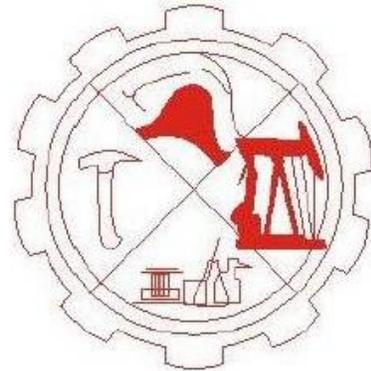


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“EVALUACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS EN MASA DEL TIPO DESLIZAMIENTO EN EL CENTRO POBLADO DE CARAMPA, DISTRITO DE PAZOS, PROVINCIA DE TAYACAJA, REGIÓN HUANCAMELICA, APLICANDO EL PROTOCOLO DE CENEPRED”**

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

**PRESENTADA POR:**

-----  
Bach. Roberth Paúl Carrillo Elizalde

Piura - Perú, 2015

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

**“EVALUACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS EN  
MASA DEL TIPO DESLIZAMIENTO EN EL CENTRO POBLADO DE  
CARAMPA, DISTRITO DE PAZOS, PROVINCIA DE TAYACAJA,  
REGIÓN HUANCVELICA, APLICANDO EL PROTOCOLO DE  
CENEPRED ”**

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

-----  
**Br. Roberth Paúl Carrillo Elizalde**  
**(EJECUTOR)**

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

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

**“EVALUACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS EN  
MASA DEL TIPO DESLIZAMIENTO EN EL CENTRO POBLADO DE  
CARAMPA, DISTRITO DE PAZOS, PROVINCIA DE TAYACAJA,  
REGIÓN HUANCVELICA, APLICANDO EL PROTOCOLO DE  
CENEPRED ”**

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

**JURADO CALIFICADOR:**

-----  
**DR. HIPÓLITO TUME CHAPA**  
**(PRESIDENTE)**

-----  
**DR. DANTE LLANOS CAYCHO**  
**(SECRETARIO)**

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



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mi familia, en particular a mis padres Grimanesa y Franklin por su incondicional apoyo durante mi formación como ingeniero geólogo, a mi abuelo Rosas Carrillo que en paz descansa, personas especiales e importantes que a través de sus enseñanzas forjaron en mi un hombre de valores.

Roberth Carrillo



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Moreano Segovia, docente de la Universidad Nacional de Piura (UNP) y al Ing. Juan Carlos Gómez, jefe de la Unidad de Geodinámica Superficial del Instituto Geofísico del Perú (IGP), personas que han colaborado como asesores para la formulación y realización de la presente tesis de investigación.

Al Ing. Segundo Ortiz por su participación y colaboración durante los trabajos realizados en campo.

También agradezco a la Universidad Nacional de Piura quien me acogió en sus aulas durante el desarrollo de mi carrera universitaria, de igual manera a cada uno de los docentes por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias, las mismas que han contribuido en mi formación como profesional en las ciencias geológicas.



## RESUMEN

Un deslizamiento rotacional regresivo de gran magnitud ha sido reconocido en la parte baja del Centro Poblado (CP) de Carampa, en las coordenadas UTM 504460 E 8647034 N proyección 18 S, entre las cotas 2670 y 3000 m.s.n.m, provincia Tayacaja, región Huancavelica. La escarpa principal del deslizamiento se originó a partir del año 2009, se ubica a 125 m al Este del C.P Carampa, sobre el sector medio de una ladera.

El substrato donde se asienta el poblado de Carampa se encuentra conformado por limoarcillitas intercalas con estratos de lutitas y areniscas pertenecientes al Grupo Cabanillas (D-ca) del Devónico, siendo susceptibles a deslizarse, como evidencias se ha identificado la presencia de agrietamientos y cárcavas en el terreno que siguen dirección Oeste - Este, siendo atribuidos principalmente a las precipitaciones pluviales que ocurren en la zona de estudio. Cabe resaltar que, la cárcava antes mencionada presenta aproximadamente 600 m de longitud y se encuentra atravesando al centro poblado de Carampa por lo que podría convertirse en la zona de arranque para la reactivación de un evento geodinámico, afectando así la seguridad física de los habitantes de dicho poblado.

Además, se tiene que los materiales de cobertura (suelos) que conforman el área de estudio se encuentran constituidos por arenas limosas (SM) principalmente y gravas limosas en menor proporción, que en contacto con el agua tienden a saturarse e incrementar su presión hidrostática, hasta alterar el equilibrio entre las partículas de los suelos, formando un plano de falla y el deslizamiento de los suelos inconsolidados. Ante ello se ha elaborado un análisis de estabilidad de taludes considerando las propiedades físicas de los suelos y rocas de la ladera sobre la cual se asienta el Centro Poblado de Carampa, en el cual los factores de seguridad presentan valores inestables.

Para realizar la evaluación de las zonas susceptibles a deslizarse, se ha optado por usar el protocolo de CENEPRED a fin de poder delimitar zonas propensas ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra en la zona de estudio.

**Palabras clave:** movimientos en masa, deslizamientos, protocolo de CENEPRED



## ABSTRACT

A regressive rotational slippage of great magnitude has been recognized in the lower Carampa Town Center at coordinates N 8647034 E 504460 UTM projection 18 S, between 2670 and 3000 m levels, Tayacaja province, Huancavelica region. The main scarp of the landslide originated from the year 2009, is located 125 m east of the C.P Carampa on the middle section of a hillside.

The substrate where the village sits Carampa is made up intercalas limoarcillitas with layers of shale and sandstone belonging to Cabanillas Group (D-ca) Devonian, being susceptible to slip, as evidence has identified the presence of cracks and gullies in the ground that continue westbound - this being attributed mainly to rainfall occurring in the study area. Significantly, the above gully presents approximately 600 m in length and is going through the town center Carampa so could become the starting area for the revival of a geodynamic event, affecting the security of the citizens that town.

In addition, we have that cover materials (soils) that make the study area are formed by silty sands (SM) primarily and silty gravel lesser extent, in contact with water tend to saturate and increase hydrostatic pressure, to alter the balance between soil particles, forming a fault plane and the sliding of the unconsolidated soils. Before it has developed a slope stability analysis considering the physical properties of soils and rocks of the hillside on which sits the Town Center Carampa where safety factors have unstable values.

To perform the evaluation of areas susceptible to slip, it was decided to use the protocol CENEPRED in order to delineate areas prone to the occurrence of a landslide in the study area.

**Keywords: Landslides, mudslides, CENEPRED protocol.**



## CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	17
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	19
1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL .....	19
1.4.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS .....	19
1.4.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	20
1.4.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	22
1.5 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	23
CAPÍTULO II .....	24
2.1 MOVIMIENTOS EN MASA (MM) .....	24
2.1.1 Definición .....	24
2.1.2 Clasificación de los movimientos en masa .....	24
2.1.3 Tipos de movimientos en masa .....	25
2.1.4 Factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa .....	39
2.1.5 Técnicas de investigación para los movimientos en masa del tipo deslizamiento .....	43
CAPÍTULO III .....	74
3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	74
3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	74



---

3.1.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	75
CAPÍTULO IV .....	77
4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	77
4.2 CLIMA .....	77
4.3 HIDROGRAFÍA .....	82
4.4 GEOMORFOLOGÍA .....	82
4.4.1 Modelo Digital del Terreno (MDT) .....	83
4.4.2 Pendientes .....	84
4.4.3 Unidades Geomorfológicas .....	84
CAPÍTULO V .....	89
5.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	89
5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	92
5.3 GEOLOGÍA LOCAL .....	92
5.3.1 Unidades litológicas .....	93
CAPÍTULO VI .....	99
6.1 GEODINÁMICA INTERNA .....	99
6.2 GEODINÁMICA EXTERNA .....	106
6.2.1 Deslizamiento de tierra .....	106
CAPÍTULO VII .....	112
7.1 GEOTECNIA .....	112
7.1.1 Exploraciones a cielo abierto o calicatas (Norma ASTM D 420) .....	112
7.1.2 Sondajes eléctricos verticales (SEVs) .....	117
7.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	129
7.2.1 Principio del Análisis .....	130
7.2.2 Condiciones del Análisis .....	130

---



---

7.2.3 Factor de seguridad .....	131
7.2.4 Resultados del análisis. ....	131
CAPÍTULO VIII.....	133
8.1 ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD A FENÓMENOS NATURALES EN LAS INMEDIACIONES DEL C.P CARAMPA .....	133
8.1.1 Deslizamiento en el C.P Carampa .....	133
CAPÍTULO IX .....	141
9.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	141
9.2 DISCUSIÓN .....	142
CAPÍTULO X.....	143
10.1 CONCLUSIONES .....	143
10.2 RECOMENDACIONES.....	146
CAPÍTULO XI .....	147

## RELACIÓN DE PLANOS

- P-01. Ubicación
- P-02. Hidrografía
- P-03. Modelo digital del terreno (MDT)
- P-04. Pendientes
- P-05. Geomorfología
- P-06. Geología Regional
- P-07. Geología Local
- P-08. Geodinámica externa
- P-09. Ubicación de exploraciones
- P-10. Sección Geoeléctrica A-A'



- P-11. Sección Geoeléctrica B-B'
- P-12. Sección Geológica – Geotécnica A-A'
- P-13. Sección Geológica – Geotécnica B-B'
- P-14. Análisis de estabilidad de taludes estático A-A'
- P-15. Análisis de estabilidad de taludes pseudoestático A-A'
- P-16. Análisis de estabilidad de taludes estático B-B'
- P-17. Análisis de estabilidad de taludes pseudoestático B-B'
- P-18. Mapa de peligrosidad

## RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

- Foto 01: Lecho fluvial, correspondiente al río Acrora, cuyo cauce drena sus aguas de noroeste a sureste.
- Foto 02. Lomada ubicada al sureste del C.P de Carampa, cuyo agente modelador se atribuye al tectonismo de la Cordillera Occidental.
- Foto 03. Cadenas de montañas ubicadas en el extremo oeste del C.P Carampa (línea roja), el C.P se asienta sobre la ladera de una montaña (línea azul).
- Foto 04. Lutitas-pizarrosas se presentan intensamente fracturadas, ligeramente oxidadas, con rumbo N77°W y Buzamiento 32°SW.
- Foto 05: Lutitas pizarrosas muy fracturadas que se presentan suprayaciendo las limoarcillitas, estos afloramientos se ubican en la quebrada Tranca.
- Foto 06: Los afloramientos de dacitas se ubican a 4.5 Km, al noroeste del Centro Poblado de Carampa.
- Foto 07: Materiales granulares de origen aluvial, constituidos por cantos y gravas que se encuentran envueltos en matriz areno-limosa. Se ubican a 1km al noreste del centro poblado de Carampa, obstruyendo la vía hacia el centro poblado de Pichus.
- Foto 08: Depósitos fluviales que han sido transportados por corrientes de agua y depositados en el río Acrora.
- Foto 09: Deslizamiento de tierra (líneas celestes) ubicado en la parte baja de la ladera sobre la que se asienta el C.P de Carampa (línea blanca).
- Foto 10: Se diferencia cárcava principal que en el año 2013 (A) presentaba profundidad de 1.60 m, mientras que, en el año 2015 (B) aumento su profundidad a 2.40 m.



- Foto 11: En las inmediaciones de la zona urbana se proyecta la cárcava principal (flechas celestes), afectando los cimientos y alumbrado público de las calles (círculo rojo).
- Foto 12: Cárcava secundaria que se extiende desde la parte baja de la municipalidad del C.P Carampa hasta la corona del deslizamiento. A (Tomada año 2013) y B (Tomada el año 2015).
- Foto 13: Grietas identificadas en la plaza principal del C.P de Carampa.
- Foto 14: Escarpa principal del deslizamiento.

## RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 01: Esquema de caída de rocas.
- Figura 02: Esquema del vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976).
- Figura 03: Esquema de expansiones laterales, según Varnes (1978).
- Figura 04: Movimientos de materiales fluidos.
- Figura 05: Partes de un deslizamiento.
- Figura 06: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).
- Figura 07: a) Deslizamiento traslacional b) Deslizamiento rotacional. Figura 08: Signos para reconocer un problema de deslizamiento.
- Figura 09: Clasificación de los factores condicionantes y desencadenantes del terreno (Ayala-Carcedo y Olcinas 2002).
- Figura 10: Variaciones en el arreglo de electrodos para ensayos de resistividad eléctrica. (Hack, 2000).
- Figura 11: Esquema de un ensayo de refracción sísmica.
- Figura 12: Métodos de análisis de estabilidad. Suarez.
- Figura 13: Fuerzas actuantes en una cuña simple.
- Figura 14: Esquema de una falla de doble cuña. Conforth, 2005.
- Figura 15: Esquema de una falla de triple cuña. Conforth, 2005.
- Figura 16: Talud y superficie de falla espiral logarítmica. Frohlich, 1953.
- Figura 17: Fuerzas en un análisis de arco circular, ( $\varphi = 0$ ). Duncan y Wright, 2005.
- Figura 18: Ecuación de Fellenius.
- Figura 19: Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius. Duncan y Wright, 2005.



- Figura 20: Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado, Duncan y Wrigth, 2005.
- Figura 21: Ecuación de Bishop.
- Figura 22: Ecuación de Jambú.
- Figura 23: Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.
- Figura 24: Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos naturales.
- Figura 25: Ubicación de estaciones meteorológicas en los alrededores de la sub-cuenca (línea roja) que abarca la zona de estudio.
- Figura 26: Distribución de temperatura en la zona de estudio.
- Figura 27: Distribución de precipitaciones acumuladas mensuales máximas de la zona de estudio.
- Figura 28: Columna crono-litoestratigráfica regional del área de estudio, Fuente: INGEMMET, 2002.
- Figura 29: Columna crono-litoestratigráfica local del área de estudio, Fuente: INGEMMET, 2002.
- Figura 30: Sismicidad del Perú para el período 1960 - 1995, magnitud mb. 5.0 a) Distribución de epicentros con foco superficial (h. 60 km). b) Distribución de epicentros con foco intermedio ( $60 < h < 350$  km) y profundo ( $h > 300$  km). Donde: Zona de Costa (ZC), Cordillera Occidental (COC), Altiplano (ALT), Cordillera Oriental (COR), Zona Subandina (ZS) y Llano Amazónico (LA). Los símbolos en negro indican la profundidad de los sismos. Fuente: Tavera, 1998.
- Figura 31: Perfil de la región central del Perú. El círculo rojo indica la posición de la zona de estudio. Fuente IGP.
- Figura 32: Fuentes sismogénicas superficiales. Fuente: Alva y Castillo (1,993).
- Figura 33: Mapa de distribución máximas intensidades. Deza 1,971.
- Figura 34: Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 50 años. Fuente: Alva y Castillo, 1993.
- Figura 35: Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 100 años. Fuente: Alva y Castillo, 1993.
- Figura 36: Esquema de medición para el SEV.
- Figura 37: Sección geoelectrica A-A'.
- Figura 38: Sección geoelectrica B-B'.
- Figura 40: Sección geológica – geotécnica B-B'.



## RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 01: Tipos de movimientos en masa (MM).
- Tabla 02: Tamaño de deslizamientos por área en planta.
- Tabla 03: Valores típicos de resistividad.
- Tabla 04: Metodologías para la realización de análisis de estabilidad de taludes.
- Tabla 05: Métodos numéricos para la estabilidad de taludes.
- Tabla 06: Textura del suelo.
- Tabla 07: Pendiente.
- Tabla 08: Erosión.
- Tabla 09: Velocidad de desplazamiento
- Tabla 10: Relieve.
- Tabla 11: Tipo de suelos.
- Tabla 12: Cobertura vegetal.
- Tabla 13: Uso actual de suelos.
- Tabla 14: Hidrometereológicos.
- Tabla 15: Geológico.
- Tabla 16: Inducido por acción humana.
- Tabla 17: Clasificación de la estabilidad de acuerdo al factor de seguridad.
- Tabla 18: La estratificación del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. El área de estudio presenta peligro muy alto ( $> 0.260$ ).

## RELACIÓN DE CUADROS

- Cuadro 01: Ubicación de estaciones meteorológicas situadas alrededor de la zona de estudio.
- Cuadro 02: Registro de temperaturas y precipitaciones durante el período 1960 – 2002.
- Cuadro 03: Ubicación de calicatas realizadas.
- Cuadro 04: Propiedades de los suelos en el C.P Carampa.
- Cuadro 05: Valores obtenidos del ensayo de corte directo.



- Cuadro 06: Ubicación de SEVs realizados.
- Cuadro 07: Capas geoelectricas identificadas de acuerdo a los valores de resistividad registrados en campo.
- Cuadro 08: Parámetros geotécnicos de unidades geológicas identificadas en el C.P Carampa.
- Cuadro 09: Resultados del análisis de estabilidad de taludes.
- Cuadro 10: Textura del suelo.
- Cuadro 11: Pendiente.
- Cuadro 12: Erosión.
- Cuadro 13: Velocidad de desplazamiento.
- Cuadro 14: Evaluación del evento.
- Cuadro 15: Relieve del C.P Carampa.
- Cuadro 16: Tipo de suelo.
- Cuadro 17: Cobertura vegetal del C.P Carampa.
- Cuadro 18: Uso actual de suelos.
- Cuadro 19: Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes.
- Cuadro 20: Hidrometereológicos.
- Cuadro 21: Geológico.
- Cuadro 22: Inducido por la acción humana.
- Cuadro 23: Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes.
- Cuadro 24: Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio.
- Cuadro 25: Estimación de la peligrosidad del área de estudio.



## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra situado en el flanco Oriental del Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, razón por la cual presenta una intensa actividad tectónica debido a la convergencia entre las placas: Dorsal de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental). Es así que durante el Cretáceo se generó un rasgo geográfico resaltante: la Cordillera de los Andes cuyo origen se dio por procesos de levantamiento y/o epirogénesis, entre otros. Sumado a ello, las condiciones: climáticas, geológicas y las actividades humanas que permiten que nuestro territorio se encuentre expuesto a una serie de peligros geológicos, entre los cuales resaltan los movimientos en masa. Estos eventos causan impactos socioeconómicos y ambientales negativos que perjudican el desarrollo y la sostenibilidad del país.

Según la base de datos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) los movimientos en masa del tipo deslizamientos, después de las precipitaciones pluviales intensas, representan el mayor número de emergencias ocasionadas por desastres naturales, información registrada durante el período 2002 - 2012.

Ante ello el estado peruano desde 1972 viene realizando denodados esfuerzos para contribuir a la mitigación de fenómenos naturales a través de la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), creando el Sistema Nacional de Defensa Civil, el mismo que estuvo a cargo del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Sin embargo, en el año 2011 se crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre (SINAGERD) a cargo del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED), este último en Octubre del año 2013 ha publicado: El "Manual Para la Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales" (protocolo de CENEPRED) que constituye una herramienta básica para la GRD, teniendo por finalidad contribuir a la reducción y prevención de impactos negativos que puedan ocasionar los desastres naturales.

En el siguiente estudio se evaluará la dinámica de las zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, haciendo uso técnicas de investigación geológica (geotecnia y geofísica), mediante la aplicación del protocolo de CENEPRED a



fin de contribuir con el plan de desarrollo humano y el ordenamiento territorial del distrito en mención.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La mayor parte de la región Huancavelica, se encuentra controlada por el dominio estructural tanto de la Cordillera Occidental como de la Cordillera Oriental, en ellas predominan relieves característicos de topografías empinadas, con pendientes abruptas (mayores a los 40°).

Tal es el caso del centro poblado de Carampa, provincia de Pazos, región Huancavelica, ubicado en las coordenadas UTM ESTE 503807 m, NORTE 8647023, que se asienta sobre unidades geomorfológicas de 3100 m.s.n.m de elevación, específicamente sobre la parte media de una montaña (ladera). Además de la topografía, existen otros factores condicionantes como: la litología, tipo de suelos, escasa vegetación y la hidrología, estos se encuentran sujetos a procesos denudativos de geodinámica externa como producto de las precipitaciones pluviales intensas, considerado como el factor detonante para la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la zona de estudio.

La presencia de las lluvias alteran la estabilidad de los suelos, a través de las escorrentías superficiales, las mismas que se infiltran al subsuelo (abstracciones iniciales), produciendo su saturación y un aumento en la tensión superficial entre las partículas que lo conforman, la cohesión disminuiría al igual que la resistencia del suelo, generando así deslizamientos. También se considera como factor detonante los movimientos sísmicos producto de la intensa actividad tectónica a la que se encuentra vinculado nuestro territorio.

Teniendo en cuenta los factores condicionantes (topografía, litología, suelos, hidrología, etc), detonantes (precipitaciones pluviales y los sismos) y el cartografiado geodinámico realizado en campo, se ha podido determinar que el centro poblado de Carampa se encuentra sujeto a la ocurrencia de



deslizamientos de tierra del tipo rotacional que podrían alterar la seguridad física de la población.

### **1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra ¿Cuál sería la dinámica que presentaría y cuáles serían las zonas susceptibles a deslizarse en el centro poblado de Carampa?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio tiene por finalidad contribuir a la gestión de riesgos de desastres (GRD), brindando información técnica sobre la dinámica que podrían presentar los movimientos en masa del tipo deslizamientos de tierra en la parte baja de la ladera sobre la cual se asienta el poblado de Carampa, a fin de generar información que sirva para la elaboración de un plan de desarrollo urbano y ordenamiento territorial ante la probable ocurrencia de un deslizamiento de tierra.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Caracterizar la dinámica del deslizamiento de tierra y estimar la peligrosidad haciendo uso del protocolo de CENEPRED.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Delimitar zonas susceptibles ante la ocurrencia de algún evento de movimiento en masa, mediante la aplicación de técnicas de investigación geológica como: la geotecnia, geofísica, entre otros.
- ❖ Analizar la estabilidad de la ladera sobre la cual se asienta el centro poblado de Carampa haciendo un análisis de estabilidad de taludes con la aplicación del programa de computo SLIDE.
- ❖ Análisis y aplicación del manual de CENEPRED para la estimación de la peligrosidad ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra en el poblado de Carampa.



## 1.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES

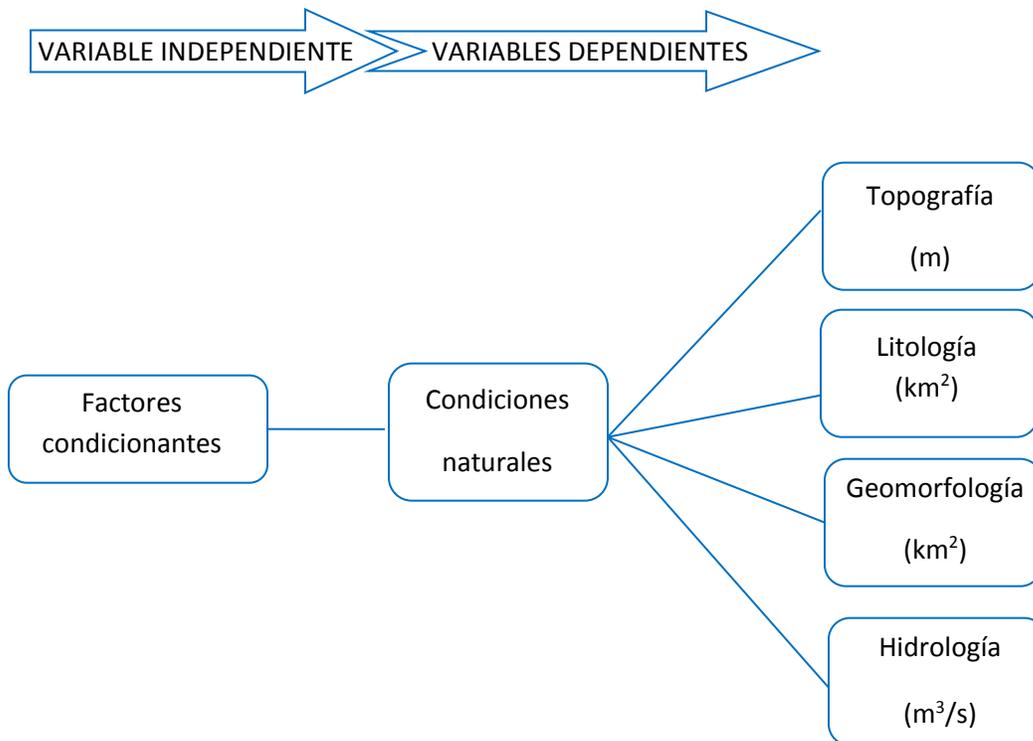
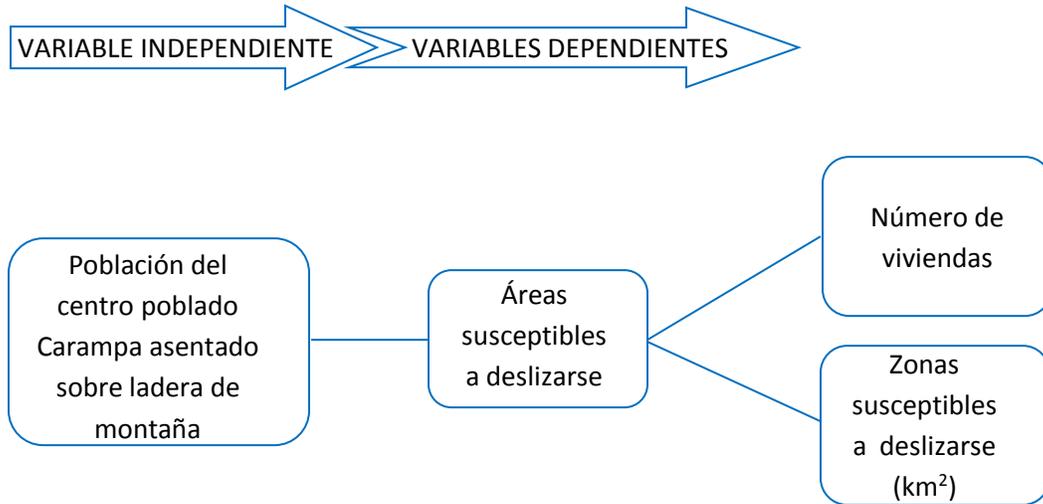
### 1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

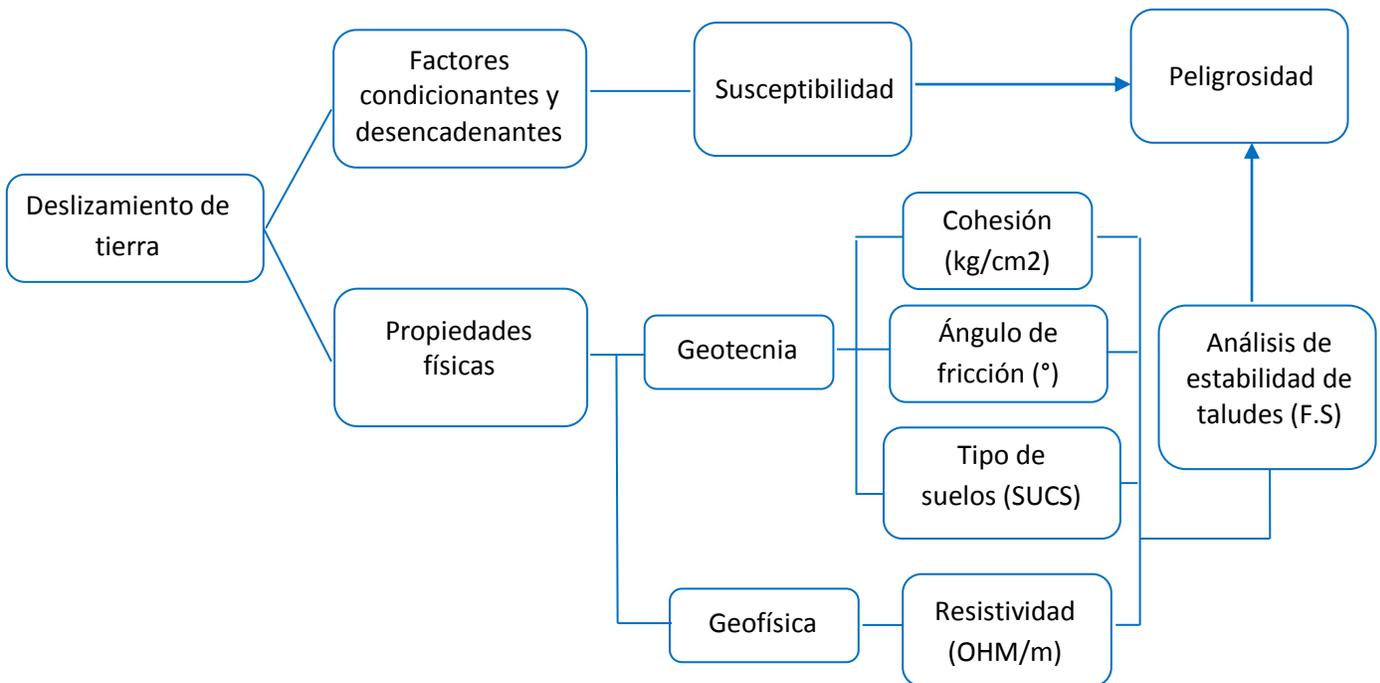
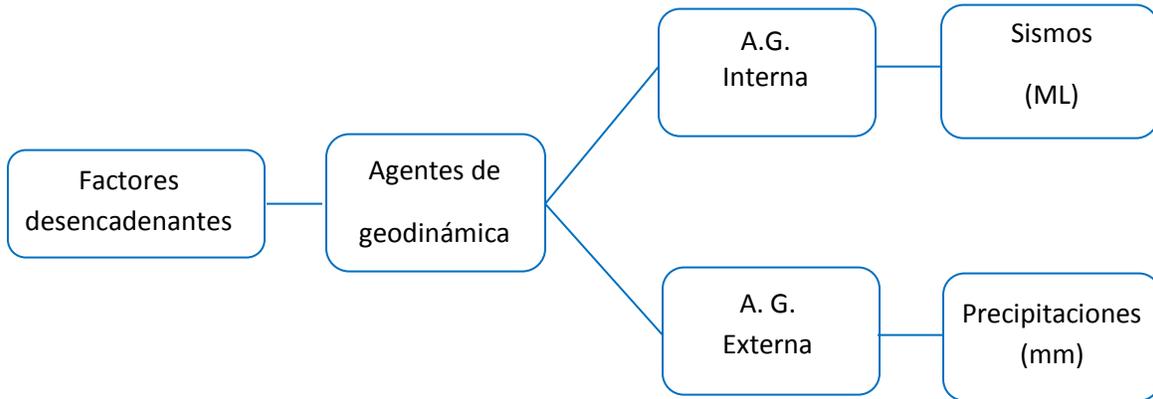
- Ante la ocurrencia de un movimiento en masa del tipo deslizamiento de tierra se produciría la remoción de los materiales inconsolidados ubicados en la ladera sobre la cual se asienta el centro poblado de Carampa.

### 1.4.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS

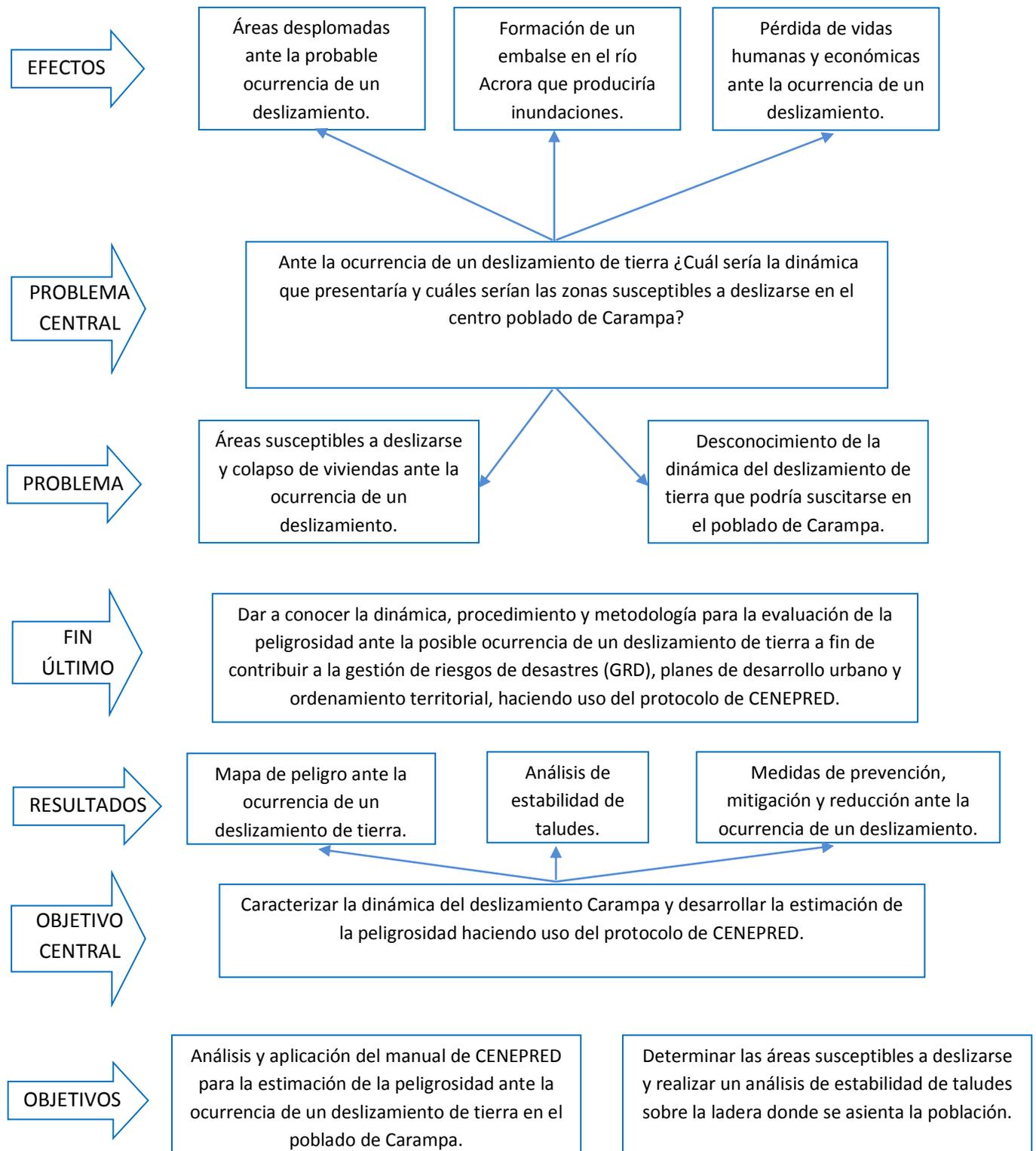
- Las condiciones topográficas que se presentan en la provincia de Pazos se encontrarían influenciadas por la presencia de geoformas con pendientes abruptas y verticales, razón por la cual los materiales serían afectados por la acción de la gravedad.
- El aumento de las precipitaciones pluviales durante los meses de enero y febrero sería el factor desencadenante de los procesos geodinámicos, en particular deslizamientos en el centro poblado de Carampa.
- Los suelos presentes en Carampa se caracterizarían por estar compuestos por rocas del tipo: lutitas, pizarras y el material inconsolidado (suelo de cobertura) es de naturaleza limo arcillosa, que al estar en contacto con el agua de escorrentías se saturarían y aumentarían su presión de poros entre sí, de tal manera que, la cohesión disminuiría y se generaría un plano de falla.
- La aplicación de la metodología del protocolo de CENEPRED permitirá evaluar las zonas susceptibles ante la ocurrencia del deslizamiento de tierra en el centro poblado de Carampa.

### 1.4.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES





### 1.4.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA





## 1.5 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Haciendo referencia al deslizamiento de tierras en el centro poblado Carampa se ha podido obtener a través de la publicación de noticias la siguiente información:

- Mediante el Decreto Supremo N° 016-2013 PCM, con fecha 08 de febrero del 2013 se declaró en estado de emergencia el poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, departamento Huancavelica. En dicho decreto se menciona que desde el año 2009 a raíz de las fuertes precipitaciones que tienen lugar entre los meses de Enero y Febrero se vienen generando rajaduras y deslizamientos de tierra en diferentes partes del Centro poblado Carampa, dando como resultado la formación de procesos de erosión en cárcavas; además menciona que, los eventos geodinámicos de mayor incidencia han ocurrido en el año 2012.

También, afirma que el deslizamiento denominado Carampa se ubica entre el río Acrora y la parte posterior de la plaza principal del poblado, donde se encuentra una tubería de alcantarilla que recolecta las aguas de las laderas y las drena hasta el río antes mencionado a través de una quebrada de rumbo promedio entre 100° y 152° N. Finalmente, cuantifica el volumen de material deslizable en 27 900 m<sup>3</sup>, afecta directamente a 36 viviendas e indirectamente 100, así como 2 ha. de cultivo.

Cabe señalar que, las afirmaciones e investigaciones antes mencionadas han sido elaboradas por el Gobierno Regional de Huancavelica para posteriormente ser validadas por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 MOVIMIENTOS EN MASA (MM)

#### 2.1.1 Definición

Se refiere a todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras generados por efectos de la gravedad y otros agentes (Cruden, 1991). Estos eventos geológicos constituyen una de las causas más frecuentes de pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo (Schuster, 1996; Sidle & Ochiai, 2006), por lo que la evaluación de la amenaza por movimientos en masa y la capacidad de predecir dichos movimientos ha sido un tema de gran interés para la comunidad científica (Aleotti & Chowdhry, 1999; Chacón et al, 2006).

#### 2.1.2 Clasificación de los movimientos en masa

En la literatura científica existen diversas clasificaciones de los MM, la mayoría de ellas se han realizado teniendo en cuenta el tipo de materiales, mecanismos de movimientos, grado de deformación de los materiales y el grado de saturación de los materiales.

Sin embargo, la clasificación de los MM realizada por Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), hoy en día, constituyen el sistema de clasificación usado con mayor frecuencia alrededor del mundo. La misma que fue modificada por Cruden y Varnes (1996) a fin de introducir un marco taxonómico multidimensional. Esta tiene en cuenta dos criterios: el tipo de movimiento y el tipo de material desplazado.

En cuanto al tipo de movimiento consideran 5 clases: caída, volcamiento, deslizamiento, flujo y propagación lateral. Dentro de los materiales se consideran: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras.

### 2.1.3 Tipos de movimientos en masa

Teniendo en cuenta la clasificación de Cruden & Varnes (1996), antes mencionada, se determinaron los tipos de movimientos en masa en el Tabla 01.

Tabla 01: Tipos de movimientos en masa (MM)

TIPO	SUBTIPO
Caídas	Caída de rocas, detritos o suelos
Volcamientos	Volcamiento de roca (bloque)
	Volcammiento flexural de roca
Deslizamiento	Deslizamiento traslacional
	Deslizamiento rotacional
	Deslizamiento en cuña
Propagación lateral	Propagación lateral lenta
	Propagación lateral por licuación
Flujo	Flujo de detritos
	Flujo de lodos
	Flujo de tierra
	Avalancha de detritos
	Avalancha de rocas
	Deslizamiento por flujo
	Deslizamiento por licuación
Reptación	Reptación de suelos
	Soliflucción
	Geliflucción

Fuente: Cruden & Varnes, 1996.

Cabe mencionar que, la zona de estudio se encuentra afectada principalmente por deslizamientos de tierra, por lo cual a continuación describiremos brevemente los otros tipos de MM, para luego centrarnos en los deslizamientos.

### 2.1.3.1 Caída

Movimiento 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.

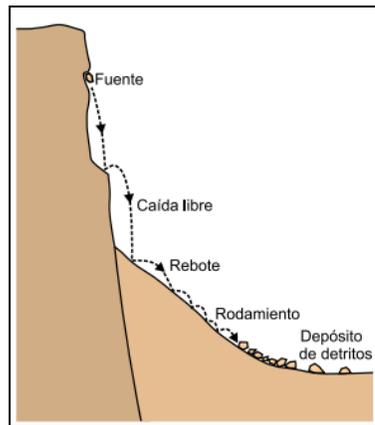


Figura 01: Esquema de caída de rocas

### 2.1.3.2 Volcamiento

Tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). El volcamiento puede ser en bloque y flexional (o flexural). Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra rocas relativamente competentes, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante (Figura 2). El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El

vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas.

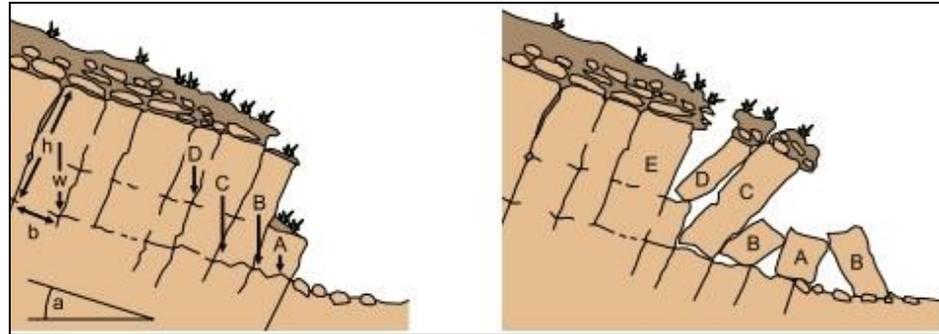


Figura 02: Esquema del vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976).

### 2.1.3.3 Propagación lateral

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material.

Varnes (1978) distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico. Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente, Figuras 3.

De esta forma, muchos casos de propagación lateral podrían incluirse dentro de la categoría de deslizamientos compuestos, como lo propone Hutchinson (1988).

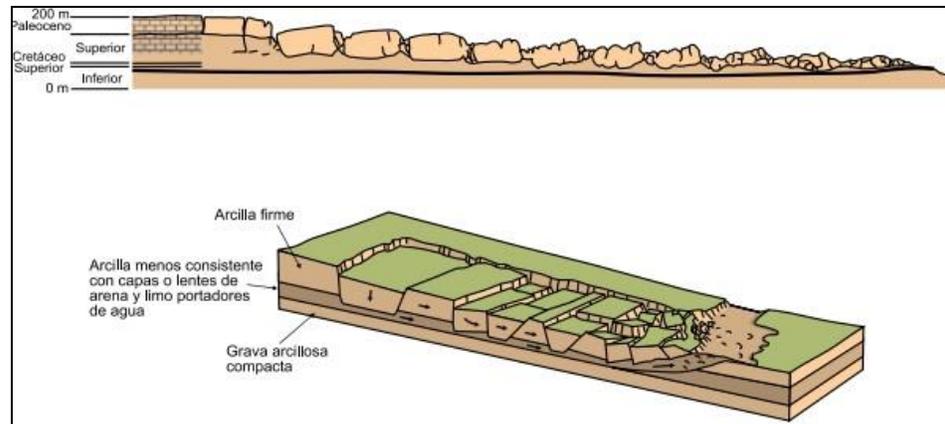


Figura 03: Esquema de expansiones laterales, según Varnes (1978).

### 2.1.3.4 Flujo

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. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Consiste en el movimiento de materiales fluidos sobre un substrato rígido, Figura 4. Los flujos se pueden subdividir de acuerdo al contenido de agua en flujos secos y flujos húmedos (Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002); o de acuerdo al tipo y propiedades del material que involucran (Hungry y otros, 2001). Así los puede haber de roca, de detritos, de arena, de suelo, etc.



Figura 04: Movimientos de materiales fluidos



#### **2.1.3.4.1 Flujo de detritos**

Los flujos de detritos son conocidos en Latinoamérica como huaycos y se pueden considerar como un movimiento canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 % de arenas y finos; Jaramillo y otros, 2006).

#### **2.1.3.4.2 Flujo de lodo**

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material.

#### **2.1.3.4.3 Flujo de tierra**

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungret al., 2001).

#### **2.1.3.4.4 Avalancha de detritos**

Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo.

#### **2.1.3.4.5 Avalancha de rocas**

Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud (tamaño considerable (Hungret et al., 2001). La extensión afectada puede llegar a ser



kilométrica y muchas avalanchas se han asociado a represamientos de ríos y quebradas (Jaramillo y otros, 2006).

#### **2.1.3.5 Reptación**

Es el movimiento desde lento hasta extremadamente lento (unos pocos centímetros por año) del suelo subsuperficial, sin una superficie de falla definida (Suárez, 1988). Pueden, por si solos, afectar grandes áreas y evolucionar a otros tipos de movimientos de ladera (Aguilar y Mendoza, 2002).

La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

#### **2.1.3.6 Deslizamientos**

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. Se caracterizan por desarrollar una o varias superficies de ruptura (Cruden & Varnes, 1996; Hutchinson, 2001; Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002).

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989).

A continuación se describen las principales características de los deslizamientos:



### 2.1.3.6.1 Partes de un deslizamiento

Un deslizamiento presenta las siguientes partes, Figura 05:

- **Escarpe principal:** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- **Escarpe secundario:** Superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- **Cabeza:** Parte superior del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Cima:** Punto más alto de contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona:** Material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- **Superficie de falla:** Corresponde al área ubicada debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. Cabe mencionar que, el volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- **Pie de la superficie de falla:** Línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

- **Base:** Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o uña:** Punto de la base que se encuentra en el extremo de la cima.
- **Costado o flanco:** Constituye el sector lateral del movimiento.

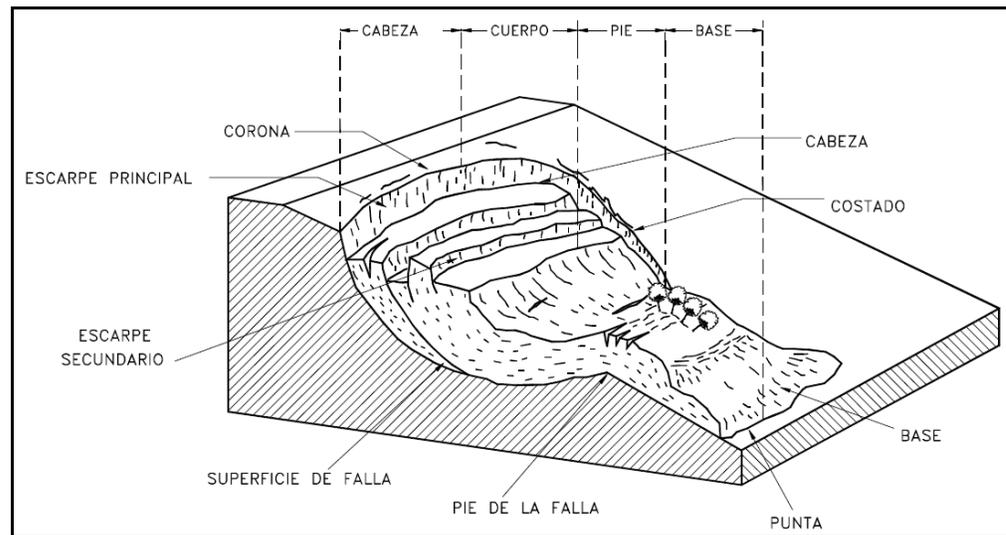


Figura 05: Partes de un deslizamiento.

#### 2.1.3.6.2 Dimensiones de un deslizamiento

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por la Asociación Internacional de Ingeniería, Geología y Medio Ambiente (IAEG), Figura 06:

- **Ancho de la masa desplazada (1):  $W_d$**

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

- **Ancho de la superficie de falla (2) :  $W_r$**



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

- **Longitud de la masa deslizada (3):  $L_d$**

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

- **Longitud de la superficie de falla (4):  $L_r$**

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

- **Profundidad de la masa desplazada (5):  $D_d$**

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

- **Profundidad de la superficie de falla (6):  $D_r$**

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 (7):  $L$**

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

- **Longitud de la línea central (8):  $L_{cl}$**

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.

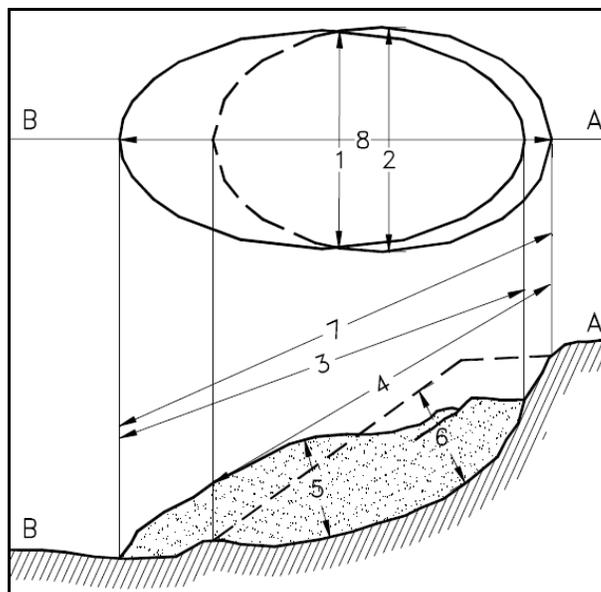


Figura 06: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).

### 2.1.3.6.3 Tamaño de un deslizamiento

Para hacer referencia al tamaño de un deslizamiento se ha tomado en cuenta la literatura proporcionada por Conforth, 2005.

Tabla 02: Tamaño de deslizamientos por área en planta.

DESCRIPTOR	ÁREA (PIES)	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Muy pequeña	< 2,000	< 200
Pequeña	2,000 - 20,000	200 - 2,000
Media	20,000 - 200,000	2000 - 20,000
Extensa	200,000 - 2,000,000	20,000 - 200,000
Muy Extensa	2,000,000 - 20,000,000	200,000 - 2,000,000
Enorme	> 20,000,000	> 2,000,000

Fuente: Conforth, 2005.



#### **2.1.3.6.4 Tipos de deslizamiento**

Las principales tipificaciones de los deslizamientos se han realizado teniendo en cuenta: la geometría de la superficie de ruptura, la profundidad de un deslizamiento, tipo de movimiento y actividad de los deslizamientos. A continuación se describirán cada uno de ellos:

##### **2.1.3.6.4.1 Según la geometría de la superficie de ruptura**

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

- Deslizamientos traslacionales: Movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones.

- Deslizamiento rotacional: la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

Cabe mencionar que los deslizamientos rotacionales forman una superficie cóncava en forma de “cuchara”.

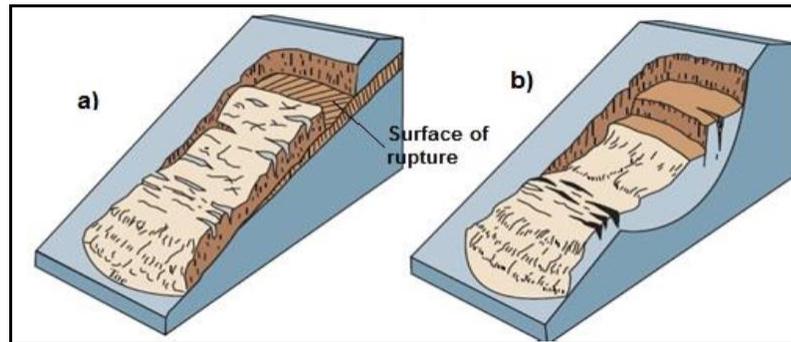


Figura 07: a) Deslizamiento traslacional b) Deslizamiento rotacional.

#### 2.1.3.6.4.2 Según la profundidad del deslizamiento

Pueden ser:

- 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).
- Deslizamientos profundos: Son aquellos en los cuales la superficie de ruptura es mayor a 1 m de profundidad.



#### **2.1.3.6.4.3 Según el movimiento del deslizamiento**

Varnes (1978) recomienda utilizar la siguiente terminología:

- 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.

#### **2.1.3.6.4.4 Según el estado del deslizamiento**

Pueden ser:

- Activo: 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.

#### **2.1.3.6.5 Evidencias para reconocer un deslizamiento**

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 algunas evidencias que indiquen un problema de deslizamiento. La Figura 08, 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.

- Inclinación de árboles y 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.

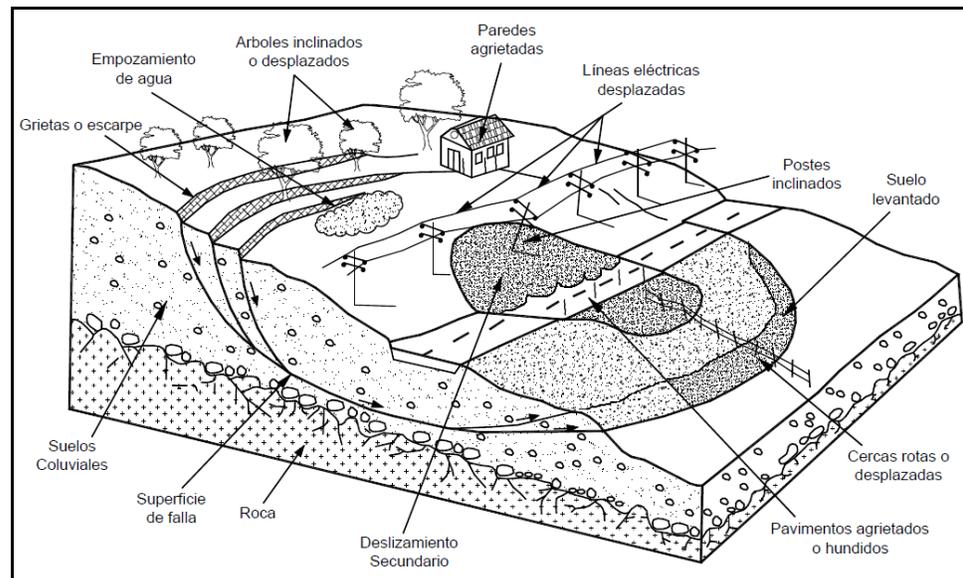


Figura 08: Signos para reconocer un problema de deslizamiento.

#### 2.1.4 Factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa

La ocurrencia de movimientos de ladera está condicionada por la acción simultánea de una serie de factores, entre los cuales se tiene: factores condicionantes y factores desencadenantes, siendo los primeros los que propician la ocurrencia del fenómeno, mientras que los últimos inician el movimiento de masas propensas, Figura 09.

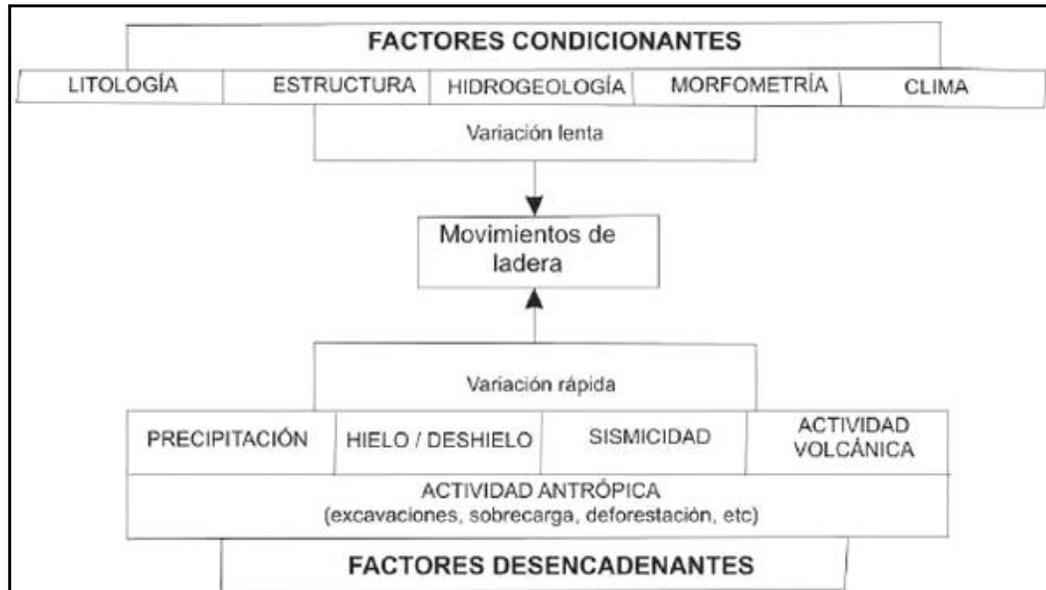


Figura 09: Clasificación de los factores condicionantes y desencadenantes del terreno (Ayala-Carcedo y Olcinas 2002).

#### 2.1.4.1 Factores condicionantes

Son aquellas variables que presentan una evolución lenta en el tiempo y que favorecen la inestabilidad de laderas. Entre los factores condicionantes más importantes se tiene: la litología, estructura, hidrogeología, morfometría o geomorfología y clima (Laín y otros, 2005). A continuación se describirán dichos factores:

##### 2.1.4.1.1 Litología

Los aspectos litológicos más importantes a tener en cuenta para la ocurrencia de movimientos de ladera es el tipo de material que conforma la ladera, sus propiedades químicas y físicas, resistencia al esfuerzo, grado de meteorización de los mismos y su forma de evolucionar en cada ambiente natural (Mora y Vahrson, 1993).



#### **2.1.4.1.2 Estructura**

Los parámetros estructurales de los materiales que constituyen una ladera tales como fracturas, fallas, pliegues, planos de estratificación y foliación se deben tener en cuenta porque pueden favorecer o no los procesos de inestabilidad de laderas (Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002).

#### **2.1.4.1.3 Morfometría o geomorfología**

Las características morfométricas como la pendiente, altura, amplitud de la ladera, nos dan una idea del grado de equilibrio de los materiales que la componen (Aguilar y Mendoza, 2002). Por ejemplo, se espera que ocurran movimientos de ladera en pendiente moderadas a muy fuertes (Medina, 1991).

#### **2.1.4.1.4 Hidrogeología**

Los parámetros hidrogeológicos como la porosidad, capacidad de drenaje de los materiales, entre otros también influyen en la inestabilidad de laderas.

#### **2.1.4.1.5 Clima.**

Los procesos climáticos pueden afectar el contenido de humedad de los materiales constituyentes de una ladera (Mora y Vahrson, 1993). Además de contribuir a acelerar la meteorización y disminuir la resistencia mecánica de dichos materiales.



#### **2.1.4.1.6 Vegetación**

Para Suárez (1998), el tipo de vegetación debe ser considerado debido a que da una referencia acerca del contenido de agua en una superficie de terreno y de la consistencia del mismo, asociada al entramado de las raíces de las plantas, por lo que la deforestación afectaría la estabilidad de un terreno disminuyendo las tensiones capilares de la humedad superficial, eliminando el refuerzo de las raíces y facilitando la infiltración de agua.

#### **2.1.4.2 Factores desencadenantes**

También llamados disparadores, son aquellas variables que hacen que un movimiento de ladera se active o desencadene aún en laderas en equilibrio (Aguilar y Mendoza, 2002). Entre los principales factores desencadenantes se tiene a la precipitación, sismicidad, actividad volcánica, actividad antrópica (que causa deforestación, sobrecarga, excavación) y deshielo.

##### **2.1.4.2.1 Precipitación**

La frecuencia y tipo de precipitación son factores que desencadenan o reactivan los movimientos de ladera porque al infiltrarse el agua de lluvia y saturarse el terreno, pierde capacidad de absorción, lo cual implica mayor densidad, mayor presión de poros por contenido de agua y pérdida de cohesión el material falla.



#### **2.1.4.2.2 Sismicidad.**

La actividad sísmica es un factor significativo en el desencadenamiento o reactivación de movimientos de ladera. Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para originar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

#### **2.1.4.2.3 Actividad volcánica**

Los movimientos de ladera pueden estar relacionados con erupciones o con sismos previos a ésta en un volcán. En las primeras etapas de la erupción se depositan flujos piroclásticos, los cuales forman nuevos depósitos o amplían algunos existentes, pudiendo así provocar movimientos de material en las laderas del volcán.

#### **2.1.4.2.4 Actividad antrópica**

Las actividades humanas (deforestación, agricultura, aguas residuales, entre otros) en muchos casos han desencadenado la ocurrencia de movimientos de ladera.

### **2.1.5 Técnicas de investigación para los movimientos en masa del tipo deslizamiento**

Para la caracterización de los movimientos en masa es necesario conocer las propiedades físicas de los suelos y rocas que conforman el subsuelo, por ello se deberían desarrollar estudios o ensayos en campo y laboratorio. Asimismo, se detallará la metodología aplicada para la estimación de la peligrosidad, haciendo uso del manual de CENEPRED. A continuación se describen los mismos:



### **2.1.5.1 Ensayos en campo**

Los ensayos de campo tienen la ventaja de poder simular situaciones en el ambiente mismo de la ladera y son muy útiles para cuantificar los parámetros que se emplean en el análisis de un deslizamiento. Consiste en la elaboración de métodos de investigación directa (geotecnia) e indirecta (geofísica) entre los cuales se tiene:

#### **2.1.5.1.1 Geotecnia**

Es la rama de la geología aplicada que se encarga del estudio de las propiedades físicas, así como, el comportamiento de los suelos y rocas, mediante la aplicación de técnicas de exploración e investigación geotécnica, entre las cuales se tiene: calicatas, perforaciones, ensayos de mecánica de suelos, etc.

Los estudios de geotecnia se realizan con la finalidad de elaborar el diseño de cimentaciones para estructuras tales como: viviendas, edificios, puentes, carreteras, taludes, presas, etc.

También permite identificar y solucionar problemas en suelos como: asentamientos, licuefacción, expansividad y agresividad.

En los deslizamientos tiene por objeto obtener todos los parámetros físicos de los suelos y rocas para modelar los procesos de inestabilidad y diseñar las obras de mitigación y remediación.

Se hace mención que en el presente trabajo solo se ha ejecutado como exploraciones el siguiente ensayo de campo:



- **Exploraciones a cielo abierto (calicatas)**

Es una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico de un terreno. Son excavaciones de profundidad superficial (hasta 3.5 m aproximadamente), estas se realizaron en el área de estudio con apoyo de pobladores.

#### **2.1.5.1.2 Geofísica**

Es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física, su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra.

Al ser una disciplina experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos de prospección indirecta como: la sísmica de reflexión y refracción, métodos basados en la medida de la gravedad, campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y fenómenos radiactivos.

Los ensayos geofísicos constituyen la forma más rápida y económica que se emplea para la obtener información sobre las características de los perfiles del subsuelo, dependen de las relaciones de las condiciones del suelo con otras características físicas (conductividad, resistividad, entre otros).

Entre los ensayos geofísicos usados comúnmente se tiene:



- **Resistividad o sondajes eléctricos verticales (SEVs)**

Es un método de prospección eléctrica por resistividad a través del cual se pueden conocer las propiedades físicas del subsuelo (resistividad y conductividad), a través de estos se puede identificar la presencia de agua (nivel freático y acuíferos) presentes en el subsuelo y la superficie de falla de un deslizamiento se detecta como un área de baja resistencia por la concentración de humedad a lo largo de la superficie; sin embargo, se debe tener en cuenta la fluctuación de la resistividad con respecto al clima. Además, las propiedades físicas antes mencionadas nos permiten reconocer indirectamente los materiales del subsuelo, el espesor de estos y la litología que presenta cada estrato. Cabe resaltar que, el ensayo se realiza desde la superficie del suelo y la investigación se desarrolla de manera perpendicular en un punto deseado.

Una vez realizados una serie de SEVs en la zona de estudio se procede a desarrollar secciones, que se generan al unir como mínimo tres de estos ensayos en una línea denominada sección geoelectrica, en ella se relaciona estratos con valores de resistividad similar, cada uno de estos estratos recibe el nombre de capa geoelectrica.

El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos (dipolo AB) y la determinación de la diferencia de potencial del campo eléctrico, con otro par de electrodos (dipolo MN), cada uno de los materiales muestra ciertos rangos de valores de resistividad aparente, estos dependen de las características



geotécnicas del medio atravesado por la corriente eléctrica, en la Tabla 03 se mencionan valores típicos de resistividad de algunos materiales.

Tabla 03: Valores típicos de resistividad

<b>MATERIAL</b>	<b>RESISTIVIDAD (ohm-cm)</b>
Arcilla o limo saturado	0-10.000
Arcilla arenosa	10,000 - 25,000
Arena arcillosa	25,000 - 50, 000
Arena arcillosa	50,000 - 150, 000
Grava	150,000 - 500, 000
Roca meteorizada	100,000 - 200, 000
Roca sana	150, 000 - 4, 000, 000

Fuente: Peck y otros, 1974.

Para la realización de los SEVs se necesita de arreglos o dispositivos (distribución de los cables y electrodos que inyectan la corriente continua y los que reciben los valores de resistividad aparente) como:

**Arreglo de Wenner:** El arreglo de Wenner es mejor para analizar estructuras paralelas a la superficie del terreno, pero es relativamente ineficiente para detectar estructuras verticales. El arreglo de Wenner generalmente tiene fuerza grande de la señal.

**Arreglo Dipolo-Dipolo:** Este arreglo es eficiente para analizar estructuras verticales, discontinuidades verticales y cavidades, pero es menos eficiente para identificar estructuras horizontales. La profundidad de la investigación es mucho menor que la de arreglo de Wenner. La señal pierde fuerza fácilmente y por lo tanto, los equipos deben ser muy sensibles.

**Arreglo Wenner-Schlumberger:** Este arreglo es moderadamente sensitivo tanto para estructuras verticales

como horizontales; sin embargo, la fuerza de la señal es menor que la del arreglo de Wenner, pero es mayor que la del arreglo Dipolo-Dipolo.

Arreglo Polo-Polo: Este arreglo tiene muchos problemas prácticos y es muy sensible al ruido.

Arreglo Polo-Dipolo: Este arreglo es asimétrico y resulta en anomalías de resistividad aparente, asimétricas sobre estructuras simétricas.

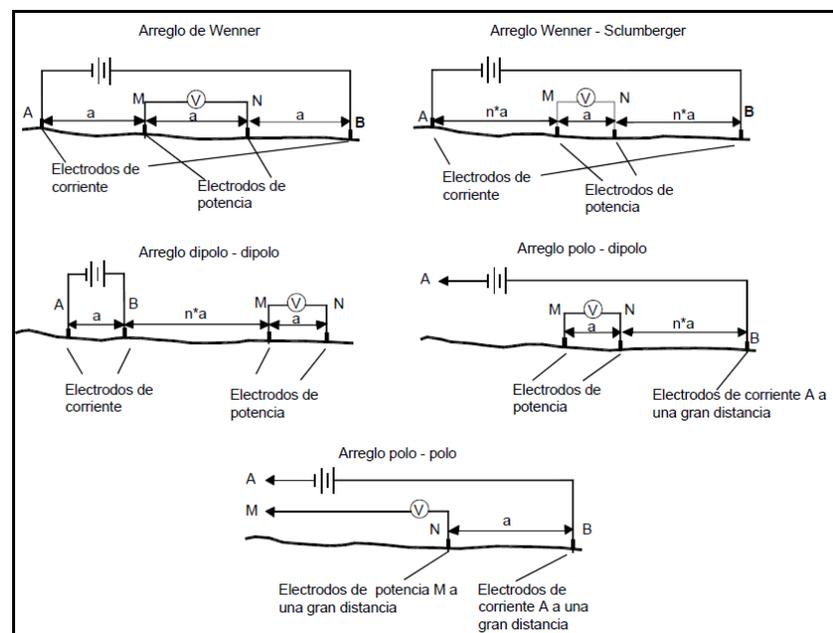


Figura 10: Variaciones en el arreglo de electrodos para ensayos de resistividad eléctrica. (Hack, 2000).

### • Sísmica o refracción sísmica

Es un método de prospección geofísica basado en las propiedades elásticas de los materiales, que a través de la propagación y velocidad de la onda P, producida por un golpe de martillo, luego receptionada en geófonos, para finalmente registrarla con ayuda de un sismógrafo con la finalidad de

reconocer el espesor y litología del subsuelo. En deslizamientos se ha utilizado con frecuencia para determinar la profundidad y geometría de las superficies de falla, para determinar la profundidad de meteorización de un área de gran tamaño y para determinar los perfiles de material suelto sobre la roca, Figura 11.

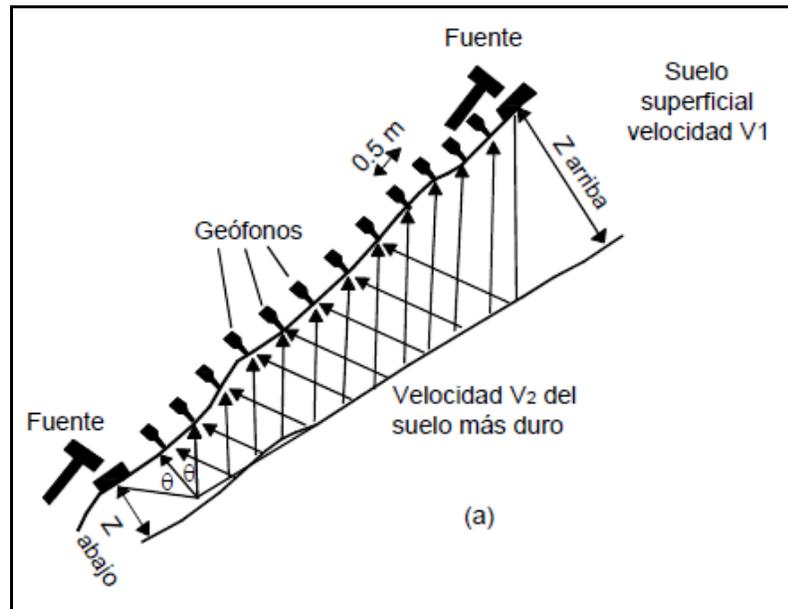


Figura 11: Esquema de un ensayo de refracción sísmica.

### 2.1.5.2 Ensayos en laboratorio

Las muestras de suelos que fueron extraídas al momento de realizar las calicatas deben ser llevadas al laboratorio de mecánica de suelos y rocas para realizar ensayos que permitan obtener las propiedades físicas de los suelos. Los ensayos comúnmente utilizados para el análisis de laderas y taludes son los siguientes:



- **Humedad o contenido de agua:** Se requiere identificar los niveles de saturación y los niveles de humedad para correlacionarlos con las tensiones negativas.
- **Límites de Atterberg o plasticidad:** La plasticidad nos permite intuir la permeabilidad, la presencia de arcillas plásticas y la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de expansión.
- **Distribución granulométrica:** La resistencia al cortante y la permeabilidad están relacionadas con los tamaños de las partículas y su distribución.
- **Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS):** Es el sistema utilizado en la ingeniería para clasificar los suelos de acuerdo al tamaño de los materiales que lo componen y los límites de consistencia de los finos.
- **Permeabilidad:** La conductividad hidráulica del suelo determina los flujos de agua subterránea y el comportamiento hidrogeológico.
- **Resistencia al cortante:** Los parámetros de resistencia (cohesión y ángulo de fricción interna) son básicos para los análisis de estabilidad de taludes (cálculo de factores de seguridad). La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

### 2.1.5.3 Análisis de estabilidad de taludes

El modelado matemático del análisis de estabilidad de los taludes es parte de la práctica de la ingeniería geotécnica, cuyo objetivo es analizar las condiciones de estabilidad de los taludes naturales.



Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

Los objetivos principales del análisis matemático de los taludes son los siguientes:

- Determinar las condiciones de estabilidad del talud (si es estable o inestable y el margen de estabilidad).
- Investigar los mecanismos potenciales de falla (analizar cómo ocurre la falla).
- Determinar la sensibilidad o susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación (Efecto de las lluvias, sismos, etc.).

#### **2.1.5.3.1 Metodologías para el análisis de estabilidad de taludes**

En la tabla 04 se mencionan las principales metodologías a emplear para la realización de un análisis de estabilidad de taludes.

Cabe mencionar que, la metodología ampliamente utilizada en los análisis de estabilidad de taludes es la de equilibrio – límite, ello debido a que son modelos sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional, de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña.



Tabla 04: Metodologías para la realización de análisis de estabilidad de taludes.

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

### 2.1.5.3.2 Métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de taludes

Los principales métodos de cálculo del factor de seguridad se subdividen en 2 grupos: métodos de equilibrio límite y los métodos numéricos, Figura 12.

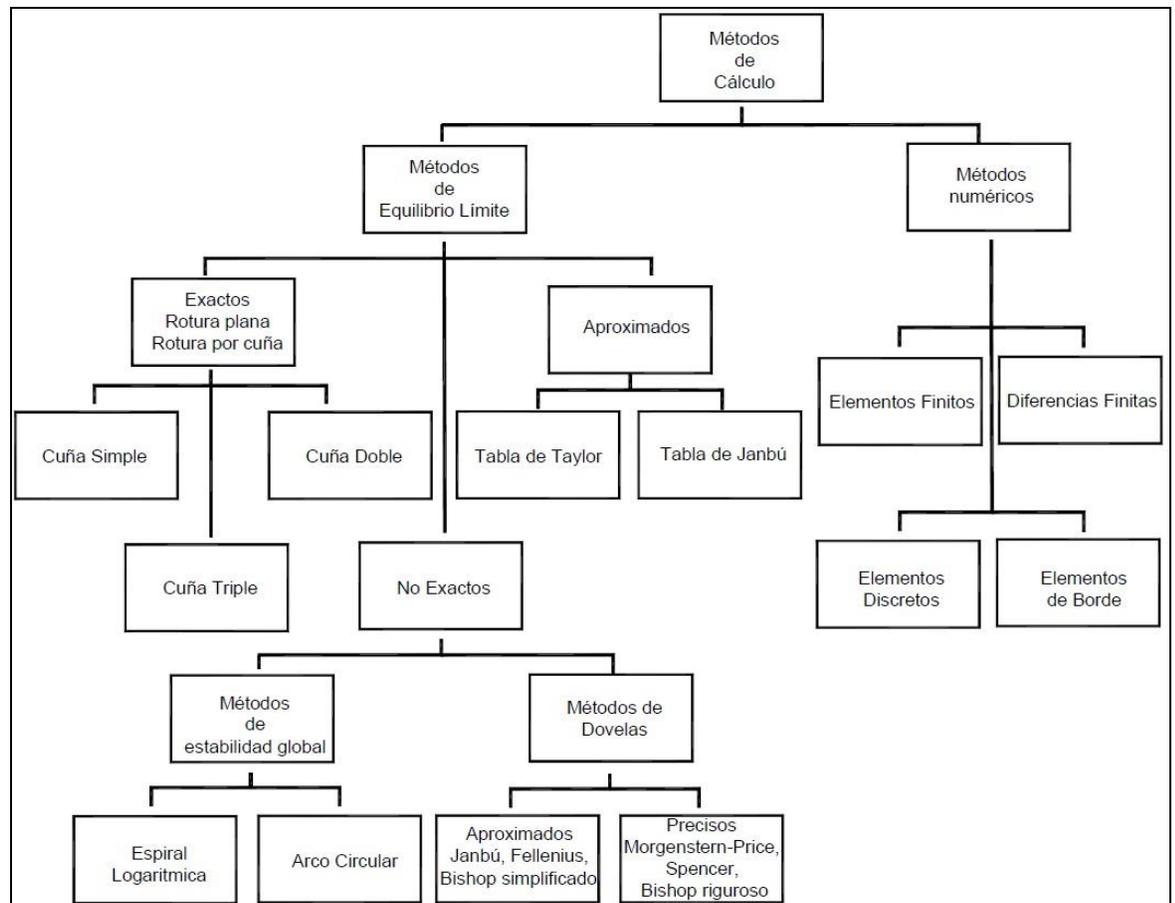


Figura 12: Métodos de análisis de estabilidad. Suarez.

#### 2.1.5.3.2.1 Métodos de equilibrio límite

Analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:



- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de «coeficiente de seguridad».

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, es por ello que para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Asimismo, se asumen las siguientes condiciones:

- La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua, etc.).
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Con estas condiciones, se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen y se oponen al plano de falla del deslizamiento. Los análisis proporcionan el valor del coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada, referido al equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan. Es decir, el coeficiente  $F$  por el que deben dividirse las fuerzas tangenciales



resistentes (o multiplicarse las fuerzas de corte desestabilizadoras) para alcanzar el equilibrio estricto:

$$F = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

El método de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla, lo cual es equivalente a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis de equilibrio límite se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas.

Estos se subdividen en tres grupos:

#### A) Métodos exactos

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuña. Cabe resaltar que este tipo de fallas solo se presentan en roca y en esta investigación solo se elaborara el análisis para suelos.

A continuación se mencionan los subgrupos de este método:

• **Método de cuña simple**

Este método supone una superficie recta de un solo tramo, el cual puede analizarse como una cuña simple, con la superficie de falla inclinada, a un determinado ángulo con la horizontal, Figura 13.

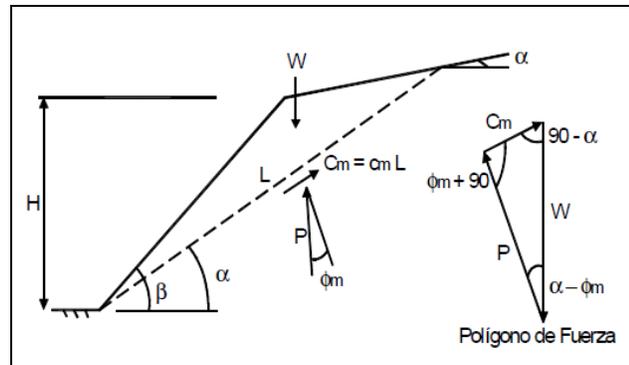


Figura 13: Fuerzas actuantes en una cuña simple.

Donde se requiere calcular las fuerzas:

El peso de la cuña (W), descompuesto en la fuerza tangente (FT) y la fuerza normal (FN).

$$FN = W \cos \alpha$$

$$FT = W \sen \alpha$$

La fuerza de cohesión,  $F_c = C \times L$

La fuerza de fricción,  $F_\phi = FN \times \text{Tan } \phi'$ .

En base a ello se calculara el factor de seguridad usando la siguiente formula:

$$F.S. = \frac{(C * L) + (W \cos \alpha * \text{Tan} \phi')}{W \sen \alpha}$$

### • Método de cuña doble

Se hace el análisis de una cuña con dos tramos rectos de superficie de falla, Figura 14. La cuña superior tiene generalmente una pendiente fuerte y la inferior una pendiente más suave.

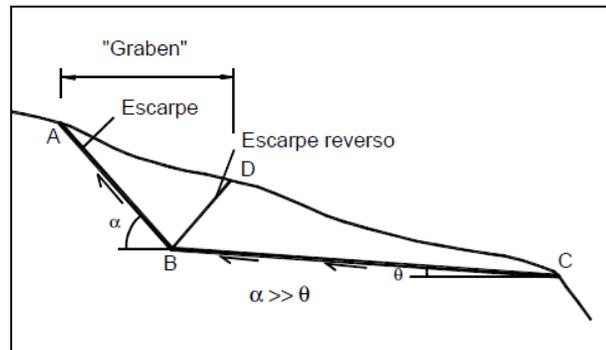


Figura 14: Esquema de una falla de doble cuña. Conforth, 2005.

Debido a que, las dos cuñas son geométricamente muy diferentes, se produce un hundimiento de la cuña superior (graben) y la cuña inferior se mueve horizontalmente.

### • Método de cuña triple

En la falla de triple cuña, las dos cuñas superiores empujan a la cuña inferior para generar el levantamiento del pie del movimiento, Figura 15.

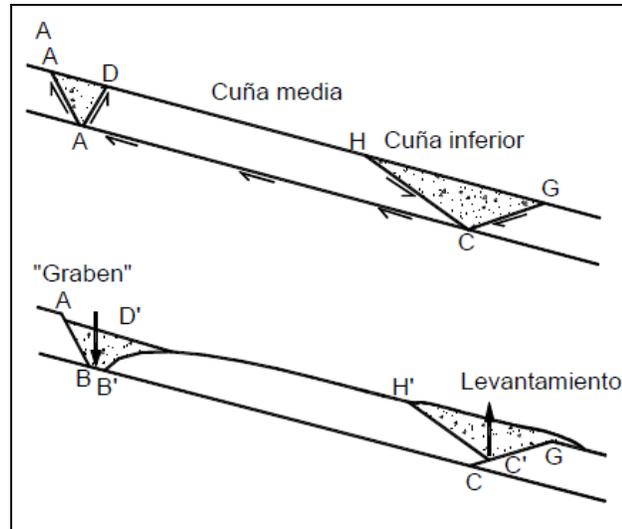


Figura 15: Esquema de una falla de triple cuña, Conforth, 2005.

## B) Métodos aproximados

Consiste en la utilización de tablas que permiten un cálculo rápido del factor de seguridad. Sin embargo, solo se aplican a taludes o laderas homogéneas.

La primera de éstas fue desarrollada por Taylor en 1966. Desde entonces, han sido presentadas varias tablas sucesivamente por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros.

## C) Métodos no exactos

En la mayor parte de los casos, la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna



simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales, entre los diversos métodos que utilizan dovelas, hay diferencias, especialmente en lo referente a las fuerzas que actúan sobre las paredes laterales de las tajadas.

Asimismo, los métodos de estabilidad global se dividen en: Espiral logarítmica y arco circular.

Mientras que, las dovelas o rebanas se dividen en:

Métodos aproximados, que vienen a ser los que no cumplen todas las ecuaciones de la estática, entre ellos se citan los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.

Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática, entre los más conocidos se tiene los de: Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso. (Fernando Rodríguez, 2000).

- **Método de la espiral logarítmica**

Se supone que la superficie de falla tiene una forma de espiral, Figura 16.

Para algunos autores, el método de la espiral logarítmica teóricamente es el mejor

procedimiento para el análisis de taludes homogéneos. Igualmente, este método es utilizado en varios programas de computador para el diseño de taludes reforzados utilizando geomallas o “nailing” (Duncan y Wright, 2005).

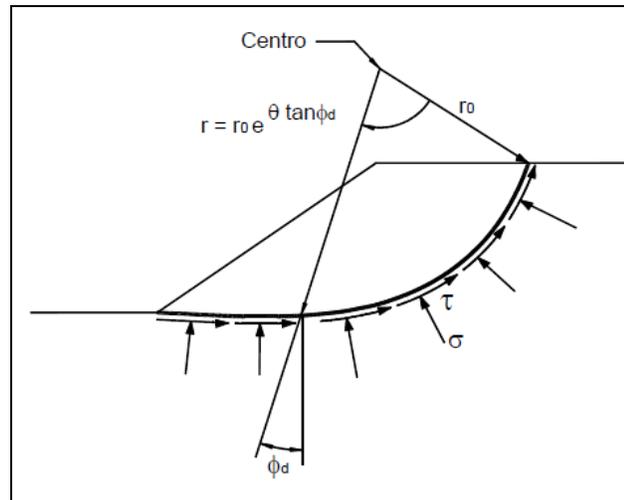


Figura 16: Talud y superficie de falla espiral logarítmica. Frohlich, 1953.

- **Método del arco circular**

Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas. Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares, Figura 17.

La localización de los círculos de falla generalmente se hace dibujando una grilla de puntos para centros de giro de los círculos y desde esos puntos, se trazan los círculos utilizando alguno de los siguientes criterios:

Círculos de igual diámetro, círculos que pasan por un mismo punto y círculos tangentes a una o varias líneas determinadas.

Los factores de seguridad para todos y cada uno de los círculos se calculan por medio de uno o varios de los métodos existentes y el factor de seguridad del talud es el mínimo F. S. obtenido de todos los círculos analizados.

El método del arco circular satisface tanto el equilibrio de fuerzas como el equilibrio de momentos.

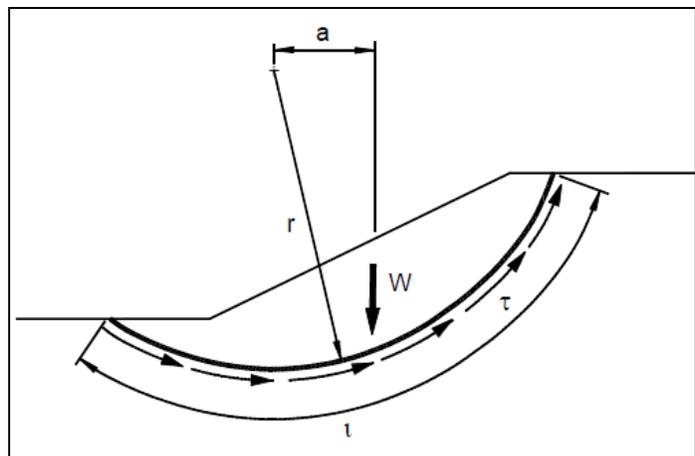


Figura 17: Fuerzas en un análisis de arco circular, ( $\varphi = 0$ ). Duncan y Wright, 2005.

- **Método ordinario o de Fellenius**

Conocido también como método Sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el

Factor de Seguridad. Al realizar la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo, se obtiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

Figura 18: Ecuación de Fellenius.

Donde:

$\alpha$  = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada,  $W$  = Peso total de cada tajada,  $u$  = Presión de poros =  $\gamma_w h_w$ ,  $\Delta l$  = longitud del arco de círculo en la base de la tajada y  $C'$ ,  $\phi'$  = Parámetros de resistencia del suelo.

Cabe mencionar que, el método ordinario o de Fellenius solamente satisface los equilibrios de momentos y no satisface el equilibrio de fuerzas. Debe tenerse en cuenta que el método ordinario es menos preciso que otros procedimientos y la precisión disminuye a medida que la presión de poros se hace mayor, razón por la cual algunos autores recomiendan que el método ordinario no se utilice para diseño, sino solamente como una base de referencia.

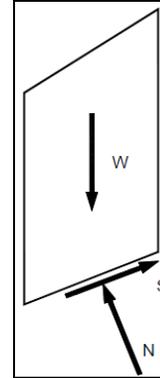


Figura 19: Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius. Duncan y Wright, 2005.

- **Método de Bishop**

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales, por lo tanto no tiene en cuenta las fuerzas de cortante, Figura 20.

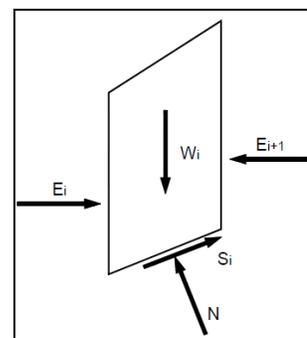


Figura 20: Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado, Duncan y Wrigth, 2005.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión, Figura 21:

$$F.S. = \frac{\sum \left[ \frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\text{sen} \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \text{sen} \alpha}$$

Figura 21: Ecuación de Bishop.

Dónde:  $\Delta l$  = longitud de arco de la base de la dovela,  $W$  = Peso de cada dovela,  $C'$ ,  $\phi$  = Parámetros de resistencia del suelo,  $u$  = Presión de poros en la base de cada dovela =  $\gamma w \times h w$ ,  $\alpha$  = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares.

#### • Método de Janbú

El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante.

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada), Figura 22:

$$F.S. = \frac{f_o \sum \left\{ \left[ c'b + (W - ub) \tan \phi \right] \frac{1}{\cos \alpha} \right\}}{\sum (W \tan \alpha)}$$

Figura 22: Ecuación de Jambú.

### • Método de Spencer

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación, Figura 23.

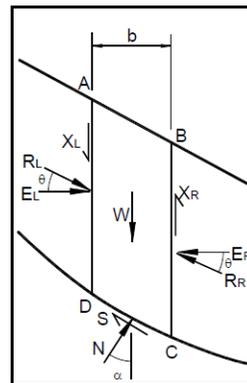


Figura 23: Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.

La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las



ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad  $F$  y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas  $\theta$ .

Para resolver las ecuaciones  $F$  y  $\theta$ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.

Una vez se obtienen los valores de  $F$  y  $\theta$  se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad. (Jaime Suarez, 2002).

#### • **Método de Morgenstern y Price**

El método de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas.

El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso,



prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo.

#### **2.1.5.3.2.2 Métodos numéricos**

Frecuentemente, los mecanismos de falla de los deslizamientos son muy complejos e incluyen factores muy difíciles de investigar con análisis convencionales de límite de equilibrio. Estos análisis se limitan a problemas relativamente simples que incluyen muy poca información del mecanismo de falla. Las fallas de los taludes (en su gran mayoría) son progresivas, no se inicia la falla al mismo tiempo, como lo suponen los métodos de límite de equilibrio.

La mayoría de problemas de estabilidad de taludes incluyen complejidades relacionados con geometría, anisotropía, comportamiento no lineal, esfuerzos “in situ” y la presencia de procesos concomitantes como son las presiones de poros y las cargas sísmicas.

La principal delimitación de los métodos de límite de equilibrio, está en su inhabilidad para tener en cuenta las deformaciones, las cuales pueden determinar el proceso de falla particularmente, en los procesos de falla progresiva y los que dependen del factor tiempo. Para resolver estas limitaciones se utilizan técnicas de modelación numérica que permiten soluciones aproximadas a problemas que no son posibles resolver utilizando procedimientos de límite de equilibrio. En este aspecto, los modelos numéricos son más precisos.



Los modelos numéricos son muy útiles para analizar las fallas en las cuales no existe una superficie continua de cortante como es el caso de las fallas por “volteo”. La incorporación de los defectos o discontinuidades dentro del modelo, permiten estudiar el comportamiento del talud.

Los métodos numéricos de análisis se pueden clasificar en varias categorías, como se muestra en la Tabla 05.

Tabla 05: Métodos numéricos para la estabilidad de taludes.

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS	UTILIZACIÓN
Elementos Finitos (FEM)	Se asume una malla de elementos con sus respectivos nodos y las propiedades elastoplásticas de los materiales.	Se aplica a taludes que puedan considerarse como masas continuas sin bloques.
Diferencias Finitas(FDM)	Se elabora una malla con una variedad de relación esfuerzo-deformación.	Se utiliza para modelar masa rocosa con un alto grado de fracturación.
Elementos Distintos o Discretos (DEM)	Se divide el talud en elementos con sus propiedades internas y de las uniones entre los elementos que se pueden mover libremente.	Se aplica para analizar inclinación de bloques.
Elementos de Borde (BEM)	Se discretizan las áreas para poder modelar la ocurrencia de agrietamientos en el talud.	Se utiliza para estudiar problemas de propagación de grietas.

Modificado de Deangeli y Ferrero, 2000.

#### 2.1.5.4 Protocolo de CENEPRED

Es un manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales publicado por CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre) en el año 2013, es un avance en los estudios de gestión de riesgos de desastres, pues involucra una metodología cuantitativa que permite caracterizar la peligrosidad y vulnerabilidad con una mayor aproximación a la realidad.

Utiliza el método multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad, mostrando la importancia (peso) de cada



parámetro en el cálculo del riesgo, facilitando la estratificación de los niveles de riesgos. Este método fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty (1980) y consiste en descomponer un problema complejo en jerarquías, donde cada nivel es descompuesto en elementos específicos. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio de forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que como mínimo tiene tres niveles.

Para la evaluación de fenómenos naturales (peligros geológicos) se debe seguir los siguientes pasos:

- Evaluación del evento (evaluación local)
- Estimación de la susceptibilidad (análisis de factores condicionantes y factores desencadenantes):  $\text{Susceptibilidad} = \text{F. Condicionantes} + \text{F. Desencadenantes}$ .
- Estimación de la peligrosidad:  $\text{Peligrosidad} = \text{Evento} + \text{Susceptibilidad}$ .

#### **2.1.5.4.1 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización de movimientos en masa**

Entre las características a evaluar para el análisis del evento se tiene: textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad del desplazamiento. A continuación se citan las tablas usados para la evaluación.



Tabla 06: Textura del suelo.

PARÁMETRO	TEXTURA DEL SUELO		PESO PONDERADO: 0.548	
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	Guesa: suelos (arenosos, franco arenoso).	PTX5	0.035

Tabla 07: Pendiente.

PARÁMETRO	PENDIENTE		PESO PONDERADO: 0.306	
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 08: Erosión.

PARÁMETRO	EROSIÓN		PESO PONDERADO: 0.101	
DESCRIPTORES	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 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 09: Velocidad de desplazamiento

PARÁMETRO	VELOCIDAD DEL DESPLAZAMIENTO		PESO PONDERADO: 0.045	
DESCRIPTORES	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 ( $v = 3.0093 \times 10^{-4}$ m/s).	PVD4	0.068
	VD5	Lenta a extremadamente lenta ( $v = 5.144 \times 10^{-8}$ m/año a $5.144 \times 10^{-10}$ m/año).	PVD5	0.035



### 2.1.5.4.2 Parámetros y descriptores ponderados para la estimación de la susceptibilidad

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico (depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno y el ámbito geográfico).

Para llevar a cabo la estimación de la susceptibilidad se debe hacer un análisis de los factores condicionantes y detonantes.

Parámetros a evaluar como factores condicionantes:

Tabla 10: Relieve.

PARÁMETRO	RELIEVE		PESO PONDERADO: 0.145	
DESCRIPTORES	Y1	Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares.	PY1	0.503
	Y2	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	PY2	0.260
	Y3	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY3	0.134
	Y4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY4	0.068
	Y5	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 11: Tipo de suelos.

PARÁMETRO	TIPO DE SUELOS		PESO PONDERADO: 0.515	
DESCRIPTORES	Y6	Rellenos sanitarios.	PY6	0.503
	Y7	Arena Eólica y/o limo (con agua).	PY7	0.260
	Y8	Arena Eólica y/o limo (sin agua).	PY8	0.134
	Y9	Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o	PY9	0.068
	Y10	Afloramientos rocosos y estratos de grava.	PY10	0.035



Tabla 12: Cobertura vegetal.

PARÁMETRO		COBERTURA VEGETAL	PESO PONDERADO: 0.058	
DESCRIPTORES	Y11	70 - 100 %	PY11	0.503
	Y12	40 - 70 %	PY12	0.260
	Y13	20 - 40 %	PY13	0.134
	Y14	5 - 20 %	PY14	0.068
	Y15	0 - 5 %	PY15	0.035

Tabla 13: Uso actual de suelos.

PARÁMETRO		USO ACTUAL DE SUELOS	PESO PONDERADO: 0.282	
DESCRIPTORES	Y16	Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento.	PY16	0.503
	Y17	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
	Y18	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
	Y19	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
	Y20	Sin uso/improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad.	PY20	0.035

Parámetros a evaluar como factores desencadenantes:

Tabla 14: Hidrometeorológicos.

PARÁMETRO		HIDROMETEREOLÓGICOS	PESO PONDERADO: 0.106	
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 15: Geológico.

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 16: Inducido por acción humana.

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

Cabe mencionar que, una vez obtenidos los valores de los factores condicionantes y desencadenantes se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{SUSCEPTIBILIDAD} = (\text{F.CONDICIONANTES} * 0.5) + (\text{F.DESENCADENANTES} * 0.5)$$

#### 2.1.5.4.3 Estimación de la peligrosidad

La peligrosidad resulta de los valores obtenidos de la evaluación del evento y la susceptibilidad, aplicándose la siguiente fórmula:

$$\text{PELIGROSIDAD} = (\text{EVENTO} * 0.5) + (\text{SUSCEPTIBILIDAD} * 0.5)$$

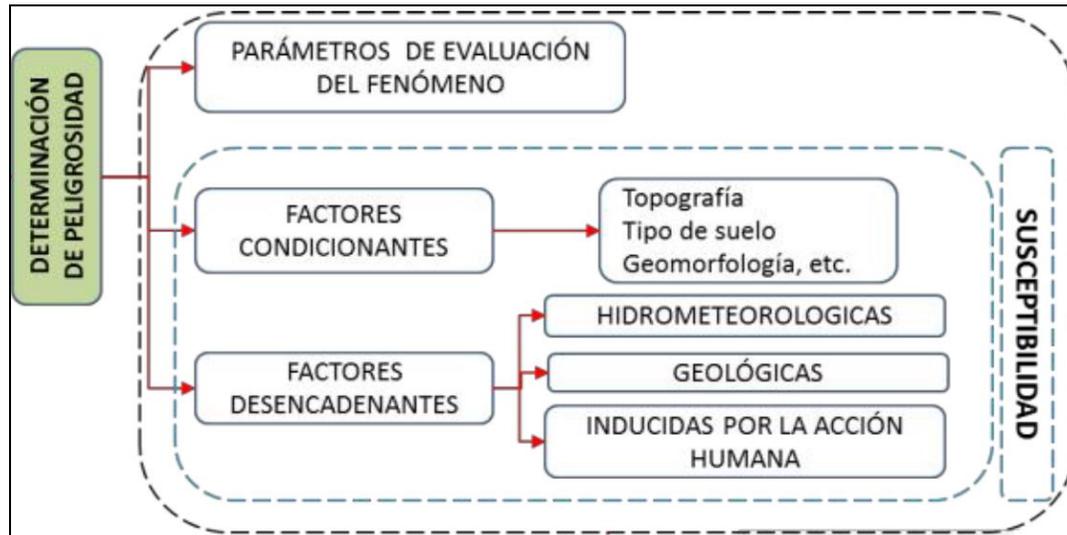


Figura 24: Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos naturales.

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- **Investigación Exploratoria:** El trabajo de investigación al inicio será del tipo exploratorio, se tiene como objetivos: analizar el problema, la toma de datos en campo, conocer las causas del deslizamiento de tierra en el centro poblado de Carampa y sus principales evidencias.
  
- **Investigación Correlacional:** A través de este tipo de investigación se pretende determinar la relación que existe entre el espesor de los materiales inconsolidados y el volumen de las zonas susceptibles a deslizarse.



- **Investigación Explicativa:** Finalmente el trabajo de investigación será del tipo explicativo, ya que se indicaran las condiciones en las que ocurren los deslizamientos de tierra y las características que presentan.

### 3.1.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se ha desarrollado en cuatro fases:

#### 3.1.2.1 FASE 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta etapa se recopiló información sobre los diferentes tipos de movimientos en masa, su clasificación, sus principales características, factores que los originan, entre otros. Tomando como base estudios de investigación de instituciones públicas y privadas (IGP, SENAMHI, INGEMMET, etc), así como, tesis orientadas al tema (deslizamientos de tierra).

Revisión de información cartográfica como: cuadrángulo geológico de Pampas (25 n IV) a escala 1:50000, mapa topográfico ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) que ha sido creado en base a imágenes satelitales, se presenta a escala 1:30000 y con ayuda del programa ARC GIS se generan curvas de nivel con resolución espacial (equidistancia) de 30 m.

Compilación de bases teóricas necesarias para clasificar los movimientos en masa en base a dos elementos: el tipo de material y tipo de movimiento.

#### 3.1.2.2 FASE 2: GABINETE 1

Durante esta etapa se procesa la información que se recopiló durante la primera fase para la generación de planos en los que se delimitó la zona de estudio (área de influencia del deslizamiento de tierra en el centro poblado de Carampa), también se elaboran mapas preliminares como:



pendientes y modelo digital del terreno a fin de planificar los trabajos de investigación que se realizaran en la siguiente fase.

### **3.1.2.3 FASE 3: TRABAJO DE CAMPO**

Esta fase de campo consistió en desarrollar el cartografiado geológico, geomorfológico, geodinámico, geotécnico (consistió en la elaboración de seis calicatas o exploraciones a cielo abierto) y con ayuda de un asistente (geofísico) se realizaron seis (06) sondajes eléctricos verticales (SEVs).

### **3.1.2.4 FASE 4: TRABAJO DE GABINETE**

En esta etapa se llevó a cabo la compilación y procesamiento de los trabajos realizados en campo que consistieron en la elaboración de los planos temáticos: ubicación, hidrología, modelo digital del terreno (MDT), pendientes, geomorfología, geología regional, geología local, geodinámica, geotecnia y la correlación de los perfiles geoeléctricos (información proporcionada por el geofísico) con la geología para la elaboración de perfiles geológicos - geotécnicos.

Con ayuda de un programa computacional (SLIDE V6) se desarrolló un análisis de estabilidad de taludes sobre la ladera donde se asienta el centro poblado de Carampa.



## CAPÍTULO IV GENERALIDADES

### 4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona de estudio se localiza en la margen derecha del río Acrora, específicamente en el extremo Oriental del distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, **Plano 01**.

Para acceder vía terrestre, al área antes mencionada, se debe tomar la carretera asfaltada desde Lima a Huancayo, cuyo trayecto presenta 298 km, luego se continua 49 km hacia el distrito de Pazos a través de una vía afirmada en buen estado de conservación. Finalmente, para llegar al Centro Poblado de Carampa se recorre un tramo de 14 km de trocha carrozable en regular estado de conservación.

### 4.2 CLIMA

En la zona de estudio no existen estaciones meteorológicas que nos brinden información climatológica de C.P Carampa, por lo que se optó por tomar datos del proyecto: Atlas climático de precipitación y temperatura de la cuenca del río Mantaro, elaborado por el IGP en el año 2005, de dicha investigación se ha obtenido información de: tres estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), una de Electro Perú y la última perteneciente a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Las estaciones antes mencionadas se ubican en los alrededores del de C.P de Carampa, cuyas coordenadas se presentan en el Cuadro 01 y Figura 25.

Cuadro 01: Ubicación de estaciones meteorológicas situadas alrededor de la zona de estudio.

NOMBRE DE ESTACIÓN	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m)	FUENTE
Acostambo	493567.00	8632961.00	3650	Electro Perú
Matibamba	519921.00	8664194	2199	IRI
Pampas	514553.00	8629978	3260	SENHAMI
Salcabamba	523296.00	8651382.00	2900	SENHAMI
Viques	474524.00	8655466.00	3186	SENHAMI

Fuente: IGP, Año 2005.

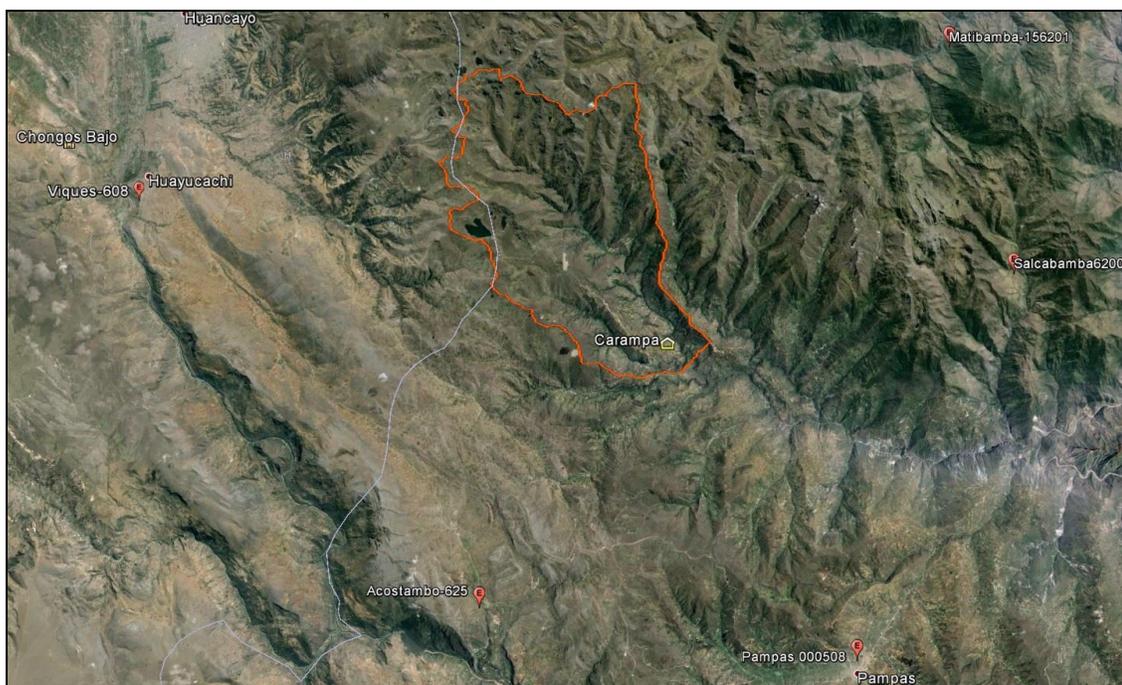


Figura 25: Ubicación de estaciones meteorológicas en los alrededores de la sub-cuenca (línea roja) que abarca la zona de estudio.

Asimismo, los datos obtenidos de estas cinco estaciones meteorológicas se presentan a continuación en el Cuadro 02, los recuadros sombreados representan la máxima precipitación acumulada.



Cuadro 02: Registro de temperaturas y precipitaciones durante el período 1960 – 2002.

Temperatura máxima (°C) del aire, período: 1960 - 2002													
Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Acostambo	15.8	15.7	15.5	16.0	16.2	15.9	15.6	15.8	16.2	16.6	16.9	16.8	16.1
Pampas	17.8	17.7	17.7	18.4	18.8	18.2	18.0	18.1	18.3	18.9	19.2	18.9	18.3
Salcabamba	20.3	17.0	18.2	18.5	18.4	18.0	16.0	18.0	18.8	19.3	19.9	19.3	18.5
Viques	18.5	18.8	19.0	19.9	20.8	20.9	19.5	20.6	20.5	20.1	20.3	20.0	19.9
Temperatura mínima (°C) del aire, período: 1960 - 2002													
Acostambo	4.0	4.1	3.9	2.2	0.0	-1.8	-2.1	-0.4	1.5	2.9	2.8	3.1	1.7
Pampas	5.1	5.2	4.5	2.9	0.6	-0.7	-1.0	0.4	2.6	3.4	3.5	3.6	2.5
Salcabamba	9.4	9.5	9.3	9.0	8.1	7.5	6.9	6.3	8.2	9.0	9.4	9.0	8.5
Viques	7.7	7.8	7.8	5.6	3.5	2.9	2.9	3.4	5.3	6.7	6.4	6.8	5.6
Temperatura media (°C) del aire, período: 1960 - 2002													
Acostambo	10.1	10.1	10.0	9.6	8.8	7.7	7.7	8.3	9.5	10.4	10.6	10.4	9.4
Pampas	12.1	12.1	12.0	11.7	10.7	9.5	9.4	10.1	11.2	12.2	12.5	12.4	11.3
Salcabamba	14.9	13.3	13.5	13.9	13.3	12.4	11.6	12.3	13.3	14.1	14.8	14.4	13.5
Viques	13.4	13.3	13.1	13.1	12.7	12.3	10.9	12.3	12.8	13.4	13.7	13.9	12.9
Precipitación acumulada mensual (mm/mes) del aire, período: 1960 - 2002													
Acostambo	123.0	119.4	108.1	44.9	18.9	11.6	10.9	20.8	42.3	62.5	69.9	89.1	721.0
Matibamba	154.1	122.8	123.4	72.9	36.9	14.1	22.5	26.6	58.6	67.3	69.9	109.8	879.0
Pampas	84.8	93.7	83.6	33.1	15.3	7.7	9.4	17.0	31.5	42.9	44.8	78.0	542
Salcabamba	97.9	125.3	104.4	33.1	21.3	16.0	13.2	16.8	28.4	60.5	72.2	79.3	668.0
Viques	128.5	139.7	91.7	32.0	14.1	11.4	11.4	11.6	34.0	75.3	77.4	76.2	703

Los mismos que fueron interpolados hacia la zona de estudio, haciendo uso del programa ArcMap, obteniéndose que la zona de estudio presenta temperatura media de 10.9 a 11.0 °C, característico de zonas de clima frío. Mientras que, las lluvias máximas acumuladas mensuales se han estimado en 122 a 123 mm aproximadamente, Figura 26 y 27.

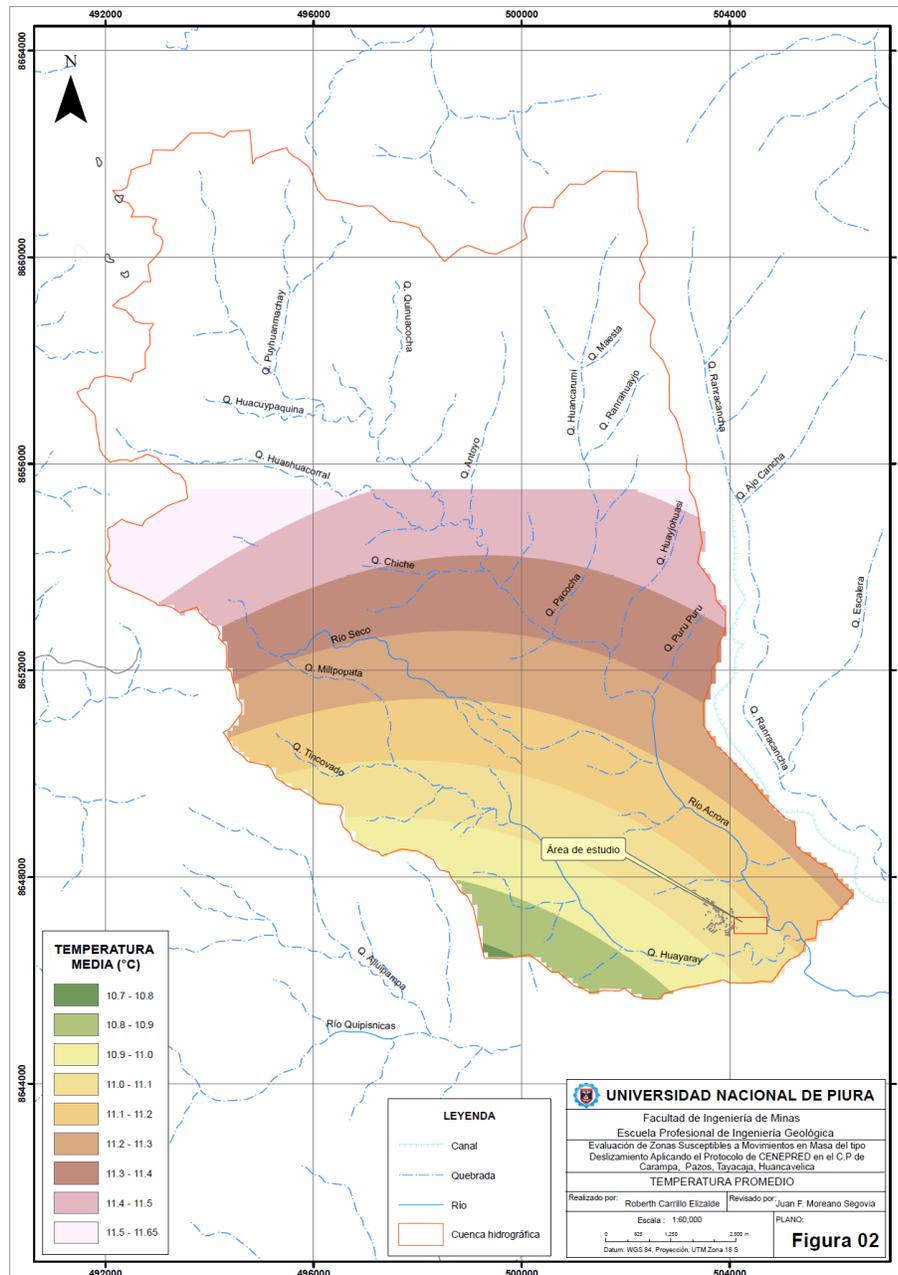


Figura 26: Distribución de temperatura en la zona de estudio.

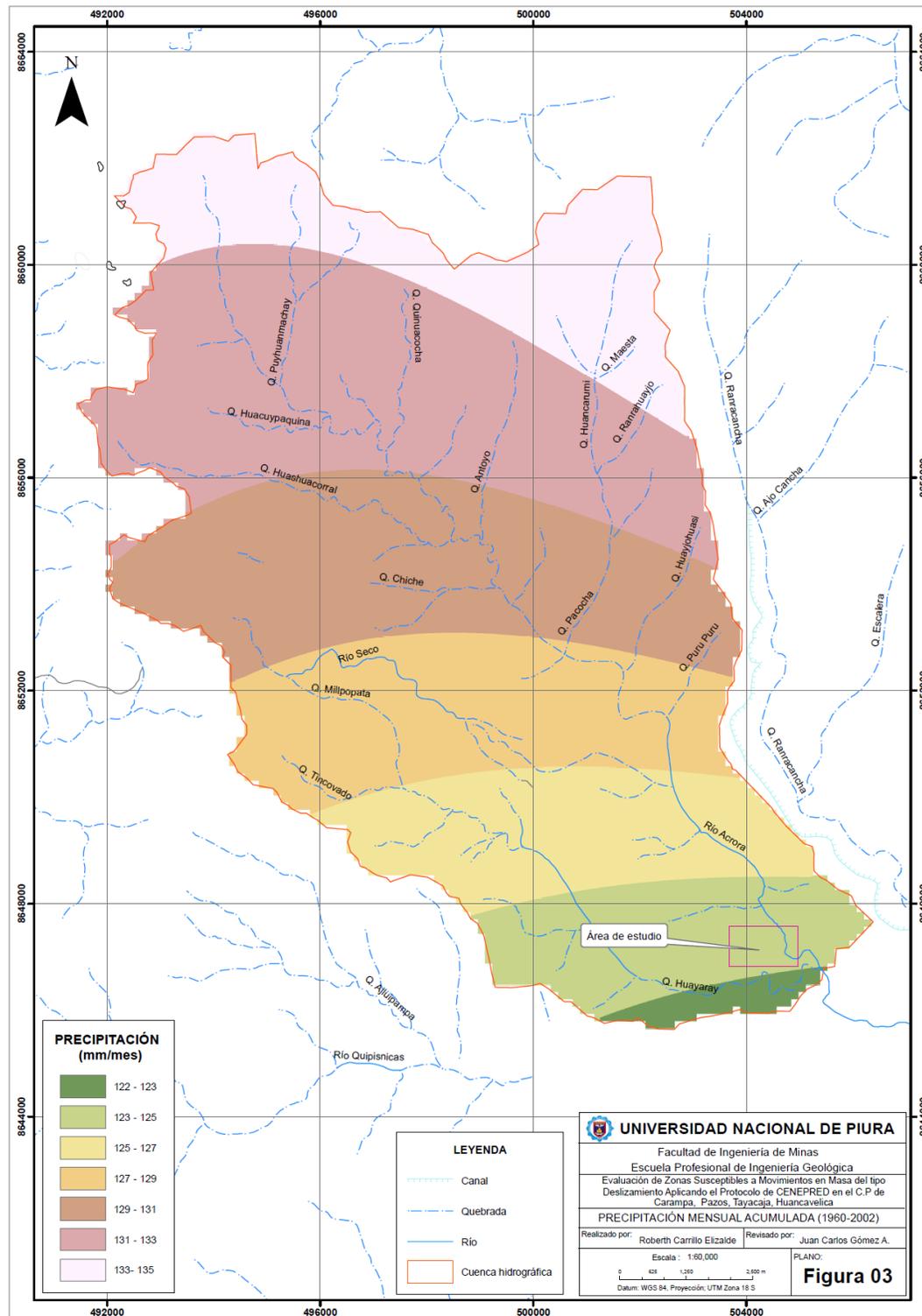


Figura 27: Distribución de precipitaciones acumuladas mensuales máximas de la zona de estudio.



### 4.3 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se ubica en la cuenca del río Mantaro, específicamente se encuentra ocupando una microcuenca que presenta un área total de 143.6 km<sup>2</sup> y perímetro de 63.9 km. Presenta forma alargada, drenaje dendrítico, pendientes fuertes, valles angostos y sus afluentes derivan sus aguas en dirección andina (noroeste – sureste). A continuación se describe el sistema hidrográfico local de la zona de estudio:

El principal sistema de drenaje del área de estudio lo constituye el río Acrora, que discurre sus aguas desde sus nacientes a través de un recorrido de 22 km. Se hace mención que, este río se encuentra erosionando y desestabilizando el pie del deslizamiento que afecta al centro poblado de Carampa.

Además, en las inmediaciones del C.P Carampa se han reconocido dos quebradas, entre ellas se tiene la quebrada Huarayay, que desemboca sus aguas al río Acrora (ubicada a 1 km al sureste del deslizamiento de tierra) y otra quebrada que se localiza a 900 m al noroeste de la zona de estudio, **Plano 02**.

### 4.4 GEOMORFOLOGÍA

Estudia las formas superficiales (geoformas) que presenta el relieve terrestre, investigando su origen y desarrollo, como resultado de la ocurrencia de los distintos procesos endógenos y exógenos que puedan suscitarse a través del tiempo.

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



En este capítulo se describen las características de las geoformas presentes en las inmediaciones y alrededores de Carampa, en relación a su origen y procesos que modifican el relieve actual, realizando un análisis proceso – respuesta, siendo el primero el agente modelador y la respuesta la geoforma resultante. Ello en base a herramientas computacionales como: los sistemas de información geográfica (SIG) que han permitido elaborar un Modelo Digital del Terreno (MDT) y plano de pendientes, a fin de reconocer las características topográficas del terreno y delimitar las unidades geomorfológicas, estas fueron verificadas y validadas durante el trabajo de campo, **Plano-05.**

A continuación se describen los trabajos antes mencionados:

#### **4.4.1 Modelo Digital del Terreno (MDT)**

Es una representación digital de la superficie terrestre en tres dimensiones (horizontal y vertical), permite reconocer geoformas presentes en el área de estudio teniendo en cuenta su elevación; se obtiene en base a topografía que se elaboró con una imagen ASTER GDEM (aster global digital elevation model) en formato GEOTIFF, con coordenadas geográficas lat/long, resolución espacial de 30 m y con referencia al geoide WGS 84/EGM96, en coordenadas UTM, la cual se georeferencia con el programa ArcMap. El MDT elaborado se presenta a escala gráfica 1:15,000, cubre un área de 23 km<sup>2</sup> y en formato de impresión A3, **Plano 03.**

En base al MDT elaborado de la localidad de Carampa se ha reconocido que la zona urbana se asienta sobre una ladera de montaña, cuyas elevaciones comprenden los 2950 y 3000 m.s.n.m aproximadamente, mientras que, el deslizamiento de tierra se ubica en un nivel inferior (debajo de los 3000 m.s.n.m).

Adicionalmente, en las inmediaciones del poblado se han reconocido cotas inferiores a los 2675 m.s.n.m, características de la zona de valle o lecho fluvial del río Acrora.



#### 4.4.2 Pendientes

Mapa temático que mediante un sistema gráfico digital representa los diferentes grados de desnivel (inclinación de una superficie respecto a la horizontal de un territorio).

Consiste en representar mediante colores zonas del terreno con pendiente semejante, por lo tanto el objetivo de este mapa es reconocer las geoformas presentes en el terreno en base a la inclinación de las distintas unidades geomorfológicas. Se obtiene haciendo uso de la aplicación de la rutina SPATIAL ANALYST del software SIG, usando como archivo fuente el MDT generado anteriormente. La localidad de Carampa se encuentra asentada sobre una ladera de montaña con pendiente entre 15 y 30° en promedio, a sus alrededores predominan las pendientes mayores a los 30°, como es el caso de la zona deslizada que presenta pendiente superior a 45°, **Plano 04**.

#### 4.4.3 Unidades Geomorfológicas

En el centro poblado de Carampa y en las inmediaciones se han reconocido tres unidades geomorfológicas, las cuales se clasifican en base a su origen de la siguiente forma:

##### 4.4.3.1 Origen Fluvial

El más importante de todos los agentes modeladores que actúan sobre la superficie terrestre es el agua de escorrentía cuya dinámica comprende las siguientes etapas: Erosión, transporte y sedimentación.

A pesar de que <0.005% del agua continental se encuentra en los ríos en un momento determinado, el flujo del agua es una de las fuerzas más importantes que operan en la superficie terrestre (Knighton, 1998).

Las geoformas resultantes generalmente se encuentran relacionadas a la presencia de los ríos que se comportan esencialmente como agentes de



erosión y transporte de sedimentos procedentes del continente, hasta desembocar a los océanos. Los materiales son transportados principalmente teniendo en cuenta el tamaño y peso de los materiales, los grandes y pesados bloques son dejados muy cerca del lugar de origen o "in situ", los de menor peso son llevados lejos de su origen, mientras que las partículas finas en suspensión y/o solución son transportadas a enormes distancias, depositándose en los fondos lacustres o marinos.

La sedimentación se produce en las depresiones de los cursos fluviales (lecho fluvial), en los cambios de pendiente y/o partes convexas o internas de los meandros (llanuras de inundación).

Se hace mención que, entre los agentes que intervienen en el modelado de las distintas geoformas (lecho fluvial) en el C.P Carampa resaltan los ríos y quebradas.

#### **4.4.3.1.1 Lecho fluvial**

Se encuentra relacionado al cauce del río Acrora, que ha originado un canal, producto de la acción erosiva del agua durante su desarrollo y evolución a través del tiempo, dejando en su recorrido huellas o marcas de cauces antiguos, vertientes, islotes, terrazas fluviales, entre otros, Foto 01.



**Foto 01: Lecho fluvial, correspondiente al río Acrora, cuyo cauce drena sus aguas de noroeste a sureste.**

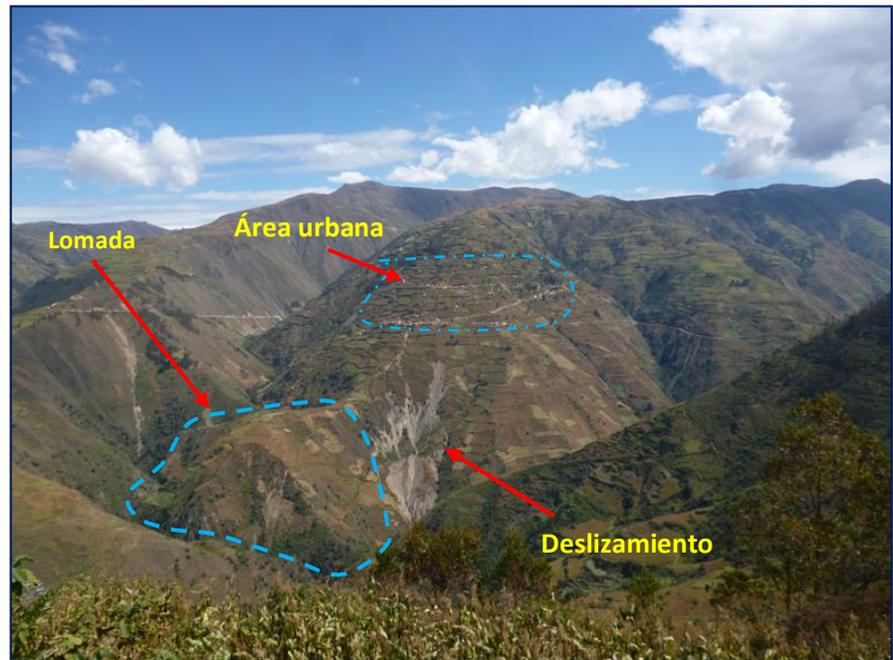
#### **4.4.3.2 Origen Tectónico**

Entre las geoformas comprendidas en este ítem destacan aquellas que se encuentran vinculadas principalmente al dominio estructural y levantamiento tectónico de la Cordillera Occidental y Oriental. A continuación se citan las unidades geomorfológicas comprendidas:

##### **4.4.3.2.1 Lomada**

Son geoformas de poca elevación, por lo general de forma cónica, se ubican al lado sureste del C.P Carampa, presenta desnivel de 100 a 200 m aproximadamente. La morfología es ondulada y la pendiente de las laderas sobrepasa los 30° de inclinación; generalmente están cubiertas por limoarcillitas, se

han formado producto los distintos procesos de epirogénesis que han ocurrido a lo largo de las distintas fases tectónicas de la cordillera Occidental, Foto 02.



**Foto 02.** Lomada ubicada al sureste del C.P de Carampa, cuyo agente modelador se atribuye al tectonismo de la Cordillera Occidental.

#### 4.4.3.2.2 Montaña

Esta unidad geomorfológica comprende altitudes superiores a 3650 m.s.n.m, se han originado producto de esfuerzos tectónicos, presentan pendiente superior  $30^\circ$ , se ubican en los alrededores de la zona de estudio. Se hace mención que, el C.P de Carampa se asienta sobre una ladera de montaña, **Foto 03**.



**Foto 03. Cadenas de montañas ubicadas en el extremo oeste de C.P Carampa (línea roja), el C.P se asienta sobre la ladera de una montaña (línea azul).**



## CAPÍTULO V

### ASPECTOS GEOLÓGICOS

#### 5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Tomando como base la Carta Geológica Nacional (INGEMMET, base 1966 y actualizada al año 2002); hoja 25-n - IV, correspondiente al cuadrángulo de Pampas, escala 1:50, 000, se describen las unidades litológicas aflorantes en las inmediaciones del C.P Carampa, consisten en rocas que comprenden edades entre el Proterozoico (Neoproterozoico), conformadas por el complejo metamórfico de la Cordillera Oriental, entre las cuales se tiene: filitas, gneis; y materiales Cuaternarios que se encuentran constituidos por depósitos aluviales, **Figura 28, Plano P-06**.

El área de estudio forma parte de una cuenca extensa ubicada en el extremo occidental de Tayacaja que durante el Proterozoico los sedimentos que la conformaban fueron plegados y afectados por metamorfismo regional, de tal manera que, el basamento de la zona de estudio se encuentra representado por rocas del Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental, constituido por rocas metamórficas que afloran hacia arriba en forma gradacional desde esquistos, filitas y gneis hasta lutitas. Cabe mencionar que, las rocas que conforman este complejo se subdividen en dos grupos, el primero (PE/gn/an/ es) contiene rocas tipo gneis, anfibolitas, esquistos de muscovita y aflora a 12 km al noreste del C.P de Carampa. Mientras que, el segundo (PE f,es/em/ecl) aflora a 8 km al noreste de la zona de estudio y presenta principalmente filitas.

Luego, a partir del Paleozoico la cuenca permaneció emergida como producto de una tectónica de epirogénesis, que fue relacionada a la orogenia Herciniana (finales del Devónico), durante esta fase las rocas paleozoicas continuaban plegadas, metamorfizadas y sujetas a procesos denudativos que erosionaron las rocas preexistentes, dando origen al Grupo Cabanillas que se encuentra conformado por limoarcillitas intercaladas con lutitas y areniscas oscuras. Cabe resaltar que, sobre esta



litología se asienta el C.P Carampa.

La cuenca continuó con el proceso de epirogénesis (levantamiento) hasta el Carbonífero, además, en el Pérmico se produjo una segunda fase tectónica que originó fallamientos y por ende el emplazamiento de rocas intrusivas, entre las cuales se tiene: la dacita Carampa (PTr-ca/da), sobreyaciendo las dacitas antes mencionadas se encuentra la Diorita Ayacochas (PTr-ay/di). Estos intrusivos se encuentran aflorando a 1.2 km al oeste y a 10 km al noreste respectivamente del C.P de Carampa.

Posteriormente, a fines del Pérmico e inicios del Triásico continúa el levantamiento en este sector de la cuenca (área de estudio), produciéndose un proceso de regresión, de tal manera que el ambiente de sedimentación se encuentra en una etapa de transición, predominando el medio continental. En tal sentido, en este período suprayace en discordancia angular a las rocas Proterozoicas y Paleozoicas el Grupo Mitu, conformado principalmente por areniscas rojizas, y en menor proporción limoarcillitas y materiales lávicos (brechas). Cabe resaltar que, el Grupo Mitu aflora 3 km al Oeste y a 13 km al noreste del C.P de Carampa.

A partir del Triásico la cuenca sobre la que se ubica el C.P Carampa sufrió, un proceso tectónico relacionado a procesos de subsidencia (hundimiento). Ante ello, ocurrieron períodos de transgresiones marinas, permitiendo que durante el Jurásico Inferior, en ambientes marinos se originen rocas calizas, pertenecientes al Grupo Pucara.

Finalmente, sobreyaciendo a las unidades antes mencionadas se encuentran los materiales cuaternarios recientes (Holoceno) representados principalmente por depósitos aluviales (Qh-al).



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales (Qh-al) 	
		PLEISTOCENO		
MESOZOICO	CRETÁCICO			
	JURÁSICO	INFERIOR	Grupo Pucara (TrJi-pu) 	
	TRIÁSICO			
PALEOZOICO	PÉRMICO		Grupo Mitu (PsT-mi) 	Diorita Ayacochas (PTr-Ay/di)  Dacita Carampa (PTr-ca/da) 
	CARBONÍFERO			
	DEVÓNICO		Grupo Cabanillas (D-ca) 	
PROTEROZOICO	NEOPROTEROZOICO		Complejo metamórfico de la Cordillera Oriental	
			Filitas y esquistos (PE-f,es/em/ecl)  Gneis, anfibolitas y esquistos (PE-gn/an/es) 	

Figura 28: Columna crono-litoestratigráfica regional del área de estudio, Fuente: INGEMMET, 2002.



## 5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se encuentra influenciada por el dominio estructural de la Cordillera Occidental principalmente, y en menor proporción la Cordillera Oriental. Se caracteriza por que las rocas, pliegues y fallas presentan rumbo andino (noroeste-sureste). Cabe mencionar que, los afloramientos ubicados en las inmediaciones se encuentran por lo general metamorfizados y plegados, **Plano P-06**.

Localmente en el C.P Carampa no se han identificado estructuras de consideración, sin embargo, a lo largo del río Acrora se evidenció un eje anticlinal, específicamente se sitúa a 500 m de la zona de estudio.

En los alrededores de la zona de estudio se identificó una zona estructural asociada a ejes de anticlinales, sinclinales y fallas. Esta zona se ubica a más de 3 km de distancia del área de estudio, razón por la cual no presentaría implicancia en el C.P Carampa.

## 5.3 GEOLOGÍA LOCAL

En las inmediaciones de C.P Carampa se han identificado cuatro unidades litológicas: Grupo Cabanillas (D-ca) del Devónico, dacita Carampa (PTr-ca/da) del Pérmico y materiales Cuaternarios que conforman depósitos: aluviales (Qh-al) y fluviales (Qh-f), **Figura 29, Plano P-07**.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos fluviales (Qh-f) 		
			Depósitos aluviales (Qh-al) 		
MESOZOICO	CRETÁCICO				
	JURÁSICO				
	TRIÁSICO				
PALEOZOICO	PÉRMICO				Dacita Carampa (Ptr-ca/da) 
	CARBONIFERO				
	DEVÓNICO	Grupo Cabanillas (D-ca) 			

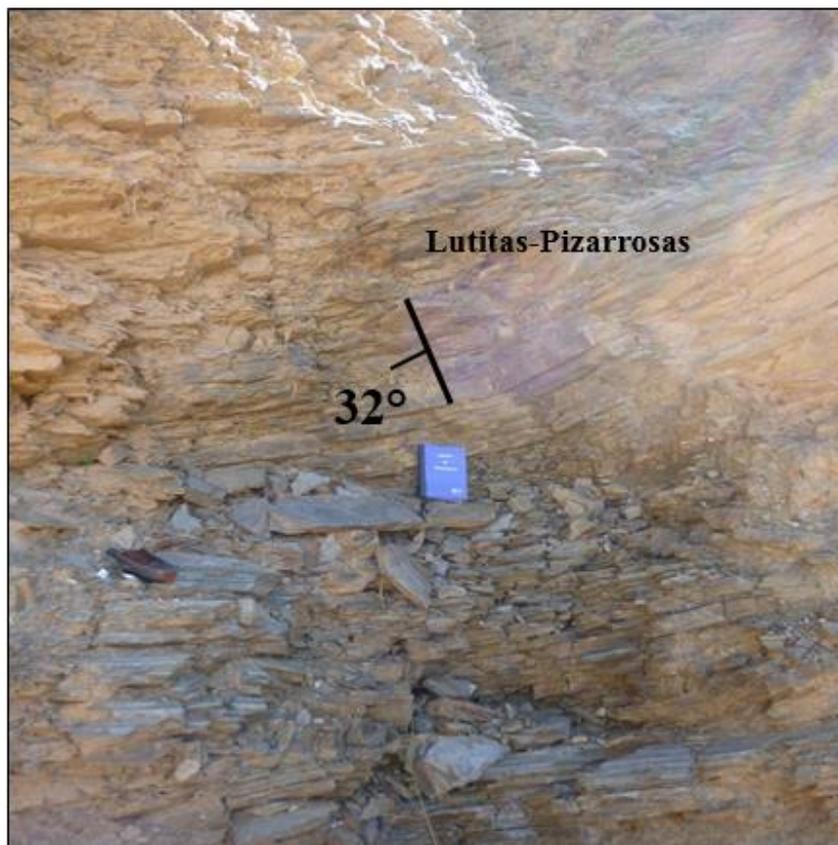
Figura 29: Columna crono-litoestratigráfica local del área de estudio, Fuente: INGEMMET, 2002.

### 5.3.1 Unidades litológicas

A continuación se describen las principales unidades litológicas identificadas y cartografiadas en campo:

#### 5.3.1.1 Grupo Cabanillas (D-ca)

Conformado por limoarcillitas oscuras carbonosas intercaladas con lutitas en capas delgadas, también presenta escasa presencia de areniscas de grano grueso y coloraciones oscuras. Se hace mención que, las limoarcillitas sobreyacen una secuencia de lutitas-pizarrosas de color gris en capas delgadas, presentándose erosionadas, fracturadas y bien estratificadas, **Foto 04 y 05**. Sobre esta unidad litológica se asienta el C.P de Carampa.



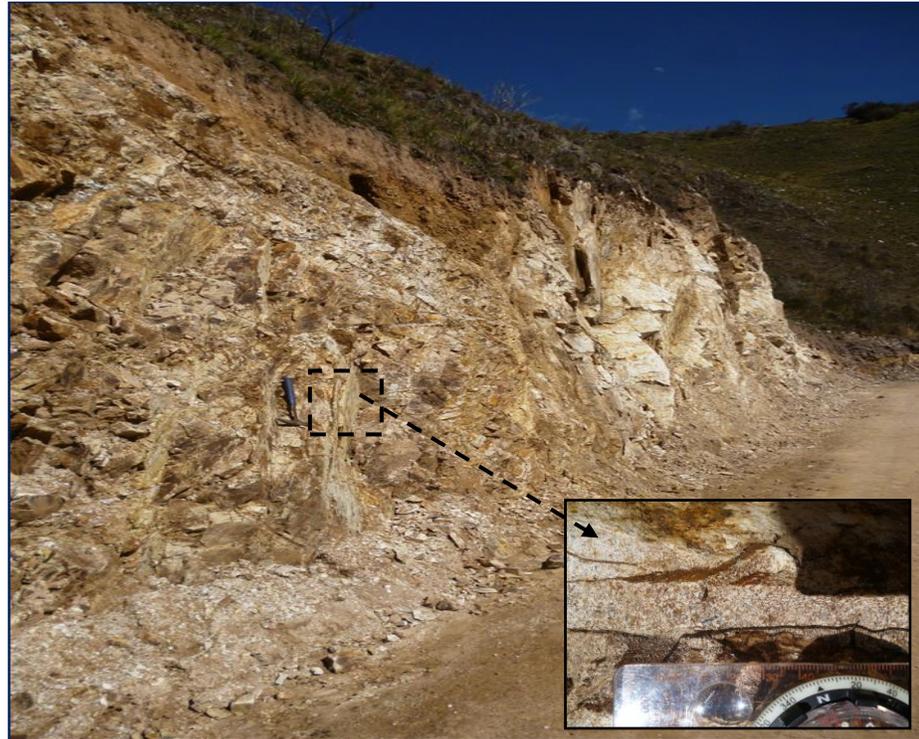
**Foto 04. Lutitas-pizarrosas se presentan intensamente fracturadas, ligeramente oxidadas, con rumbo N77°W y Buzamiento 32°SW.**



**Foto 05:** Lutitas pizarrosas muy fracturadas que se presentan suprayaciendo las limoarcillitas, estos afloramientos se evidencian en la cárcava principal del deslizamiento.

#### 5.3.1.2 Dacita Carampa (PTr-ca/da)

Conformadas por rocas del mismo nombre (dacitas), se caracterizan por presentar textura porfirítica, fracturas moderadas y de color blanquecino a gris, **Foto 06**.



**Foto 06:** Los afloramientos de dacitas se ubican a 4.5 Km, al noroeste del centro poblado de Carampa.

### 5.3.1.3 Depósitos aluviales (Qh-al)

Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a torrenteras, quebradas, etc. Los mismos que son transportados aguas abajo y depositados en zonas bajas (terrazas o valles). Esta unidad pertenece al Cuaternario Reciente (Holoceno), está constituida por materiales aluviales (cantos, gravas heterogéneas conformadas por clastos angulosos y subredondeados) que se encuentran envueltos en matriz areno-limosa, se ubican dos quebradas ubicadas en el norte y sur del C.P Carampa, **Foto 07**.



**Foto 07: Materiales granulares de origen aluvial, constituidos por cantos y gravas que se encuentran envueltos en matriz arenolimsa. Se ubican a 1km al noreste del centro poblado de Carampa, obstruyendo la vía hacia el centro poblado de Pichus.**

#### **5.3.1.4 Depósitos fluviales (Qh-fl)**

Constituidos por materiales generados por la dinámica de los ríos, que al momento de discurrir aguas abajo va arrancándolos y desprendiéndolos, para luego depositarlos en el cauce o márgenes del río. Cabe mencionar que, estos depósitos se encuentran conformados por gravas, clastos redondeados y arenas sueltas, Foto 08.



**Foto 08: Depósitos fluviales que han sido transportados por corrientes de agua y depositados en el río Acrora.**



## CAPÍTULO VI

### ASPECTOS GEODINÁMICOS

La geodinámica abarca el estudio de los procesos y cambios físicos que ocurren constantemente sobre la superficie de la Tierra, estas transformaciones son posibles debido a la intervención de agentes internos y externos que crean, forman, degradan y modelan la superficie terrestre. Esta rama de la geología se subdivide en:

#### 6.1 GEODINÁMICA INTERNA

El territorio peruano está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la interacción de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca considerada como la primera fuente sismogénica en el Perú, produciendo los eventos de mayor magnitud conocidos hasta el presente. La segunda fuente, la constituye la zona continental, cuya deformación ha dado origen a la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores (Modificado de Cahill et al, 1992; Tavera et al, 2001).

Estos procesos generan una constante acumulación de energía que se libera a través de la ocurrencia de terremotos o sismos, en tanto, esto ha motivado a muchos investigadores a realizar estudios a fin de conocer la geometría de la subducción así como zonificar las zonas de mayor deformación superficial en el interior del continente. El cálculo de los parámetros hipocentrales de terremotos ocurridos en Perú, han mostrado que estos ocurren a diferentes profundidades, teniendo como máximo la profundidad de 700 Km, (Pomachagua, 2000). Según la zonificación morfológica del Perú, este se divide en cinco morfologías que son la zona costera, la cordillera occidental, la cordillera oriental, el altiplano y la zona sub-andina. La distribución espacial de los sismos en el Perú, se ha clasificado en zonas de acuerdo a la profundidad de sus focos en sismos: con foco superficial ( $h \leq 60$  km), intermedio ( $60 < h \leq 360$  km) y profundo ( $h > 360$  km), **Figura 30**.

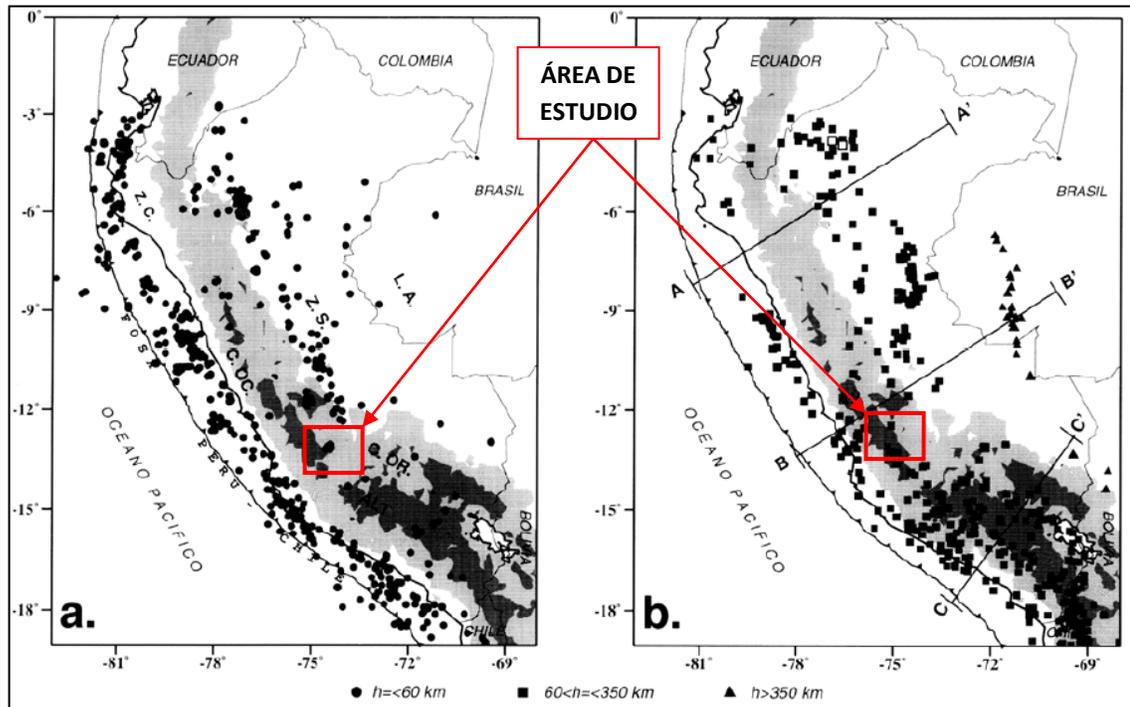


Figura 30: Sismicidad del Perú para el período 1960 - 1995, magnitud mb. 5.0 a) Distribución de epicentros con foco superficial ( $h < 60$  km). b) Distribución de epicentros con foco intermedio ( $60 < h < 350$  km) y profundo ( $h > 300$  km). Donde: Zona de Costa (ZC), Cordillera Occidental (COC), Altiplano (ALT), Cordillera Oriental (COR), Zona Subandina (ZS) y Llano Amazónico (LA). Los símbolos en negro indican la profundidad de los sismos. Fuente: Tavera, 1998.

En base a esta información se realizó la sección transversal B-B' (ubicada en sector contiguo a zona de estudio), Figura 31; es así que se observa que los focos aumentan de profundidad conforme se distribuyen de Oeste a Este. Esta sismicidad se inicia a una profundidad de 30 km y se distribuye con una inclinación de  $30^\circ$  aproximadamente hasta una profundidad de 150 km, a partir de esta profundidad y a una distancia de 200 km del inicio de la sección, el límite de las placas es prácticamente horizontal.

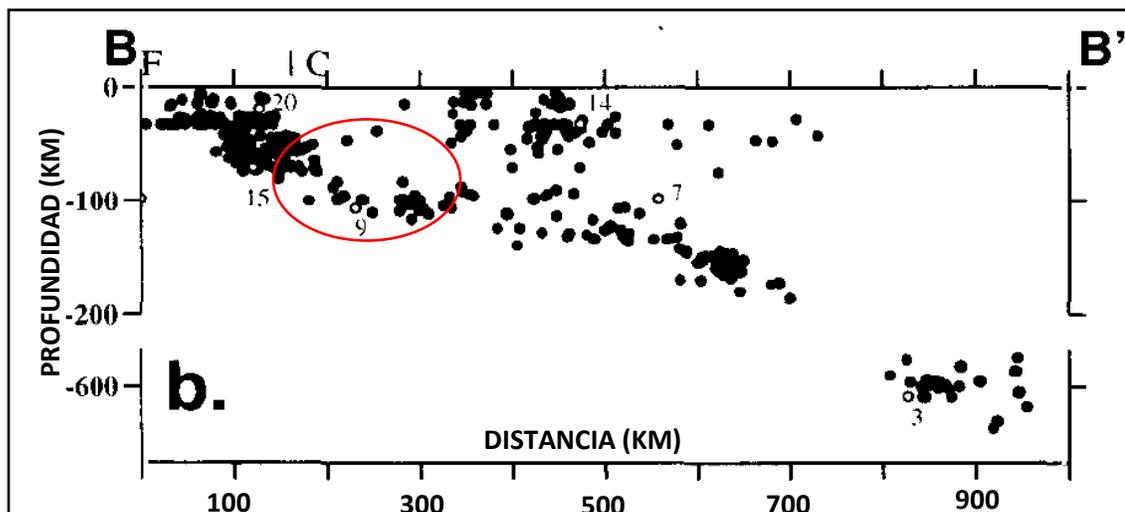


Figura 31: Perfil de la región central del Perú. El círculo rojo indica la posición de la zona de estudio. Fuente IGP.

Según el mapa de fuentes sismogénicas superficiales definidas por Alva y Castillo (1993), Figura 32. El C.P Carampa se sitúa sobre la zona denominada “F11”, esto basado en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas de nuestro país.

Además, se cita el mapa de distribución de máximas intensidades (Deza, 1971), donde el área de estudio se ubica en una zona cuya intensidad sísmica, de acuerdo a la escala de Mercalli Modificada se considera de VI. Asimismo, se debe tener en cuenta que, se encuentra contigua a otro lugar que presenta intensidades de VII, Figura 33.

De acuerdo a lo anterior el C.P de Carampa se ubica en la parte central del territorio peruano en la cordillera occidental y contigua a la cordillera oriental, es afectada por una sismicidad dispersa caracterizada por una alta tasa de actividad y terremotos con magnitud de baja a moderada.

La aceleración para 10% de excedencia en 50 años es de 0.29g, mientras que para 10% de excedencia en 100 años es de 0.34g, Figura 34 y 35.

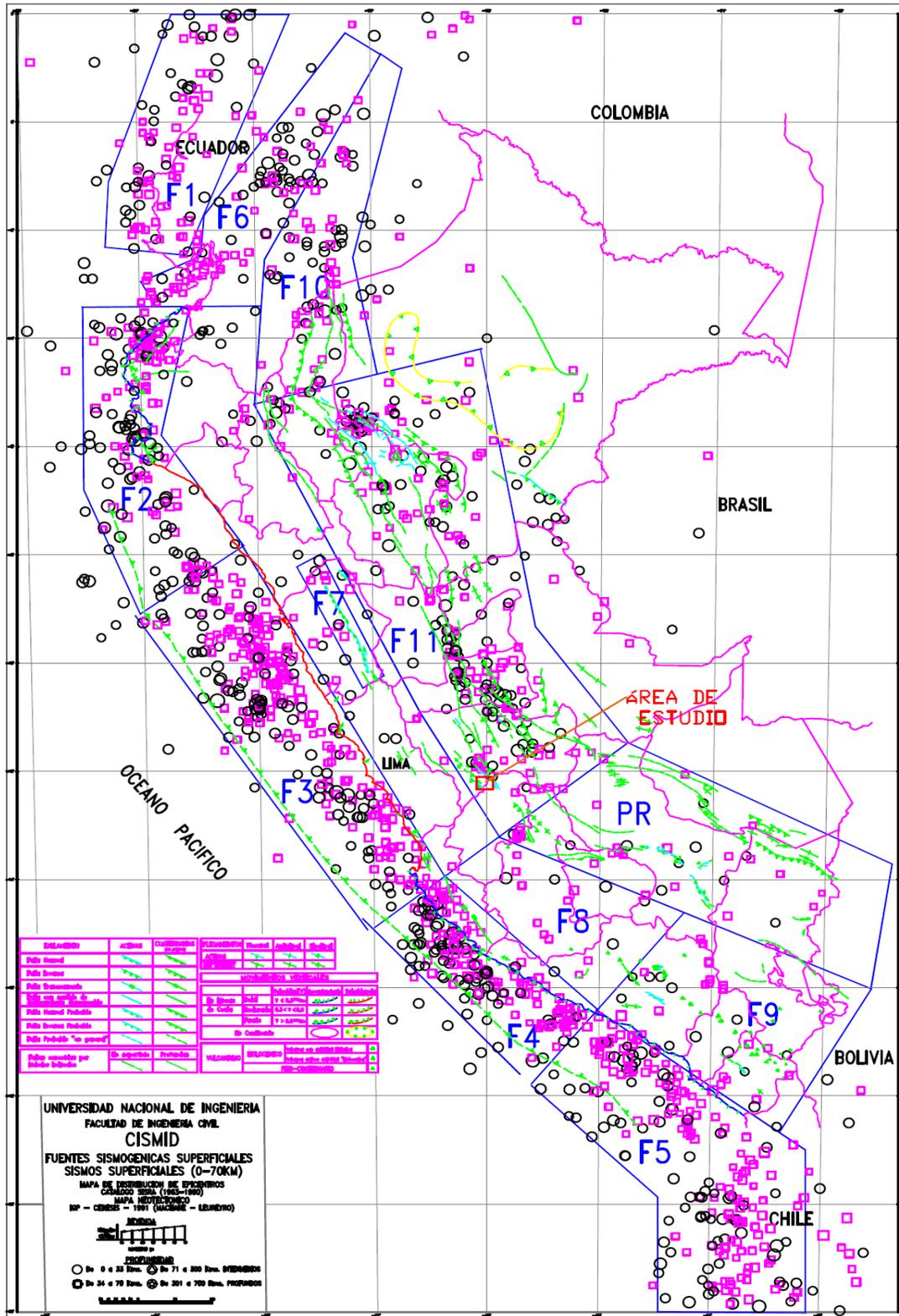


Figura 32: Fuentes sismogénicas superficiales. Fuente: Alva y Castillo (1993).

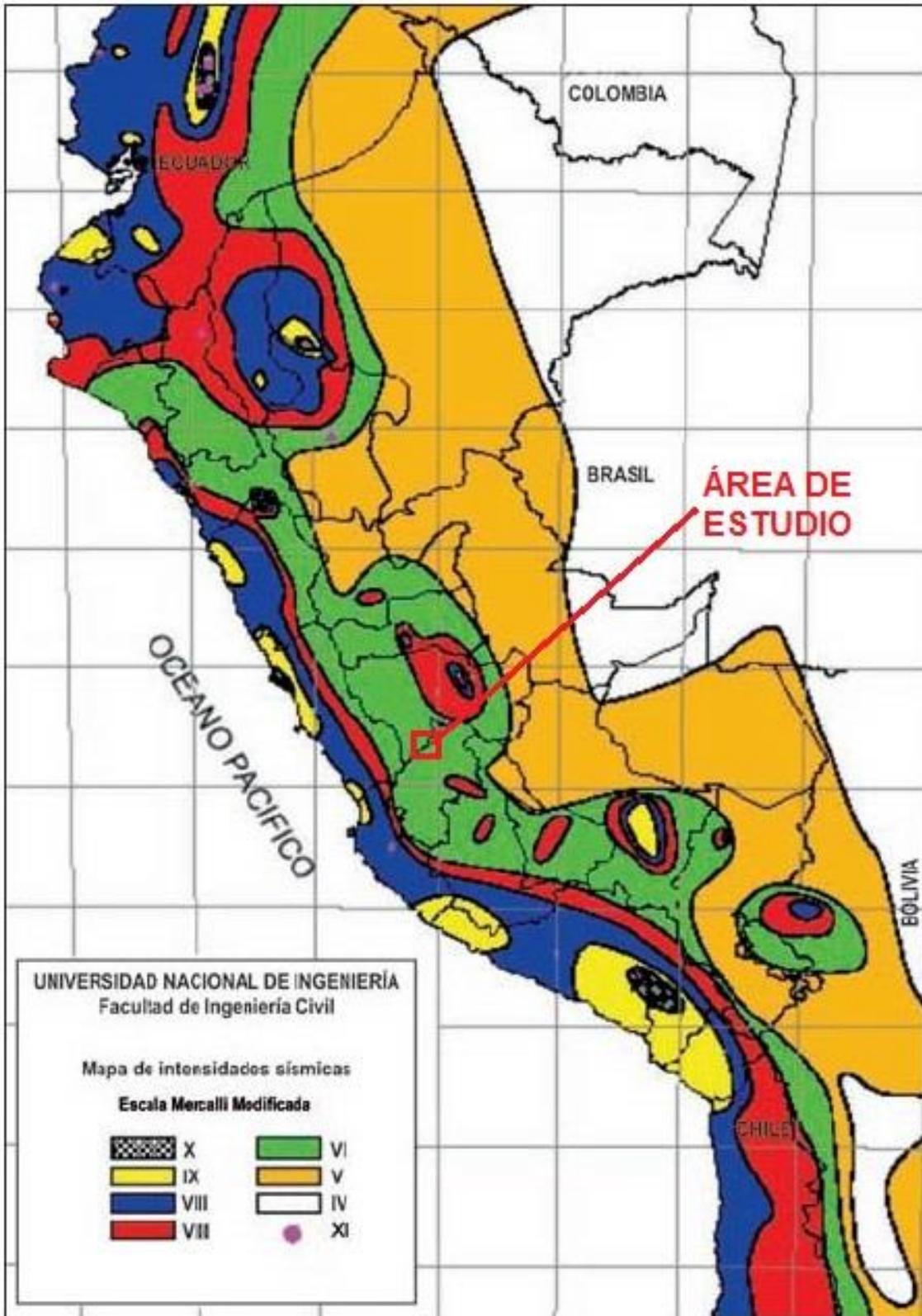


Figura 33: Mapa de distribución máximas intensidades. Fuente: Deza (1971).

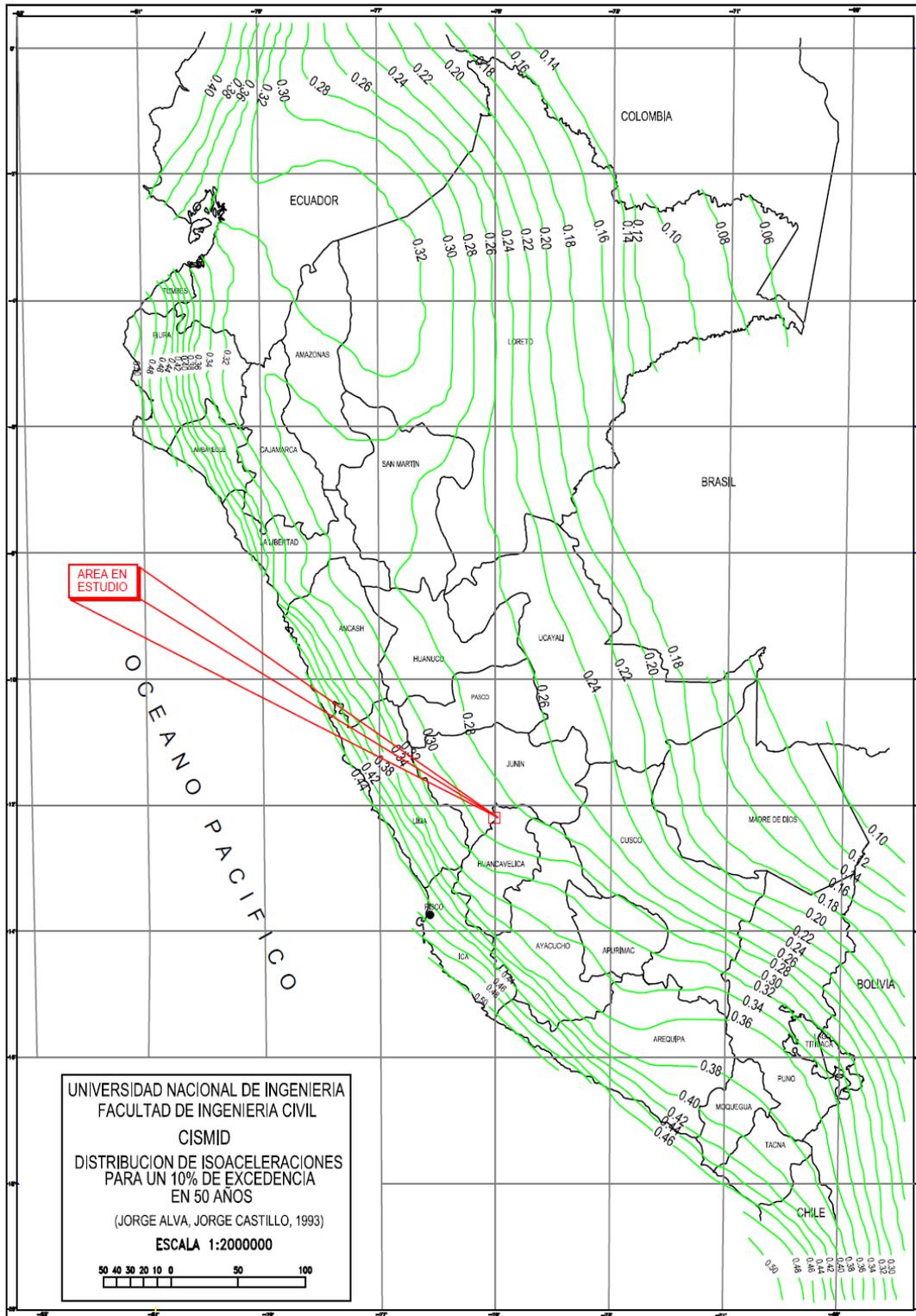


Figura 34: Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 50 años. Fuente: Alva y Castillo, 1993.

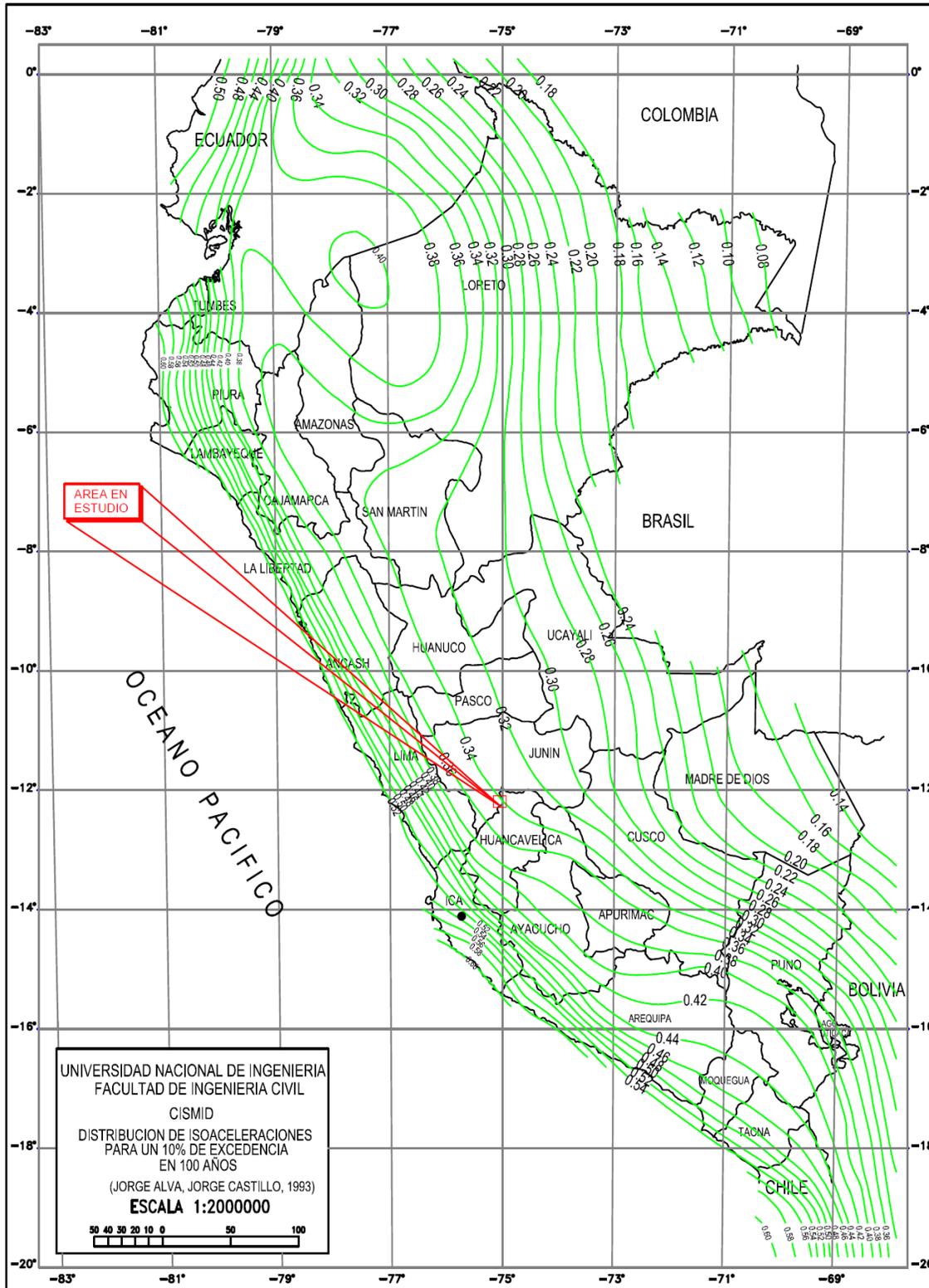


Figura 35: Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 100 años. Fuente: Alva y Castillo, 1993.



## 6.2 GEODINÁMICA EXTERNA

La geodinámica externa estudia la acción de los procesos exógenos sobre la superficie de la Tierra, donde intervienen diversos factores como las lluvias, el viento, entre otros; éstos originan la destrucción y el modelamiento del relieve.

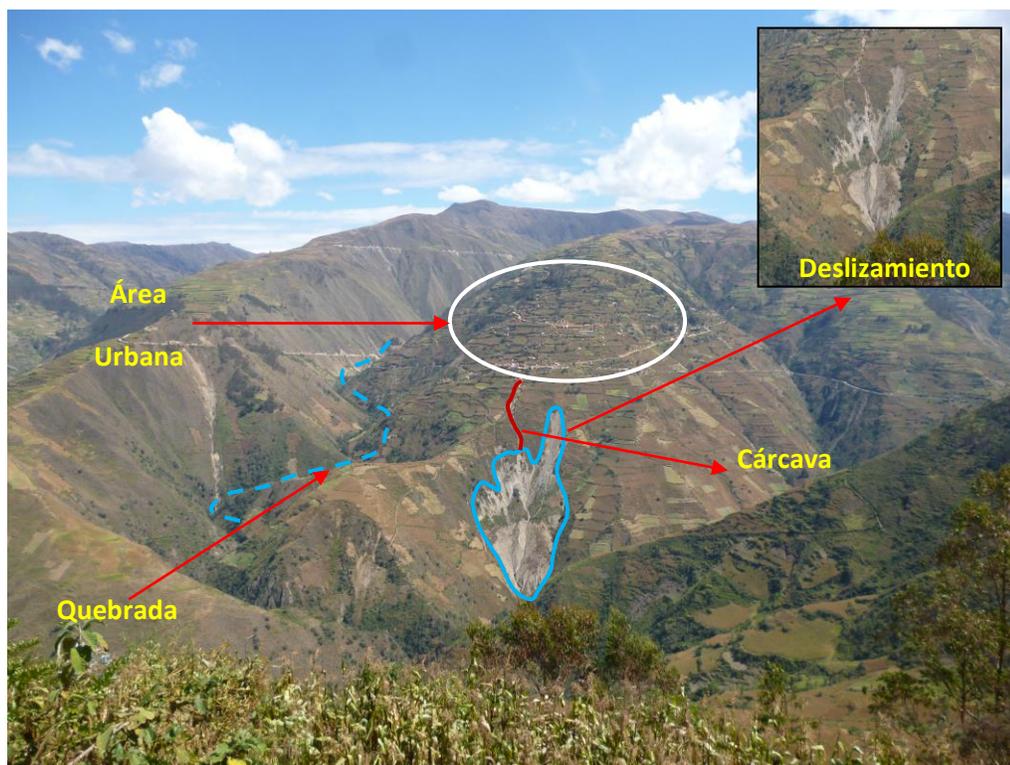
Entre ellas, las precipitaciones pluviales son consideradas uno de los agentes con mayor incidencia en la geodinámica del territorio, pues constituyen el principal factor detonante de los Movimientos en Masa (MM) tales como: Deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas; los cuales a su vez afectan la seguridad física de los centros poblados donde ocurren estos eventos.

A continuación se describen los distintos eventos geodinámicos identificados en el C.P de Carampa:

### 6.2.1 Deslizamiento de tierra

El principal evento geodinámico que se encuentra afectando al C.P de Carampa es un deslizamiento de tierra que se ubica en la parte media de la ladera sobre la que se asienta el área urbana del poblado en mención, **PLANO P-08**.

Teniendo en cuenta la geometría de la superficie de falla, es del tipo rotacional regresivo (la superficie se extiende en sentido contrario al movimiento), cuyo desplazamiento sigue la dirección oeste – este (hacia el río Acrora), encontrándose actualmente en estado activo, principalmente durante los meses en los que las lluvias incrementan (enero – marzo). Se considera un evento extenso, debido a que ocupa un área de 60,181 m<sup>2</sup>, presenta longitud máxima de 500 m aproximadamente, desde la corona al pie del deslizamiento y un ancho promedio de 140 m, **Foto 09**.



**Foto 09: Deslizamiento de tierra (líneas celestes) ubicado en la parte baja de la ladera sobre la que se asienta el C.P de Carampa (línea blanca).**

Cabe resaltar que, la escarpa principal del deslizamiento de tierra se sitúa aproximadamente a 200 m de la zona urbana del C.P de Carampa. A continuación se mencionan las principales características reconocidas en las inmediaciones del deslizamiento de tierra.

### **6.2.1.1 Evidencias del deslizamiento de tierra en el C.P Carampa**

En base a dos visitas de campo llevadas a cabo en los años 2013 y 2015 se han reconocido las siguientes evidencias del deslizamiento de tierra que afecta la seguridad física del C.P de Carampa:

Presencia de dos cárcavas (surcos resultantes de la erosión de las aguas de escorrentía sobre la superficie del suelo), ubicadas en las inmediaciones del área urbana, tales como: una cárcava principal que se

generó en el año 2013, empieza desde el estadio principal (barrio Aturki), pasa por el barrio los Ángeles y llega hasta la municipalidad de dicho centro poblado. Dicha cárcava tiene una longitud de 330.69 m y una profundidad de 1.60 m. Sin embargo, en el presente año (2015) se ha reconocido que dicha cárcava ha aumentado su profundidad hasta 2.40 m y presenta ancho de 2.10 m aproximadamente, Foto 10 y 11.



**Foto 10: Se diferencia cárcava principal que en el año 2013 (A) presentaba profundidad de 1.60 m, mientras que, en el año 2015 (B) aumento su profundidad a 2.40 m.**



**Foto 11: En las inmediaciones de la zona urbana se proyecta la cárcava principal (flechas celestes), afectando los cimientos y alumbrado público de las calles (círculo rojo).**

Finalmente, la segunda cárcava se ha distinguido detrás de la municipalidad del C.P de Carampa, presenta 270 m de longitud y se extiende al sureste de la municipalidad, hasta la corona del deslizamiento de tierra, afectando viviendas aledañas. Cabe mencionar que, comprende anchos variables entre 10 y 15 m, así como, profundidades mayores a los 4 m, Foto 12.



**Foto 12: Cárcava secundaria que se extiende desde la parte baja de la municipalidad del C.P Carampa hasta la corona del deslizamiento. A (Tomada año 2013) y B (Tomada el año 2015).**

También, se evidenció la presencia de grietas en la plaza principal del C.P de Carampa las cuales han sido originadas por efecto de los desplazamientos verticales causados por el deslizamiento, Foto 13.

Además, se identificó que la escarpa secundaria del deslizamiento de tierra se encuentra situada en la parte posterior y baja de la municipalidad del C.P, Foto 14.



Foto 13: Grietas identificadas en la plaza principal del C.P de Carampa.



Foto 14: Escarpa secundaria del deslizamiento (líneas rojas).



## CAPÍTULO VII

### ASPECTOS GEOTÉCNICOS

En este ítem se detallaran los trabajos de investigación geotécnica realizados en campo, entre los cuales se tiene la elaboración de calicatas y sondajes eléctricos verticales, así como, los ensayos de mecánica de suelos realizados en el laboratorio de la Universidad Agraria La Molina (UNALM), a continuación se describirán los mismos:

#### 7.1 GEOTECNIA

Se realizaron 06 exploraciones a cielo abierto (calicatas) con la finalidad de conocer las propiedades físicas de los suelos ubicados en las inmediaciones del C.P Carampa y del deslizamiento de tierra.

##### 7.1.1 Exploraciones a cielo abierto o calicatas (Norma ASTM D 420)

Es una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico de un terreno. Son excavaciones de profundidad superficial (hasta 3.5 m aproximadamente), fueron realizadas con apoyo de pobladores del C.P Carampa.

##### 7.1.1.1 Principio

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

##### 7.1.1.2 Instrumentos

- 1 Pala
- 01 Flexómetro o wincha
- 01 GPS portátil



- 01 Cámara fotográfica
- Bolsas de muestreo

### 7.1.1.3 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 donde ubicarlas.
- Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m y aproximadamente 3.5 m de profundidad.
- Logueo: Proceso de extracción de la muestra del subsuelo y la descripción de las características físicas que presenta el corte estratigráfico.

### 7.1.1.4 Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a loguear y describir el perfil litológico del subsuelo, para ello se han elaborado 06 fichas de descripción de calicatas, las mismas que se adjuntan en los anexos de geotecnia. Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 03, **Plano 09**.



Cuadro 03: Ubicación de calicatas realizadas.

Calicatas	Coordenadas UTM WGS-84		Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
	Este	Norte		
C-01	503,695.00	8'647,142.00	2.00	No se encontró
C-02	503,620.00	8'647,362.00	1.30	No se encontró
C-03	504,110.00	8'646,924.00	1.80	No se encontró
C-04	504,151.00	8'647,167.00	2.20	No se encontró
C-05	504,743.00	8'646,954.00	1.50	No se encontró
C-06	504,402.00	8'647,289.00	1.70	No se encontró

Fuente: Propia.

#### 7.1.1.5 Toma de muestras

Se extrajeron muestras de suelos representativos de 06 calicatas de los suelos representativos, las cuales, debidamente identificadas, fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y al del ministerio de transportes de la región Junín para efectuar los ensayos respectivos.

#### 7.1.1.6 Laboratorio de mecánica de suelos

En las muestras disturbadas extraídas de las diferentes 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



- **Ensayos granulométricos, límites de consistencia y clasificación SUCS**

A continuación en el Cuadro 04 se presentan las principales propiedades de los suelos ensayados:

Cuadro 04: Propiedades de los suelos en el C.P Carampa

MUESTRA	PROF. (m)	% QUE PASA		ÍNDICE PLÁSTICO (%)	SUCS
		Nº 4	Nº 200		
C-01	0.90 – 2.00	84.6	37.81	5.88	SM
C-02	0.90 – 1.30	32.57	5.61	4.78	GW-GM
C-03	0.30 – 1.80	79.64	49.23	5.26	SM
C-04	0.60 – 2.20	65.15	38.37	5.81	GM
C-05	0.30 – 1.50	48.02	22.76	3.23	GM
C-06	0.70 – 1.70	36.31	7.97	3.34	GP-GM

Fuente: Gobierno regional Junín, Año 2013.

De acuerdo a los resultados de mecánicas de suelos se ha podido determinar que en la zona de estudio predominan los materiales: gravas limosas, arenas limosas y gravas heterogéneas de bien a mal graduadas.

- **Ensayos de resistencia al cortante o corte directo**

En el Cuadro 06 se adjuntan los valores obtenidos del ensayo de corte directo.

Cuadro 05: Valores obtenidos del ensayo de corte directo

MUESTRA	Ángulo de fricción interna del suelo (°)	Cohesión aparente del suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad natural (gr/cm <sup>3</sup> )
C-01	30.50	0.05	1.78
C-03	26.56	0.10	1.52
C-04	30.90	0.03	1.47

Fuente: UNALM, Año 2013.



Los valores de ángulo de fricción y cohesión evidencian que los materiales que predominan en el C.P de Carampa corresponden a suelos granulares (gravas y arenas) de baja cohesión y con contenido de limo.

#### 7.1.1.7 Tipos de suelos

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas realizadas en el área de estudio, la inspección visual del terreno y los ensayos de laboratorio realizados en el año 2013, se han identificado 04 tipos de suelos, cuyas características físicas se muestran a continuación:

- **Suelos tipo GW-GM**

Corresponden a gravas limosas bien graduada con poco contenido de material fino (5.61%), constituyen suelos semi-compactos, presentan bajo contenido de plasticidad ( $IP=4.78$ ). Los suelos que pertenecen a este tipo han sido identificados en la calicata 02 (C-02), que se ubican al noroeste del Barrio Los Angeles.

- **Suelos tipo GP-GM**

Corresponden a gravas limosas pobremente graduadas con poco contenido de material fino (7.97%), constituyen suelos semi-compactos, presentan bajo contenido de plasticidad ( $IP=3.34$ ). Los suelos que pertenecen a este tipo han sido identificados en la calicata 06 (C-06) y se ubican en el sector contiguo al deslizamiento (específicamente al norte).

- **Suelos tipo GM**

Corresponden a gravas limosas con poco contenido de material fino (máximo 1.87%), constituyen suelos semi-compactos, presentan bajo contenido de plasticidad ( $IP=3-5$ ). Los suelos que pertenecen a este

tipo han sido identificados en la calicata 04 y 05 (C-04 y C-05) y se ubican en sectores aledaños a la corona y pie del deslizamiento.

- **Suelos tipo SM**

Corresponden a arenas limosas con poco contenido de material fino (máximo 1.80 a 4.00%), constituyen suelos inconsolidados, presentan bajo contenido de plasticidad ( $IP=5-6$ ). Los suelos que pertenecen a este tipo han sido identificados en la calicata 01 y 03 (C-01 y C-03) y se ubican en la parte norte del deslizamiento.

### 7.1.2 Sondajes eléctricos verticales (SEVs)

Es un método de prospección eléctrica por resistividad a través del cual se pueden conocer las propiedades físicas del subsuelo (resistividad y conductividad).

Las propiedades físicas antes mencionadas permiten reconocer indirectamente los materiales del subsuelo, el espesor de estos y la litología que presenta cada estrato. Cabe resaltar que, el ensayo se realiza desde la superficie del suelo y la investigación se desarrolla de manera perpendicular en un punto deseado.

Una vez realizados una serie de SEVs en la zona de estudio se procede a desarrollar secciones, que se generan al unir como mínimo tres de estos ensayos en una línea denominada sección geoelectrica, en ella se relaciona estratos con valores de resistividad similar, cada uno de estos estratos recibe el nombre de capa geoelectrica .



### 7.1.2.1 Principio

Los ensayos de eléctrica (SEVs) se basan en las propiedades físicas de resistividad de las rocas y suelos que se ubican en el subsuelo, el método consiste en la inyección de corriente continua (intensidad de corriente) o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos (AB) y la determinación de la diferencia de potencial, con otro par de electrodos (MN), cada uno de los materiales muestra ciertos rangos de valores de resistividad aparente, estos dependen de las características geotécnicas del medio atravesado por la corriente eléctrica.

Se hace mención que, se necesita de arreglos o dispositivos (distribución de los cables y electrodos que inyectan la corriente continua y los que receptan los valores de resistividad aparente), en el C.P Carampa se usó el dispositivo Werner que consiste en alinear simétricamente los polos, donde AB y MN tienen el punto medio, justo en este se toma como referencia la estación del SEV, campo de corriente y de potencial en el subsuelo homogéneo; sobre él se realizan todos los análisis geo-eléctricos, Figura 36.

Los datos de resistividad aparente, obtenidos en los SEVs, se representan mediante una curva, graficada en un formato bilogarítmico (resistividad vs distancia). A través de estas curvas de campo y por diversos métodos se determinan los valores de las resistividades verdaderas y los espesores de las diferentes capas, para cada punto de investigación.

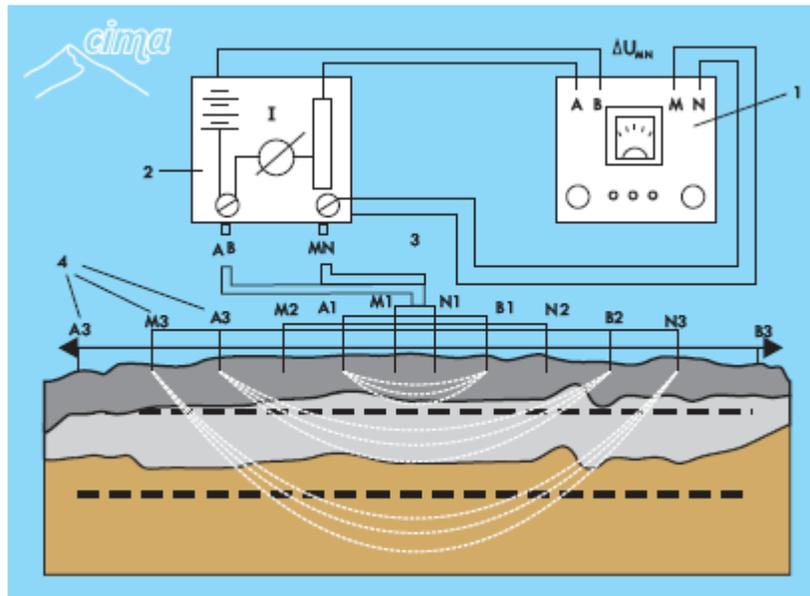


Figura 36: Esquema de medición para el SEV.

#### 7.1.2.2 Instrumentos y equipos

- 1 Resistivímetro SCINTREX modelo IPR8.
- 1 transmisor AGO.
- Cables de 80 metros.
- 4 electrodos o varillas de corriente.
- 01 GPS portátil

#### 7.1.2.3 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 los lugares donde se ubicaron los 06 SEVs en campo.



- Instalación de los equipos (transmisor, receptor) y desarrollo del tendido de cables y electrodos de acuerdo al dispositivo de Werner.
- Inyección de corriente continua ( $I$ ) al subsuelo, con la finalidad de obtener una serie de lecturas de diferencia de potencial ( $\Delta V$ ), medidas en las unidades volts (mV). Una vez obtenido el diferencial de potencial se procede a calcular la resistividad aparente ( $\rho_a$ ), a través de la siguiente formula:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

- $\rho_a$  = Resistividad aparente del medio ( $\Omega.m$ )
- $\Delta V$  = Diferencia de potencial en unidades: milivoltios (mV)
- $I$  = Intensidad de la corriente en unidades: miliamperios (mA)
- $k$  = Factor geométrico que depende de la separación de los electrodos expresada en metros (m).

- Procesamiento en gabinete de los datos de resistividad aparente calculados anteriormente, se desarrolla mediante un análisis de modelos equivalentes, con la finalidad de obtener el modelo que se ajuste de mejor manera. El procesamiento se realiza con ayuda de programas de cómputo que permiten simplificar el trabajo a desarrollar.
- A continuación se lleva a cabo la interpretación de las medidas tomadas en campo y las procesadas en gabinete (curvas logarítmicas obtenidas con programas de cómputo), se realizan algunos ajustes con la geología y por ende se obtiene un esquema de un mejor modelo.
- Finalmente, los resultados de los SEVs se presentan en curvas logarítmicas y perfiles de interpretación (perfiles geoelectricos).



#### 7.1.2.4 Interpretación de los SEVs

Los ensayos de eléctrica realizados en el área del proyecto se han distribuido en las inmediaciones de la zona urbana del C.P de Carampa y en los alrededores del deslizamiento de tierra, localizándose en las siguientes coordenadas UTM, Cuadro 06, **Plano P-09**.

Cuadro 06: Ubicación de SEVs realizados.

SEV	Coordenadas UTM WGS-84		Cota (m.s.n.m)
	Este	Norte	
SEV-01	503,695.00	8'647,142.00	2.00
SEV-02	503,620.00	8'647,362.00	1.30
SEV-03	504,110.00	8'646,924.00	1.80
SEV-04	504,151.00	8'647,167.00	2.20
SEV-05	504,743.00	8'646,954.00	1.50
SEV-06	504,402.00	8'647,289.00	1.70

Fuente: UNALM, Año 2005.

Se hace mención que, durante el estudio de geofísica se ha podido evidenciar hasta 5 capas geoelectricas por cada SEV, Cuadro 07.

Cuadro 07: Capas geoelectricas identificadas de acuerdo a los valores de resistividad registrados en campo.

PARÁMETROS GEOELÉCTRICOS INTERPRETADOS A TRAVÉS DE LOS SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES REALIZADOS EN EL C.P CARAMPA										
N° SEV	H1		H2		H3		H4		H5	
	R (ohm)	E (m)	R (ohm)	E (m)	R(ohm)	E (m)	R(ohm)	E (m)	R (ohm)	E (m)
1	28.35	0.60	2953	1.64	71.88	8.39	1133	14.94	456.3	¿?
2	726	0.54	256.1	2.02	522.3	5.11	141.1	18.68	4100	¿?
3	1296	1.18	132.1	1.936	302.8	25.26	19951	¿?	N.P	----
4	1710	0.57	1014	2.22	200.2	7.35	808.8	15.98	3.706	¿?
5	541.8	1.38	73.49	2.59	541.5	5.19	137.9	20.98	6795	¿?
6	36.8	0.62	6371	1.24	191.5	11.6	10637	¿?	N.P	----

Donde: SEV = Sondaje Eléctrico Vertical, H1, H2. = Horizontes Geoelectricos, R = Valor Resistividad Eléctrica en ohm-m, R= Valor Resistividad Eléctrica en ohm-m, E= Espesor en metros, ¿?= Espesor no determinado, N.P = no presenta.

Asimismo con la información de los SEVs se realizaron dos secciones geoelectricas, a continuación se detallan las mismas:

- **Sección A-A' (margen derecho de deslizamiento)**

Esta línea tiene una longitud aproximada de 1100 m, atraviesa principalmente las grietas y cárcavas que se ubican en las inmediaciones de la zona urbana del C.P de Carampa, ha permitido alcanzar una profundidad de 20 m de investigación, Figura 37 y Plano P-10.

Se evidencia que, desde la progresiva 0 +000 m de la sección, hasta la progresiva 0+200 aproximadamente se presentan suelos de



cobertura con presencia de humedad, cuya resistividad comprende valores de 20.35 a 36.38 Ohm.m, asimismo, se ha podido determinar que, este mismo tipo de suelo se encuentra desde la progresiva 0+773 hasta el final de la sección, con profundidad de 0.60 m en ambos sectores, mientras que, entre las progresivas 0+200 y 0+773 los valores de resistividad comprenden los 456 y 541 Ohm.m, pertenecientes a material fracturado y semicompacto, cuyo espesor es de 1.38 m aproximadamente.

Subyaciendo la capa de cobertura entre las progresivas 0+000m y 0+248 m se presenta una capa de material compacto e impermeable cuyos valores de resistividad van desde los 1133 hasta los 6371 Ohm.m. y con espesor aproximado de 1m. Esta capa se encuentra suprayaciendo, desde el inicio de la sección hasta la progresiva 0+740 m materiales húmedos, permeables y semicompactos, presentando un espesor de 6.7 m.

Los suelos de cobertura a partir de la progresiva 0+740 m se encuentran suprayaciendo una capa de material compacto e impermeable, presentando valores de resistividad entre 1133 a 6371 Ohm.m con un espesor aproximado de 0.60 m.

Un cuarto estrato fue identificado en el SEV-1 (desde el inicio de la sección hasta la progresiva 0+263), correspondiente a materiales compactos e impermeables, con valores de resistividad de 1133 y 6371, presentando espesor de 6.5 m aproximadamente.

Los suelos antes mencionados se encuentran suprayaciendo, desde el inicio de la sección hasta la progresiva 0+718 m, materiales fracturados o semicompactos que presentan valores de resistividad de 456 y 541 Ohm.m, su espesor aproximado es de 20 m.

El antepenúltimo estrato reconocido en la sección geoelectrica está conformado por materiales fracturados, con presencia de humedad y con valores de resistividad de 137 y 197 Ohm.m.

Finalmente, hasta el término de la sección, se identificó el basamento rocosos e impermeable cuyo valor de resistividad supera los 6795 Ohm.m.

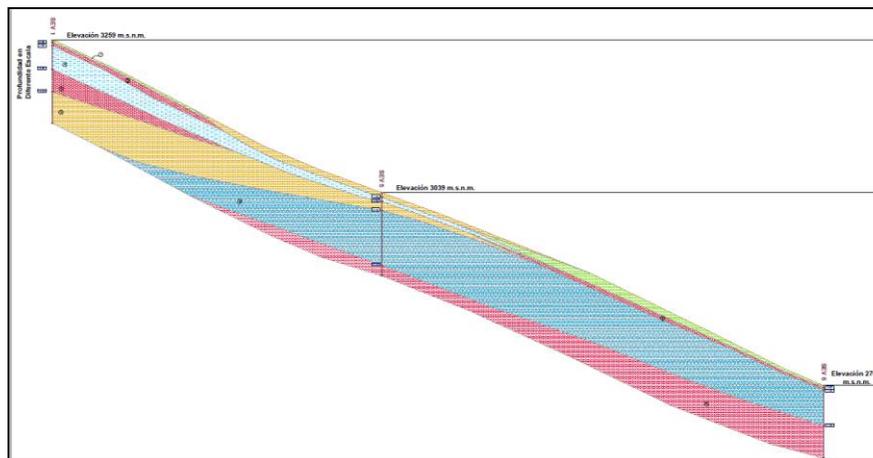


Figura 37: Sección geoelectrica A-A'.

- **Sección B-B' (margen izquierdo de deslizamiento)**

Esta línea se ubica en el extremo norte de Carampa, tiene una longitud aproximada de 790 m, atraviesa parte de la zona urbana y ladera sobre la que se asienta la población, ha permitido alcanzar una profundidad de 25 m de investigación, Figura 38 y Plano P-11.

Se evidencia que, desde la progresiva 0 +000 m hasta el final de la sección se presentan suelos de cobertura y porosos, cuya resistividad comprende valores de 726 a 1710 Ohm.m, con espesores crecientes hacia el final de la sección de 0.50 a 2.20 m. Subyaciendo este estrato se ha reconocido un material semicompacto con presencia de

humedad y valores de resistividad que comprenden de 132 a 256 Ohm.m. Presenta espesor variable de 1.5 a 5 m.

Infrayaciendo los estratos antes mencionados, se encuentra una capa de material fracturado o semicompacto que presenta valores de resistividad de 303 a 809 Ohm.m y espesor máximo de 23 m en el SEV-3. Este último estrato se encuentra suprayaciendo, desde el inicio de la sección hasta la progresiva 0+300 m una capa de material fracturado con presencia de humedad, resistividad de 141 Ohm.m y de espesor máximo de 13.5 m. Asimismo, a partir de la progresiva 0+680 m hasta el final de la sección, se identificó presencia de agua subterránea lo que se evidencia a través de valores de resistividad de 4 Ohm.m.

Finalmente, infrayaciendo los estratos antes mencionados se reconoció el basamento rocoso de resistividad comprendida entre 4100 y 19951 Ohm.m.

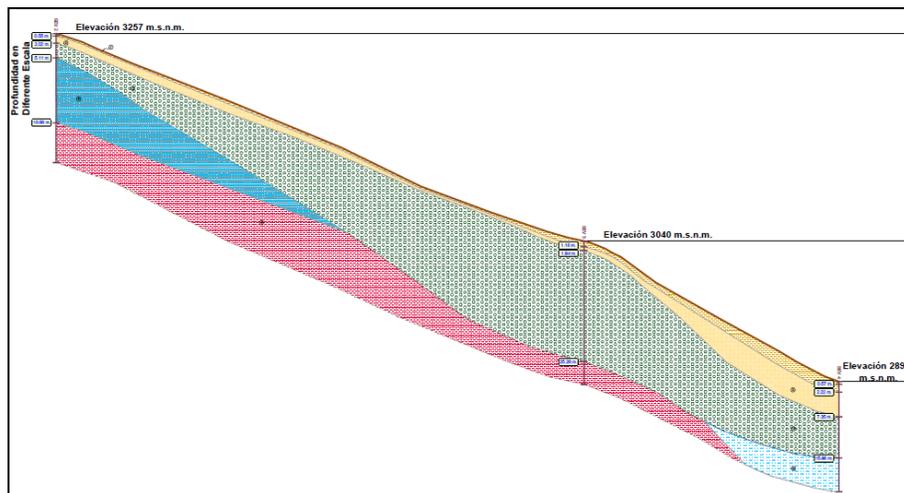


Figura 38: Sección geoelectrica B-B'.



### **7.1.3 Perfiles geológicos – geotécnicos**

En base a los trabajos de campo (calicatas y geofísica), 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 C.P de Carampa, el plano se adjunta en el Anexo 1, Plano 11. A continuación se detallaran las secciones antes mencionadas:

#### **7.1.3.1 Perfil geológico – geotécnico A-A'**

La sección fue realizada en sentido transversal al C.P Carampa y al deslizamiento de tierra, está compuesta por las calicatas C-01, C-02 y C-05, además de los sondajes eléctricos verticales SEV-1, SEV-5 y SEV-6. Muestra la estratigrafía del subsuelo en una línea de extensión investigada de aproximadamente 1068 m. En el plano P-12 se muestra la sección geológica - geotécnica A-A', Figura 39.

En la sección se evidencia tres unidades litológicas (capas o estratos), siendo la más superficial la capa de cobertura que está conformada por materiales finos (arenas limosas y arcillas), se presentan moderadamente húmedos y semicompactos. Presenta espesores variables, alcanzando en la parte central hasta 15 m.

La segunda unidad geológica – geotécnica corresponde a la capa 2 que está conformada por materiales granulares como: gravas bien graduadas, gravas pobremente graduadas y gravas limosas. Se presentan como materiales de semicompactos a compactos cuyos suelos se encuentran con presencia de humedad moderada. Cabe mencionar que, esta capa presenta espesor máximo de hasta 60 m en la parte central y los

clastos de las gravas han sido originados de rocas tipo limoarcillitas, pizarras y lutitas.

Finalmente, el tercer estrato corresponde al basamento rocoso del C.P Carampa que está representado geológicamente por la Formación Cabanillas, constituida principalmente por limoarcillitas y en menor proporción lutitas y pizarras.

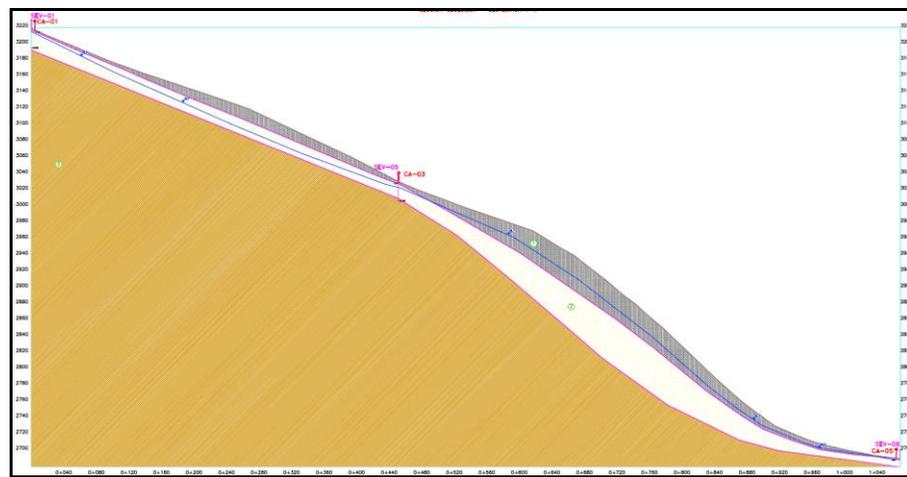


Figura 39: Sección geológica – geotécnica A-A’.

### 7.1.3.2 Perfil geológico – geotécnico B-B’

La sección fue realizada en sentido transversal al C.P Carampa, está compuesta por las calicatas C-02, C-04 y C-06, además de los sondajes eléctricos verticales SEV-2, SEV-3 y SEV-4. Muestra la estratigrafía del subsuelo en una línea de extensión investigada de aproximadamente 790 m. En el plano P-13 se muestra la sección geológica - geotécnica B-B', Figura 40.

En la sección se evidencia tres unidades litológicas (capas o estratos), siendo la más superficial la capa de cobertura que está

conformada por materiales finos (arenas limosas y arcillas), se presentan moderadamente húmedos, semicompactos y se consideran porosos. Presenta espesores variables, alcanzando en la parte central hasta 20 m.

La segunda unidad geológica – geotécnica, corresponde a la capa 2 que está conformada por materiales granulares como: gravas bien graduadas, gravas pobremente graduadas y gravas limosas. Se presentan como materiales de semicompactos con presencia de humedad moderada. Cabe mencionar que, esta capa presenta espesor máximo de hasta 40 m en la parte central y los clastos de las gravas han sido originados de rocas tipo limoarcillitas, pizarras y lutitas.

Finalmente, el tercer estrato corresponde al basamento rocoso del C.P Carampa que está representado geológicamente por la Formación Cabanillas, constituida principalmente por limoarcillitas y en menor proporción lutitas y pizarras.

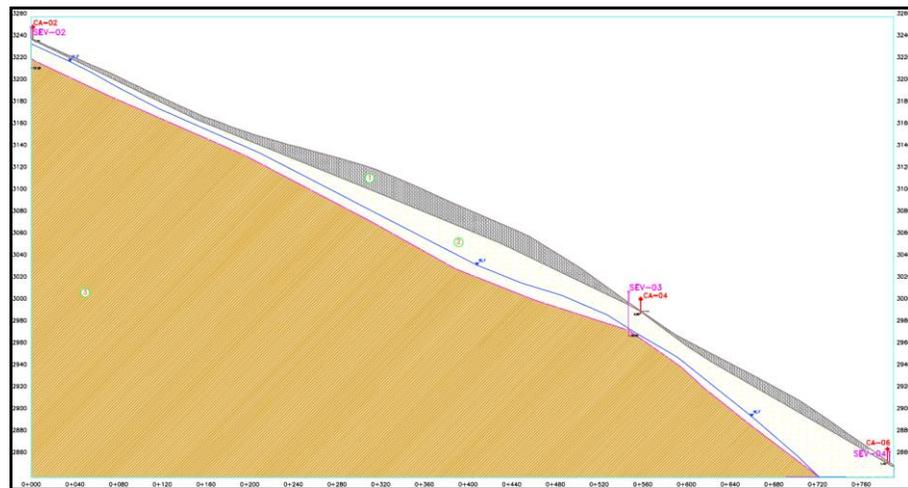


Figura 40: Sección geológica – geotécnica B-B’.



## 7.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para identificar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos de tierra que comprometan la zona urbana del C.P Carampa, se ha elaborado un análisis estabilidad de taludes en la zona estudiada.

Este análisis se ha desarrollado en dos secciones de la ladera sobre la que se asienta el C.P Carampa, cuyos transectos se ubican en sentido transversal al deslizamiento y la zona urbana.

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 ( $F_s$ ), 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 08.

Cuadro 08: Parámetros geotécnicos de unidades geológicas identificadas en el C.P Carampa.

UNIDAD GEOLÓGICA	SUCS	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO (°)	COHESION APARENTE DEL SUELO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )
MATERIALES DE COBERTURA	SM	28.50°	0.075 (7.35 KN/m <sup>2</sup> )	1.650 (16.2 KN/m <sup>3</sup> )
MATERIALES GRANULARES	GP-GM, GM, GW-GM	30.90°	0.030 (2.94 KN/m <sup>2</sup> )	1.470 (14.4 KN/m <sup>3</sup> )
BASAMENTO(*) ROCOSO	ROCA	30°	203.94 (20000 KN/m <sup>2</sup> )	2.60 (26.5 KN/m <sup>3</sup> )

Fuente: Propia. (\*) Valor teórico obtenido de tablas internacionales.

### 7.2.1 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.

### 7.2.2 Condiciones del Análisis

El análisis ha sido elaborado en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para la primera condición se realiza el análisis en condiciones normales, mientras que, en la segunda condición se considera la influencia de un evento sísmico que interviene a través de una fuerza sísmica en la componente horizontal, sobre la masa del suelo inestable. Cabe mencionar que, para las condiciones dinámicas o

pseudoestáticas es necesario apoyarse en un estudio de peligro sísmico a fin de obtener el coeficiente sísmico o aceleración máxima del área estudiada.

En tal sentido se optó por tomar las aceleraciones máximas del mapa de isoaceleraciones para un período de retorno de 50 años, cuyo valor es de 0.29, Figura 34.

### 7.2.3 Factor de seguridad

Como resultado del análisis se obtendrá el factor de seguridad de los taludes estudiados en las dos secciones geológicas – geotécnicas indicadas anteriormente, considerando los intervalos de la Tabla 17.

Tabla 17: Clasificación de la estabilidad de acuerdo al factor de seguridad

<i>Factor de Seguridad</i>		<i>Nivel o grado De Estabilidad</i>
<i>Estático</i>	<i>Seudoestático</i>	
1.0 a 1.2	menor a 1.0	Inestable
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	Estable
mayor a 2.0	Mayor a 1.2	Muy estable

Fuente: Curso de actualización UNI, Dr. Alva Hurtado.

### 7.2.4 Resultados del análisis.

El cálculo del factor de seguridad se ha elaborado en base a dos secciones topográficas ubicadas en las inmediaciones del área estudiada, cuyos resultados se muestran en los planos **P-14**, **P-15** **P-16** y **P-17**. Asimismo, en el Cuadro 09 se presentan los resultados del análisis de estabilidad de taludes de las dos secciones analizadas.



Cuadro 09: Resultados del análisis de estabilidad de taludes

SECCIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA	FACTOR DE SEGURIDAD	
	ESTÁTICO	PSUEDOESTÁTICO
A-A'	0.342	0.154 -0.724
B-B'	0.971 – 1.073	0.953 – 1.073

De los resultados antes mencionados, se ha podido determinar que la sección geológica – geotécnica A-A' se encuentra en grado de estabilidad inestable, en condiciones estáticas, la parte baja de la sección (zona de deslizamiento) presenta un factor de seguridad de 0.342, mientras que, la parte alta (zona urbana del C.P Carampa) es de 1.274, valores que disminuyen al momento de realizar el análisis pseudoestático, con lo cual se ha determinado que la parte central del C.P Carampa y el barrio Aturki se encuentran en peligro eminente por deslizamientos.

Finalmente, en la sección geológica – geotécnica B-B' se presenta más estable que la sección anterior, sin embargo, en el análisis realizado se evidenció que en condiciones estáticas, un tramo ubicado en la parte central del talud se encuentra en estado inestable (F.S=0.971), proyectándose hasta el pie del talud con dicho nivel de peligrosidad. En condiciones pseudoestáticas el sector antes descrito se muestra inestable, con lo cual se ha determinado que las viviendas ubicadas en el extremo norte del C.P Carampa son susceptibles a desplomarse ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra.



## **CAPÍTULO VIII**

### **APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DE CENEPRED**

En este capítulo se aplicará en Manual Para la Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales para realizar la zonificación de la peligrosidad ante el deslizamiento de tierra que afecta al C.P Carampa. Dicho análisis se desarrollará de la siguiente manera: evaluación del evento, realización de la susceptibilidad y finalmente la peligrosidad.

#### **8.1 ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD A FENÓMENOS NATURALES EN LAS INMEDIACIONES DEL C.P CARAMPA**

Está 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 a continuación se realiza la estimación de la peligrosidad a deslizamientos de tierra en el centro poblado de Carampa. A fin de realizar la zonificación de la peligrosidad.

Para realizar la estimación de la peligrosidad primero se debe evaluar el evento geodinámico, luego las zonas susceptibles a movimientos en masa (estimación de la susceptibilidad), estas últimas en base al análisis de los factores condicionantes y desencadenantes. Una vez evaluado el evento y la susceptibilidad se procede a estimar la peligrosidad. A continuación se detallará el proceso seguido para la estimación de la peligrosidad en el C.P Carampa:

##### **8.1.1 Deslizamiento en el C.P Carampa**

Los deslizamientos son movimientos de masa, en las que volúmenes de material intemperizado, bloques y fragmentos de roca que se desprenden y se desplazan cuesta abajo, sobre un plano inclinado o sobre una superficie generalmente cóncava, la que se le considera la superficie de falla del evento.



### 8.1.1.1 Parámetros de evaluación del evento

Se tiene en cuenta la textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento. Estos parámetros están subdivididos en descriptores que califican y cuantifican las características del evento, Cuadros 10, 11, 12 y 13. A continuación se realiza la evaluación del evento:

Cuadro 10: Textura del suelo

PARÁMETRO		TEXTURA DEL SUELO	PESO PONDERADO: 0.548	
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	Guesa: suelos (arenosos, franco arenoso).	PTX5	11

Cuadro 11: Pendiente

PARÁMETRO		PENDIENTE	PESO PONDERADO: 0.306	
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

Cuadro 12: Erosión

PARÁMETRO		EROSIÓN	PESO PONDERADO: 0.101	
DESCRIPTORES	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 substrato rocoso no meteorizado. Se pueden presentar inestabilidades en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamientos y erosión.	PE5	0.035



Cuadro 13: Velocidad de desplazamiento

PARÁMETRO		VELOCIDAD DEL DESPLAZAMIENTO	PESO PONDERADO: 0.045	
DESCRITORES	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

A continuación en el Cuadro 14 se cita el resultado de la evaluación del evento (deslizamiento de tierra), cuyo valor es de 0.350.

Cuadro 14: Evaluación del evento

FENÓMENO: DESLIZAMIENTO								Valor
Textura del suelo		Pendiente		Erosión		Velocidad del desplazamiento		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.548	0.260	0.306	0.503	0.101	0.503	0.045	0.068	0.350

### 8.1.1.2 Estimación de la susceptibilidad

Para ello se deben evaluar tanto los factores condicionantes y detonantes, a fin de sumar sus valores resultantes. Se hace mención que, los pesos ponderados para ambos es de 0.5:

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

- **Factores condicionantes**

Entre los cuales se tiene:



Cuadro 15: Relieve del C.P Carampa

PARÁMETRO		RELIEVE	PESO PONDERADO: 0.145	
DESCRIPTORES	Y1	Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares.	PY1	0.503
	Y2	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	PY2	0.260
	Y3	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY3	0.134
	Y4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY4	0.068
	Y5	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica.	PY5	0.035

Cuadro 16: Tipo de suelo

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

Cuadro 17: Cobertura vegetal del C.P Carampa

PARÁMETRO		COBERTURA VEGETAL	PESO PONDERADO: 0.058	
DESCRIPTORES	Y11	70 - 100 %	PY11	0.503
	Y12	40 - 70 %	PY12	0.260
	Y13	20 - 40 %	PY13	0.134
	Y14	5 - 20 %	PY14	0.068
	Y15	0 - 5 %	PY15	0.035



Cuadro 18: Uso actual de suelos

PARÁMETRO		USO ACTUAL DE SUELOS	PESO PONDERADO: 0.282	
DESCRIPTORES	Y16	Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento.	PY16	0.503
	Y17	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
	Y18	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
	Y19	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
	Y20	Sin uso/improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad.	PY20	0.035

Una vez calculados los descriptores y parámetros de los factores condicionantes, en el Cuadro 19 se adjunta el valor calculado.

Cuadro 19: Valor resultante de la evaluación de los factores condicionantes

FACTORES CONDICIONANTES								Valor
Tipo de relieve		Tipo de suelo		Cobertura vegetal		Uso actual de suelos		
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.134	0.282	0.503	0.194

- **Factores desencadenantes o detonantes**

Entre los cuales se tiene:



Cuadro 20: Hidrometereológicos

PARÁMETRO		HIDROMETEREOLÓGICOS	PESO PONDERADO: 0.106	
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

Cuadro 21: Geológico

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

Cuadro 22: Inducido por la acción humana

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

El valor obtenido de los factores desencadenantes evaluados se cita en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Valor resultante de la evaluación de los factores detonantes

FACTORES DESENCADENANTES O DETONANTES						
Hidrometereológicos		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



Una vez evaluados los factores condicionantes y desencadenantes se procede a estimar la susceptibilidad, Cuadro 24. Cuyo valor es de 0.175.

Cuadro 24: Susceptibilidad estimada en las inmediaciones del área de estudio

SUSCEPTIBILIDAD				
FACT. CONDICIONANTES		FACT. DESENCADENANTES		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.194	0.50	0.156	0.50	0.175

Finalmente, la estimación de la peligrosidad se realiza sumando el resultado de la multiplicación del valor del fenómeno y de la susceptibilidad por el peso de ambos, que en este caso es de 0.5, Cuadro 25.

Cuadro 25: Estimación de la peligrosidad del área de estudio

ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD				
EVENTO O FENÓMENO		SUSCEPTIBILIDAD		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.35	0.50	0.175	0.50	0.263

El valor estimado de peligro ante el deslizamiento resulta de 0.263, valor que muestra que, el C.P Carampa se encuentra en un nivel de peligrosidad muy alto, para mayor detalle se anexa la Tabla 18, donde se clasifica el grado de peligrosidad, de acuerdo al valor obtenido, Plano P-18.



NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
<b>PELIGRO MUY ALTO</b>	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 redes que sirve para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, Intensidad desastroso. 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 - 6746msnm, 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) Torrenciales: mayor a 60. Sequia: severa, precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 8.0: 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 (cárcavas).	0.260 ≤ R < 0.503
<b>PELIGRO ALTO</b>	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. Tipo de suelo arena Eólica 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 barbechos que se encuentran improductivas por periodos 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: - 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%, 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. Sequia: 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, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	0.134 ≤ R < 0.260
<b>PELIGRO MEDIO</b>	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos 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 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. Sequia: ligera, 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
<b>PELIGRO BAJO</b>	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; 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

Tabla 18: La estratificación del peligro se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. El área de estudio presenta peligro muy alto (> 0.260).



## CAPÍTULO IX

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 9.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La ladera sobre la que se asienta el C.P Carampa se encuentra afectada por la ocurrencia de un deslizamiento de tierra, ello debido a que, se encuentra condicionada principalmente por factores: morfológicos, geológicos, hidrográficos, geotécnicos, estructurales entre otros. Sumado a ello factores detonantes como las precipitaciones pluviales.

El área de estudio presenta un relieve abrupto y escarpado, el basamento rocoso lo conforma el Grupo Cabanillas (D-ca) constituido por limoarcillitas e intercalaciones de lutitas y pizarras. Los suelos de cobertura se encuentran representados por gravas limosas (GM) y arenas limosas (SM).

Durante los meses lluviosos la presencia de las precipitaciones pluviales juega un papel importante para la ocurrencia y reactivamiento del deslizamiento de tierra que se encuentra en la parte baja de la ladera sobre la que se asienta el C.P Carampa. El agua al discurrir por la superficie del suelo se infiltra hacia su interior produciendo saturación de los materiales que constituyen el subsuelo.

Geotécnicamente los suelos están conformados por materiales granulares de baja cohesión. El plano de falla es profundo, se proyecta hasta el basamento rocoso presentando en algunos casos coberturas Cuaternarias de espesores mayores a los 20 m.

Además, la escarpa principal del deslizamiento viene ampliándose en dirección a la zona urbana del C.P de Carampa (deslizamiento retrogresivo) lo que convierte al área urbana del C.P de Carampa, barrio Aturqui, entre otros, en áreas susceptibles a deslizamientos. Muestra de ello son las cárcavas y escarpas que se han inventariado y cartografiado desde el año 2013, dichas evidencias han permitido determinar que el



evento es activo y que podría alterar la seguridad física de los pobladores del lugar en mención.

En tanto, se afirma que la zona urbana del C.P Carampa se encuentra asentado sobre una ladera inestable, susceptible al reactivamiento y ocurrencia de deslizamientos de tierra.

## 9.2 DISCUSIÓN

El C.P Carampa se encuentra sujeto a la ocurrencia de un evento geodinámico del tipo deslizamiento rotacional, cuyo detonante principal es el agua de escorrentía generada por las precipitaciones pluviales, así como por la actividad antrópica (sistemas de drenaje y riego inadecuados). La presencia del agua hace que sature las gravas y arenas limosas, incrementando su presión de poros hasta sufrir procesos de esponjamiento (estadio de contracción y expansión de suelos).

Los suelos al presentar estas condiciones disminuyen la cohesión y superan su capacidad de carga, dando lugar a la generación de un plano de falla o corte por donde la masa inestable (cobertura inconsolidada) tiende a deslizarse pendiente abajo.

Ante ello, se ha determinado que, el C.P de Carampa presenta un grado de peligrosidad muy alto ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra.



## CAPÍTULO X RESULTADOS

### 10.1 CONCLUSIONES

- El C.P de Carampa se sitúa en el margen derecho del río Acrora, en el extremo Oriental del distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica y se asienta sobre una ladera de montaña cuya elevación es mayor a los 3000 m.s.n.m.

- Las condiciones climáticas se han determinado en base a la interpolación de los datos tomados de cinco estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de la microcuenca de la que forma parte el C.P Carampa, obteniendo temperaturas medias de 10.9 a 11.0 °C, característico de zonas de clima frío. Mientras que, las lluvias máximas acumuladas mensuales se han estimado en 122 a 123 mm aproximadamente.

- El principal sistema de drenaje del área de estudio lo constituye el río Acrora, que discurre sus aguas desde sus nacientes a través de un recorrido de 22 km. Asimismo, en las inmediaciones del área estudiada se reconocieron dos quebradas que desembocan al río en mención. Cabe resaltar que, el C.P Carampa se sitúa sobre una microcuenca de 143.6 km<sup>2</sup> y perímetro de 63.9 km. Se presenta de forma alargada, drenaje dendrítico, pendientes fuertes, valles angostos, cuyos cauces derivan sus aguas en dirección andina (noroeste – sureste)

- Desde el punto de vista geomorfológico se ha determinado que el C.P Carampa se asienta sobre la ladera de una montaña que sobrepasa los 3000 m.s.n.m, cuya pendiente es mayor a los 30°, presentándose con relieves escarpados y abruptos.

-Estructuralmente no se han identificado estructuras de consideración que condicionan la



ocurrencia del deslizamiento, sin embargo es necesario conocer que la zona de estudio se encuentra influenciada por el dominio estructural de la Cordillera Occidental principalmente, así como, en menor proporción la Cordillera Oriental. Por lo cual las rocas limoarcillitas, lutitas y pizarras se muestran muy deleznable, meteorizadas, plegadas y buzando con rumbo andino. Además, a lo largo del río Acrora se determinó la ubicación de un eje anticlinal.

- El basamento rocoso sobre el que se asienta el C.P Carampa está representado por el Grupo Cabanillas del Devónico (Paleozoico), conformado por limoarcillitas, lutitas y lutitas pizarrosas. Se presentan plegadas y en estratos laminares, siguiendo rumbo andino. Además, en las inmediaciones del área estudiada se encuentran depósitos Cuaternarios (aluviales y fluviales).

- Para el desarrollo de estudio de peligro sísmico no se cuenta con datos de la zona, por lo cual se optó por hacer uso del mapa de isoaceleraciones con 10 % de excedencia y para un período de retorno, cuyo coeficiente sísmico es de 0.29.

- La parte baja del C.P Carampa viene siendo afectada por la ocurrencia de un deslizamiento de tierra del tipo rotacional regresivo que se activa durante los períodos lluviosos, desde el año 2013 a la fecha se han mostrado evidencias como: 02 cárcavas, grietas y fisuras en el suelo, viviendas, parte central de Carampa (iglesia, plaza principal y municipalidad).

- Para conocer las propiedades físicas de los suelos se desarrolló un estudio geotécnico que consistió en llevar a cabo la elaboración de 06 calicatas, granulometrías, límites de atterberg y ensayos de corte directo. Se obtuvo que los suelos sobre los que se asienta el C.P Carampa están constituidos por gravas limosas, arenas limosas o la combinación de ambos.



- Se realizó una campaña de geofísica (06 SEVs) a fin de determinar la profundidad del nivel freático, así como inferir a través de la resistividad de los materiales encontrados en el subsuelo, el tipo de estratigrafía y espesor.
  
- Del análisis de estabilidad de taludes se determinó que la ladera sobre la que se asienta el C.P Carampa presenta un nivel de estabilidad generalmente inestable o precario. Cuyos valores del factor de seguridad son menores a la unidad en condiciones estáticas.
  
- La determinación de la susceptibilidad y zonificación de la peligrosidad se realizó con ayuda del Manual Para la Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales o protocolo de CENEPRED, cuyo análisis es cualitativo - cuantitativo y sigue la metodología multicriterio, es decir analiza la problemática en orden jerárquico. Al aplicar dicho manual se obtuvo que la zona de estudio presenta un nivel de peligrosidad muy alto.
  
- Entre los factores detonantes o desencadenantes que generan los eventos geodinámicos en la zona estudiada se encuentran las precipitaciones pluviales y las actividades antrópicas (sistemas de riego no adecuados).
  
- Los factores que condicionan la ocurrencia del deslizamiento de tierra son la topografía (relieve abrupto y escarpado) con pendientes mayores a los 30 y 45°, así mismo, se tiene el tipo de suelo (granulares limosos) que en contacto con el agua genera planos de falla.



## 10.2 RECOMENDACIONES

- Instalación de sistema de drenaje adecuado (cunetas) en la ladera afectada por deslizamientos, a fin de drenar las aguas superficiales (escorrentías) de la zona urbana.
- Revestimiento de concreto armado o convencional del cauce de las cárcavas (02), desde el estadio principal (barrio Aturki) hasta el local municipal, y así evitar la erosión causada por el discurrir de aguas.
- En las áreas agrícolas de la zona de estudio, es necesario cambiar el sistema de riego tradicional por un sistema de riego tecnificado con la finalidad de evitar la saturación de los suelos.
- Construcción de un muro de contención en la parte baja del deslizamiento (pie del deslizamiento) para evitar el avance del deslizamiento en la ladera y la acción erosiva del río respectivamente.
- Evitar deforestar la parte media de la ladera, así como sembrar eucaliptos.
- Realizar una campaña de perforaciones (03), las mismas que se ubicaran a lo largo de la sección A-A', debido a que presenta mayor susceptibilidad a deslizarse, en el desarrollo de la exploración se desea conocer la permeabilidad, así como las características geomecánicas de los distintos estratos y basamento rocoso.



## CAPÍTULO XI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Suarez, J. (2001). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Francisco Suarez, D. (2001). Deslizamientos: Análisis geotécnico.

Aristizábal, E., Martínez, H. & Vélez, J. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonadas por lluvias. Rev. Acad. Colombia. Cienc: Volúmen XXXIV N° 131. 209-227.

F. Cerrón Cevallos, P. Ticona Turpo (2002). Geología del cuadrángulo de Pampas, INGEMMET.

Mora, C. Vahrson, W. (1993). Determinación de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Rev. Tecnología ICE, Vol. 3, N°.1.32 - 42 p

Chang, L., y Alva, J., E., 1991, Deslizamientos y aluviones en el Perú: Lima, CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 128 p.

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, p. 36–75

Hutchinson, J.N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, en Memorias, 5th International Conference on Landslides, Lausanne, p. 3–35.



---

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Desastres – CENEPRED,  
(2013) “Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales”.

Alva J., Meneses J. y Guzmán V. (1984), “Distribución de Máximas Intensidades  
Sísmicas Observadas en el Perú”, V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.

Braja, M. (1999). “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” International Thomson Editores.  
México.



# ANEXOS