Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamientos (Varnes, 1978).

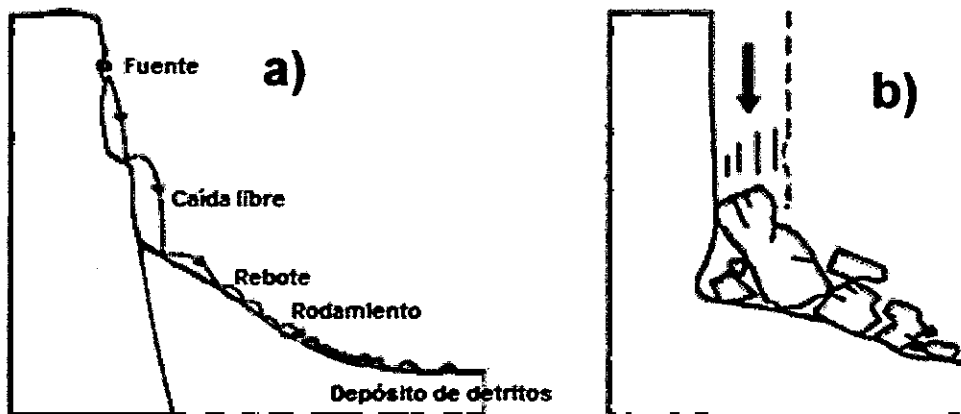


Figura 08. a) Esquema de caída de rocas      b) "Colapso" según Corominas y Yagué, 1997.

### 2.5.6 VUELCOS

Tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior, Figura 09. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

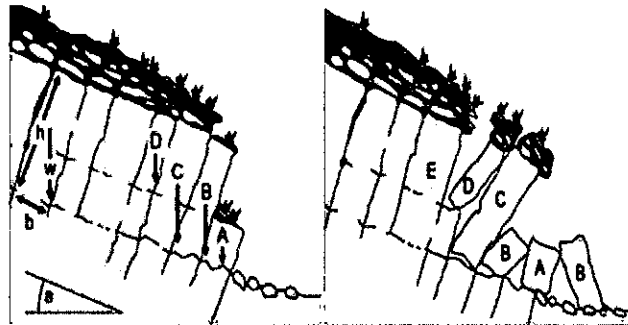


Figura 09. Esquema del vuelco en bloque. Fuente: Freitas y Waters, 1973 en  
Varnes, 1976.

### 2.5.7 PROPAGACIÓN LATERAL

También denominado expansión lateral, es aquel tipo de MM cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna del material, Figura 10.

Pueden ser propagaciones laterales lentas como las que ocurren en estratos rocosos gruesos que sobreyacen a materiales blandos, y las que involucran licuación de materiales sensibles tales como arenas saturadas de densidad relativa baja a media o limos y arcillas sensitivas. También pueden ser rápidas, estas usualmente son inducidas por terremotos, llegando a ser extremadamente rápidas y peligrosas.

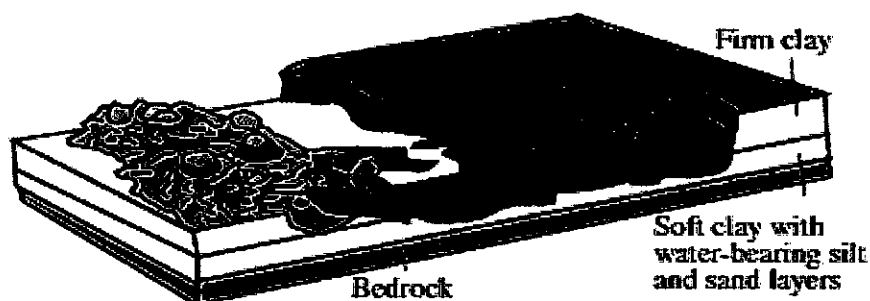


Figura 10. Block esquemático de una propagación lateral. Fuente: Varnes, 1978.

## 2.6 OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA – CAUSAS

Se distinguen dos tipos de factores: los determinantes y los detonantes, los cuales se detallan a continuación y cuya combinación disponen la ocurrencia de los movimientos en masa:

### 2.6.1 Factores condicionantes

Denominados así debidos a que obedecen a las características propiamente del terreno; además de ellos depende la distribución espacial de los eventos. Se le denomina también factores determinantes.

#### **Geología**

Es quizás uno de los factores más importantes que predisponen la ocurrencia de deslizamientos. El término geología refiere al tipo o tipos de materiales que conforman una ladera, de acuerdo a esto se puede conocer desde la forma de rotura y tipo de movimiento con que pueda darse un deslizamiento. Es distinto un deslizamiento en suelo que en roca, en arcillas que en arenas, etc. Ahí radica la importancia de este factor, ya que de acuerdo a las características geológicas de los materiales se plantea el análisis para su tratamiento y solución.

#### **Geomorfología**

La geomorfología está referida a la forma con que se presentan en el campo las unidades geológicas, y que son el resultado de la acción de agentes erosivos como el agua, viento, hielo, etc.; las cuales moldean el terreno de formas caprichosas como se las encuentra hoy en día. Es así que se pueden presentar cóncavas en el caso de depresiones, convexas en el caso de colinas o planas en el caso de llanuras. Además, según las geoformas es posible reconstruir la evolución de la geodinámica en cualquier área, lo que ocurrió en el pasado ocurrirá en el futuro. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra un movimiento en masa en una ladera escarpada es mayor a la probabilidad de que ocurra en



una llanura.

### Pendiente

La pendiente viene a ser la relación que guarda la distancia unitaria horizontal con la vertical de la ladera, reflejada en la inclinación de esta. Es así que se puede plantear que a mayor pendiente mayor probabilidad de que ocurra un movimiento de ladera.

Para esta investigación se optó por tomar la clasificación propuesta por Castro (1995), Tabla 04.

Denominación	Rango de Pendiente (°)	Proceso
<b>Suave</b>	0° - 2°	*
<b>Suavemente inclinado</b>	3° - 7°	Erosión laminar
<b>Moderadamente inclinado</b>	8° - 12°	Inicio de erosión lineal, comienzo de reptación
<b>Inclinado</b>	13° - 24°	Erosión lineal intensa y disminución de la erosión laminar
<b>Muy inclinado</b>	25° - 32°	Inicio de deslizamientos, la erosión lineal deja de ser importante
<b>Fuertemente inclinado</b>	33° - 39°	Intensificación de los deslizamientos, inicio de desprendimientos
<b>Inclinación casi vertical a vertical</b>	>39°	Predominio de desprendimientos,

Tabla 04. Clasificación de pendientes propuesta por Zulfahmi et al, 2002.

### Vegetación

La presencia o ausencia de vegetación sobre una ladera determina de alguna forma la estabilidad de esta, (foto 01). Por ejemplo, funciona para evitar problemas de erosión, reptación y fallas superficiales, en caso de árboles de raíz profunda estos le aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje

subterráneo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos poco profundos.

Por otra parte, influyen de forma negativa ya que sus raíces a través de la energía mecánica que ejercen sobre el terreno, rompen y abren grietas para apoyarse sobre él, generando superficies de debilidad susceptibles a sufrir roturas profundas, o en tal caso sirven como caminos por donde se infiltra el agua de lluvia hacia estratos más profundos en forma rápida, lo cual desfavorece a la estabilidad de una ladera.

Por otro lado, la ausencia de vegetación, facilita la de erosión de los terrenos, generándose, en caso de que el agente erosivo sea el agua, surcos y finalmente cárcavas que socavan e inestabilizan las laderas, sea cual fuese el material.

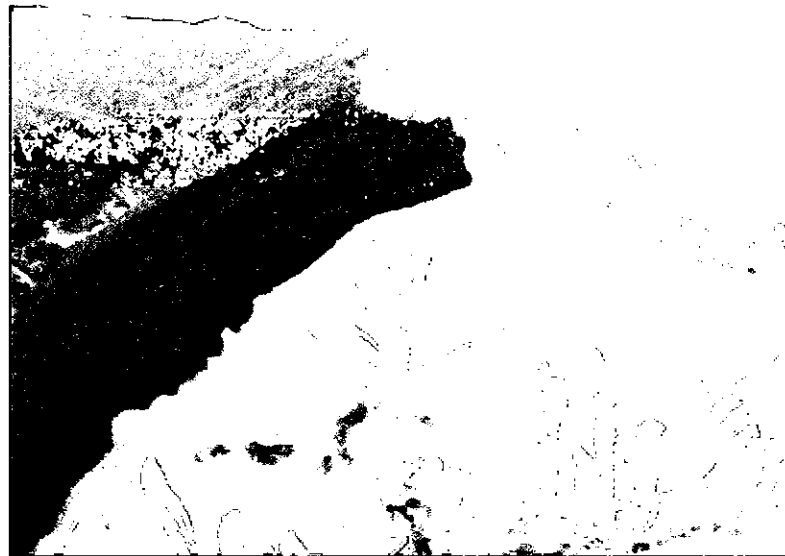


Foto 01: Contraste en la distribución de deslizamientos entre laderas boscosas y pastizales, Isla Norte, Nueva Zelanda. Obsérvese que en la ladera cubierta

por pastizales ocurren diversos eventos de deslizamientos, mientras que en la ladera reforestada no se aprecia alguno. Fuente: Crozier, 2010. Foto: Graham.

### **2.6.2 Factores detonantes**

También conocidos como extrínsecos, disparadores o factores externos; dentro de los más importantes abordaremos las precipitaciones pluviales, sismicidad y la actividad antrópica.

#### **Precipitación pluvial**

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas, muchos deslizamientos ocurren durante o después de los periodos de lluvia, además las áreas donde se registra mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad debido entre otras cosas, a la existencia de caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados que tienen incidencia en las propiedades geomecánicas del terreno.

El efecto de la infiltración de agua de lluvia en una ladera aumenta la presión de poros de esta e induce a una disminución de la resistencia al cortante, que a su vez puede activar un deslizamiento.

#### **Sismicidad**

Después de las precipitaciones pluviales los sismos son los principales desencadenantes de movimientos en masa.

Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento, lo anterior puede provocar desprendimientos de bloques,



deslizamientos, flujos de suelos y avalanchas, dependiendo de las características intrínsecas de la ladera como son su topografía, el tipo y propiedades de las rocas, los suelos de cobertura vegetal, el nivel freático y el tipo de vegetación, además de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro.

### **Antrópico**

La inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alterar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza. Esto se refleja en el crecimiento acelerado y la inadecuada planeación territorial de muchas poblaciones y ciudades en todo el mundo, los cuales han generado transformaciones antropogénicas negativas en el espacio, llevando a la urbanización de zonas con terrenos escarpados donde las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y topográficas no son las más apropiadas para la construcción de edificaciones.

Además la deforestación para ampliar y usar terrenos en actividades agropecuarias, es una de las actividades antrópicas que ha provocado que áreas estables sean calificadas como inestables debido a las nuevas condiciones a la que se somete.

## **2.7 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE DESLIZAMIENTOS**

La presión de poros se puede monitorear utilizando excavaciones de observación o piezómetros, los cuales pueden ser de tubo abierto, neumáticos o de cable vibratorio. El tipo de piezómetro a seleccionar para cada estudio específico depende de las características de funcionamiento del piezómetro y de su precisión.



### 2.7.1 Piezómetro de hincado

Consisten en un diafragma metálico que separa la presión del agua del sistema de medida. Un cable tensionado está unido al punto central de un diafragma metálico. Las deflexiones del diafragma ocasionan cambios en la tensión del cable, la cual es medida y convertida en presión, figura 00.

Los piezómetros de cuerda vibrante miden, con gran precisión, la presión intersticial en el punto donde se instalen. También pueden incorporar un sensor térmico, permitiendo así la medición simultánea de la temperatura. Mediante un sistema automático de adquisición de datos, y centralizando la información transmitida por el piezómetro en un ordenador, se puede realizar el seguimiento y monitorización, en tiempo real, de las presiones intersticiales.

La utilización de piezómetros de hilo vibrátil origina, con frecuencia, errores por el comportamiento del piezómetro a través del tiempo (Abramson y otros, 2002).

Una dificultad relativamente común de los piezómetros de hilo vibrátil, es la deformación o “creep” a largo plazo, lo cual modifica la tensión del cable y la precisión de las medidas. Igualmente, el sensor es susceptible a daños por la acción de los rayos durante las tormentas eléctricas. El cable metálico enterrado en el piso, actúa como un elemento que atrae los rayos.

Entre las ventajas del piezómetro de hilo vibrátil se encuentra la facilidad de lectura y la poca interferencia para la colocación de rellenos. Igualmente, puede utilizarse para medir presiones negativas de agua. El principal uso de los piezómetros de hilo vibrátil, se relaciona con la facilidad para incorporarlos a los sistemas automáticos de adquisición de datos y la posibilidad de transmitirlos a grandes distancias.

En las siguientes imágenes se muestran diversos tipos de sensores de piezómetros de cuerda vibrante.

El diseño tipo de uno de estos sensores se ilustra en la Figura 11:

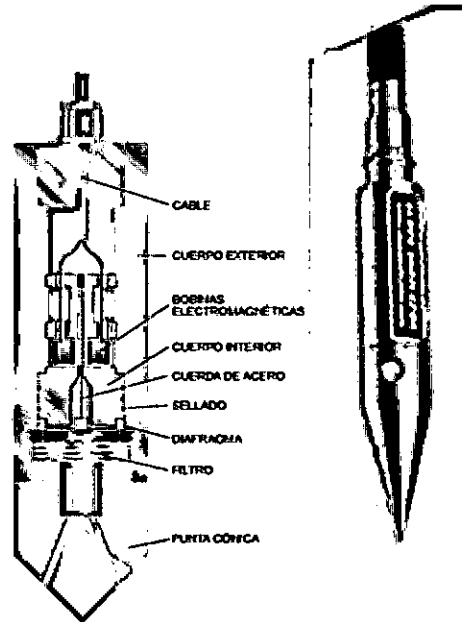


Figura 11. Diseño tipo de un sensor de piezómetro.

#### 2.7.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un piezómetro es el siguiente:

El líquido cuya presión se quiere conocer, en nuestro caso el agua, entra a la cavidad 1 a través del filtro colocado en su extremo. Dicho filtro permite el paso de agua y reteniendo las partículas en suspensión que pueda arrastrar el agua. El agua que entra en la cavidad, ejerce presión sobre la membrana impermeable que separa la cavidad 1 de la 2. Según aumenta la presión, la membrana se desplaza hacia la cavidad 2.

En la cavidad 2 se sitúa una cuerda de acero tensada, sujeta en un extremo a una pieza fija, y en el otro, a la membrana que se desplaza en función de la presión del líquido en el que se halla inmersa.

Dentro de la cavidad 2 se encuentran dos bobinas eléctricas, que completan el instrumento de medición. Una de las bobinas se encarga de excitar la cuerda mediante impulsos eléctricos, mientras que la otra capta la frecuencia de vibración de la cuerda, convirtiéndola en corriente eléctrica, transmitiéndola finalmente al receptor, Figura 12.

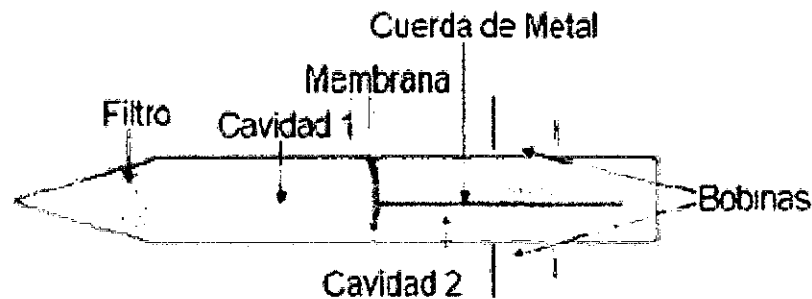


Figura 12. Esquema común del sensor piezométrico.

La frecuencia a la que oscila la cuerda ( $f$ ) es inversamente proporcional a la distancia entre sus extremos ( $l$ ), que es, a su vez, función de la presión que ejerce el agua en la membrana.

El cuadrado de la frecuencia de la cuerda varía proporcionalmente a la presión aplicada según la fórmula  $P - P_0 = k \cdot [f^2 - (f_0)^2]$ , después de corregir o despreciar el error de efecto térmico, midiendo por tanto, la amplitud del movimiento de vibración ( $1/f$ , en microsegundos) podemos calcular la elongación ( $l$ ) y con esta la presión que ejerce el líquido sobre la membrana que es, obviamente, la presión intersticial que queremos medir. Cada piezómetro es único y, una vez construido, necesita una calibración inicial, de la que se obtiene su constante de conversión, que será necesaria para transformar las frecuencias medidas, en presiones. Además justo antes de ponerlo en funcionamiento se mide su "cero" de presión, que también es distinto para cada piezómetro. Esta operación se realiza introduciendo el piezómetro en un cubo de agua a cota próxima a la superficie, y se

mide en microsegundos el periodo de oscilación que será el correspondiente a la presión atmosférica. El conocimiento de estos dos valores, constante de conversión y frecuencia a presión atmosférica, es necesario para poder convertir los valores dados en unidades de tiempo, a unidades de presión.

## 2.8 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Braja (2010), define al suelo como el 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.

### 2.8.1 Clasificación de suelos

Para expresar de forma concisa las características de los suelos, actualmente existen dos clasificaciones que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos, estos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema AASHTO.

Para la presente investigación se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el cual se detalla a continuación:

#### Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System USCS, siglas en inglés), 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 orgánicas), W (suelo bien gradado), P (suelo mal gradado), L (suelos baja plasticidad) y H (suelo de alta plasticidad).

Un suelo bien gradado (well graded soil) refiere a los suelos granulares (arenas, gravas) que presentan una mezcla proporcional de todos los tamaños de granos para un volumen de suelo dado, Figura 13.

Berry & Reid (1993) indican la posibilidad de expresar la gradación numéricamente mediante el *coeficiente de uniformidad* ( $C_u$ ) y el *coeficiente de curvatura* ( $C_z$ ), que se definen, respectivamente, de la siguiente manera:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

Donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son los tamaños de partícula para los cuales el 10, 30 y 60% del material, respectivamente, es más fino que esos tamaños. De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS, los suelos se clasifican como bien gradados si  $C_u > 4$  ó  $6 > C_u > 4$  y  $1 < C_z < 3$ .

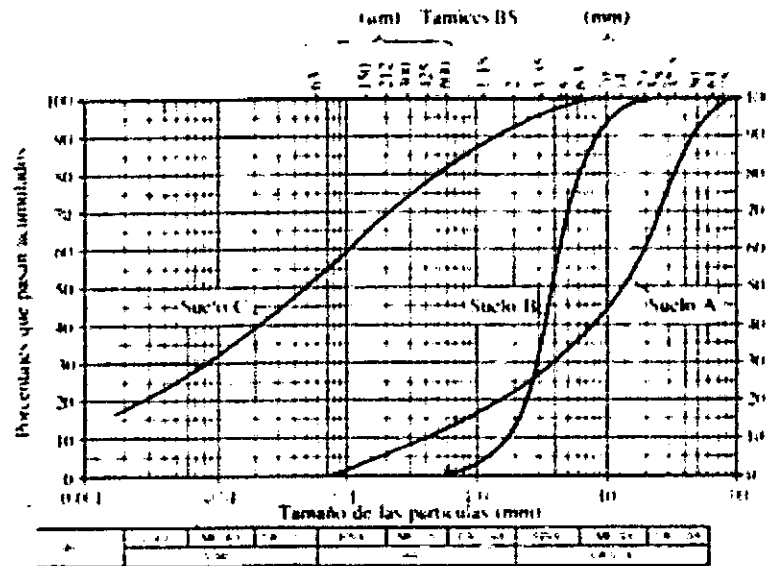


Figura 13. Curvas de gradación típica, suelo A es bien gradado, suelo B es uniforme y suelo C es gradación discontinua (Berry & Reid, 1993)

### 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 agua 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, Figura 14. 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.

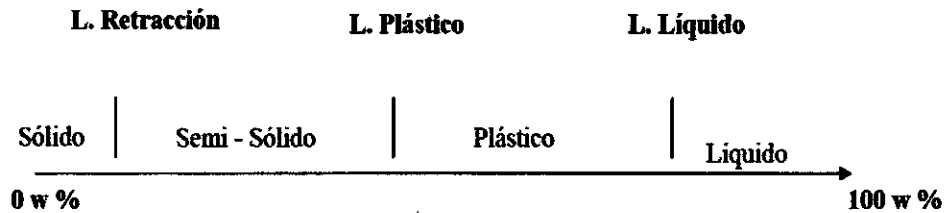


Figura 14: Límites de Atterberg o de consistencia. Fuente: Braja 2008.

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.

El *índice de plasticidad*, que indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, y el *índice de liquidez*, que indica la proximidad del suelo natural al límite líquido, son características especialmente útiles del suelo.

Índice de plasticidad:

$$IP = w_L - w_P$$

Índice de liquidez:



$$IL = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p}$$

Dónde:

$w_L$  = límite líquido

$w_p$  = límite plástico

$w_n$  = humedad natural

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.





---

## CAPÍTULO III

### GEOLOGÍA

#### 3.1 ESTRATIGRAFÍA

La secuencia de las unidades litoestratigráficas en el área de estudio está conformada de la siguiente manera:

##### **Formaciones Clásticas del Neocomiano – Aptiano**

El grupo Goyllarisquizga es la unidad que caracteriza a este tiempo geológico, están conformados por sedimentos clásticos del Neocomiano (145-113 m.a) en la parte de los Andes Centrales y Septentrionales.

La facie que abarca el mayor porcentaje del área de estudio aflora en la Cordillera Occidental, consiste de cuarcitas, lutitas y calizas que corresponden a la Formación Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

#### 3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Geológicamente gran parte de la zona estudiada está conformada por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades comprenden desde el Jurásico, Cretáceo hasta el Cuaternario Reciente. Las Formaciones sedimentarias tiene un origen marino continental, es decir fueron antiguos fondos oceánicos que emergieron con el inicio del desarrollo andino, esta orogenia se inició en el Paleozoico Superior hace 290 millones de años.

Al final del Jurásico, los Andes peruanos estuvieron caracterizados por la presencia de un alineamiento volcánico denominado Colán, asociado a una sedimentación continental. Este conjunto volcánico sedimentario fue bruscamente



reemplazado por una cuenca marina subsidente, la que se le denominó Cuenca Chicama, conformada por lutitas con intercalaciones de areniscas. Mientras que, en ambientes continentales marinos presentes en la Formación Chimú, están conformados por areniscas con presencia de mantos de carbón antracita. Suprayaciendo a la Formación Chimú se encuentra la Formación Santa conformada por calizas y arcillitas calcáreas. En cuanto a los depósitos cuaternarios conformados principalmente por materiales coluviales. Las Formaciones presentes en el área tienen dirección andina, es decir, NW-SE.

Wilson J. y otros en el año 1967, estudiaron la geología de la parte NE de la Región Ancash, la cual comprendía las localidades de Pomabamba y Parobamba, en el año 1995 INGEMMET realizó la actualización de la litoestratigrafía por medio de la Dirección de Carta Geológica Nacional, en base a ambos estudios se citan las unidades litológicas que afloran en las inmediaciones de Parobamba, que consisten de rocas de edad Cretácica y Jurásica conformadas por lutitas con intercalaciones de areniscas y calizas; dichas unidades se describen a continuación, **Plano P-04**:

### 3.3 GEOLOGÍA LOCAL

En Parobamba se distinguen 5 unidades estratigráficas, descritas a continuación, **Plano P-05**:

#### 3.3.1 Formación Chicama (Js-Ch)

Las rocas que conforman la formación Chicama son blandas, debido a la cantidad de material limo-arcilloso, esto ha favorecido el desarrollo de una topografía suave y más o menos ondulada.

Esta unidad está conformada por estratos de lutitas con intercalaciones de areniscas, contienen abundantes nódulos negros ferruginosos, se han encontrado

fósiles piritizados (ammonites). Sobre esta formación se asienta el área urbana de Parobamba, sector Rucuchujirca, Yanacolpa viejo, Laurel.

### 3.3.2 Depósitos palustres (Q-pal)

Son sedimentos de grano fino como arcillas, limos y arenas con alto contenido orgánico, depositadas en partes altas donde se forman bofedales sobre formaciones recientes, a consecuencia de intensa meteorización in situ y presencia de agua.

Estos depósitos son poco competentes y favorecen la ocurrencia de deslizamientos cuando se hallan en fuerte pendiente, Foto 02.

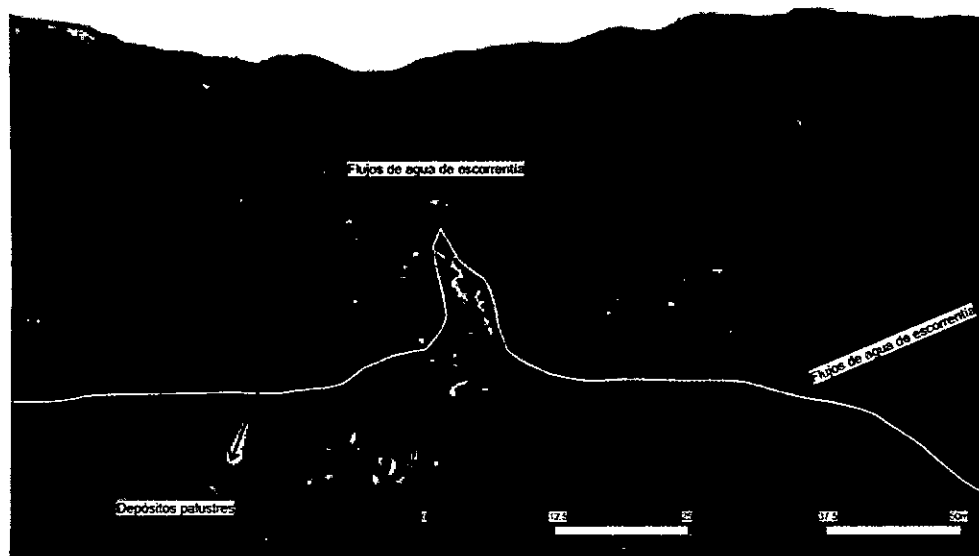


Foto 02. Laguna originada por la emanación de agua proveniente de varios puntos ubicados en cotas superiores, los sedimentos arcillosos se sobresaturan aumentando el peligro de nuevos deslizamientos. Se observó que dichos flujos tienden a infiltrarse en el subsuelo.

### 3.3.3 Depósitos Fluvio-aluviales (Q-fl/al)

Son materiales que se caracterizan por presentar clastos subredondeados de arenisca los cuales han sido depositados en depresiones y hondonadas por acción del agua.

Se observan principalmente en la parte baja la quebrada Chogo distribuidos a ambas márgenes de la misma, entremezclados con bloques de carbón antracítico correspondientes a la litología de la Formación Chimú, Foto 03.



Foto 03. En algunos sectores se observan depósitos coluvio-aluviales llamados así por la combinación e intercalación de los tipos de depósitos antes mencionados.

### 3.3.4 Depósitos de talud o detritos (Q-ta)

Son materiales conformados por clastos angulares a subredondeados fragmentados, transportados y depositados por la fase de flujo, se presentan inconsolidados sin estratificación y de diversos tamaños desde los 20 cm de

diámetro hasta los 1-2 cm, la matriz corresponde a una mezcla de arena y arcilla, Foto 04.

La constante dinámica de los eventos correspondientes a los años 2002, 2012 y recientemente en la reactivación del 2013 ha dejado evidencias de los planos de superficies originales. Dichas superficies han descendido en promedio entre 2-4m de profundidad.

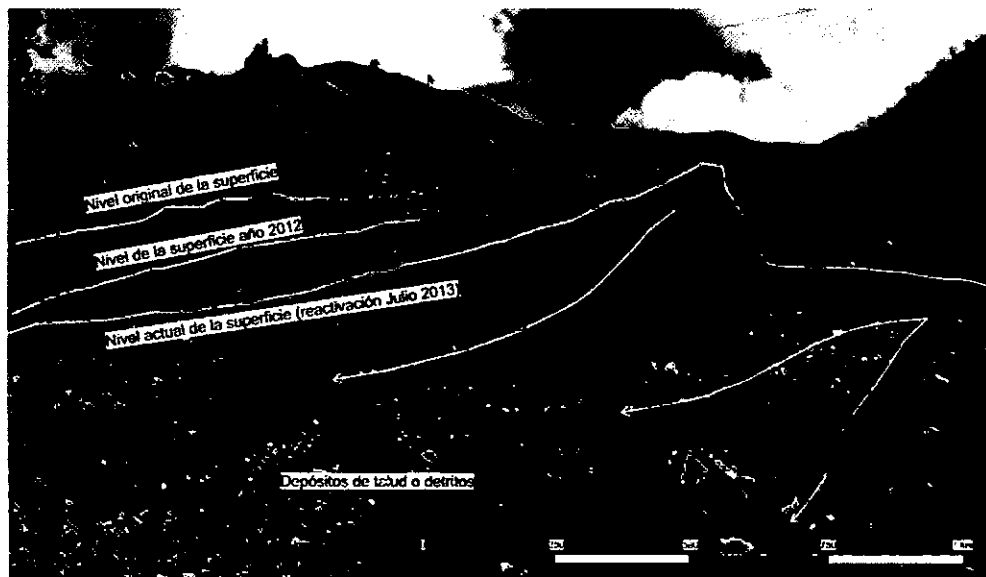


Foto 04. Este tipo de depósito se ubica en la parte media del flujo en la cota 3450 aprox, se concentran en la parte central y lateral del flujo. La reactivación del año 2013 definió claramente la granulometría de estos materiales.

### 3.3.5 Depósitos Coluviales (Q-co)

Son acumulaciones de materiales sueltos que han sido depositados por acción de la gravedad, están conformados por clastos angulosos de distinto tamaño, observándose en algunos sectores bloques de hasta 2 m de diámetro, Foto 05; se observan en algunos sectores pequeñas acumulaciones de áreas de grano medio a grueso procedentes de la intensa erosión de las areniscas de la formación Chicama.



Foto 05. Zona correspondiente a la fase inicial del deslizamiento, los depósitos coluviales están conformados por clastos angulosos debido a su corto o escaso recorrido, se han observado también deslizamientos y caída de rocas de baja magnitud en tamaño y volumen.

### 3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio se caracteriza por presentar plegamientos tipo sinclinales producidos por esfuerzos compresivos cuyos ejes tienen una orientación NW-SE. (INGEMMET, 1995), **Plano P-06**.

#### 3.4.1 Unidades Estructurales

Se reconocen dos unidades estructurales en las inmediaciones de Parobamba:

### 3.4.1.1 Pliegues

Los pliegues encontrados en esta área varían en forma y tamaño, según la naturaleza de la roca. Las formaciones Cretáceo-Jurásicas como Chimú y Chicama respectivamente tienen pliegues de 500m a 1000m de largo respectivamente, que son rocas de naturaleza arcillosa, Foto 06.

Los plegamientos son de tipo sinclinal y tienen una orientación NW-SE.



Foto 06. Plegamientos del tipo sinclinal marcado en línea de color amarillo, se observan a 50 metros del deslizamiento Yanacolpa.

El deslizamiento y flujo de detritos del sector Yanacolpa se desarrollan sobre estas estructuras.

### 3.4.1.2 Falla inferida

Se observan lineamientos estructurales (probable falla de rumbo) localizado a 1.5 km al NW de Parobamba.



### 3.4.1.3 Falla de la Cordillera Blanca

Estos sistemas de fallas se encuentran localizadas en el departamento de Ancash y se orientan en dirección N100E y N150E. Los ángulos de buzamiento están comprendidos entre 55° y 75°. El sistema de Fallas de la Cordillera Blanca es de tipo normal y alcanzan una longitud de 190 km aproximadamente con saltos verticales en el orden de 1 a 50m.

### 3.4.1.4 Falla de Quiches

Se ubica en el norte de la región Ancash, entre los poblados de Quiches y Chingalpo, en la margen occidental del río Marañón, al noreste de Huaraz que forma parte de la Cordillera Occidental. La falla de Quiches se encuentra al noreste a 15 km de la zona de estudio aproximadamente.

La falla de Quiches tiene un rumbo noroeste-sureste, longitud de 20 km y se divide en dos segmentos (Llmacorral y Angasharj).

A partir de estudios de fotointerpretación, cartografiado geomorfológico, morfológico, microtectónico, paleosismológicos y análisis sismológicos, se puede establecer que la falla hizo aflorar areniscas cuarzosas y calizas cretáceas (Bellier et al., 1991), de la misma manera desplazó dos depósitos de morrenas glaciares cuaternarias y depósitos fluvio-glaciares.

El frente del escarpe se encuentra aproximadamente paralelo a la falla principal. Se observa a lo largo de su traza charcas por colapso de falla o sagpond (Bellier et al., 1991).

Además se observó una zona de fracturas y fallas antitéticas con dirección de buzamiento NE, desplazamiento de 1 m (Heim, 1949).





Esta falla fue reactivada con movimiento normal durante el fuerte sismo que ocurrió el 10 de noviembre de 1946 en Ancash ( $M= 7.25$ ) y que generó escarpes verticales hasta de 3,5 m (Foto 7).

El mecanismo focal obtenido por Silgado (1951) y Doser (1987) es de tipo normal, puro, con planos nodales orientados en dirección noroeste-sureste. La orientación de los planos nodales es  $N315^{\circ}E$ , coherente con la orientación de la traza de falla observada sobre el terreno. Doser (1987), a partir de sismogramas teóricos, obtiene una profundidad de 15-17 km para el foco, un momento sísmico de  $1,7E26$  dina-cm y una longitud de 28 km. El total de la energía sísmica se liberó en 6 segundos. La magnitud estimada es de 6-6.3 Ms y 6.5-6.9 mb.

A partir del análisis paleosismológico se puede afirmar que el periodo de recurrencia es de 11 000 años (Doser, 1987; Schwartz, 1988).

### 3.5 SISMICIDAD

El borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo. El Perú forma parte de esta región y la actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, generando terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia. Un segundo tipo de actividad sísmica lo constituye la zona continental cuya deformación ha provocado la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño a los que se producen en la primera fuente (Cahill e Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001).

Para el análisis del peligro sísmico es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de la sismicidad con respecto a la zona de estudio. Este conocimiento permitirá zonificar, planificar y proponer medidas de mitigación ante los efectos que trae consigo. Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían

ocurrir en un lugar determinado.

El análisis de peligro sísmico se realiza aplicando la metodología desarrollada por Cornell (1968) en términos probabilísticos, metodología que fue modificada e implementada en el programa de cómputo RISK por McGuire (1976). Esta metodología integra información sismotectónica, parámetros sismológicos y leyes de atenuación regionales para los diferentes mecanismos de ruptura. El resultado es una curva de peligro sísmico, donde se relaciona la aceleración y su probabilidad anual de excedencia.

### 3.5.1 Sismotectónica

La actividad sísmica en el país es el resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana y de los reajustes que se producen en la corteza terrestre como consecuencia de su interacción y cuya evidencia más resaltante es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes y la morfología alcanzada por la cordillera.

La idea básica de esta teoría es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 Km), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et al, 1975). Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son:



### 3.5.2 Sismicidad Histórica

Silgado (1978) realizó la más importante descripción ordenada de la historia sísmica del Perú.

Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX solo se reportan los sismos sentidos en las ciudades principales, indicando que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

Para la mayoría de los sismos registrados en la región de Ancash, Silgado elaboró sus respectivas tablas de intensidades en dicho estudio y que se presentan en el Cuadro 03.

Fecha	Intensidad	Localidades afectadas
1725-01-06	VII	Yungay, Trujillo
1932-01-19	V - VII	Lima
1946-11-10	VII	Pallasca, Pomabamba
1947-11-01	VIII	Satipo
1948-02-14**	VII	Quiches
1956-02-17	VII	Chimbote
1956-02-17	VI	Callejón de Huaylas
1955-02-09	VI	Lima
1961-07-03	VI	Chimbote
1963-09-24	V - VI	Cordillera Negra
1966-10-17	VIII	Lima
1970-05-31*	V - VI	Callejón de Huaylas: Huaraz, Yungay; zona costera: Casma, Huarney, Chimbote, etc.
1971-05-05	VI	Sihuas-San Miguel

Cuadro 03. Datos Macrosísmicos de la Región Ancash Fuente: Silgado, 1978; IGP, 2005.

\* Evento el cual se tiene registro de primera actividad del deslizamiento.

\*\* Probablemente ocasionó la inestabilidad de la ladera sobre la cual luego se desarrollaron los movimientos en masa (deslizamiento-flujo)



**El 10 de Noviembre del 1946** ocurrió un terremoto de intensidad VII que causó 1 386 víctimas, el movimiento sísmico abarcó un área de percepción de 450,000 km<sup>2</sup>, el epicentro fue situado entre las coordenadas: 8°10' a 8°26' de latitud sur y 77°27' a 77°52' de longitud oeste. Ocurrieron transformaciones topográficas y derrumbes en la parte alta del pueblo de Quiches.

El terremoto tuvo importancia debido a que puso al descubierto una falla tectónica hoy conocida como falla de Quiches de 10 km de longitud con rumbo promedio de N 42°W, ubicada a 30 km al NE de Parobamba.

Se reportaron grandes derrumbes en las quebradas de Pelagatos, Shuitococha, Llama y San Miguel, que ocasionaron represamientos, por otro lado se produjeron numerosos agrietamientos en el terreno cerca a Quiches, Mayas, Huancabamba, Conchucos y Citabamba.

**El 31 de Mayo de 1970** ocurrió uno de los terremotos más catastróficos en la historia del Perú. El número de víctimas fue de 50 mil personas aproximadamente (Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la zona afectada CRYRZA)

La mayor mortalidad se debió a la ocurrencia de una gran avalancha que siguió al terremoto y que sepultó al pueblo de Yungay, en el Callejón de Huaylas. La cornisa del Nevado de Huascarán, se desprendió, arrastrando piedras, hielo y lodo cubriendo a la localidad de Yungay y parte de Ranrahirca.

Otros aludes de menor magnitud se produjeron sobre las lagunas glaciares de Llanganuco y Parón. Los más grandes deslizamientos, según Ericksen (1970) estuvieron concentrados en los cursos bajos del río Santa y tributarios.

### 3.5.3 Catálogo sísmico para el Perú

El catálogo sísmico para el Perú fue compilado utilizando los catálogos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la National Earthquake Information Center (NEIC) para el período de 1960-2011 y magnitudes  $M_s \geq 2.0$ . El catálogo

resultante contiene 13038 eventos sísmicos distribuidos entre las coordenadas latitud  $-22^{\circ}\text{S}$  a  $2^{\circ}\text{N}$  y longitud  $-83^{\circ}\text{W}$  a  $-67^{\circ}\text{W}$ , Figuras 15 y 16.

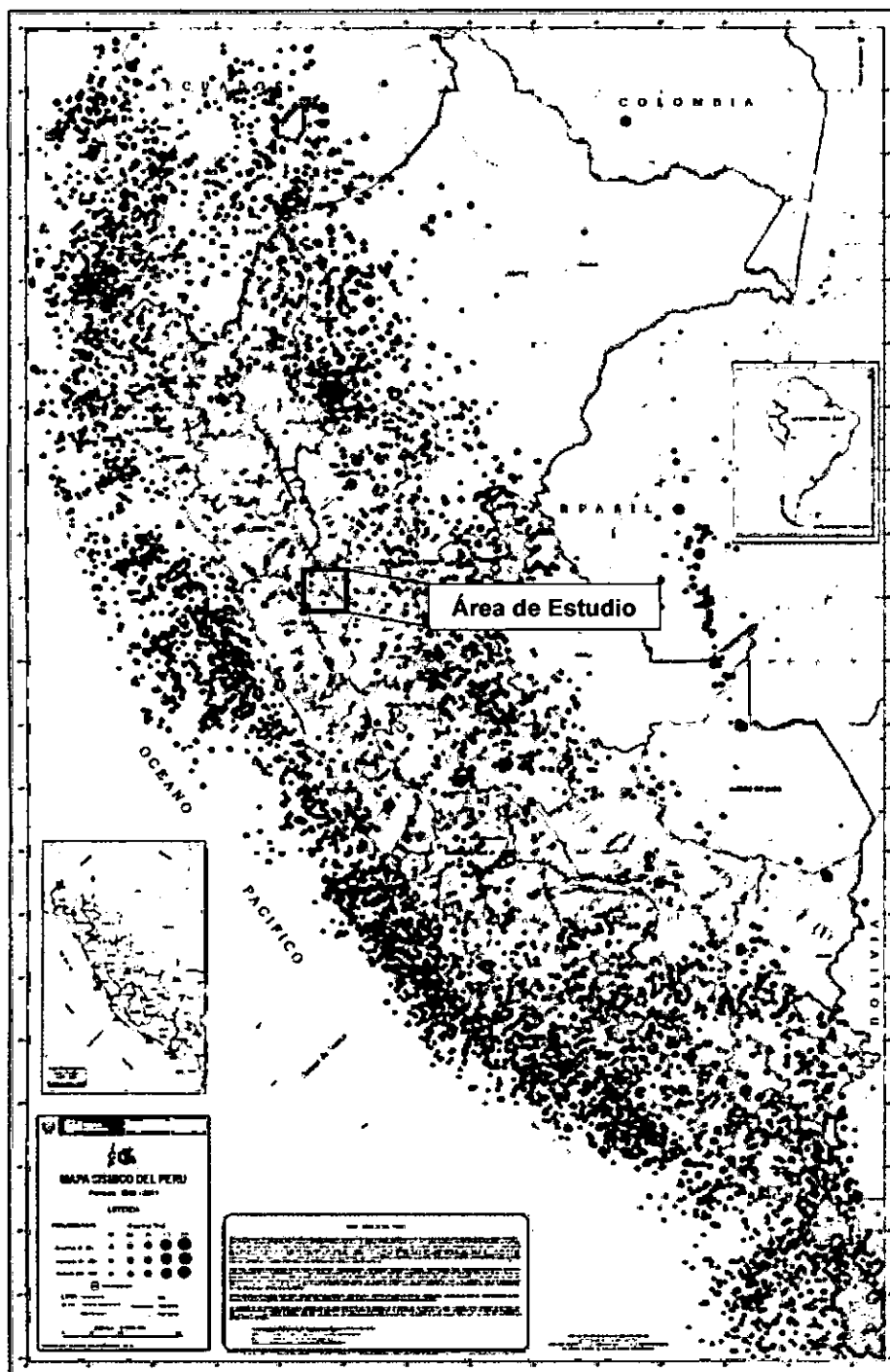


Figura 15. Mapa sísmico del Perú entre 1960 – 2011. (Tavera, H. 2011)

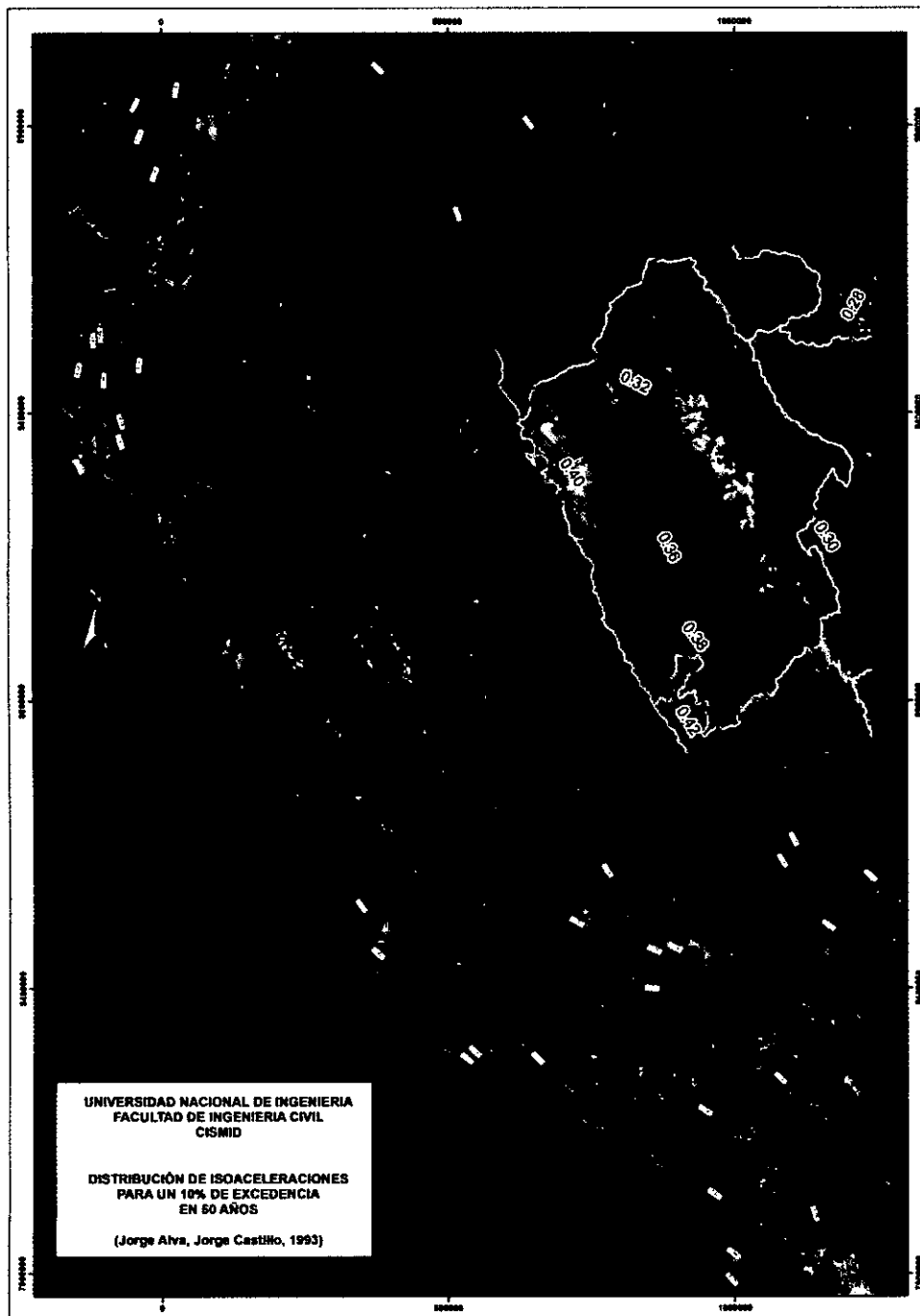


Figura 16. Mapa de isoaceleraciones máximas para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Jorge Alva Hurtado. 1993)



---

## CAPÍTULO IV

### GEOMORFOLOGÍA Y GEODINÁMICA SUPERFICIAL

#### 4.1 GEOMORFOLOGÍA

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical, mientras que, las segundas son los desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008).

El estudio de la geodinámica externa implica un sistema de proceso-respuesta, siendo el primero el agente creador y el segundo la forma resultante. En este capítulo se describen las características de las geoformas existentes en el cerro Yanacolpa, en relación al origen y procesos que modifican constantemente el paisaje actual.

En base al levantamiento topográfico realizado y mediante herramientas computacionales (SIG) se ha elaborado el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y el Plano de Pendientes (Planos P-07 y P-08), con el fin de delimitar las características topográficas del terreno, éstas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo donde se cartografiaron y delimitaron las unidades geomorfológicas del cerro Yanacolpa, el producto de final es el Plano Geomorfológico Plano P-09.

La geomorfología estudia las geoformas presentes en la superficie del relieve terrestre, investigando su origen y desarrollo como resultado de la ocurrencia de distintos procesos tanto endógenos como exógenos. En base a características del terreno, como elevación y pendiente se pueden delimitar ciertas geoformas.

#### 4.1.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Es una representación gráfica en tres dimensiones de la superficie terrestre, mediante el proceso de interpolación realizado con los datos que se obtienen de las mediciones topográficas realizadas en la zona de estudio.

Para la representación gráfica de la forma del relieve, se realizó la superposición de capas temáticas del MDT sobre el relieve en 3D como se indica en la Figura 17.

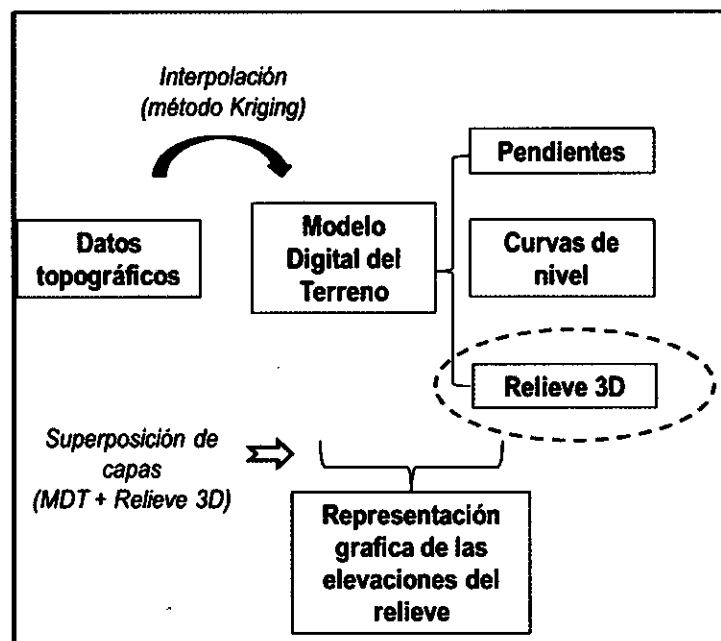


Figura 17. Procedimiento para la obtención del MDT. Fuente: Propia.

El rango de elevaciones del área donde se desarrolla el Deslizamiento-flujo Yanacolpa va desde los 2900 hasta los 3800 m.s.n.m. Las zonas de menor elevación se ubican al sur en el valle formado por la quebrada Chogo, la zona urbana del distrito de Parobamba se encuentra sobre los 3100 m.s.n.m aproximadamente, (Plano P-07)



#### 4.1.2 Plano de Pendientes

Es una forma gráfica de representar el grado de inclinación del terreno con respecto a su horizontal. Consiste en representar mediante colores zonas del terreno con pendiente semejante, esto se realiza utilizando las herramientas de geoprocesamiento del software SIG, usando como archivo fuente el MDT generado anteriormente.

Para una mejor visualización gráfica del plano de pendientes, se realizó la superposición de capas temáticas de las pendientes reclasificadas sobre el relieve en 3D como se indica en la Figura 18.

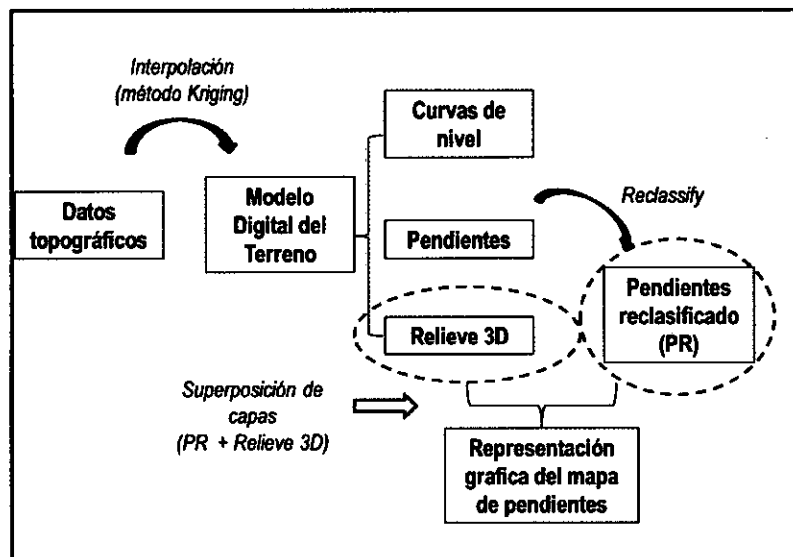


Figura 18. Procedimiento para la obtención del mapa de pendientes. Fuente: Propia.

Los rangos de pendientes fueron elaborados en base al Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales, publicado por



CENEPRED (2013), cuyos valores se han modificado, se detallan en la Tabla 05:

La zona urbana del poblado de Parobamba, presenta pendientes bajas, que van desde 0° hasta 15° de inclinación en promedio, estas mismas características presenta el barrio Yanacolpa viejo y nuevo. Sin embargo, la ladera que separa estos dos sectores muestra rangos de pendiente que varían desde los 20° hasta mayores a 40°, **Plano P-08**.

Pendiente en grados	Denominación	Proceso
< 5°	Llano	
6° - 10°	Débilmente inclinado	Erosión laminar
11° - 20°	Moderadamente inclinado	Inicio de la erosión lineal. Comienza la reptación
21° - 30°	Inclinado	Erosión lineal intensa y disminución de la erosión laminar
31° - 45°	Muy inclinado	Comienza los deslizamientos. La erosión lineal deja de ser importante
> 45	Fuertemente inclinado	Intensificación de los deslizamientos. Comienzan los desprendimientos

Tabla 05. Clasificación de la pendiente y manifestación de procesos morfodinámicos, Fuente: Castro (1995).

Modificado de Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (CENEPRED 02 Versión).

#### 4.1.3 Unidades Geomorfológicas

En base a lo descrito anteriormente y al cartografiado en campo se reconocieron las geoformas presentes en el área de estudio y sobre los cuales se han desarrollado el deslizamiento y posterior fase de flujo Yanacolpa, las geoformas están caracterizadas por presentar relieves suaves, conformados por cumbres de montaña, laderas de montaña y valles, los que se describen a continuación,

**Plano P-09:**

**4.1.3.1 Cumbres de montaña (Cu-m)**

Esta unidad cubre el 20% del área estudiada. Se presenta con pendientes superiores a  $50^\circ$  de inclinación en la parte alta del cerro Yanacolpa, en el límite de esta unidad con las laderas de montaña se han formado agrietamientos, resultado de la reactivación que ocurrió en el mes de Junio del año 2013, Fotos 07a y 07b.

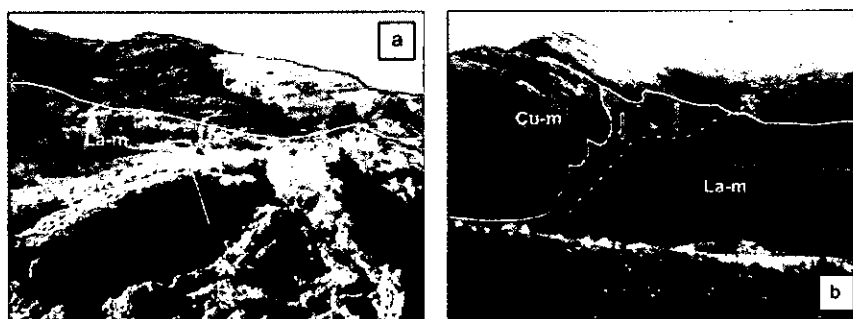


Foto 07a. Unidad cumbres de montañas límite con la unidad ladera de montañas, obsérvese la intensa actividad geodinámica sobre esta última unidad. Foto 07b. Las flechas indican los agrietamientos (líneas amarillas discontinuas), evidenciando formación de nuevas zonas de debilidad, estas zonas se ubican 50m hacia la parte posterior de la escarpa principal.

**4.1.3.2 Ladera de montaña (La-m)**

Esta unidad cubre el 60% del área estudiada. Se presenta con pendientes superiores a  $30^\circ$  de inclinación en la parte alta del cerro Yanacolpa (Foto 08) y entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$  de inclinación en la parte baja del cerro en mención, Foto 09.

La escasa cobertura vegetal facilita la acción erosiva del agua de escorrentía.

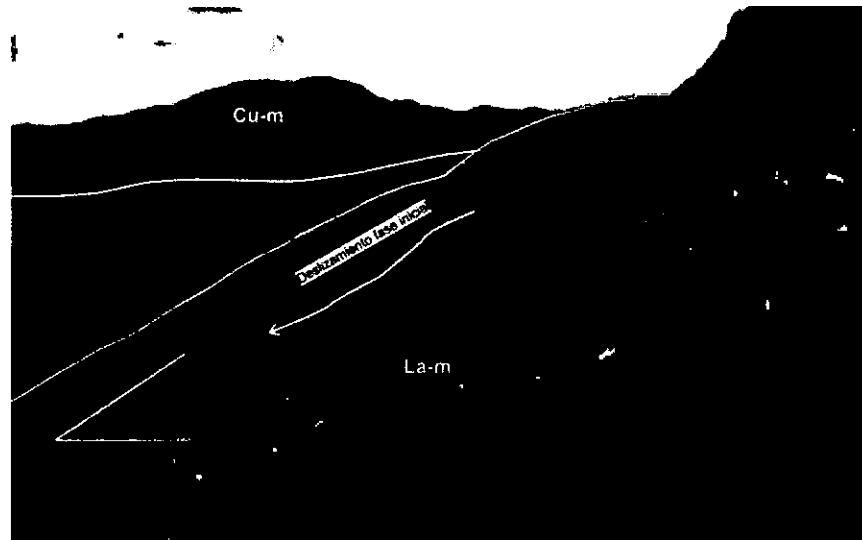


Foto 08. Parte alta del deslizamiento Yanacolpa se observan laderas con pendiente superior a  $30^\circ$  de inclinación cubierta por materiales coluviales y escasa cobertura vegetal.



Foto 09. Vista de la parte media del deslizamiento-flujo Yanacolpa en el sector Yanacolpa, son laderas con pendiente suave de  $15^\circ$  a  $30^\circ$ .

#### 4.1.3.3 Terrazas aluvionales (Te-a)

Esta unidad geomorfológica se observa en la parte baja de las quebradas Gotush y Yanacolpa, conformadas por depósitos aluviales que muestran superficies planas ligeramente inclinadas las cuales se distribuyen en forma escalonada a lo largo de ambos márgenes de las quebradas antes mencionadas, Foto 10.

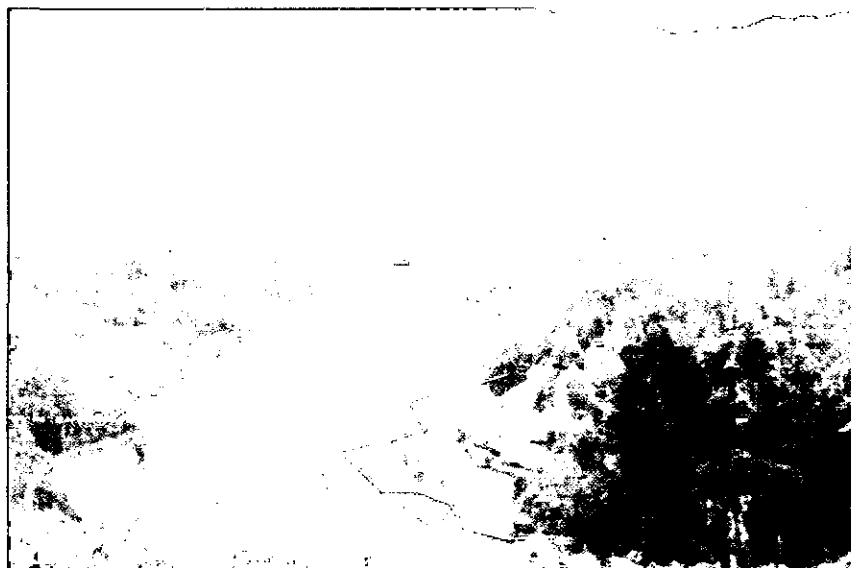


Foto 10. Zona de acumulación de materiales de origen aluvional (línea discontinua color amarillo)

#### 4.1.3.4 Valle angosto (Va-a)

Se caracteriza por presentar depósitos coluvio-aluviales circunscritos al canal de la quebrada Chogo con cauce estrecho y paredes subverticales, Foto 11.



Foto 11. Quebrada Chogo que presenta cauce estrecho.

## 4.2 GEODINAMICA SUPERFICIAL

La geodinámica es la rama de la geología que se encarga de estudiar los procesos físicos y agentes que modelan la capa externa y/o superficial de la Tierra, así como la evolución de estos en el tiempo.

El territorio peruano está sometido a una fuerte actividad geodinámica, debido a la interacción de la Placa Continental Sudamericana y la Placa de Nazca, produciéndose con mucha frecuencia eventos de geodinámica superficial, tales como deslizamientos, flujo de detritos (huaycos), caída de rocas y aluviones, detonados en algunos casos por la actividad sísmica o volcánica, cuyas consecuencias han sido catastróficas, con pérdidas humanas, destrucción de áreas urbanas, obras de infraestructura, entre otros; con impacto negativo sobre el desarrollo socio-económico del país. Es así que el primer evento registrado del Deslizamiento – Flujo Yanacolpa fue originado por el sismo de 1970 (Terremoto de Yungay).

Asimismo, el factor meteorológico natural más importante que afecta cíclicamente al



territorio nacional es el “Evento Niño”; el cual está asociado con variaciones de temperatura en la superficie del mar, y que llega a ocasionar lluvias torrenciales en la costa y graves sequías en la sierra del Perú. Así el Evento Niño del año 1987 de magnitud moderada según el SENAMHI, originó aumentos de temperatura en el mar de hasta 2°, provocando lluvias que llegaron entre 600 a 800 mm anuales, sobrepasando en más del doble al promedio normal en la zona de estudio (270 mm anuales). En ese año se registró un deslizamiento que transportó aproximadamente 120 mil m<sup>3</sup> de materiales.

Posteriormente el evento Niño en el año 1998, ocasionó lluvias de hasta 1000 mm anuales, precisamente fue que en el 98 se produjo el deslizamiento y posterior flujo que movilizó hasta 450 mil m<sup>3</sup> de sedimentos siendo el volumen más alto registrado a la fecha, los cuales destruyeron el poblado Yanacolpa Viejo conformado por 20 viviendas. La fase de flujo llegó hasta la quebrada Chogo recorriendo 2.5 km aproximadamente.

En los últimos 30 años han ocurrido eventos geodinámicos con graves consecuencias, tales como: el aluvión de Ranrajirca en 1961 que destruyó el pueblo del mismo nombre y en 1970 lo volvió hacer con parte del nuevo poblado, el terremoto de Yungay que ocasionó el aluvión que arrasó a la ciudad del mismo nombre y provocó la muerte de 18,000 habitantes.

La variedad, intensidad y frecuencia de estos eventos antes mencionados, juegan un papel importante en el modelamiento y evolución del paisaje del Perú, pero son potencialmente peligrosos para la vida y la seguridad física del territorio nacional

Es así que los deslizamientos constituyen los principales movimientos en masa que afectan al área de investigación, sin embargo también se evidencian eventos de reptación de suelos, además de extensas grietas en el terreno.

Los factores que intervienen en la ocurrencia de los fenómenos de geodinámica



---

superficial se clasifican como:

#### **4.2.1 Factores Condicionantes**

Denominados así debido a que obedecen a las características propiamente del terreno; además de ellos depende la distribución espacial de los eventos. Se le denomina también factores determinantes.

##### **4.2.1.1 Geología**

Es el factor más importante que predispone la ocurrencia del deslizamiento. La litología involucra al tipo o tipos de rocas y materiales que conforman la ladera del cerro Yanacolpa, de acuerdo a esto se puede conocer el plano de rotura del deslizamiento. El comportamiento de un deslizamiento en roca es distinto a un evento en suelos menos compactados y de naturaleza arcillosa. Ahí radica la importancia de este factor, ya que de acuerdo a las características geológicas de los materiales, determinados a través de los estudios geotécnicos, se plantea el análisis para su tratamiento y solución.

Otro factor geológico que interviene en la activación o reactivación de eventos, son las estructuras geológicas presentes en la región tales como fallas, plegamientos, diaclasas.

##### **4.2.1.2 Geomorfología**

Debido a que los suelos sobre los cuales se desarrollan los eventos son principalmente de naturaleza arcillosa, la geomorfología que presenta el Deslizamiento Flujo Yanacolpa, está referida a las geoformas, que son el





resultado de la acción de agentes erosivos como el agua de precipitaciones y de escorrentía, viento, hielo, etc.; las cuales han modelado el terreno con formas suaves las que se observan en la actualidad.

En base las geoformas es posible reconstruir la evolución de la geodinámica del área, lo que ocurrió en el pasado es probable que vuelva a ocurrir en el futuro.

#### **4.2.1.3 Pendiente**

Como se explicó en el ítem anterior, la pendiente es la relación que guarda la distancia horizontal con la vertical de la ladera, reflejada en la inclinación de esta. El deslizamiento flujo Yanacolpa se encuentra en el rango de pendiente moderadamente suave según la tabla que propone *Zulfahmi, 2002*, Tabla 04.

#### **4.2.1.4 Hidrología**

Relativo al drenaje y cuerpos de agua.

### **4.2.2 Factores Detonantes**

También conocidos como extrínsecos, disparadores o factores externos; dentro de los más importantes abordaremos las precipitaciones pluviales, sismicidad y la actividad antrópica.



#### **4.2.2.1 Precipitación pluvial**

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas, muchos deslizamientos ocurren durante o después de los periodos de lluvia, además las áreas donde se registra mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad debido entre otras cosas, a la existencia de caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados que tienen incidencia en las propiedades geomecánicas del terreno.

El efecto de la infiltración de agua de lluvia en una ladera aumenta la presión de poros de esta e induce a una disminución de la resistencia al cortante, que a su vez puede activar un deslizamiento.

#### **4.2.2.2 Sismicidad**

Después de las precipitaciones pluviales los sismos son los principales desencadenantes de movimientos en masa.

Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento, lo anterior puede provocar desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos de suelos y avalanchas, dependiendo de las características intrínsecas de la ladera como son su topografía, el tipo y propiedades de las rocas, los suelos de cobertura vegetal, el nivel freático y el tipo de vegetación, además de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro.



### 4.2.2.3 Antrópico

La inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alterar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza. Esto se refleja en el crecimiento acelerado y la inadecuada planeación territorial de muchas poblaciones y ciudades en todo el mundo, los cuales han generado transformaciones antropogénicas negativas en el espacio, llevando a la urbanización de zonas con terrenos escarpados donde las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y topográficas no son las más apropiadas para la construcción de edificaciones.

Además la deforestación para ampliar y usar terrenos en actividades agrícolas, es una de las actividades antrópicas que ha provocado que áreas estables sean calificadas como inestables debido a las nuevas condiciones a la que se somete.

### 4.2.3 EVENTOS DE GEODINÁMICA SUPERFICIAL

Los principales eventos que se han registrado en el distrito de Parobamba, se desarrollan sobre la ladera del cerro Yanacolpa, el cual debe su nombre a la quebrada que discurre sus aguas por dicho cerro. Se delimitaron zonas en las cuales se producen movimientos en masa (MM) del tipo complejo, debido a la geomorfología del terreno, tipos de suelos, pendiente, entre otros, estos eventos se describen a continuación, **Plano P – 10**:

#### SECTOR YANACOLPA

**Movimientos complejos:** Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos (Deslizamiento y Flujo). Estos movimientos alcanzan



generalmente gran tamaño (Antoine, 1992) afectando, a veces, a laderas completas.

#### 4.2.3.1 DESLIZAMIENTO YANACOLPA (Fase Inicial)

Los deslizamientos son MM, en las que volúmenes de material intemperizado, bloques y masas de roca se desprenden y se desplazan cuesta abajo como una sola unidad, sobre un plano inclinado o sobre una superficie cóncava, la que se le considera la superficie de falla del evento, Figura 19.

La primera fase de este movimiento en masa es el deslizamiento, el cual es considerado de gran magnitud debido a la extensión (1.05 km), la cantidad de volumen transportado ( $<40\ 000\ m^3$ ) y la peligrosidad que representa, la dirección de la maza de rocas y sedimentos es de NE-SW, afecta el 40% del cerro Yanacolpa. (Foto 12 a-b-c-d).

La escarpa principal (Foto 12a) del deslizamiento se ubica a 3800 m.s.n.m, tiene una longitud de 200m con dirección NE, el salto de falla es de 1-2m (Foto 12b), cabe destacar que en la reactivación del mes de Junio del 2013, dicha estructura aumento su longitud y presentó movimientos retrogresivos intensos (agrietamientos que evidencian la formación de nuevas escarpas, la superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento). Los materiales sobre los cuales se formó la escarpa son suelos finos, conformados principalmente por arcillas y limos con menor porcentaje de arenas, la cobertura vegetal es escasa, conformada principalmente por Ichu.

Las evidencias de este tipo de MM son los afloramiento de agua, manantes u oconales (Foto 12c), estas formaciones estuvieron presentes sobre la escarpa principal en la zona denominada corona (4-5 puntos de agua), donde se registraron agrietamientos paralelos a subparalelos a la dirección de la escarpa

principal. La presencia de surgencias de agua incrementa la peligrosidad del deslizamiento ya que inestabiliza los sedimentos sobre los cuales se desarrolla este evento.

La zona donde ocurre el deslizamiento puede estar delimitada por roca, formando una cuenca sedimentaria de origen marino sedimentaria, ya que se han encontrado afloramientos al SE y a los flancos del evento, es decir, los suelos presentes en el deslizamiento están asentados sobre un basamento que se encuentra a considerable profundidad, sin ningún dato de ingeniería (Refracción o SEV) que nos confirme esta teoría, se asume ya que la naturaleza arcillosa de dichos suelos y la geología histórica dejan abierta la posibilidad.

Dichos emplazamientos rocosos tiene dirección andina (NW-SE), esta coincide con la formación de grietas de hasta 50-70m de longitud (Foto 12d), las mismas que delimitaron la zona de reactivación del evento del mes de Junio 2013.

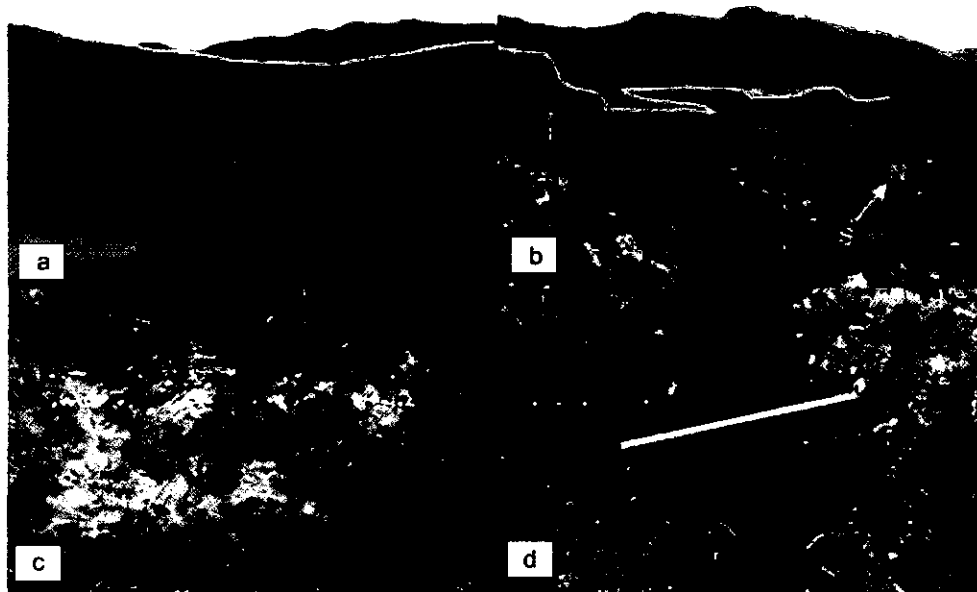


Foto 12a. Vista frontal de la escarpa principal con salto entre 5-7 m de altura hasta la escarpa secundaria, Foto 12b. Vista lateral de la escarpa principal que se extiende hasta 200 m de longitud en dirección NE, Foto 12c. Afloramientos de agua en el pie de la escarpa principal, estas se infiltran en el subsuelo a

través de las grietas, Foto 12d. Agrietamiento de 30 cm de ancho, este se extiende 70m en dirección casi perpendicular a la dirección de la escarpa principal.

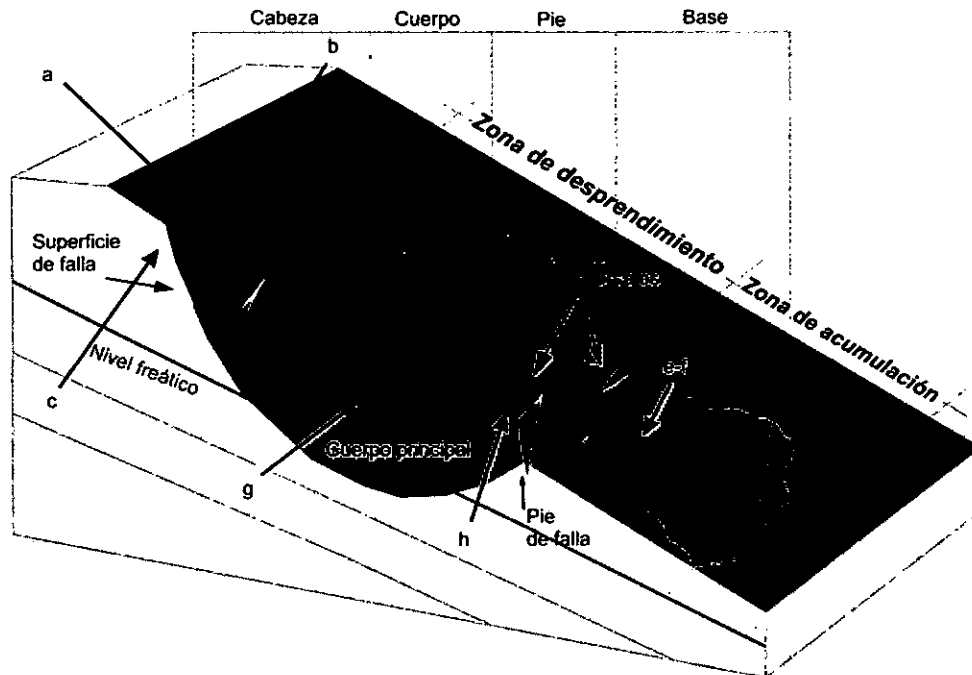
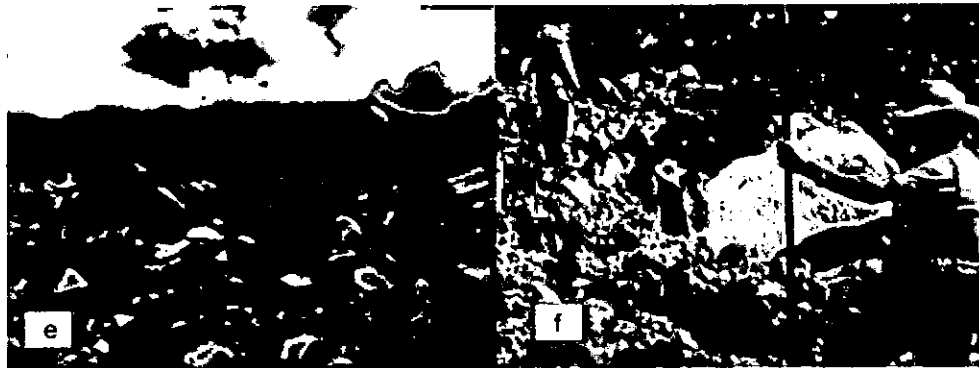


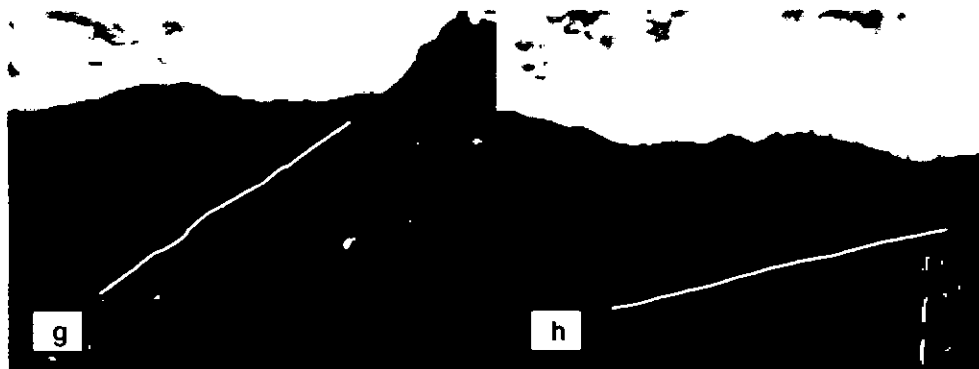
Figura 19. Esquema de las partes de un deslizamiento (Varnes, 1991).

### Zona de acumulación del deslizamiento “Yanacolpa

Los sedimentos de naturaleza arcillosa se comportan en presencia del agua como flujos hiperconcentrados, estos son capaces de transportar en suspensión bloques de rocas de gran tamaño (Foto 13 e-f-g-h).



Estos bloques se encuentran en la zona de acumulación o también llamada zona de depositación. Los sedimentos conformados por arcillas al entrar en contacto con el agua aumentan su densidad transportando rocas de 2m hasta 30cm de diámetro (e, f). La pendiente en esta zona pasa de moderadamente empinada a suave, el canal se acorta debido a este cambio de topografía (g, h).



Este cambio de pendiente origina las grietas transversales (**flecha amarilla foto h**), que debido a la composición de los materiales son menos evidentes ya que se deforman rápidamente.

Finalmente se presenta un cuadro con los parámetros geométricos del deslizamiento Yanacolpa, tales como: Largo, ancho y volúmenes aproximados, Cuadro 04.

SECTOR YANACOLPA (Deslizamiento)	
Geometría	Dimensiones (m)
Largo	700m
Ancho	100m
Profundidad estimada	5
Volumen	200 000 m <sup>3</sup> Aprox

Cuadro 04. Parámetros geométricos del deslizamiento Yanacolpa. Fuente propia.

Como se mencionó anteriormente se desconoce a cuanto de profundidad se encuentra el basamento rocoso sobre el cual se emplaza el deslizamiento, es por ello, se asume una profundidad de 5 a 7m para cálculo de volúmenes.



Foto 14. Deslizamiento y posterior flujo de detritos sector Yanacolpa.



### 4.2.3.2 FLUJOS DE DETRITOS “YANACOLPA” (Segunda Fase)

#### 4.2.3.2.1 Caracterización de Flujos

##### Conceptos Básicos

El perfil de un flujo se divide básicamente en tres partes, el “frente” donde se concentran los materiales más gruesos, el “cuerpo” y la “cola” donde se acumula parte del agua libre de sedimentos y la mezcla de agua con sedimentos finos.

En planta, el flujo muestra una zona de iniciación que forma un embudo (la cual para movimientos en masa complejos sería la transición entre la zona de acumulación del deslizamiento y la fase de flujo), también tienen una zona de transición o zona de tránsito de flujo y una zona de depositación que generalmente tiene forma de abanico como se muestra en la Figura 20 (Bateman y otros, 2006).

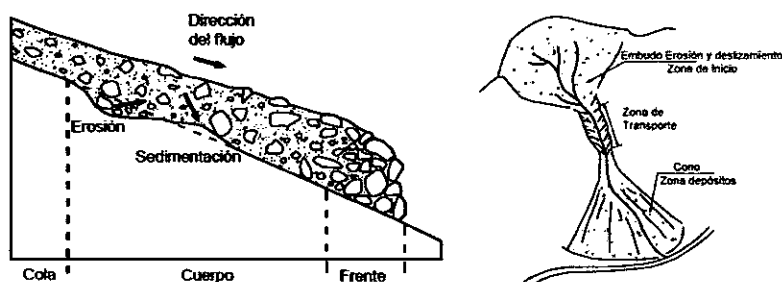


Figura 20. Partes básicas de un flujo (Bateman y otros, 2006).

En los flujos hay un origen de los sólidos, una distancia de recorrido y una zona de depositación (Figura 21) (Iverson, 1997). El flujo pasa de

una zona de alta pendiente (más de  $40^\circ$ ) a una zona de depositación menor o igual a  $3^\circ$ .

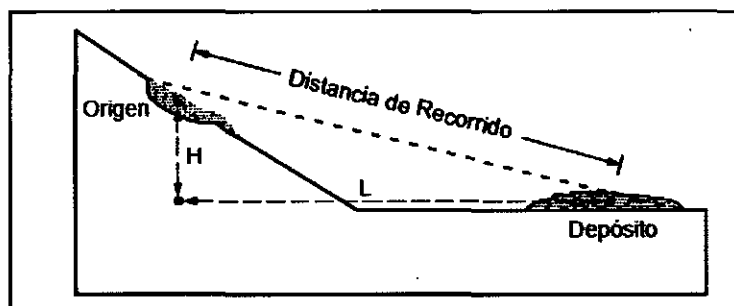


Figura 21. Esquema para la distribución de los materiales (Iverson, 1997).

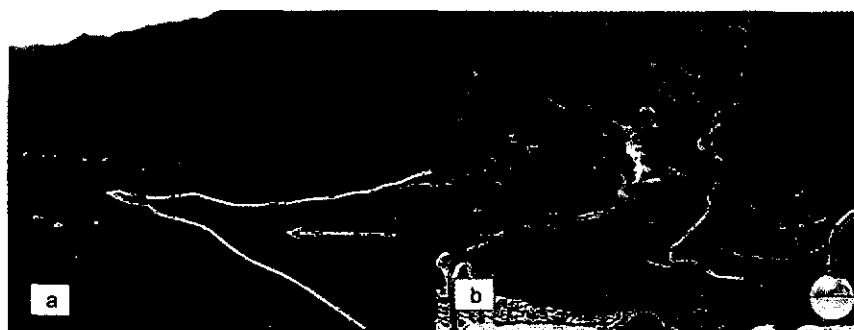


Foto 15 (a-b) a. Vista desde la cota 3500 hacia el área urbana del distrito de Parobamba, en su parte inicial el flujo tiene forma de embudo, zona donde se acumuló los materiales procedentes del deslizamiento (Origen). Hacia la parte media (cota 3300) el canal del flujo se acorta. b. Vista frontal del flujo, hacia la parte final del flujo (cota 3150) los sedimentos se depositan en forma de abanico tomando dirección SE.



#### 4.2.3.2 Subsistencia

Este fenómeno es un proceso caracterizado por el desplazamiento vertical hacia abajo de suelos, el movimiento de la superficie tiene la componente vertical es claramente predominante sobre la componente horizontal.

La subsidencia es causada por fenómenos como la remoción de fluidos, consolidación natural, o disolución de sedimentos subterráneos, etc.

La subsidencia se puede clasificar en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979). Por mencionar algunos ejemplos: las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos o con contenido orgánico, son algunas de las causas de los procesos de subsidencia (González Vallejo *et al.*, 2002).

En la Tabla 06, se muestra un esquema de los diferentes tipos de subsidencia existentes.



<b>Por disolución subterránea</b>	Sal
	Yeso
	Rocas carbonáticas
<b>Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras</b>	
<b>Por erosión subterránea (tubificación o piping)</b>	
<b>Por flujo lateral</b>	Rocas salinas
	Arcillas
<b>Por compactación</b>	Por carga
	Por drenaje
	Por vibración
	Por extracción de fluidos
	Por hidrocompactación
<b>Tectónica</b>	

Tabla 06. Tipos de Subsistencia.

El flujo Yanacolpa originó que en algunas áreas de la ladera del cerro del mismo nombre la superficie descendiera 1.5-2m de profundidad. La composición arcillosa de los sedimentos es la posible causa de este fenómeno.

Algunos suelos como las arcillas tienen una importante variación de volumen al cambiar de un estado hidratado a uno deshidratado. Esta variación es claramente apreciable en las zonas con contenido de humedad, que cuando se resecan producen un cuarteamiento de la capa arcillosa al disminuir dramáticamente el contenido de agua.

Este mismo principio es aplicable en las capas de arcillas que, al hidratarse, aumentan de volumen y producen una ascensión de todo el terreno que puede llegar a ser muy importante. Cuando el nivel freático baja o las arcillas se deshidratan reducen su volumen y el terreno desciende rápidamente.

Por lo tanto, dichos terrenos suelen estar sujetos a ciclos de ascensión y depresión según el régimen de lluvias.

La reactivación del deslizamiento con posterior fase de flujo Yanacolpa que ocurrió en el mes de Junio del 2013, tuvo sus primeros indicios entre los meses de Febrero, Marzo y se intensificó en el mes de Abril con flujos de lodo superficiales que se registraron mediante videos y fotografías.

Dichos procesos están dentro del ciclo lluvioso en la región la cual es de Diciembre a Abril. Entre finales del mes de Abril y comienzos de Junio las precipitaciones disminuyeron provocando la ausencia de agua en los sedimentos. El peso de los materiales transportados sobre sedimentos arcillosos provocó el desencadenamiento del flujo Yanacolpa.

Dichos procesos se observan claramente en el canal o zona de transporte del flujo (véase Figura 20), la superficie se asentó hasta 2m por debajo de su nivel inicial (Foto 16). Este evento produjo levantamientos en la zona de depositación.

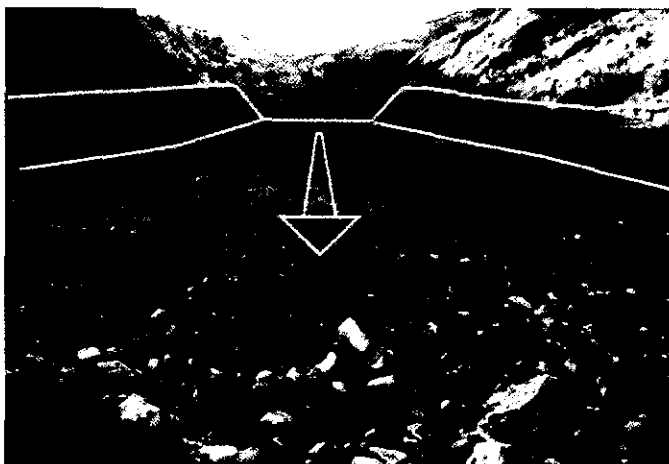


Foto 16. Se observa que los sedimentos han tenido subsidencia, que es la deformación vertical de la superficie, en algunos casos de hasta 2m de profundidad.



Foto 17 (a, b) En ambas fotografías se puede observar el material desplazado (<50m de largo por 2-3m de profundidad) los sedimentos han sido transportados a más de 100m de su ubicación inicial.

#### 4.2.3.2.3 Levantamientos

Este fenómeno está asociado a esfuerzos internos que ejercen capas superiores sobre sedimentos que se ubican en niveles inferiores, el empuje que ejerce el peso de los depósitos provenientes de la parte alta del flujo, levanta la superficie y en algunos casos se han observado cabalgamientos.



Foto 18 (a). La línea continua representa el nivel original del área con respecto a la zona levantada (líneas discontinuas). (b) En algunos casos los sedimentos han cabalgado sobre otros, y sobre los cuales también se observan agrietamiento.

#### 4.2.3.2.4 Zona de depósitos

Es la zona donde se depositan finalmente los materiales transportados por el evento, generalmente tiene forma de abanico, en el caso del deslizamiento flujo Yanacolpa la quebrada Yanacolpa ha tomado forma semi meandriforme, debido principalmente al cambio de pendiente y a los materiales arcillosos.



Foto 19. Vista panorámica del flujo Yanacolpa (líneas amarillas), hacia la parte final cota inferior la zona de acumulación.

#### 4.2.3.2.5 Sedimentación del flujo de detritos

Los depósitos de flujo de detritos son característicamente mal clasificados, incluyendo grandes bloques de diferentes tamaños, estos bloques se encuentran alejados de la fuente u origen, son impermeables y no-porosos debido al alto contenido de lodo en la matriz.

Dichos depósitos no presentan estructuras sedimentarias primarias (Ver Foto 20). Las estructuras primarias por excelencia en todas las rocas y en la sedimentología es la estratificación. Esta es un plano de

debilidad formado debido a una interrupción y/o erosión del depósito o bien debido a un cambio en la naturaleza del depósito. Siempre es subparalela a la horizontal al tiempo del Depósito.

La ausencia de estratificación en el flujo Yanacolpa se debe principalmente a que el evento principal (1998-2000) y posteriores reactivaciones, han sido flujos caóticos, desordenados y violentos, es decir la depositación de los materiales no ha tenido el tiempo suficiente para diferenciar las fases de flujo de lodo, sedimentos y rocas encontrándose mal clasificados. Está es una característica principal de los flujos de detritos.



Foto 20. Corte natural provocado por el agua que discurre de la quebrada Yanacolpa, se observan bloques y clastos angulares a subredondeados de (0.50m a 0.80m de diámetro), dispersos y mal clasificados dentro de una matriz areno arcillosa.

El deslizamiento y posterior fase de flujo Yanacolpa fue un proceso de remoción en masa de rocas y sedimentos altamente saturados con agua, lo cual originó que dicho deslizamiento se comportara como un flujo lento con recorrido extenso. Los materiales se encuentran mal clasificados incluyendo grandes bloques de diferente tamaño. Este evento se debió a la acumulación de agua debido a las intensas precipitaciones pluviales que se registran en los periodos lluviosos.



La peligrosidad de este evento está determinada por el volumen de agua, los materiales sueltos disponibles, así como por las pendientes y la geomorfología. A continuación se presenta la geometría de la fase de flujo:

<b>SECTOR YANACOLPA (Flujo de Detritos)</b>	
<b>Geometría</b>	<b>Dimensiones (m)</b>
Largo	1700
Ancho	300
Volumen	350 000 m <sup>3</sup>

Cuadro 05. Parámetros geométricos de la fase de flujo Yanacolpa.  
Fuente propia.

#### 4.2.3.2.6 Cárcavas

Son socavaciones producidas en sedimentos y roca, en zonas con pendiente moderada a baja, es causada directamente por las avenidas de agua de escorrentía. Se concretan normalmente, en abarrancamientos formados por materiales blandos y por el agua de quebradas que, cuando no hay una cobertura vegetal suficiente, afecta las pendientes excavando largos surcos, lo cual se observa en la quebrada Chogo en la margen derecha, Foto 21.



Foto 21. Zonas de erosión avanzada que han formado canales.



## 4.2.4 DISCUSIÓN

### FLUJOS DE DETRITO Y/O FLUJOS DE BARRO

En la literatura geológica clásica el término más divulgado era el de flujo de barro (mud flow). Con el paso del tiempo, comenzó a tener mucha más difusión y aceptación el término flujo de detrito (debris flow). Hoy en día existe cierta confusión, ya que para algunos autores ambos términos son sinónimos, para otros “casi” sinónimos y para otros, involucran a movimientos en masa singularmente diferentes.

La denominación “flujos de barro” está muy arraigada en la literatura geológica argentina. Representa a movimientos de masas de detritos que se originan en canales preexistentes cuando se produce aporte súbito de aguas a una zona en la que hay materiales en exceso como para ser puestos en movimiento (Sharpe, 1960). El flujo de detritos se presenta con mucha frecuencia en nuestro país, los cuales se les denomina erróneamente “huaycos” (del **quechua** wayqu “quebrada”).

Una de sus características es que son desplazamientos en los que la masa posee en material pelítico (fango), material que le da a la masa propiedades específicas y un comportamiento especial y que no es necesariamente predominante.

#### 4.2.4.1 Flujo de detritos (debris flow)

Friedman y Sanders (1978) indican que un flujo de detritos es más una masa plástica que un fluido Newtoniano y que se produce cuando hay una cantidad de sedimento suficiente como para que se incremente la viscosidad y densidad de la masa.



Se ha determinado que el deslizamiento y en si el flujo del sector Yanacolpa, está conformado por sedimentos altamente plásticos-arcillosos y que en presencia de agua se comportan como un flujo No Newtoniano.

Por su parte, Middleton y Southard (1984) destacan que en los flujos de detrito subaéreos la mezcla de agua y sedimento tiene propiedades que los aproximan a un plástico ideal (Bingham). El rasgo más peculiar de estos flujos es la presencia de una matriz de grano fino que cumple dos funciones importantes:

- a) Le brinda una alta viscosidad a la masa, la que mantiene el flujo en condiciones laminares.
- b) La matriz tiene una elevada cohesión y suficiente resistencia para sostener a los clastos mayores en el flujo. Clastos del tamaño de bloques pueden entonces ser transportados incluso por flujos que se desplazan en forma relativamente lenta. Estos clastos mayores no se concentran necesariamente cerca de la base del flujo e incluso ellos pueden aparecer como proyecciones que sobresalen de la matriz en el tope del flujo siempre que la fuerza de gravedad que actúa sobre ellos no supere la resistencia de la matriz presente entre los clastos.

Está claro que los materiales sobre los cuales se desarrolla el movimiento en masa son principalmente arcillosos, densos en presencia de agua, capaces de transportar grandes bloques a extensas distancias. Dichos movimientos han tenido un desplazamiento que va de lento a rápido, debido a la concentración del sedimento arcilloso y a la proporción de agua, además del cambio de pendiente de moderada a suave.



Allen (1985) indica que el flujo de detrito es un desplazamiento gravitacional de lento a rápido de material detrítico mezclado con una cantidad igual o subordinada de agua, sobre una pendiente moderada a baja.



---

## CAPÍTULO V

### ASPECTOS GEOTECNICOS

#### 5.1 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

El conocimiento del marco geotécnico del área de investigación es fundamental para la correcta planificación y ejecución de obras de mitigación de movimientos en masa, proyectos de expansión urbana y estabilidad de taludes. La experiencia indica que el conocimiento de las características geotécnicas del territorio permite enfrentar problemas geotécnicos, plantear investigaciones adecuadas y comparar los resultados obtenidos, lo que sin duda servirá como herramienta para la toma de decisiones para enfrentar problemas de movimientos en masa.

En este capítulo se analiza el contexto geotécnico del deslizamiento flujo Yanacolpa, el producto final de este trabajo son una serie de mapas temáticos y tablas en los cuales se visualiza sondeos representativos de la calidad de suelos del área estudiada.

##### 5.1.1 Exploraciones a cielo abierto (Calicatas)

La exploración directa del subsuelo se llevó a cabo mediante la excavación de calicatas de hasta 2.5m de profundidad, mediante la cual se logró caracterizar el terreno de las diferentes zonas del deslizamiento y del flujo sobre las laderas del cerro Yanacolpa. Durante esta etapa de exploración se realizó el logueo o levantamiento de la columna de diferentes capas de suelos observados directamente. Esta exploración se desarrolló principalmente en la zona proximal, media y distal del deslizamiento flujo Yanacolpa, como se muestra en el Plano P-11.



La predominancia de suelos arcillo-arenosos represento cierto grado de dificultad para lograr mayores profundidades, se deberá de programar en futuros estudios labores de sostenimiento para evitar posibles derrumbes.

#### **5.1.1.1 Principio**

Las calicatas son empleadas en los trabajos de ingeniería geotécnica y otros campos afines, permiten la inspección directa del subsuelo que se requiere estudiar.

#### **5.1.1.2 Instrumentos**

palas manuales

barreta

Pico

01 GPS portátil

#### **5.1.1.3 Procedimiento**

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- ✓ Reconocimiento de la zona de estudio: Se realizó un análisis visual de las características del terreno, evaluando la accesibilidad y lugares apropiados para la ubicación de las calicatas.
- ✓ Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m y aproximadamente 3m de profundidad.
- ✓ Logueo: Es la descripción de las características físicas que presenta el corte estratigráfico para luego realizar la extracción de la muestra del suelo.



#### 5.1.1.4 Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata se procede a loguearla y a describir el perfil litológico del subsuelo. Las excavaciones realizadas se localizaron en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 06:

CALICATA	UTM ESTE	UTM NORTE	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)
C-01	231381	9040152	3612	2.20
C-02	232131	9038845	3255	2.10
C-03	232558	9038352	3145	1.90
C-04	230405	9040147	3852	2.52
C-05	231827	9039496	3748	2.15
C-06	232453	9038294	3156	2.87
C-07	232899	9038392	3114	2.65
C-08	230405	9040147	3859	2.97
C-09	231245	9039838	3602	2.53

Cuadro 06: Ubicación de calicatas.

#### 5.1.2 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL, Norma DIN4094)

Es un equipo 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 suelo al hincado del cono dinámico. La ventaja de este instrumento, 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, no practico para ser utilizado en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

##### 5.1.2.1 Principio

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 número  $N^\circ$  (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 de los distintos materiales.

Los ensayos de DPL han sido ubicados al costado de las calicatas con la finalidad de conocer la resistencia de los distintos estratos al corte. Además, se han ubicado otros puntos con el fin de conocer la profundidad y el espesor de los sedimentos arcillosos y poco consolidados.

#### 5.1.2.2 Equipos y materiales

El equipo de DPL cuenta con los siguientes accesorios, Foto 22:

- Cono Dinámico: Pieza metálica cilíndrica de dimensiones estandarizadas, está en contacto directo con el suelo y se utiliza para medir la resistencia del suelo.
- Martillo o Martinete: Pieza cilíndrica utilizada para generar la energía mecánica requerida para la hincada del cono.
- Cabeza de golpeo o Yunque: Pieza que recibe el impacto del martillo cuando es utilizado y cuyo objetivo es transmitir la energía producida hacia la punta del cono dinámico.
- Varillaje: Barras metálicas las cuales transmiten la energía producida por el martillo hacia el cono. Las barras se conectan desde el yunque hacia el cono cilíndrico, poseen una longitud de un metro y líneas de



referencia cada diez centímetros. Esto con el objeto de facilitar el registro de datos.

- **Placa base:** Placa metálica que permite dar soporte a los componentes del equipo y los mantiene en posición vertical, con lo cual es fácil la extracción de las barras de traspaso de carga luego de finalizado el sondaje.
- **Barra guía:** Pieza unida al yunque que permite dar la altura de caída requerida por el martillo y a su vez guía en su caída libre hacia el yunque.
- Adicionalmente se usó dos llaves francesas, guantes y tapones de seguridad.

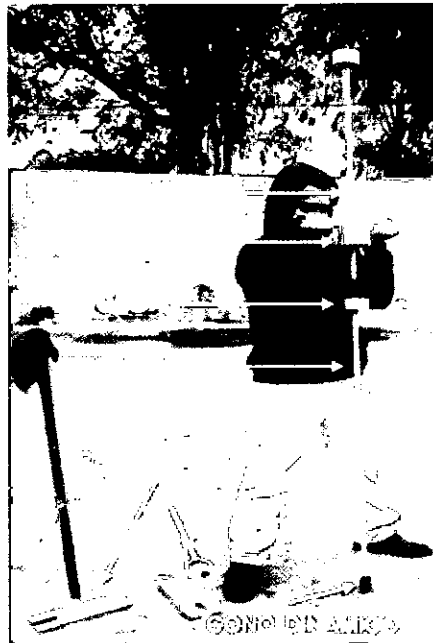


Foto 22. Equipos y accesorios que conforman el DPL.



### 5.1.2.3 Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- Ubicación de ensayos: Se ubicaron al costado de las calicatas (5 m de distancia).
- Ensamble de equipo: Consiste en conectar los accesorios del equipo, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la varía que contiene el yunque, posteriormente se ajustan las uniones y finalmente se empieza a penetrar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).
- Proceso de toma de datos: Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).
- En el Cuadro 07, se indica la ubicación de los ensayos de penetración ligera (DPL) realizados dentro y fuera del deslizamiento flujo Yanacolpa, la profundidad alcanzada y los datos obtenidos del ensayo (número de golpes y ángulo de fricción interna correspondiente último estrato). Las fichas de los ensayos se adjuntan en el Anexo de geotecnia.

Los ensayos de DPL han alcanzado una profundidad máxima de 2.56 m y mínima de 0.17 m, ya que los suelos están conformados por gravas, presentan ángulos de fricción promedio de 36 y 39°, característico de suelos granulares. Los datos obtenidos de los ensayos se presentan en fichas de DPL, las mismas que se adjuntan en los anexos de geotecnia.

Se ha realizado una correlación de suelos encontrados en las excavaciones y los resultados obtenidos en los DPL, encontrando mayor resistencia en paquetes de gravas con ángulos de fricción por encima de 36°.



DPL	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD (m)	α De fricción interna
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	ELEVACIÓN (m.n.s.m)		
DPL-01	230,532	9,040,289	3821	7.70	14.03
DPL-02	231,325	9,040,194	3620	5.30	29.00
DPL-03	232,709	9,038,408	3141	6.12	29.70
DPL-04	232,461	9,038,530	3183	5.00	29.74
DPL-05	231,965	9,038,788	3260	4.63	26.55
DPL-06	231,768	9,039,582	3449	3.68	24.90
DPL-07	230,868	9,040,592	3800	6.58	26.50
DPL-08	231,495	9,040,389	3660	5.39	26.56

Cuadro 07: Datos de ubicación y profundidad de los ensayos de penetración dinámica ligera. Fuente. Unidad de Geodinámica Superficial, 2015.

### 5.1.3 Exploraciones con posteadora manual o mecánica

También llamado barredor manual (posteadora o Iwan Auger) es una herramienta manual que se usa para la perforación o sondajes de suelos blandos hasta una profundidad de 5m a 6m.

#### 5.1.3.1 Equipo y principio

El equipo está conformado por un barrenador cilíndrico de 10 cm de diámetro, unido por medio de una serie de varillas de extensión de 1m, terminada en un mango en forma de "T", que permite girar el equipo manualmente y con empuje hacia la superficie.

Existen diferentes tipos de cucharas acopladas al extremo para extraer muestras, las cuales están diseñadas de manera específica para cuando se trate de suelos cohesivos (arcillas) o friccionantes como las arenas o las gravas.

Las posteadoras fueron distribuidas en zonas donde no había información de calicatas, con el fin de obtener una mejor caracterización del subsuelo del deslizamiento – flujo de detritos Yanacolpa, Cuadro 08.



POSTEO	UTM ESTE	UTM NORTE	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)
P-01	230,562	9,040,291	3820	2.65
P-02	231,153	9,040,316	3630	2.90
P-03	231,750	9,039,731	3480	3.40
P-04	231,918	9,039,109	3325	1.50
P-05	232,266	9,038,524	3205	1.33
P-06	232,789	9,038,282	3100	0.80

Cuadro 08: Ubicación de posteos.

## 5.2 Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos

En las muestras extraídas de las calicatas se realizaron los siguientes ensayos:

Análisis Granulométrico por Tamizado	Norma ASTM D422
Clasificación SUCS	Norma ASTM D2487
Límites de Consistencia	Norma ASTM D4318
Ensayo de corte directo	Norma ASTM D3080

### 5.2.1 Tipos de suelos en el deslizamiento-flujo Yanacolpa (SUCS)

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y DPL, los resultados obtenidos del laboratorio de suelos y la inspección visual del terreno se han identificado 03 tipos de suelo, los cuales se han delimitado en el Plano P-12, Cuadro 09.

#### - Suelo tipo OH

Este tipo de suelo corresponde a las arcillas orgánicas altamente plásticas, los materiales finos superan el 80%, constituyen suelos blandos, presentan alto contenido de plasticidad ( $IP=41.5$ ). Este tipo de suelo se ha identificado en la calicata C-01 y se ubica en la parte alta del escarpe principal, en la denominada zona de arranque del deslizamiento.



- **Suelos tipo GM con arena**

Corresponden a gravas limosas con alto contenido de material fino (45%), constituyen suelos semi-compactos, presentan alto contenido de plasticidad (IP=17.29). Este tipo de suelo se ha identificado en la calicata C-02 y se ubica en la parte media del flujo fuera de la zona afectada.

- **Suelos tipo GC con arena**

Son gravas arcillosas, los materiales finos se encuentran entre el 16 y 45% de contenido, constituyen suelos semi compactos, presentan contenido de plasticidad (IP=10 – 15%). Este tipo de suelo se ha identificado en las calicatas C-03, 04 y 06 y se ubican en la parte final y media del flujo de detritos.

- **Suelos tipo ML**

Limos de media a baja plasticidad, los materiales finos llegan al 62%, constituyen suelos blandos a semi compactos, no presentan contenido de plasticidad. Este tipo de suelo se ha identificado en la calicata C-07.

- **Suelos tipo CL**

Estos suelos están conformados por arcillas de baja a media plasticidad, los materiales finos se encuentran entre el 60 y 70%, constituyen suelos blandos a semi compactos, presentan contenido de plasticidad (IP=15 – 20%). Este tipo de suelo se ha identificado en las calicatas C-05 y 09, las que se ubican en zonas susceptibles a deslizamientos.

- **Suelos tipo SC**

Estos suelos están conformados por arenas arcillosas de plasticidad media, los materiales finos no superan el 40%, constituyen suelos blandos a semi



compactos, presentan contenido de plasticidad (IP=16%). Este tipo de suelo se ha identificado en la calicata C-08, las que se ubican en zonas susceptibles a deslizamientos.

	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07	C-08	C-09
<b>Prof (m)</b>	2.00	2.10	2.00	2.52	2.15	2.87	2.65	2.97	2.53
<b>NF (m)</b>	-	-	1.90	-	-	-	-	-	-
<b>Gravas %</b>	0	32	44	32	12	63	2	30	18
<b>Arenas %</b>	14	23	32	25	19	21	35	32	19
<b>Finos %</b>	86	45	24	42	70	16	62	39	63
<b>Límite Líquido %</b>	82.85	44.2	35.6	35.3	41.8	30.1	20.6	37.5	38.65
<b>Límite plástico %</b>	41.5	26.91	23.6	19.8	22.26	16.05	NP	21.93	22.26
<b>Índice plástico %</b>	41.5	17.29	12	15.5	19.54	14.05	NP	15.57	16.39
<b>Contenido de Humedad</b>	19.14	12.14	9.93	8.51	10.33	4.35	2.55	12.57	15.63
<b>SUCS</b>	OH	GM con arena	GC con arena	GC Con arena	CL arenoso	GC con arena	ML arenoso	SC con grava	CL arenoso
<b>Descripción</b>	Arcilla orgánica de media a alta plasticidad; limos orgánicos.	Gravas limosas, con mezcla de arenas y limos.	Gravas arcillosas, con mezcla de arena y arcilla.	Gravas arcillosas, con mezcla de arena y arcilla.	Arcilla de baja plasticidad	Gravas arcillosas, con mezcla de arena y arcilla.	Limo inorgánico de baja plasticidad	Arena arcillosa con gravas	Arcilla de baja plasticidad

Cuadro 09. Clasificación SUCS de las nueve (09) calicatas elaboradas en la zona de estudio. Fuente: UNALM, 2014.

### 5.2.2 Corte Directo

Este ensayo se emplea para determinar la cohesión y el ángulo de rozamiento interno, que permitan establecer la resistencia al corte de los suelos ensayados.



Se escogió 3 muestras representativas de las extraídas de las calicatas, los resultados se muestran en el cuadro

### 5.2.2.1 Descripción del ensayo

Este ensayo consiste básicamente en someter una muestra de suelo de sección cuadrada en este caso fue de 6.0cm de lado. De espesor, confinada lateralmente, dentro de una caja metálica, a una carga normal ( $s$ ) y a un esfuerzo tangencial ( $\tau$ ), los cuales se aumentan gradualmente hasta hacer fallar a la muestra por un plano preestablecido por la forma misma de la caja (consta de dos secciones, una de las cuales es móvil y se desliza respecto a la otra, que es fija, produciendo el esfuerzo de corte).

En el ensayo se determina cargas y deformaciones.

### 5.2.2.2 Equipo

- Dial de Corte Horizontal
- Dial de Corte Vertical
- Pesas de carga
- Horno
- Cuchillo y arco con alambre acerado
- Muestra inalterada
- Máquina de corte Directo (Placa de 5x5x5, caja de corte)

El aparato de corte directo, consta de una caja de corte y dispositivos para aplicación de cargas verticales y horizontales, así como también deformímetros verticales y horizontales.



### 5.2.2.3 Resultados

CALICATA	Ángulo de Fricción Interna °	Cohesión aparente Kg/cm <sup>2</sup>	Densidad seca promedio gr/cm <sup>3</sup>
C-01	14.03	0.18	1.36
C-02	29.00	0.08	1.61
C-03	29.70	0.13	1.50
C-04	29.74	0.12	1.67
C-05	26.55	0.10	1.46
C-06	30.18	0.00	-
C-07	24.90	0.12	1.78
C-08	26.50	0.08	1.64
C-09	26.56	0.10	1.47

Cuadro 10. Datos obtenidos del ensayo de corte directo realizado en la UNALM, 2014.

### 5.2.3 Capacidad de Carga Admisible

Se realizaron los ensayos de corte directo para determinar la resistencia al corte del suelo de cimentación, calculando así la capacidad portante de los mismos para las 3 calicatas analizadas, estos resultados se presentan en el Cuadro 11.

Cabe resaltar que, la capacidad portante de los suelos en el cerro Yaancolpa fue calculado para una profundidad de cimentación de 1.20m y ancho mínimo de cimentación de 1.00m y que presentan valores de capacidad media a muy baja a la resistencia al corte, Tabla 07.





CALICATAS	Capacidad de Carga última (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad De Carga Admisible (Kg/Cm <sup>2</sup> )
C-01	11.50	0.38
C-02	49.61	1.65
C-03	51.01	1.70
C-04	56.88	1.90
C-05	33.45	1.12
C-06	65.97	2.20
C-07	36.63	1.22
C-08	37.26	1.24
C-09	36.79	1.23

Cuadro 11. Capacidad portante de las nueve (09) calicatas elaboradas en el deslizamiento flujo Yanacolpa. Fuente UNALM (2014).

Capacidad Carga Admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENOMINACION
< 1.0	MUY BAJA
1.0 – 2.0	BAJA
2.0– 3.0	MEDIA
>3.0	ALTA

Tabla 07: Rango de capacidad Portante.

De los resultados obtenidos y citados en el Cuadro 11 se puede determinar que:

Las zonas delimitadas como susceptibles a deslizamientos representan suelos con capacidad de carga baja a muy baja, el área asciende a más del 70% del cerro Yanacolpa, los resultados se plasman en el **Plano P-13**.



### 5.3 Perfiles Geológicos Geotécnicos

En base a los trabajos de campo (calicatas, posteos y DPL's), se ha optado por elaborar secciones geológicas - geotécnicas a fin de analizar las condiciones físicas que presenten los suelos reconocidos en las inmediaciones y alrededores del deslizamiento Flujo Yanacolpa, el plano se adjunta en el Anexo 1, **Plano P-14, Plano P-15 y Plano P-16**. Además, se propone un plano de facies granulométricas, **Plano P- 17**.

A continuación se detallaran las secciones antes mencionadas:

### 5.4 Análisis de Estabilidad de Taludes

Slide 6.0 es un programa 2D de estabilidad de taludes para evaluar la estabilidad de superficies de falla circulares o no circulares en taludes de suelo o roca. Slide es muy fácil de usar, e incluso pueden crearse modelos complejos y analizarlos rápida y fácilmente. Asimismo, se pueden modelar cargas externas, presencia de niveles freáticos.

En el análisis de estabilidad de taludes en el programa SLIDE, se toman en cuenta modelos estáticos y dinámicos que toman en cuenta las máximas aceleraciones sísmicas presentes en las zonas.

Para el análisis dinámico se debe de considerar los coeficientes de sismo, representado por las aceleraciones sísmicas, para ser conservadores en el modelo se ingresa solo el 50% del índice de aceleración. Como se observa en la Figura 16, la zona de estudio se ubica entre los intervalos 0.30 y 0.28, ingresando el parámetro al software SLIDE 6.0 equivalente a 0.15.

Para el análisis de estabilidad de taludes, se toman en cuenta los valores geotécnicos de los materiales involucrados en el deslizamiento-flujo Yanacolpa (Cuadro 09), con la

finalidad de determinar potenciales planos de deslizamientos, delimitar los sectores que puedan ser afectados, y los escenarios posibles.

El análisis de estabilidad de taludes se ha desarrollado en tres secciones del cerro Yanacolpa, estas fueron ubicadas adecuadamente en campo para su posterior evaluación, se hace mención que, para la obtención de estas y los perfiles topográficos se ha utilizado el levantamiento topográfico realizado por el suscrito.

Posteriormente en gabinete se elaboró dicho análisis haciendo uso de un programa de cómputo geomecánico, denominado SLIDE, versión 6.0.

El programa antes mencionado tiene por finalidad calcular el factor de seguridad o coeficiente de seguridad (relación entre la resistencia al corte disponible del terreno y la necesaria para mantener el equilibrio) y el posible plano de falla de los taludes. Para el cálculo del factor de seguridad (Fs), se necesita introducir al programa, el perfil del talud y los parámetros geotécnicos de los materiales que lo conforman: densidad seca, ángulo de fricción interna y la cohesión aparente del suelo, los cuales se citan en el Cuadro 10.

#### 5.4.1 Principio del Análisis

Los taludes han sido evaluados a través de un análisis bidimensional, utilizando la técnica del equilibrio-limite, donde las fuerzas actuantes y resistentes son homogéneas a lo largo de un plano de falla, lo cual es equivalente a un factor de seguridad calculado.

Cabe resaltar que, el análisis de los taludes ha sido desarrollado empleando el método de **BISHOP SIMPLIFICADO**, Figura 22.

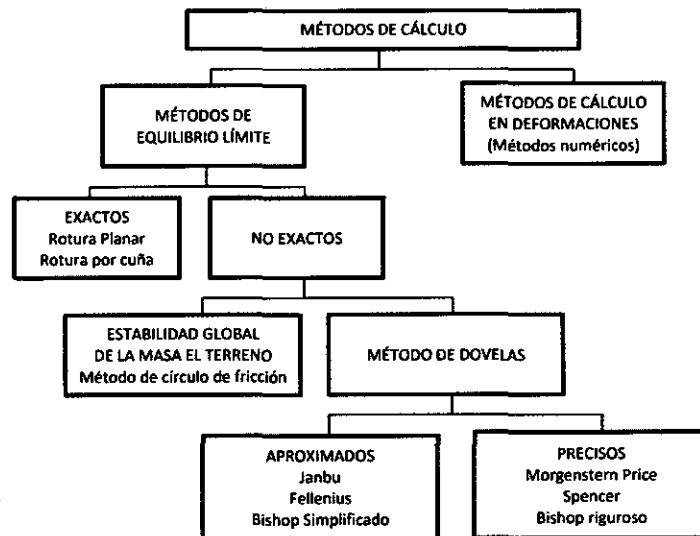


Figura 22: Métodos aplicados para el análisis de estabilidad de taludes.

#### 5.4.2 Condiciones del Análisis

El análisis ha sido elaborado en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para la segunda condición se considera la influencia de un evento sísmico que interviene a través de una fuerza sísmica que actúa como una fuerza horizontal sobre la masa del suelo inestable.

Para ello es necesario apoyarse en un estudio de peligro sísmico, con la finalidad de obtener el coeficiente sísmico para el diseño del análisis en condiciones pseudoestáticas. En la Tabla 08, se muestra los valores de coeficiente sísmico, estos han sido recomendados para Perú, en base al tipo de sismicidad de la zona.



<b>Sismicidad de la Zona</b>	<b>Coefficiente Sísmico</b>
Alta, cercana a la costa peruana o fuente sísmogénica local.	0.17 a 0.22
Media, zona andina y ceja de selva o a 75 Km. de fuente sísmogénica local.	0.10 a 0.17
Baja o Nula, zona de selva baja.	0.00 a 0.10

Tabla 08. Coeficientes sísmicos para el análisis de estabilidad de taludes, fuente: Reglamento nacional de construcciones - Suelos y cimentaciones E-050, Lima 2002.

En tal sentido se ha realizado el análisis de los taludes en condiciones pseudoestáticas, considerando el coeficiente sísmico de 0.2g, el mismo que ha sido utilizado por GEOINGENIERIA y en el informe elaborado por Dr. Jorge Alva Hurtado en trabajos de los acantilados de la Costa Verde.

#### 5.4.3 Factor de seguridad

Como resultado del análisis se obtuvo el factor de seguridad de los taludes estudiados en las tres secciones indicadas anteriormente, para ello se ha optado por considerar los intervalos de la Tabla 09.

<b>Factor de seguridad</b>		<b>Nivel o grado de Estabilidad</b>
<b>Estático</b>	<b>Seudoestático</b>	
1.0 a 1.2	<1.0	Inestable
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	Estable
>2.0	>1.2	Muy estable

Tabla 09. Grado de estabilidad de los taludes. Fuente: Curso de actualización UNI, Dr. Alva Hurtado.

#### 5.4.4 Resultados del análisis

El cálculo del factor de seguridad se ha elaborado en base a tres secciones topográficas ubicadas en campo:

##### 5.4.4.1 Condiciones estáticas:

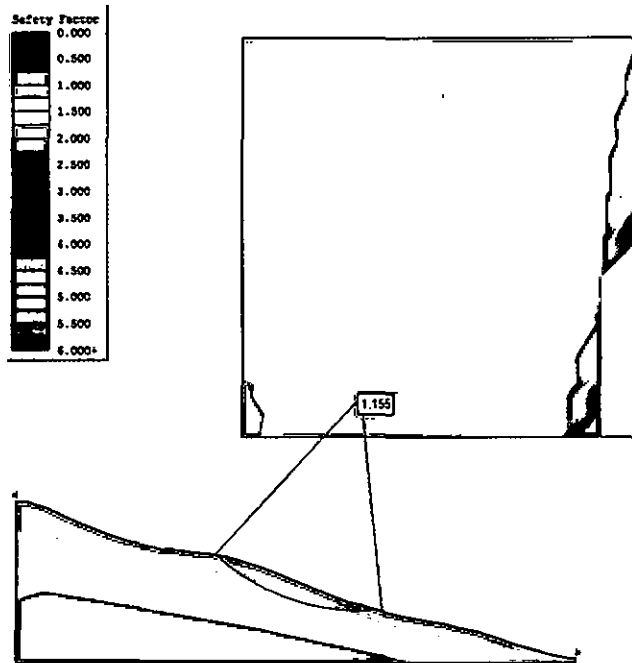


Figura 23. Sección A-A', presenta un factor de seguridad de 1.15, por lo tanto se considera como inestable.

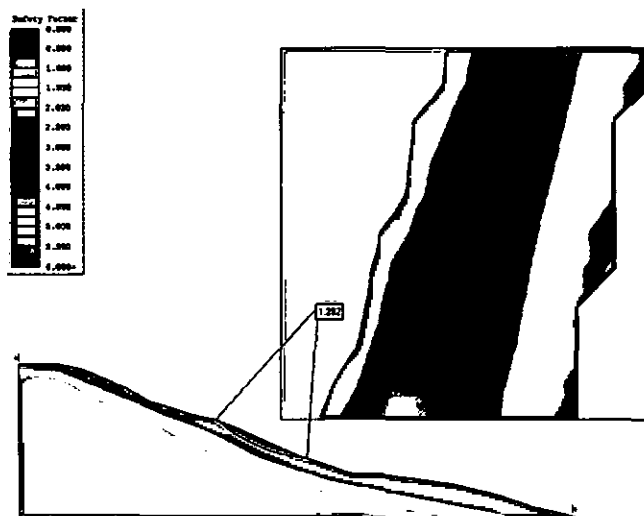


Figura 24. Sección B-B', presenta un factor de seguridad de 1.21, por lo tanto este talud se considera en estado precario.

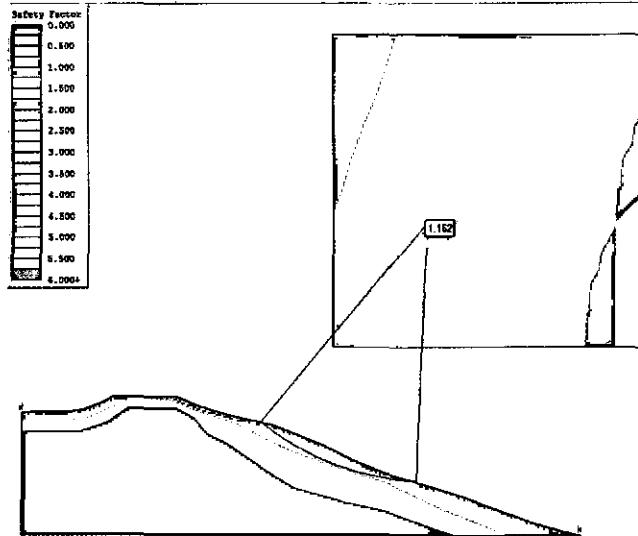


Figura 25. Sección C-C', presenta un factor de seguridad de 1.49, por lo tanto se considera como un talud estable a muy estable.

#### 5.4.4.2 Condiciones pseudoestáticas

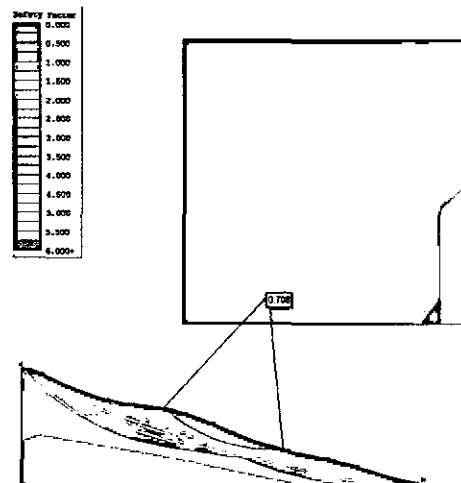


Figura 26. Sección A-A', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.708, por lo tanto se considera como un talud inestable.

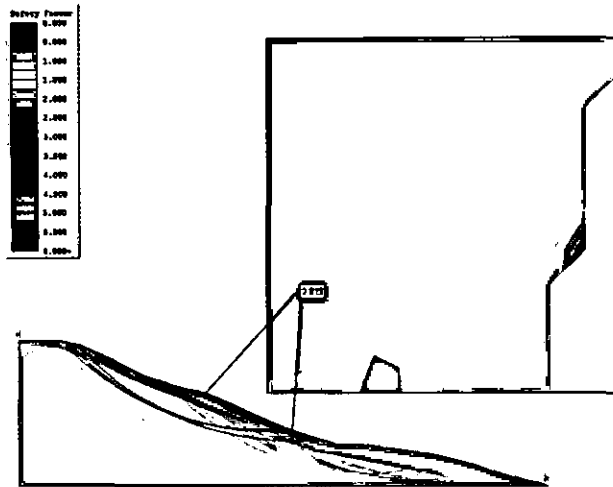


Figura 27. Sección B-B', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.819, por lo tanto se considera como un talud inestable.

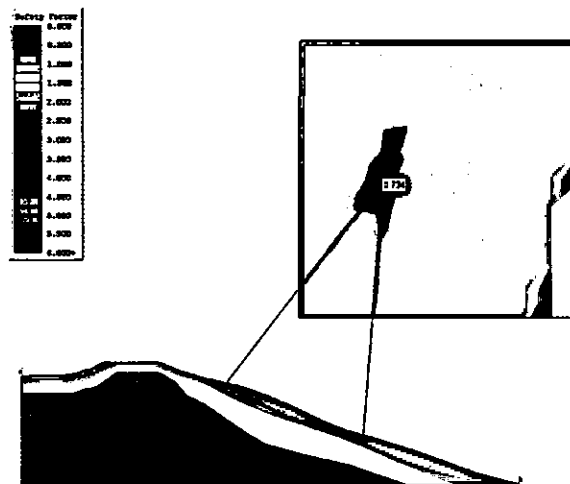


Figura 28. Sección C-C', con una aceleración de 0.2 g, presenta un factor de seguridad de 0.734, por lo tanto se considera como un talud inestable.

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes han sido resumidos en el Cuadro 12.

SECCION	FACTOR DE SEGURIDAD	
	ESTATICO	PSEUDOESTATICO
A-A'	1.155	0.708
B-B'	1.282	0.819
C-C'	1.162	0.734

Cuadro 12: Resultados del análisis de estabilidad de las tres secciones estudiadas.





## CAPÍTULO VI

### MODELAMIENTO COMPUTACIONAL ESTIMACIÓN DEL PELIGRO

#### 6.1 Modelamiento Computacional mediante RAMMS

Los peligros geológicos tales como los flujos de escombros, caída de rocas son detonados por las lluvias, sismos y son impulsados por la gravedad. En los últimos 10 años, ha nacido la necesidad de los expertos en Gestión de Riesgos, de enfrentar este problema, sabiendo, prediciendo la trayectoria, distancia y velocidad de estos eventos. La simulación numérica es difícil porque el comportamiento dinámico de cada proceso se rige por diferentes factores y la mecánica de la interacción con las características físicas del terreno.

Es así que, se desarrolló de un paquete de software con el objetivo de ayudar a los profesionales e investigadores para simular estos peligros naturales.

RAMMS, es el software que incluye cuatro módulos de proceso (1) avalanchas de nieve, (2) flujos de escombros, (3) los flujos de escombros ladera y (4) la caída de rocas. Cada módulo y cada proceso están unidos entre sí por una interfaz de usuario común que simplifica el modelo de terreno en tres dimensiones, que detalla las condiciones de partida y los parámetros. La herramienta facilita una comparación directa de la influencia de las medidas de mitigación en varios diferentes procesos (por ejemplo, la influencia de las presas de retención de avalanchas en el descentramiento de avalancha, así como descentramiento flujo de escombros y caída de rocas). La herramienta muestra de forma interactiva los resultados de la intensidad de proceso para apoyar la generación de mapas de intensidad de riesgo y la influencia de las estructuras de mitigación de los cambios en intensidad.

En base a los resultados obtenidos se propone el **Plano P-18** "Peligrinidad".

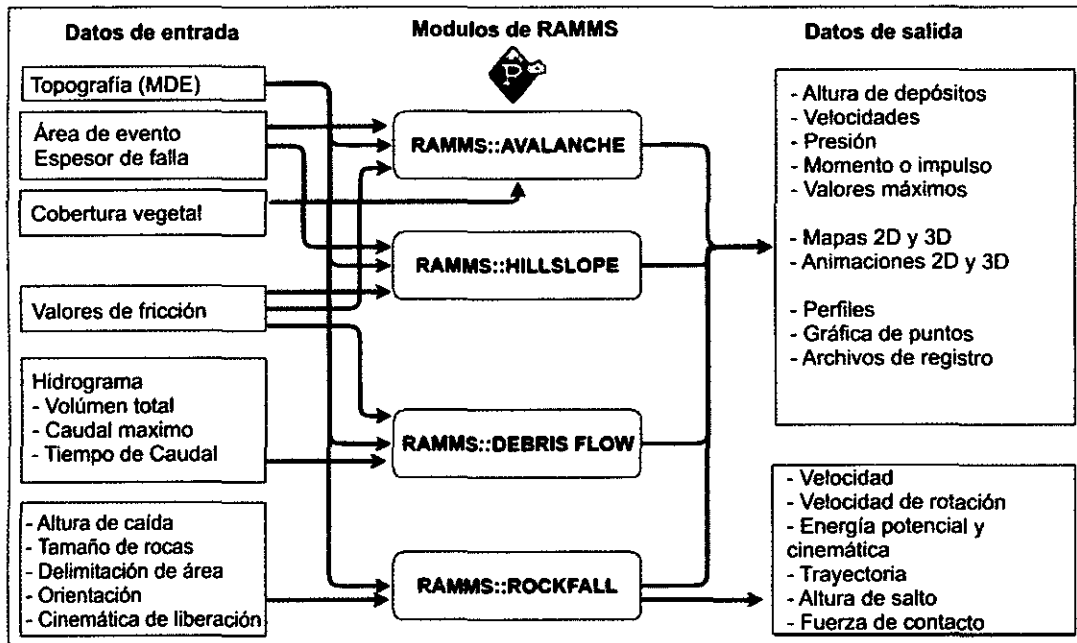


Figura 29. Flujo de trabajo del Software RAMMS mostrando tanto las características específicas y los datos de entrada y salida para los módulos RAMMS.



Figura 30. Resultado de la simulación del Salezer avalancha cerca de Davos Dorf Cantón Grisones, Suiza (haga clic para ver la animación). Imágenes © 2010 swisstopo (JD100007)



## 6.2 Resultados obtenidos

Los peligros geológicos e hidrometeorológicos se originan por procesos naturales de dos tipos, los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la Tierra y originan fenómenos naturales como los sismos; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación debido a las acciones de la gravedad, del agua y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre.

Uno de los eventos extremos que jugó un papel preponderante en la ocurrencia de los MM en la zona estudiada fue el evento “El Niño” que se describe sucintamente a continuación:

## 6.3 Fenómeno de “El Niño”

En los últimos cincuenta años “El Niño”, se presentó en: 1957 - 1958, 1972 - 1973, 1982 - 1983, 1997 - 1998, registrando elevaciones de hasta 8° C en la temperatura de las aguas de nuestro litoral., incrementando el nivel e intensidad de las precipitaciones pluviales.

## 6.4 Descripción de Escenarios de ocurrencia de eventos extremos

Un escenario es hipotético (describe algún evento en un futuro posible), es selectivo (representa aspectos de la realidad), es limitado (contiene un número determinado de variables) y está conectado (interconexión entre situaciones).

Los escenarios son en definitiva un instrumento de simulación que permite mejorar la comprensión de las consecuencias de ocurrencia de eventos a futuro.

La siguiente figura muestra un block diagrama del estado actual del movimiento en masa en la quebrada Yanacolpa.

### 6.5 Deslizamiento y Flujo de detritos Yanacolpa

A continuación se describen 2 escenarios de probable ocurrencia en el caso de reactivación del MM en el sector Yanacolpa. Es preciso señalar que para el primer caso se considera un máximo histórico de lluvia, y en el segundo escenario un evento extremo con condiciones similares a las del Fenómeno del Niño de la década del 90:

#### A. Escenario 1

##### Parámetros:

- Lluvias intensas a 300mm anuales.

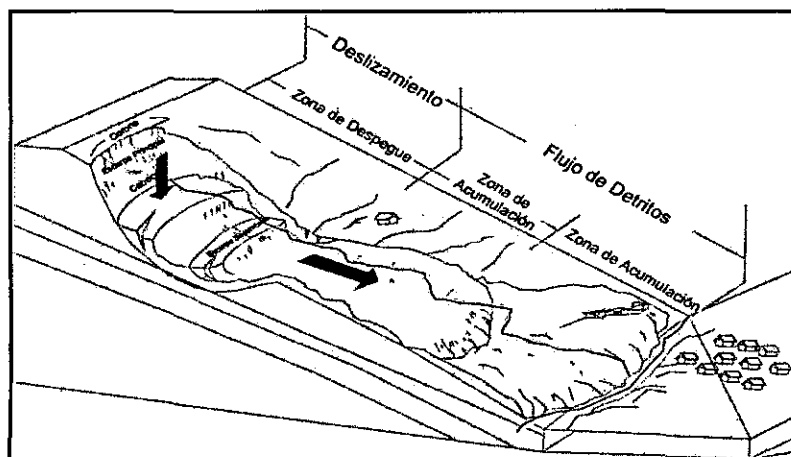
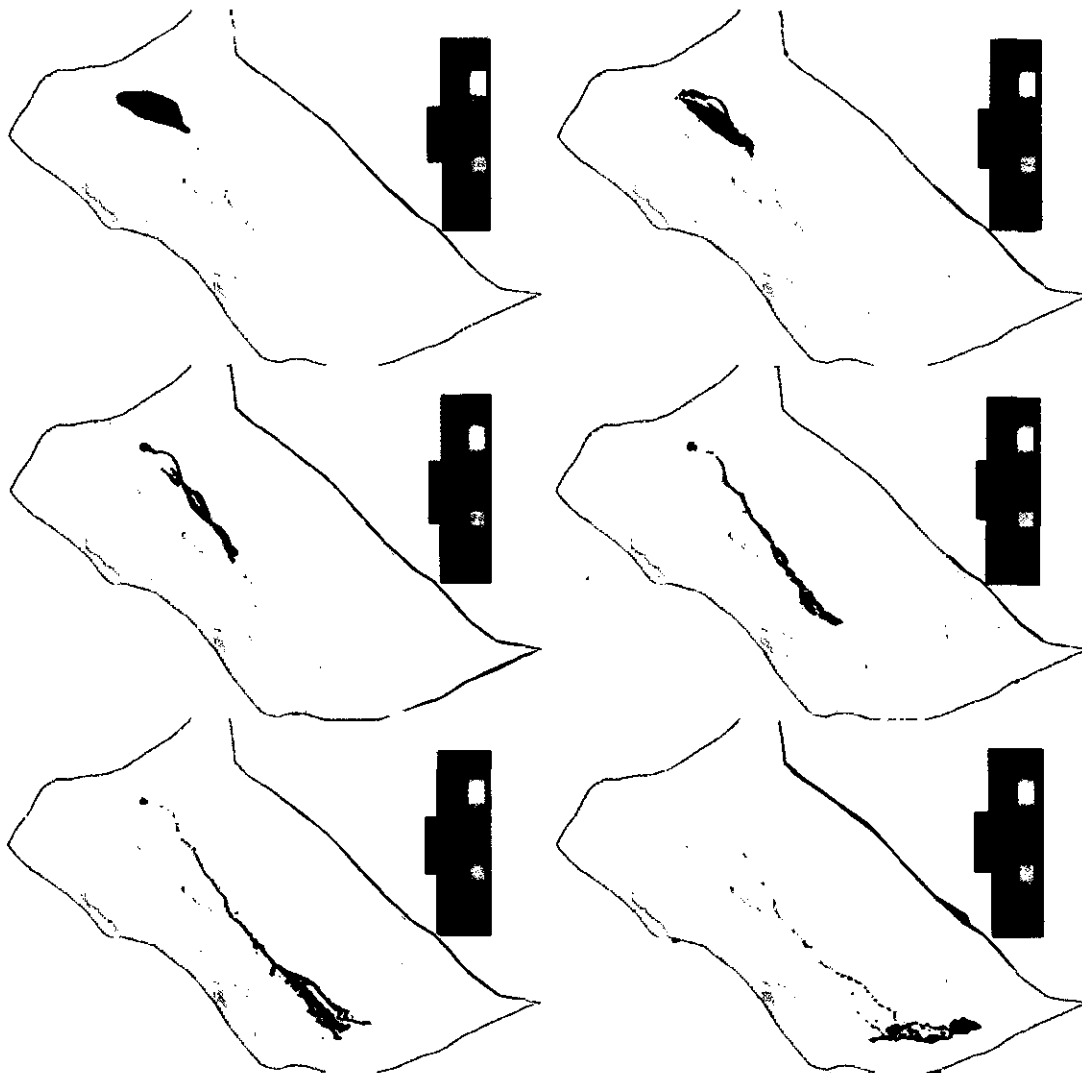


Figura 31. Esquema del deslizamiento flujos Yanacolpa.

SECTOR YANACOLPA (Deslizamiento y Flujo)	
Geometría	Dimensiones (m)
Largo	700m
Ancho	100m
Profundidad estimada	5
Volumen	70 000 m <sup>3</sup>

Cuadro 13. Parámetros esperados en el primer escenario extremo.

Se ha calculado aproximadamente que 200 000 m<sup>3</sup> de material es potencial a deslizarse. En base a los parámetros del escenario se estima que el 30% del volumen total se deslizaría (60 000m<sup>3</sup>) afectando la parte media y baja del sector Yanacolpa.



- El objetivo de modelar el Deslizamiento – Flujo Yanacolpa, tomando en cuenta los datos obtenidos del SLIDE para modelar la fase se Deslizamiento y generar un modelo en RAMMS en esas condiciones, fue replicar lo ocurrido en el año 2013, los datos, imágenes y videos analizados de dicho evento validan el modelo obtenido mediante RAMMS con lo ocurrido en el año 2013.

- Se replicó el evento tal como ocurrió en el aquel año, volúmenes desplazados, velocidad, alturas de depósitos son muy similares.

**B. Escenario 2**

Lluvias mayores a 1000 mm anuales (condiciones en presencia de “El Niño”).

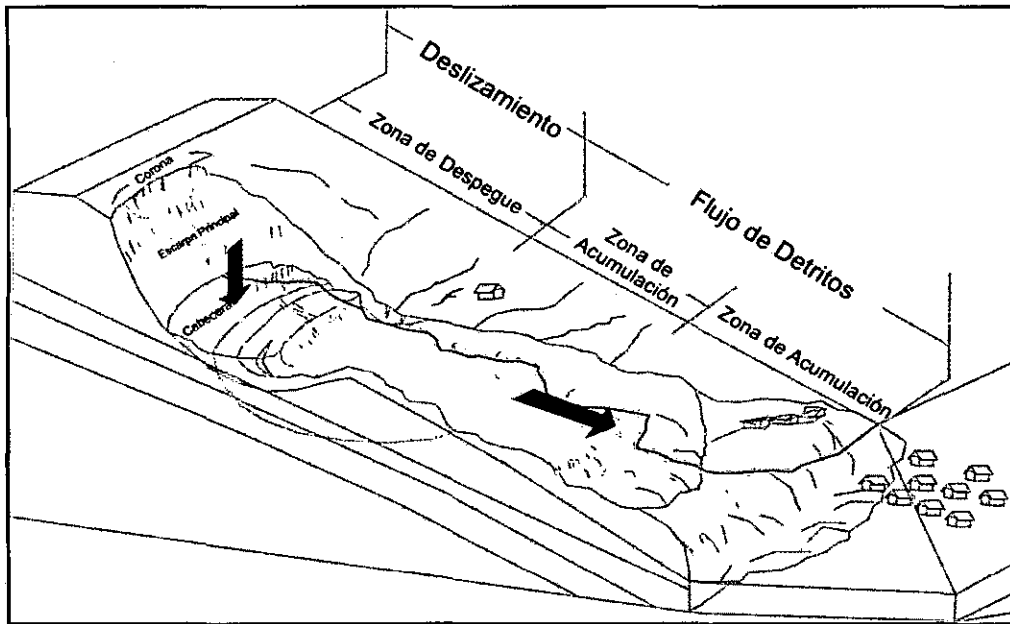


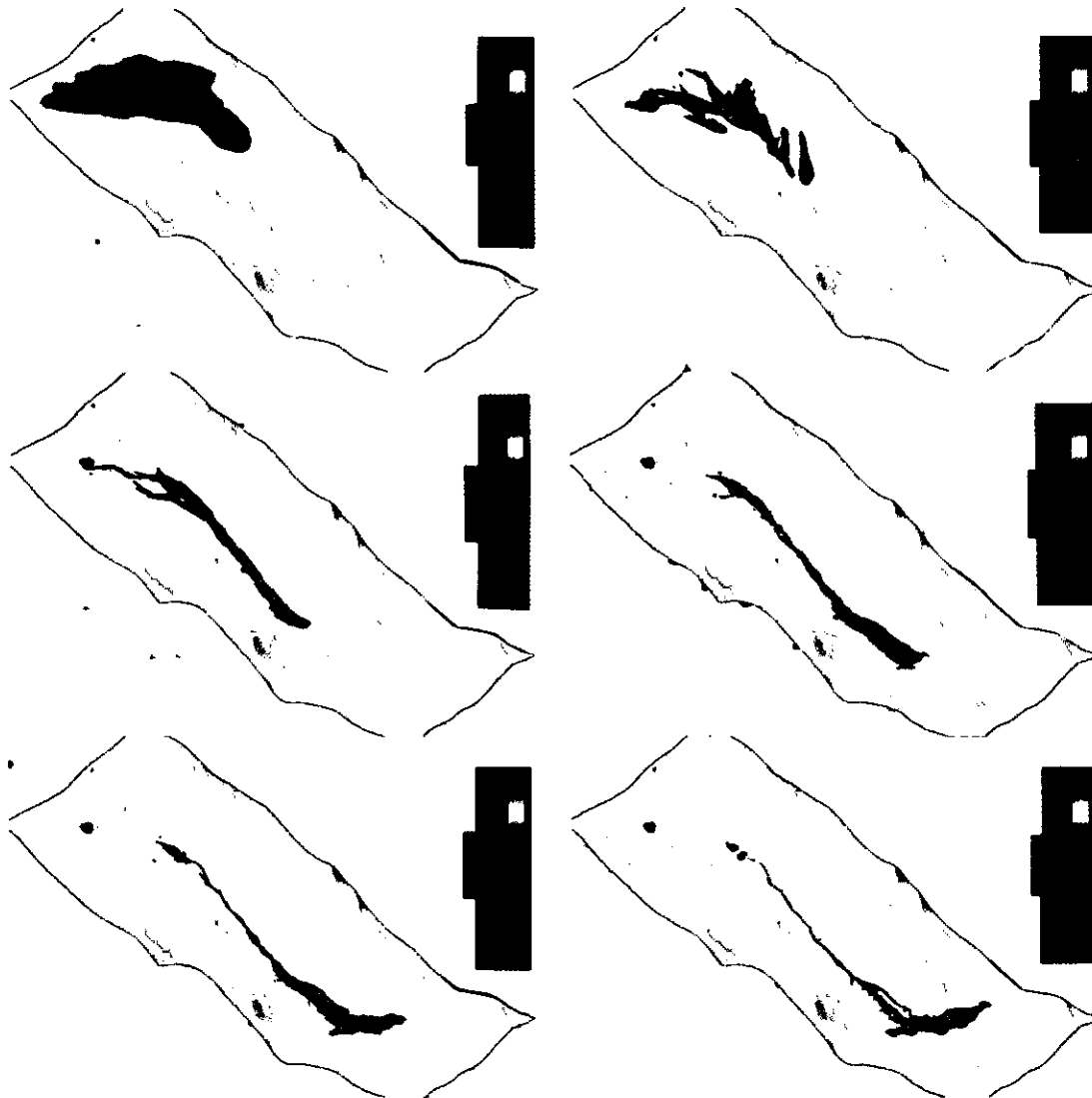
Figura 32. Esquema del deslizamiento flujos Yanacolpa, presencia de evento “El Niño”.

SECTOR YANACOLPA (Deslizamiento y flujo)	
Geometría	Dimensiones (m)
Largo	900m
Ancho	100m
Profundidad estimada	5
Volumen	200 000 m <sup>3</sup>

Cuadro 14. Parámetros esperados en el segundo escenario extremo.

- ✓ En el escenario 2 se combinarían el volumen del **deslizamiento** y el **volumen del flujo de detritos**.
- ✓ Se calcula que el 50% de este volumen (100 000m<sup>3</sup>) de lodo y rocas afectarían la parte media y baja de Yanacolpa.

- ✓ Considerando que la quebrada Chogo tiene un cauce de 20 metros de ancho este no sería suficiente para funcionar como canal de flujo y sería represada por el aluvión aumentando el peligro de inundación en la parte baja de Parobamba.



- En el escenario 2, se ingresaron los datos obtenidos en el SLIDE para modelar el plano de falla, superficie y área de materiales a desplazarse en condiciones pseudoestáticas. Así, mediante RAMMS se ha modelado el evento más extremo en el Deslizamiento Flujo Yanacolpa.

## 6.6 Estimación de la peligrosidad del deslizamiento y flujos de detrito Yanacolpa

La estimación de la peligrosidad se realiza en función del inventario de eventos geodinámicos y el análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de éstos, en un área geográfica determinada. Es así que en este ítem se realiza la estimación de la peligrosidad frente al deslizamiento rotacional y flujos de detritos ocurridos en el cerro Yanacolpa.

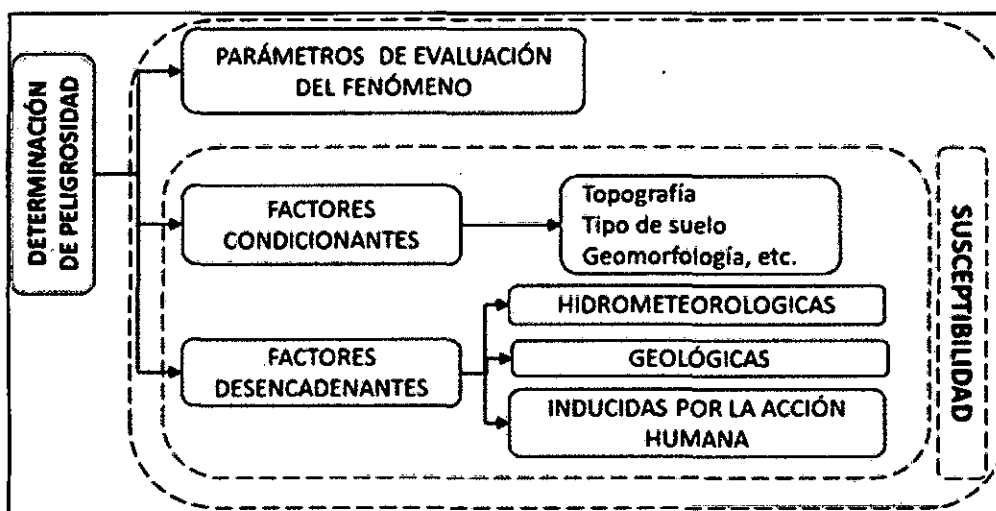


Figura 34. Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos de origen natural

### 6.6.1 Deslizamiento

Los deslizamientos son movimientos en masa (MM), en la que volúmenes de material intemperizado, bloques y masas de roca se desprenden y se desplazan cuesta abajo, sobre un plano inclinado o sobre una superficie cóncava, la que se le considera la superficie de falla del evento. En la zona de estudio, ocurre un deslizamiento del tipo rotacional con evidencias de reactivaciones y que afectan los sectores Yanacolpa Nuevo, Yanacolpa Viejo, Rujuchujirca, Potrero y Laurel, incrementan el peligro frente a un represamiento y posterior alud que afecte a la zona urbana de Parobamba y Yanacolpa Nuevo ubicados en las inmediaciones de la quebrada Chogo.





### 6.6.1.1 Parámetros de evaluación de deslizamientos

Se consideran los siguientes parámetros:

DESCRIPCIÓN		TEXTURA DEL SUELO	PARÁMETRO	PESO PONDERADO
DESCRIPCIÓN	TX1	Fina: suelos arcillosos (arcilloso, arenoso, arcilloso limoso, arcilloso).	PTX1	0.503
	TX2	Moderadamente Fina: suelos francos (franco arcilloso, franco limoso arcillosos y/o franco limoso arcilloso).	PTX2	0.260
	TX3	Mediana: suelos francos (franco, franco limoso y/o limoso).	PTX3	0.134
	TX4	Moderadamente Gruesa: suelos francos (franco arenoso).	PTX4	0.068
	TX5	Gruesa: suelos (arenosos, franco arenoso).	PTX5	0.035

Tabla 10. Textura del suelo, Fuente: CENEPRED, 2014

DESCRIPCIÓN		PENDIENTE	PARÁMETRO	PESO PONDERADO
DESCRIPCIÓN	PN1	30° a 45°	PPN1	0.503
	PN2	25° a 45°	PPN2	0.260
	PN3	20° a 30°	PPN3	0.134
	PN4	10° a 20°	PPN4	0.068
	PN5	Menor a 5°	PPN5	0.035

Tabla 11. Pendiente, Fuente: CENEPRED, 2014

DESCRIPCIÓN		EROSIÓN	PARÁMETRO	PESO PONDERADO
DESCRIPCIÓN	E1	Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales consolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas).	PE1	0.503
	E2	Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	PE2	0.260
	E3	Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	PE3	0.134
	E4	Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturados.	PE4	0.068
	E5	Laderas con sustrato rocoso no meteorizado. Se pueden presentar inestabilidades en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamientos y erosión.	PE5	0.035

Tabla 12. Erosión, Fuente: CENEPRED, 2014

DESCRIPCIÓN		VELOCIDAD DEL DESPLAZAMIENTO	PARÁMETRO	PESO PONDERADO
DESCRIPCIÓN	VD1	Extremadamente rápido (v = 5 m/s).	PVD1	0.503
	VD2	Muy rápido (v = 0.5 m/s).	PVD2	0.260
	VD3	Rápido (v = 0.0033 m/s).	PVD3	0.134
	VD4	Moderada (v = 3.0093 x 10-4 m/s).	PVD4	0.068
	VD5	Lenta a extremadamente lenta (v = 5.144x10-8 m/año a 5.144x10-10)	PVD5	0.035

Tabla 13. Velocidad del desplazamiento, Fuente: CENEPRED, 2014

A continuación en la Tabla 14 se cita el resultado de la evaluación del evento por reptación de suelos, cuyo valor es de 0.468.

FENÓMENO: DESLIZAMIENTOS								
Textura del suelo		Pendiente		Erosión		Velocidad del desplazamiento		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.548	0.503	0.306	0.503	0.101	0.260	0.045	0.260	0.468

Tabla 14. Evaluación del deslizamiento, CENEPRED, 2014



### 6.6.1.2 Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor posibilidad de ocurrencia de eventos como caída de rocas sobre una determinada área, lo cual está ligado a los factores condicionantes.

Para ello se deben evaluar tanto los factores condicionantes y detonantes para caracterizar la susceptibilidad:

$$\sum_{i=1}^n \text{Factor}_i \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

#### Factores condicionantes

PARÁMETRO	RELIEVE	PESO PONDERADO*0.145		
DESCRIPTORES	V1	Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares.	PY1	0.503
	V2	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas.	PY2	0.260
	V3	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY3	0.134
	V4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY4	0.068
	V5	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica.	PY5	0.035

Tabla 15. Relieve del Terreno, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	TIPQ DE SUELOS	PESO PONDERADO*0.515		
DESCRIPTORES	V6	Rellenos sanitarios.	PY6	0.503
	V7	Arena Eólica y/o limo (con agua).	PY7	0.260
	V8	Arena Eólica y/o limo (sin agua).	PY8	0.134
	V9	Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o	PY9	0.068
	V10	Afloramientos rocosos y estratos de grava.	PY10	0.035

Tabla 16. Tipos de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	COBERTURA VEGETAL	PESO PONDERADO* 0.058		
DESCRIPTORES	V11	70 - 100 %	PY11	0.503
	V12	40 - 70 %	PY12	0.260
	V13	20 - 40 %	PY13	0.134
	V14	5 - 20 %	PY14	0.068
	V15	0 - 5 %	PY15	0.035

Tabla 17. Cobertura Vegetal, Fuente: CENEPRED, 2014



PARÁMETRO	USO ACTUAL DE SUELOS		PESO PONDERADO: 0.282	
DESCRIPTORES	V16	Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento.	PY16	0.503
	V17	Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbechos que se encuentran improductivas por períodos determinados.	PY17	0.260
		Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc.	PY18	0.134
	V19	Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias.	PY19	0.068
	V20	Sin uso/improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad.	PY20	0.035

Tabla 18. Uso actual de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

El valor de los factores condicionantes evaluados se cita en la Tabla 19.

FACTORES CONDICIONANTES								
Tipo de relieve		Tipo de suelo		Cobertura vegetal		Uso actual de suelos		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.503	0.282	0.260	0.147

Tabla 19. Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes. Fuente: CENEPRED, 2014

### Factores detonantes

PARÁMETRO	HIDROMETEREOLÓGICOS		PESO PONDERADO: 0.035	
DESCRIPTORES	SH1	Lluvias.	PSH1	0.503
	SH2	Temperatura.	PSH2	0.260
	SH3	Viento.	PSH3	0.134
	SH4	Humedad del aire.	PSH4	0.068
	SH5	Brillo solar.	PSH5	0.035

Tabla 20. Hidrometeorológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	GEOLÓGICO		PESO PONDERADO: 0.260	
DESCRIPTORES	SG1	Colisión de placas tectónicas.	PSG1	0.503
	SG2	Zona de actividad volcánica.	PSG2	0.260
	SG3	Fallas geológicas.	PSG3	0.134
	SG4	Movimiento de masas.	PSG4	0.068
	SG5	Desprendimiento de grandes bloques (rocas, hielo, etc.).	PSG5	0.035

Tabla 21. Geológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	INDUCIDOS POR LA ACCIÓN HUMANA		PESO PONDERADO: 0.035	
DESCRIPTORES	SI1	Actividades económicas.	PSI1	0.503
	SI2	Sobre explotación de recursos naturales.	PSI2	0.260
	SI3	Infraestructura.	PSI3	0.134
	SI4	Asentamientos humanos.	PSI4	0.068
	SI5	Crecimiento demográfico.	PSI5	0.035

Tabla 22. Inducidos por la acción del hombre, Fuente: CENEPRED, 2014

El valor de los factores desencadenantes evaluados se cita en la siguiente Tabla.

FACTORES DESENCADENANTES O DETONANTES						
Hidrometeorológicos		Geológico		Inducidos por la acción humana		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.106	0.503	0.260	0.068	0.633	0.503	0.389

Tabla 23. Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes, Fuente: CENEPRED, 2014

La susceptibilidad estimada se cita en la siguiente Tabla.

SUSCEPTIBILIDAD				
FACT. CONDICIONANTE		FACT. DETONANTES		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.147	0.50	0.389	0.50	0.268

Tabla 24. Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio. Fuente: CENEPRED, 2014

Este valor según el siguiente Cuadro 09, califica como SUSCEPTIBILIDAD ALTA.

Nivel	Rango
<b>Alto</b>	0.260 – 0.503
<b>Medio</b>	0.068 – 0.260
<b>Bajo</b>	0.035 - 0.068

Cuadro 15. Rango establecido para determinar el nivel de susceptibilidad, elaborada en base a los niveles de peligrosidad establecidos por CENEPRED, 2014



### 6.6.1.3 Estimación de la peligrosidad a deslizamientos

Esta se realiza de la misma forma que los eventos anteriores, primero se evaluó el fenómeno y luego la susceptibilidad, sin embargo se debe tener en cuenta que, la susceptibilidad antes estimada es igual para todos los eventos. Por lo cual, se procedió a calcular la peligrosidad en la Tabla 25.

ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD				
EVENTO O FENÓMENO		SUSCEPTIBILIDAD		
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.468	0.50	0.251	0.50	0.359

Tabla 25. Estimación de la peligrosidad por deslizamiento.

El valor estimado de peligrosidad por deslizamientos es de 0.359, característico de sectores con peligro muy alto para mejor detalle se anexa el cuadro 16, donde se clasifica el grado de peligrosidad, de acuerdo al valor obtenido.



NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
	Relieve abrupto y escarpado, rocoso, cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Tipo de suelo de rellenos sanitarios. Falta de cobertura vegetal 70 - 100 %. Uso actual de suelo Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de rodes que sirven para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, intensidad destructiva. Vulcanismo: piroclastos mayor o igual a 1,000,000,000 m <sup>3</sup> , alcance mayor a 1000m, IEV mayor a 4. Descenso de Temperatura: Menor a -4°C, altitud 4000 - 6740msnm, nubosidad N = 0. El cielo estará despejado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Mayor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Tormentales: mayor a 60. Sequía: severa. precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 6.0. Grandes terremotos, intensidad XI y XII, Pendiente 30° a 45°, Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas: saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (chircavas).	0.260 ≤ SR < 0.403
PELIGRO ALTO	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por montañas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas. Tipo de suelo arenoso Edificos y/o limo (con y sin agua). Falta de cobertura vegetal 40 - 70 %. Uso actual de suelo Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbochos que se encuentran improductivas por periodos determinadas. Tsunami: Grado = 3, magnitud del sismo 7, intensidad muy grande. Vulcanismo: piroclastos 100,000,000 m <sup>3</sup> , alcance entre 500 a 1000m, IEV igual a 3. Descenso de Temperatura: -6 y -3°C, altitud 4000 - 4800msnm, nubosidad N es mayor o igual que 1/8 y menor o igual que 3/8, el cielo estará poco nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%. Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60. Sequía: moderada, precipitaciones anómalas negativas 100% a 300%. Sismo: 6.0 a 7.9: sismo mayor, intensidad IX y X. Pendiente 25° a 45°. Zonas inestables, masas rocosas con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales probablemente saturados, zonas de intensa erosión.	0.134 ≤ SR < 0.260
PELIGRO MEDIO	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico es idéntico sobre cerros andinos. Tipo de suelo granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial. Falta de cobertura vegetal 20 - 40 %. Uso actual de suelo Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc. Tsunami: Grado = 2, magnitud del sismo 6.5, intensidad grande. Vulcanismo: piroclastos 10,000,000 m <sup>3</sup> , alcance entre 100 a 500m, IEV igual a 2. Descenso de Temperatura: -3°C a 0°C, altitud 500 - 4000msnm, nubosidad N es mayor o igual que 4/8 y menor o igual que 5/8, el cielo estará nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30. Sequía: ligera, precipitaciones anómalas negativas 50% a 100%. Sismo: 4.5 a 5.9: Puedo causar daños menores en la localidad, intensidad VI, VII y VIII. Pendiente 20° a 30°, Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales probablemente saturados, moderadamente meteorizados.	0.068 ≤ SR < 0.134
PELIGRO BAJO	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, cuevas, tablazos, esteros; zona embombamiento árida y desértica. Tipo de suelo afloramientos rocosos y estratos de grava. Falta de cobertura vegetal 0 - 20 %. Uso actual de suelo Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del	0.035 ≤ SR < 0.068

Cuadro 16. La estratificación del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. El área de estudio presenta peligro alto (0.134 – 0.260). Fuente: CENEPRED

Una vez conocidos los valores de la peligrosidad se ha podido determinar que, el cerro Yanacolpa presenta peligro muy alto, Plano P-18.

#### 6.6.1.4 Zonificación de la peligrosidad a deslizamientos

El área evaluada abarca 35 has, de las cuales el 40% se encuentran en **Peligro Muy Alto**, abarcando el mayor porcentaje las laderas del cerro Oyón.

El 35 % de la zona evaluada presenta **Peligro Alto**, se localizan

principalmente en zonas donde se han cartografiado agrietamientos y suelos muy saturados.

Las zonas que presentan **Peligro Medio y Bajo**, abarcan el 25% restante del área evaluada, son suelos que presentan humedad media a alta y están conformados por suelos arcillo arenosos.

### 6.6.2 Flujos de detritos

Forma parte de los movimientos en masa, se caracterizan por ser flujos rápidos y violentos, para la evaluación se consideran factores como: textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento.

#### 6.6.2.1 Parámetros de evaluación por flujos de detritos

Se consideran los siguientes parámetros:

PARÁMETRO		TEXTURA DEL SUELO	PESO PONDERADO: 0.5481	
DESCRIPTORES	TX1	Fina: suelos arcillosos (arcilloso, arenoso, arcilloso limoso, arcilloso).	PTX1	0.503
	TX2	Moderadamente Fina: suelos francos (franco arcilloso, franco limoso arcillosos y/o franco limoso arcilloso).	PTX2	0.260
	TX3	Mediana: suelos francos (franco, franco limoso y/o limoso).	PTX3	0.134
	TX4	Moderadamente Gruesa: suelos francos (franco arenoso).	PTX4	0.068
	TX5	Guersa: suelos (arenosos, franco arenoso).	PTX5	0.035

Tabla 26. Textura del suelo, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO		PENDIENTE	PESO PONDERADO: 0.3061	
DESCRIPTORES	PN1	30° a 45°	PPN1	0.503
	PN2	25° a 45°	PPN2	0.260
	PN3	20° a 30°	PPN3	0.134
	PN4	10° a 20°	PPN4	0.068
	PN5	Menor a 5°	PPN5	0.035

Tabla 27. Pendiente, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO		(EROSIÓN)	PESO PONDERADO: 0.101	
DESCRIPTORES	①	Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales consolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas).	PE1	0.503
	②	moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales in consolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	PE2	0.260
	③	Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	PE3	0.134
	④	Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturados.	PE4	0.068
	⑤	Laderas con substrato rocoso no meteorizado. Se pueden presentar inestabilidades en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamientos y erosión.	PE5	0.035

Tabla 28. Erosión, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO		VELOCIDAD DEL DESPLAZAMIENTO	PESOS PONDERADOS	
DESCRIPTORES	V01	Extremadamente rápido (v = 5 m/s).	PVD1	0.503
	V02	Muy rápido (v = 0.5 m/s).	PVD2	0.260
	V03	Rápido (v = 0.0033 m/s).	PVD3	0.134
	V04	Moderada (v = 3.0093 x 10 <sup>-4</sup> m/s).	PVD4	0.068
	V05	Lenta a extremadamente lenta (v = 5.144x10 <sup>-8</sup> m/año a 5.144x10 <sup>-10</sup> m/año).	PVD5	0.035

Tabla 29. Velocidad del desplazamiento, Fuente: CENEPRED, 2014

A continuación en el Tabla 30 se cita el resultado de la evaluación del evento por reptación de suelos, cuyo valor es de 0.383.

FENÓMENO: REPTACION DE SUELOS								
Textura del suelo		Pendiente		Erosión		Velocidad del desplazamiento		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.548	0.503	0.306	0.503	0.101	0.503	0.045	0.503	0.503

Tabla 30. Evaluación del evento por flujos de detritos. Fuente: CENEPRED, 2014

### 6.6.2.2 Estimación de la susceptibilidad por flujos de detritos

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor posibilidad de ocurrencia de un evento sobre determinada área, lo cual está ligado a los factores condicionantes.

Para ello se deben evaluar tanto los factores condicionantes y detonantes para caracterizar la susceptibilidad:

$$\sum_{i=1}^n \text{Factor}_i \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$





### Factores Condicionantes

PARÁMETRO	RELIEVE	PESO PONDERADO: 0.145
DESCRIPTORES	V1 Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares.	PY1 0.503
	V2 El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas.	PY2 0.260
	V3 Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY3 0.134
	V4 Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY4 0.068
	V5 Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica.	PY5 0.035

Tabla 31. Relieve del Terreno, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	TIPO DE SUELOS	PESO PONDERADO: 0.515
DESCRIPTORES	V6 Rellenos sanitarios.	PY6 0.503
	V7 Arena Eólica y/o limo (con agua).	PY7 0.260
	V8 Arena Eólica y/o limo (sin agua).	PY8 0.134
	V9 Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o	PY9 0.068
	V10 Afloramientos rocosos y estratos de grava.	PY10 0.035

Tabla 32. Tipos de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	COBERTURA VEGETAL	PESO PONDERADO: 0.058
DESCRIPTORES	V11 70 - 100 %	PY11 0.503
	V12 40 - 70 %	PY12 0.260
	V13 20 - 40 %	PY13 0.134
	V14 5 - 20 %	PY14 0.068
	V15 0 - 5 %	PY15 0.035

Tabla 33. Cobertura Vegetal, Fuente: CENEPRED, 2014

PARÁMETRO	USO ACTUAL DE SUELOS	PESO PONDERADO: 0.282
DESCRIPTORES	V16 Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento.	PY16 0.503
	V17 Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbechos que se encuentran improductivas por periodos determinados.	PY17 0.260
	V18 Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc.	PY18 0.134
	V19 Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias.	PY19 0.068
	V20 Sin uso/improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad.	PY20 0.035

Tabla 34. Uso actual de suelos, Fuente: CENEPRED, 2014

El valor de los factores condicionantes evaluados se cita en la Tabla 11.



FACTORES CONDICIONANTES								
Tipo de relieve		Tipo de suelo		Cobertura vegetal		Uso actual de suelos		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.145	0.134	0.515	0.068	0.058	0.260	0.282	0.134	0.107

Tabla 35. Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes

### Factores detonantes

DESCRIPCIÓN	PARAMETRO	HIDROMETEREOLÓGICOS	PESO PONDERADO	0.106
SH1	Lluvias.	PSH1	0.503	
SH2	Temperatura.	PSH2	0.260	
SH3	Viento.	PSH3	0.134	
SH4	Humedad del aire.	PSH4	0.068	
SH5	Brillo solar.	PSH5	0.035	

Tabla 36. Hidrometeorológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

DESCRIPCIÓN	PARAMETRO	GEOLOGICO	PESO PONDERADO	0.260
SG1	Colisión de placas tectónicas.	PSG1	0.503	
SG2	Zona de actividad volcánica.	PSG2	0.260	
SG3	Fallas geológicas.	PSG3	0.134	
SG4	Movimiento de masas.	PSG4	0.068	
SG5	Desprendimiento de grandes bloques (rocas, hielo, etc.).	PSG5	0.035	

Tabla 37. Geológicos, Fuente: CENEPRED, 2014

DESCRIPCIÓN	PARAMETRO	INDUCIDO POR LA ACCIÓN HUMANA	PESO PONDERADO	0.633
SI1	Actividades económicas.	PSI1	0.503	
SI2	Sobre explotación de recursos naturales.	PSI2	0.260	
SI3	Infraestructura.	PSI3	0.134	
SI4	Asentamientos humanos.	PSI4	0.068	
SI5	Crecimiento demográfico.	PSI5	0.035	

Tabla 38. Inducidos por la acción del hombre, Fuente: CENEPRED, 2014

El valor de los factores desencadenantes evaluados se cita en el siguiente cuadro.

FACTORES DESENCADENANTES O DETONANTES						
Hidrometeorológicos		Geológico		Inducidos por la acción humana		Valor
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.106	0.503	0.260	0.068	0.633	0.134	0.156

Tabla 39. Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes, Fuente: CENEPRED, 2014



La susceptibilidad estimada se cita en el siguiente cuadro.

<b>SUSCEPTIBILIDAD</b>				
FACT. CONDICIONANTES		FACT. DETONANTES		
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.107	0.50	0.156	0.50	0.132

Tabla 40. Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio, Fuente: Propia

Este valor según el siguiente Cuadro 17, califica como SUSCEPTIBILIDAD MEDIA.

Nivel	Rango
<b>Alto</b>	0.260 – 0.503
<b>Medio</b>	0.068 – 0.260
<b>Bajo</b>	0.035 - 0.068

Cuadro 17. Rango establecido para determinar el nivel de susceptibilidad, elaborada en base a los niveles de peligrosidad establecidos por CENEPRED, 2014

### 6.6.2.3 Zonificación de la susceptibilidad por flujos de detritos

El cerro Yanacolpa presenta susceptibilidad alta ante movimientos en masa tipo reptación de suelos. Del área total de estudio (35 has), aproximadamente 10 has está afectada por deslizamientos, el 30% (3 has) presenta susceptibilidad media, mientras que el 70% equivalente a 7 has presenta susceptibilidad baja ante flujos de detritos.



#### 6.6.2.4 Estimación de la peligrosidad por flujo de detritos

Esta se realiza de la misma forma que los eventos anteriores, primero se evaluó el fenómeno y luego la susceptibilidad, sin embargo se debe tener en cuenta que, la susceptibilidad antes estimada es igual para todos los eventos. Por lo cual, se procedió a calcular la peligrosidad en la Tabla 41, **Plano P-18**.

ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD				
EVENTO O FENÓMENO		SUSCEPTIBILIDAD		
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.383	0.50	0.127	0.50	0.255

Tabla 41. Estimación de la peligrosidad por eventos geodinámicos de reptación

El valor estimado de peligrosidad por reptación de suelos es de 0.255, característico de sectores con peligro ALTO para mejor detalle se anexa en el Cuadro 18, donde se clasifica el grado de peligrosidad, de acuerdo al valor obtenido.



NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
	Relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glacerales. Tipo de suelo de referencias sanitarias. Falta de cobertura vegetal 70 - 100 %. Uso actual de suelo Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, intensidad desastrosa. Vulcanismo: piroclastos mayor o igual a 1,000,000,000 m <sup>3</sup> , alcance mayor a 1000m, IEV mayor a 4. Descenso de Temperatura: Menor a -6°C, altitud 4800 - 6740msnm, nubosidad N = 0. El cielo estará despejado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Tormentas: mayor a 60. Sequía: severa, precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 8.0: Grandes terremotos, intensidad IX y XII. Pendiente 30° a 45°. Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o liberadas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas).	0.260 ≤ R < 0.503
PELIGRO ALTO	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuyo ámbito se localizan numerosos lagos y lagunas. Tipo de suelo arena Edáfica y/o limo (con y sin agua). Falta de cobertura vegetal 40 - 70 %. Uso actual de suelo. Terreros cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los berbechos que se encuentran improductivos por períodos determinados. Tsunami: Grado = 3, magnitud del sismo 7, intensidad muy grande. Vulcanismo: piroclastos 100,000,000 m <sup>3</sup> , alcance entre 500 a 1000m, IEV igual a 3. Descenso de Temperatura: - 0 y -3°C, altitud 4000 - 4800msnm, nubosidad N es mayor o igual que 1/8 y menor o igual que 3/8, el cielo estará poco nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60. Sequía: moderada, precipitaciones anómalas negativas 100% a 300%. Sismo: 6.0 a 7.9: sismo mayor, intensidad IX y X. Pendiente 25° a 45°. Zonas inestables, masas rocosas con meteorización y/o liberación intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	0.134 ≤ R < 0.260
PELIGRO MEDIO	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos fanos andinos. Tipo de suelo granulares finos y suelos arcillosos sobre grava olivina o coluvial. Falta de cobertura vegetal 20 - 40 %. Uso actual de suelo Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente orgánica, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc. Tsunami: Grado = 2, magnitud del sismo 0.5, intensidad grandes. Vulcanismo: piroclastos 10,000,000 m <sup>3</sup> , alcance entre 100 a 500m, IEV igual a 2. Descenso de Temperatura: -3°C a 0°C, altitud 500 - 4000msnm, nubosidad N es mayor o igual que 4/8 y menor o igual que 5/8, el cielo estará nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30. Sequía: ligero, precipitaciones anómalas negativas 50% a 100%. Sismo: 4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad, intensidad VI, VII y VIII. Pendiente 20° a 30°. Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	0.068 ≤ R < 0.134
PELIGRO BAJO	Generalmente plano y ondulado, con cerros montañosos en la parte sur. Presenta pampas, dunes, tablazos, vegas; zona eminentemente árida y desértica. Tipo de suelo afloramientos rocosos y estratos de grava. Falta de cobertura vegetal 0 - 20 %. Uso actual de suelo Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del	0.035 ≤ R < 0.068

Cuadro 18. La descripción del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto, muy alto. El área de estudio presenta peligro alto. Fuente CENEPRED, 2014

Una vez conocidos los valores de la peligrosidad se ha podido determinar que, el cerro Yanacolpa presenta peligrosidad por flujos de detritos es alta, Plano P-18.



## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS

#### 7.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La zona de investigación se caracteriza por su complejidad geológica, geomorfológica y topográfica de relieve con pendiente elevada, alta sismicidad y presencia de lluvias intensas a extremas (Evento “el Niño”) por ello se presentan movimientos en masa como deslizamientos, flujo de detritos y movimientos complejos.

En cuanto a la geología, el movimiento en masa de mayor magnitud (deslizamiento flujo “Yanacolpa”), está conformada por sedimentos arcillosos de plasticidad media a alta, lo que incrementa la inestabilidad de las laderas del cerro Yanacolpa, esto sumado a las intensas lluvias, hace que este flujo se comporte como un flujo plástico muy denso no newtoniano, es por ello que puede transportar bloques de gran tamaño a extensas distancias.

Las geoformas presentes han sido fácilmente modeladas debido a la poca resistencia que ofrecen las rocas y sedimentos sobre los cuales se desarrolla el MM, es por ello que presenta formas suaves onduladas pero con cambios de pendientes bruscas, lo que se observa en la zona de transición entre el deslizamiento y el flujo.

Por tanto la actividad geodinámica de la zona es intensa, esto propicia la ocurrencia de movimientos en masa frecuentemente, como ocurrió en la última reactivación que se dio en el mes de Julio del año 2013, que afectó la seguridad física del poblado Yanacolpa Nuevo conformado por 20 viviendas.

Debido a la poca información en cuanto a catastro y cartografía digital a detalle del



distrito y en especial de la zona de investigación. Se realizó el levantamiento topográfico a detalle para delimitar la zona del deslizamiento y flujo, áreas susceptibles a MM

Se realizó un estudio geotécnico, mediante ensayos de suelo (Calicatas) para clasificar los materiales geotécnicamente y zonificar los suelos de acuerdo a su capacidad de carga. Los suelos del cerro Yanacolpa están conformados por arcillas con plasticidad alta y con capacidad de carga menor a  $1 \text{ kg/m}^2$ .

El nivel de peligrosidad de la zona de estudio en base al protocolo de CENEPRED, es muy alto frente a deslizamientos y flujos de detritos.

Con el fin de conocer a que profundidad se encuentra el basamento rocoso sobre el cual se emplazan los eventos investigados, se debe realizar el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) en varios puntos del cerro Yanacolpa, la finalidad de este es investigar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencial de potencial de superficie, esto brindará un mayor entendimiento de la calidad de roca. De esta manera se podrá detectar y establecer límites de capas horizontales del suelo estratificado.

Así también, se debe realizar un estudio hidrogeológico que permita delimitar la geometría y distribución de los flujos subterráneos, a fin de diseñar medidas de infraestructura de drenaje.



---

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agliardi, F., Crosta, G., Zanchi, A., 2001, Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics: *Engineering Geology*.
- BILBERTO ZAVALA C., PATRICIO VALDERRAMA (2007) – Primer Reporte de Zonas Críticas por peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Ancash.
- BILBERTO ZAVALA C. (2008) – Peligros Geológicos en el Distrito De Parobamba.
- BILBERTO ZAVALA., GRISELDA LUQUE P (2009) – Riesgos Geológicos en la Región Anchas.
- Brunsten, D., 1984, Mudslides, en Brunsten, D., y Prior, D.D, ed., *Slope instability*: New York, John Willey & Sons.
- Casagrande, A., 1936, Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earth fills, *Contributions to soil mechanics*: Boston Society of Civil Engineers.
- Corominas, J., 1989, Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera, en Corominas, ed., *Estabilidad de taludes y laderas naturales*: Zaragoza, Sociedad Española de Geomorfología.
- Corominas Dulcet, J., y García Yagué A., 1997, Terminología de los movimientos de laderas, en *Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Granada, España.
- Crozier, M.J., y Glade, T., 1999, Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues, en *Memorias, International Conference on Geomorphology*, Bologna.
- Crozier, M.J., y Glade, T., 2005, *Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach*, en Glade, T., et al. ed., *Landslide hazard and risk*: Chichester, England, John Willey & Sons.
- Cruden, D. M., 1991, A Simple definition of a landslide: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*.





- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- De Freitas, M.H., y Watters, R.J., 1973, Some field examples of toppling failure: Geotechnique.
- Dikau, R., Brundsen, D., Schrott, L., y Ibsen, M. ed., 1996, Landslide recognition, identification, movement and causes: Chichester, Wiley & Sons.
- ERICKSEN. (1970) – Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona (CRYRZA).
- Evans, S.G., y Hungr, O., 1993, The analysis of rock fall hazard at the base of talus slopes: Canadian Geotechnical Journal.
- FRANCO, E. (1998) - El Niño en el Perú: viejos y nuevos temas. Desastres y Sociedad (en línea), 6(9): 7-20. (Consulta: febrero 2009). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- García Yagué, A., 1966, Contribución para la clasificación de los movimientos de terreno: Revista de Obras Públicas.
- Glade, T y Crozier, M.J., 2005, The nature of landslide and hazard impact, en Glade, T., et al. ed., Landslide hazard and risk: Chichester, England, John Willey & Sons.
- Goodman, R.E., y Bray, J.W., 1976, Toppling of rock slopes, en Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes, Boulder: Boulder, Colorado.
- Hauser, A., 2002, Rock avalanche and resulting debris flow in Estero Parraguirre and río Colorado, Región Metropolitana, Chile, en Evans, S.G. y DeGraff, J.V. ed., Catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanisms: Boulder, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology.
- Hoek, E., y Bray, J.W., 1981, Rock slopes engineering: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hungr, O., 2005, Classification and terminology, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis.



- Hungr, O., Morgan, G.C., y Kellerhals, R., 1984, Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measure: Canadian Geotechnical Journal.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N., 2001, Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience.
- Hungr, O., Rawlings, G., y Evans, S.G., 2004, The occurrence and classification of massive rock slope failure: Felsbau, Vienna, Austria.
- Hutchinson, J.N., 1968, Mass Movements, en Fairbridge, R.W., ed., 1968, The Encyclopedia of Geomorphology: New York, Reinhold Book Corporation.
- Hutchinson, J. N., 1970, A coastal mudflow on the London clay cliffs at Beltingue, North Kent: Geotechnique.
- Hutchinson, J.N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, en Memorias, 5th International Conference on Landslides, Lausanne.
- IAEG. (1990) – Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería.
- Jakob, M., 2005, Debris flow hazard analysis, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis.
- Nichol, S., Hungr, O., y Evans S.G., 2002, Large scale brittle and ductile toppling of rock slopes: Canadian Geotechnical Journal.
- Pierson, T.C., 1986, Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St. Helen's, Washington, en Abrahams, A.D., ed., Hillslope processes: Boston, Allen and Unwin p.
- Pierson, T.C., 2005, Hyperconcentrated flow – transitional process between water flow and debris flow, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis.
- Riesgos Geológicos en la Región Ancash, 2009
- Sales, D., Origlia, D., Yenes Ortega, M., y Gardini, C., 2002, Deslizamiento rotacional en el Cerro Inti Huasi, Departamento Pringles, Provincia de San Luis: Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente.



- Schuster, R.L., Salcedo, D.A., Valenzuela, L., 2002, Overview of catastrophic landslides of South America in the twentieth century, en Evans, S.G. y DeGraff, J.V. ed., Catastrophic landslides: Effects, occurrence, and mechanisms: Boulder, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology.
- Selby, M. J., 1993, Hillslope materials and processes: Oxford University Press.
- TAVERA H. (1993) – La Tierra Tectónica y Sismicidad.
- TAVERA H., BERNAL I. (2002) – Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en el Perú.
- Varnes, D. J., 1958, Landslides types and processes, en Eckel, E.B., ed., Landslides and engineering practice, Special Report 28: Washington, DC, Highway Research Board, National Academy of Sciences.
- Varnes, D. J., 1978, Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report.
- Zavala, B. (2007) - Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Ancash.
- Zavala, B. (2008) - “Peligros Geológicos en el distrito de Parobamba”
- Zavala, B. (2009) - “Riesgos geológicos en la Región Ancash – Geodinámica e Ingeniería Geológica”
- ZAPATA, R. (2000) - Seguridad Física de Parobamba.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

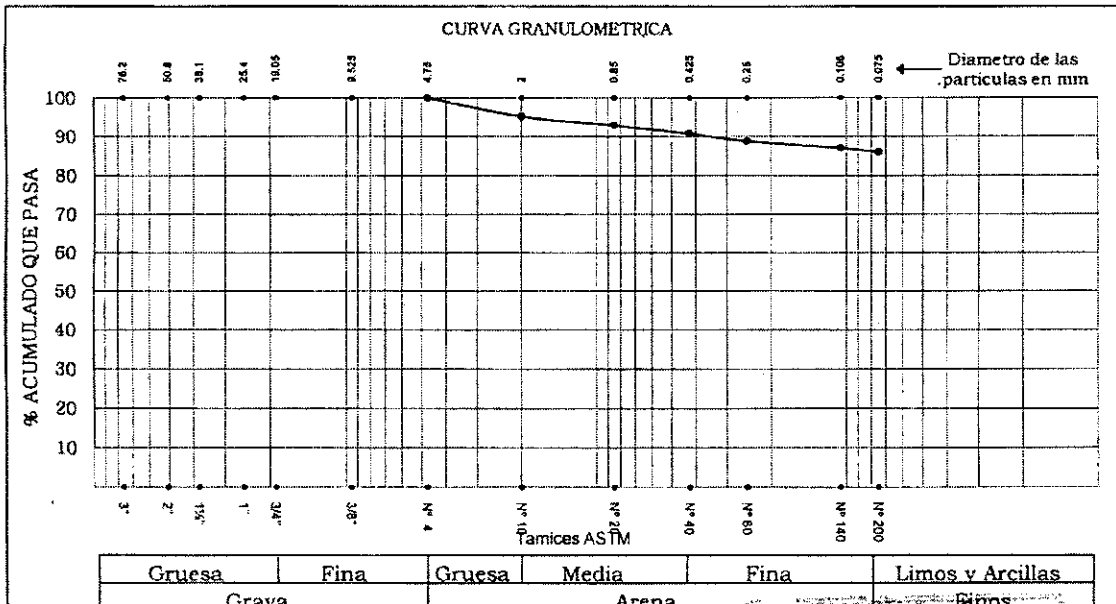
Solicitante : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA Calicata : C - 1

Proyecto : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS Muestra : MAB

Ubicación : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH Profundidad : 2.00 m

Fecha : La Molina. 23 de octubre de 2013

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20		Limite liquido (%)	82.85
2"	50.80		Limite plastico (%)	41.5
1 1/2"	38.10		Indice plastico (%)	41.5
1"	25.40		Limite de contraccion (%)	-
3/4"	19.05		Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/8"	9.525		<u>Coefficiente de:</u>	
Nº 004	4.750	100	-Uniformidad	
Nº 010	2.000	95	-Curvatura	
Nº 020	0.850	93	<u>Material:</u>	
Nº 040	0.425	91	-Grava %	0
Nº 060	0.250	89	-Arena %	14
Nº 140	0.106	87	-Finos %	86
Nº 200	0.075	86	<u>Clasificación:</u>	
			-AASHTO	
			-SUCS	OH
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	19.14



NOTA: La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante.

Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta  
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS.

DCR - LMS 368/2013

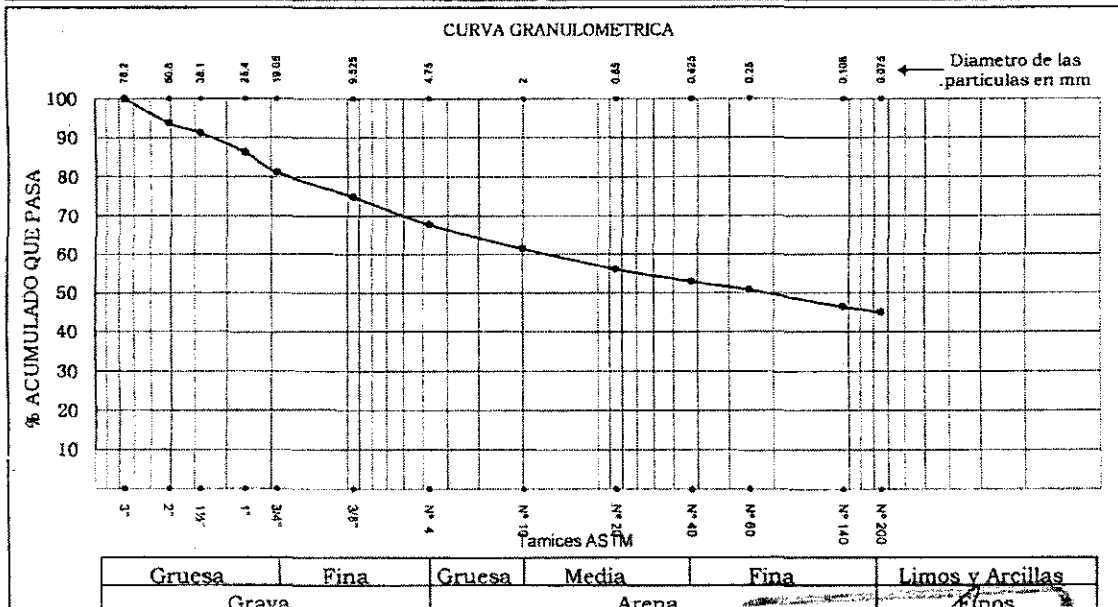
Solicitante : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA Calicata : C - 2

Proyecto : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS Muestra : MAB

Ubicación : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH Profundidad : 1.80 m

Fecha : La Molina, 23 de octubre de 2013

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20	100	Limite liquido (%)	44.2
2"	50.80	94	Limite plastico (%)	26.91
1 1/2"	38.10	91	Indice plastico (%)	17.29
1"	25.40	86	Limite de contraccion (%)	-
3/4"	19.05	81	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/8"	9.525	75	<i>Coefficiente de:</i>	
Nº 004	4.750	68	-Uniformidad	
Nº 010	2.000	62	-Curvatura	
Nº 020	0.850	56	<i>Material:</i>	
Nº 040	0.425	53	-Grava (%)	32
Nº 060	0.250	51	-Arena (%)	23
Nº 140	0.106	46	-Finos (%)	45
Nº 200	0.075	45	<i>Clasificación:</i>	
			-AASHTO	
			-SUCS	GM con arena
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	12.40



NOTA: La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante.

Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta  
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

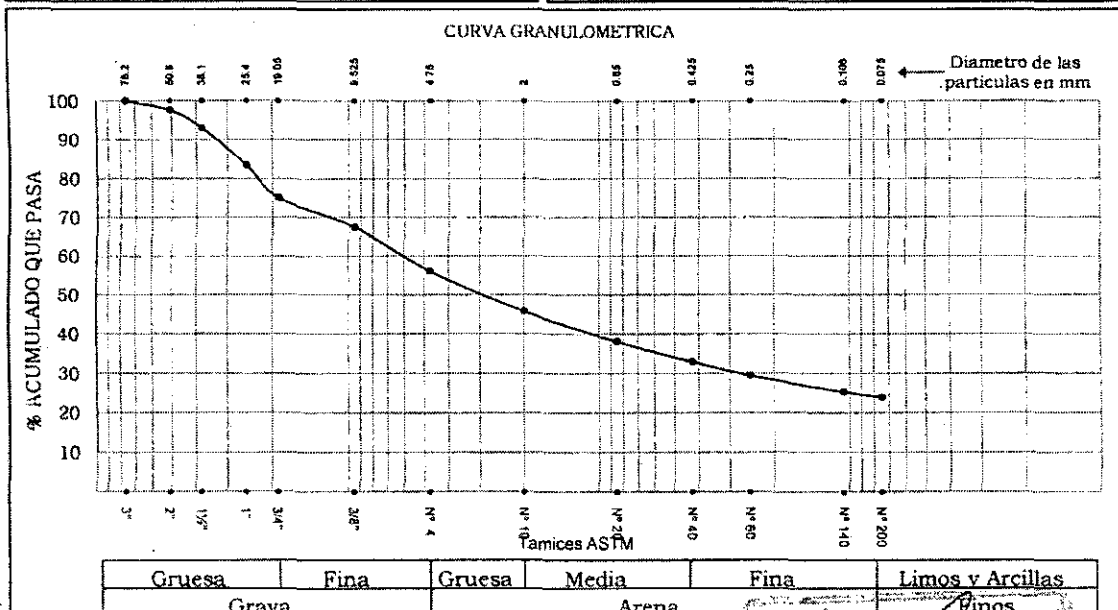
Solicitante : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA Calicata : C - 3

Proyecto : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS Muestra : MAB

Ubicación : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH Profundidad : 2.20 m

Fecha : La Molina, 23 de octubre de 2013

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20	100	Limite liquido (%)	35.6
2"	50.80	98	Limite plastico (%)	23.6
1 1/2"	38.10	93	Indice plastico (%)	12
1"	25.40	83	Limite de contraccion (%)	-
3/4"	19.05	75	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/8"	9.525	68	<u>Coefficiente de:</u>	
Nº 004	4.750	56	-Uniformidad	
Nº 010	2.000	46	-Curvatura	
Nº 020	0.850	38	<u>Material:</u>	
Nº 040	0.425	33	-Grava (%)	44
Nº 060	0.250	30	-Arena (%)	32
Nº 140	0.106	25	-Finos (%)	24
Nº 200	0.075	24	<u>Clasificacion:</u>	
			-AASHTO	
			-SUCS	GC con arena
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	9.93



NOTA: La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante

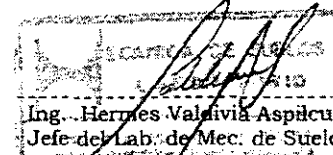
Ing. Hermes Valdivia Aspigueta  
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos

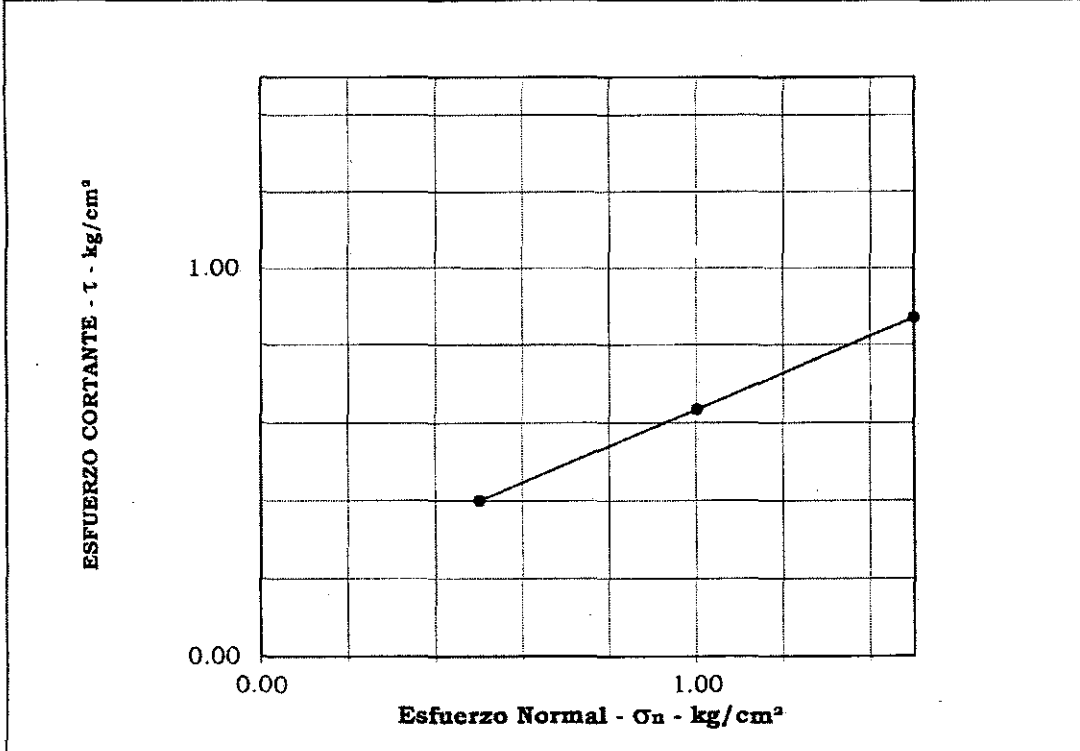
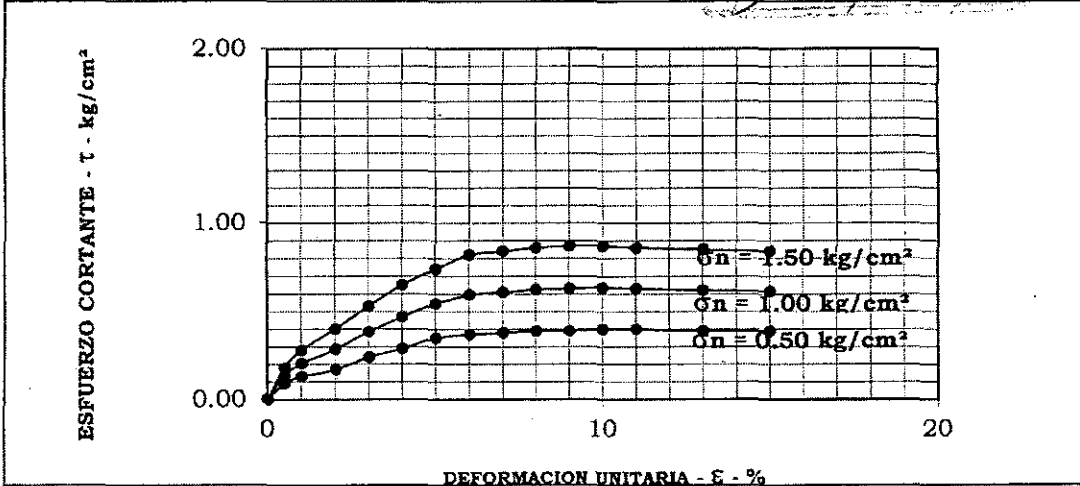


# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080

<b>Solicitante:</b> MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA	<b>Expediente:</b> DCR - LMS 368/2013
<b>Proyecto:</b> CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS	<b>Fecha:</b> 23-10-13
<b>Ubicación:</b> PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH	
<b>Sondaje:</b> C - 01	
<b>Muestra:</b> MAB-01 Profundidad 2.00 m.	

Angulo de fricción interna del suelo	: 14.03 °	 Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta Jefe del Lab. de Mec. de Suelos
Cohesión Aparente del suelo	: 0.18 kg/cm <sup>2</sup>	
Densidad Seca Promedio ( $\gamma_d < N^{\circ}4$ )	: 1.36 gr/cm <sup>3</sup>	
Humedad Saturado (%)	: 28.63 %	



Observación : densidad proporcionado por solicitante



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

**SOLICITANTE** : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA  
**PROYECTO** : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS  
**UBICACIÓN** : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH  
**CALICATA** : C - 01  
**PROFUNDIDAD** : 2.00 m.  
**FECHA** : La Molina , 23 de octubre de 2013

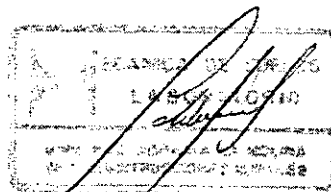
## ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Especimen	:	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Lado (cm)	:	6.00	6.00	6.00
Altura (cm)	:	2.544	2.544	2.544
Densidad Seca ( gr/cm <sup>3</sup> )	:	1.36	1.36	1.36
Humedad Inicial (%)	:	19.16	19.16	19.16
Humedad Saturación (%)	:	29.26	26.04	30.60
Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )	:	0.50	1.00	1.50

Deformación Unitaria ( E - % )	Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.5	0.09	0.14	0.18
1.0	0.13	0.21	0.28
2.0	0.17	0.29	0.40
3.0	0.24	0.39	0.53
4.0	0.29	0.47	0.65
5.0	0.35	0.55	0.74
6.0	0.37	0.60	0.82
7.0	0.38	0.61	0.84
8.0	0.39	0.63	0.86
9.0	0.39	0.63	0.87
10.0	0.40	0.64	0.87
11.0	0.40	0.63	0.86
13.0	0.39	0.62	0.85
15.0	0.39	0.62	0.84

Angulo de Fricción Interna del Suelo ( ° )  
Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm<sup>2</sup>)

14.03  
0.18



Ing. Hermes A. Valdivia A.  
Jefe Lab. Mecánica de Suelos

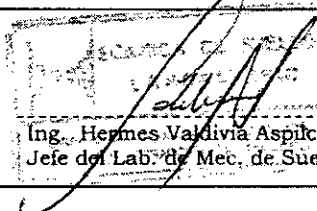


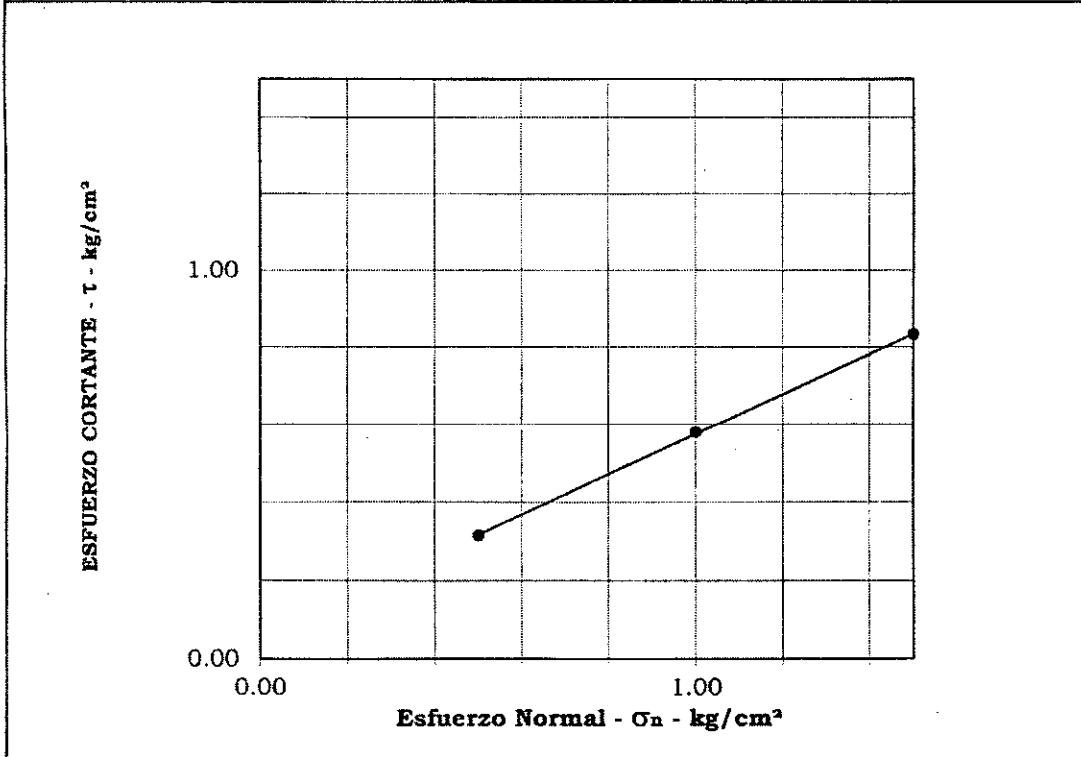
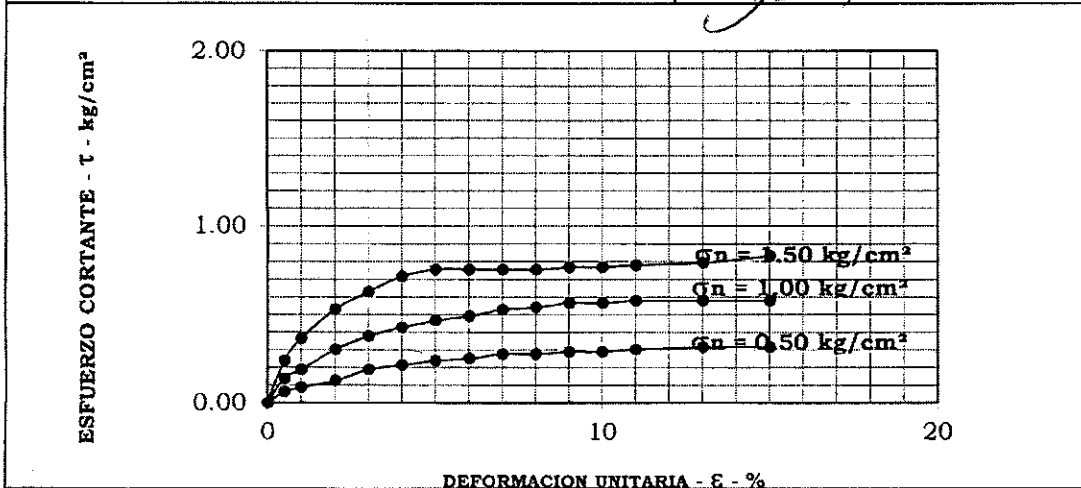


# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080

<b>Solicitante:</b> MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA	<b>Expediente:</b>
<b>Proyecto:</b> CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS	DCR - LMS 368/2013
<b>Ubicación:</b> PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH	<b>Fecha:</b>
<b>Sondaje:</b> C - 02	23-10-13
<b>Muestra:</b> MAB-01 <b>Profundidad:</b> 1.80 m.	

Angulo de fricción interna del suelo	:	29.00 °	 Ing. Hermes Valdivia Aspilueta Jefe del Lab. de Mec. de Suelos
Cohesión Aparente del suelo	:	0.08 kg/cm <sup>2</sup>	
Densidad Seca Promedio ( $\gamma_d < N^{\circ}4$ )	:	1.610 gr/cm <sup>3</sup>	
Humedad Saturado (%)	:	28.28 %	



Observación : densidad proporcionado por solicitante



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

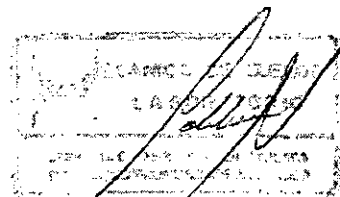
**SOLICITANTE** : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA  
**PROYECTO** : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS  
**UBICACIÓN** : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH  
**CALICATA** : C - 02  
**PROFUNDIDAD** : 1.80 m.  
**FECHA** : La Molina , 23 de octubre de 2013

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO

<b>Especimen</b>	:	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Lado (cm)</b>	:	6.00	6.00	6.00
<b>Altura (cm)</b>	:	2.544	2.544	2.544
<b>Densidad Seca ( gr/cm<sup>3</sup>)</b>	:	1.61	1.61	1.61
<b>Humedad Inicial (%)</b>	:	12.39	12.39	12.39
<b>Humedad Saturación (%)</b>	:	28.80	27.66	28.39
<b>Esfuerzo Normal (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	:	0.50	1.00	1.50

<b>Deformación Unitaria</b> ( E - % )	<b>Esfuerzo Cortante</b> (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.5	0.06	0.14	0.24
1.0	0.09	0.19	0.37
2.0	0.13	0.30	0.53
3.0	0.19	0.38	0.63
4.0	0.21	0.43	0.72
5.0	0.24	0.47	0.76
6.0	0.25	0.49	0.76
7.0	0.28	0.53	0.76
8.0	0.28	0.54	0.76
9.0	0.29	0.57	0.77
10.0	0.29	0.57	0.77
11.0	0.30	0.58	0.78
13.0	0.31	0.58	0.79
15.0	0.31	0.58	0.83

**Angulo de Fricción Interna del Suelo ( ° )** 29.00  
**Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm<sup>2</sup>)** 0.08



**Ing. Hermes A. Valdivia A.**  
**Jefe Lab. Mecánica de Suelos**



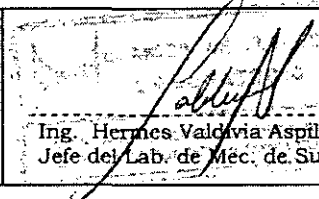
# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

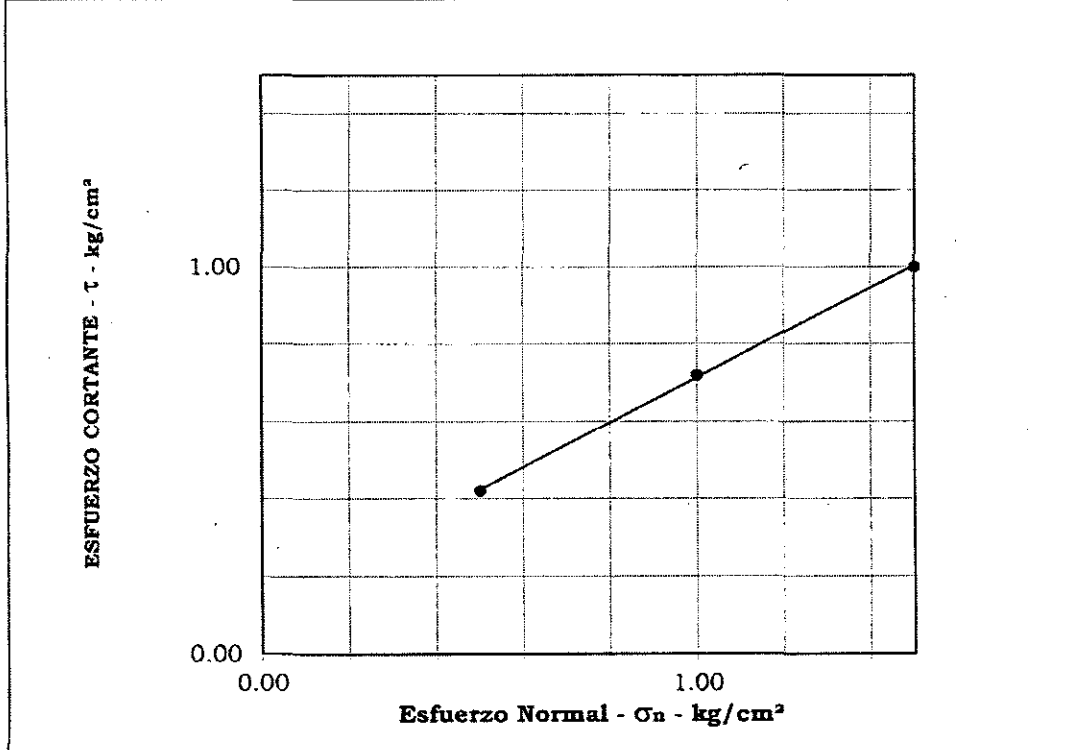
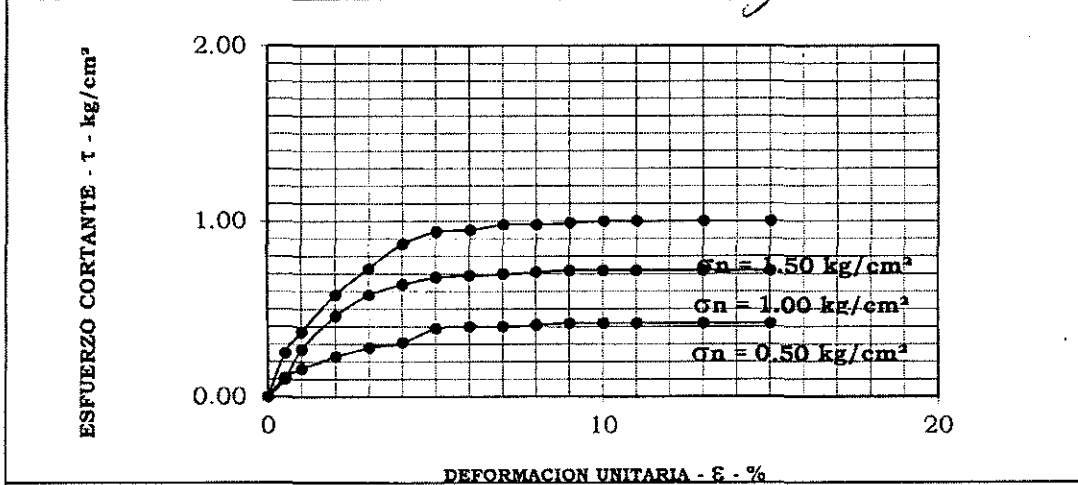
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D - 3080

<b>Solicitante:</b> MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA	<b>Expediente:</b>
<b>Proyecto:</b> CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS	DCR - LMS 368/2013
<b>Ubicación:</b> PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH	<b>Fecha:</b>
<b>Sondaje:</b> C - 03	23-10-13
<b>Muestra:</b> MAB-01 Profundidad 2.20 m.	

Angulo de fricción interna del suelo	:	29.70 °	 Ing. Hermes Valdavia Aspilcueta Jefe del Lab. de Méc. de Suelos
Cohesión Aparente del suelo	:	0.13 kg/cm <sup>2</sup>	
Densidad Seca Promedio ( $\gamma_d < N^{\circ}4$ )	:	1.500 gr/cm <sup>3</sup>	
Humedad Saturado (%)	:	24.44 %	



Observación :



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

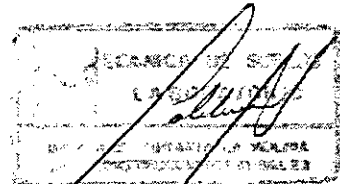
**SOLICITANTE** : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA  
**PROYECTO** : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS  
**UBICACIÓN** : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH  
**CALICATA** : C - 03  
**PROFUNDIDAD** : 2.20 m.  
**FECHA** : La Molina , 23 de octubre de 2013

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO

<b>Especimen</b>	:	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Lado (cm)</b>	:	6.00	6.00	6.00
<b>Altura (cm)</b>	:	2.544	2.544	2.544
<b>Densidad Seca ( gr/cm<sup>3</sup>)</b>	:	1.50	1.5	1.5
<b>Humedad Inicial (%)</b>	:	9.93	9.93	9.93
<b>Humedad Saturación (%)</b>	:	23.25	21.29	28.80
<b>Esfuerzo Normal (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	:	0.50	1.00	1.50

<b>Deformación Unitaria</b> ( E - % )	<b>Esfuerzo Cortante</b> (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.5	0.11	0.10	0.25
1.0	0.16	0.27	0.37
2.0	0.23	0.46	0.58
3.0	0.28	0.58	0.73
4.0	0.31	0.64	0.87
5.0	0.39	0.68	0.94
6.0	0.40	0.69	0.95
7.0	0.40	0.70	0.98
8.0	0.41	0.71	0.98
9.0	0.42	0.72	0.99
10.0	0.42	0.72	1.00
11.0	0.42	0.72	1.00
13.0	0.42	0.72	1.00
15.0	0.42	0.72	1.00

**Angulo de Fricción Interna del Suelo ( ° )** 29.70  
**Cohesión Aparente del Suelo (kg/cm<sup>2</sup>)** 0.13



**Ing. Hermes A. Valdivia A.**  
**Jefe Lab.Mecánica de Suelos**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR - LMS 368/2013

Solicitante : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAROBAMBA

Proyecto : CARACTERIZACION GEODINAMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL DISTRITO DE PAROBAMBA-ANEXO CAJAS

Ubicación : PAROBAMBA-POMABAMBA-ANCASH

Fecha : La Molin: 23 de octubre de 2013

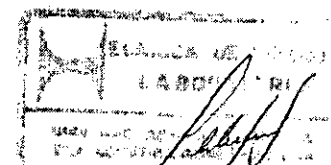
## CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE

CALICATAS	C (Tn/m <sup>2</sup> )	γ (Tn/m <sup>3</sup> )	γ <sub>max</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	γ <sub>min</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	D (m)	B (m)	Dr (%)	Φ	Nc	Nq	Ny		qult	F	qa
C - 1	0.18	1.62			1.20	1.00		14.03	12.13	4.03	1.27	B	11.50	3.00	0.38
C - 2	0.08	1.61			1.20	1.00		29.00	5.70	19.98	16.18	B	49.61	3.00	1.65
C - 3	0.13	1.50			1.20	1.00		29.70	5.70	21.72	18.25	B	51.01	3.00	1.70
C - 4	0.12	1.67			1.20	1.00		29.74	5.70	21.82	18.36	B	56.88	3.00	1.90
C - 5	0.10	1.61			1.20	1.00		26.55	28.27	11.81	10.81	B	33.45	3.00	1.12
C - 6	0.00	1.86	2.14	1.74	1.20	1.00	34.52	30.18	0.00	22.97	19.76	B	65.97	3.00	2.20
C - 7	0.12	1.78			1.20	1.00		24.90	24.95	12.59	8.21	B	36.63	3.00	1.22
C - 8	0.08	1.64			1.20	1.00		26.50	5.70	15.06	10.72	B	37.26	3.00	1.24
C - 9	0.10	1.47			1.20	1.00		26.56	28.29	15.16	10.83	B	36.79	3.00	1.23

Donde:

C (Tn/m <sup>2</sup> )	Cohesión aparente	B (m)	Ancho mínimo de cimentación - zapatas
γ (Tn/m <sup>3</sup> )	Densidad natural	Φ	Ángulo de fricción interna
γ <sub>max</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	Densidad máxima	qult (Tn/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga última
γ <sub>min</sub> (Tn/m <sup>3</sup> )	Densidad mínima	qa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible
D (m)	Profundidad de cimentación	Nc, Nq, Ny	Factores de carga
Dr (%)	Compacidad relativa		

Observacion: Calicata C - 1 (Turba)



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta  
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos