



# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### “PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC”

Tesis previa a la Obtención del  
Título de Ingeniera Civil

**Autora:**

Valeria Paola Ramos Bermeo

**Director:**

Ing. Benigno Alfredo Vázquez López, Msc.

Cuenca – Ecuador  
2014  
**TOMO 1**



## RESUMEN

El proyecto geotécnico e hidrológico para estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona de Quilloac, tiene lugar en el cantón cañar. El deslizamiento en estudio es de tipo flujo. Se ha caracterizado la zona para definir los factores desestabilizantes y elegir el método de cálculo de estabilidad más apropiado.

Con los resultados de geofísica y ensayos de laboratorio de suelos se determinan los parámetros geotécnicos para aplicar el modelo de estabilidad en el software GeoStudio 2007 mediante el método de Spencer y comprobar con el método Morgenstern-Price. Debido a la magnitud de la masa en remoción no hay medidas de estabilidad por lo que se proponen medidas de mitigación.

Toda el área en estudio presenta la misma formación litológica, existe solo una estación pluviométrica y climatológica, también tiene el mismo factor sísmico por lo que un mapa de amenaza no es de gran valor en áreas pequeñas y poco variables en parámetros. En esta área solo el factor pendiente es variable en la zona y no indica el grado de amenaza. Mientras que los lugares de zonas seguras de este fenómeno se encuentran fuera de la delimitación de este deslizamiento.

Como resultado se presentan modelos de estabilidad, análisis de zonas de amenaza y zonas seguras y posibles medidas de mitigación como son obras de drenaje y políticas de estado. Finalmente, se recomienda monitoreo en la región ya que en ésta actúan varios fenómenos de remoción de masas y sería de gran importancia una red de monitoreo con medidas de aviso y alarma.

Palabras clave: Deslizamientos, Flujo, Spencer, Mitigación, Geotecnia, Cañar.



## ABSTRACT

The geotechnical and hydrological project about stabilization and identification of mitigation measures takes place in Quilloac, which is located in Cañar province. The studied landslide in this area is flow type. There has been a characterization of the area to define the destabilizing factors to choose the most appropriate method of calculation and stability.

With the results obtained from the geophysics, soil laboratory testing, and reference tables, the geotechnical parameters, are determined to apply the model of stability in GEOSTUDIO 2007 software by Spencer method and Morgenstern-Price method. Due to the magnitude of the removal mass, there are no stability measures; so that, mitigation measures are proposed.

The entire study area has the same lithological formation. It has only one pluviometric and weather station. Also, it has the same seismic factor, so a threatening map is not of great value in small areas with some variables in parameters. In this area, only the slope factor is variable and it does not indicate the level of threatening. Whereas in safety areas of this phenomenon, are outside the boundaries of landslides.

As a result, models of stability, analysis of dangers zones, safety areas and possible mitigation measures such as: drainage and state policies are presented. Finally, monitoring the Quilloac area is recommended because several phenomena mass removal is acting and, it would be of great importance that Quilloac community obtain a monitoring network with warning and alarming measures.

Key words: Landslides, Flow, Spencer, Mitigation, Geotechnical, Cañar.



## Contenido

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN.....   | 2  |
| ABSTRACT .....   | 3  |
| LISTA DE TABLAS.....   | 11 |
| LISTA DE FOTOS .....   | 12 |
| AGRADECIMIENTO.....  | 15 |
| DEDICATORIA.....   | 16 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....   | 17 |
| 1.1 ANTECEDENTES .....   | 17 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN .....  | 18 |
| 1.3 OBJETIVO GENERAL .....   | 19 |
| 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 19 |
| 1.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....  | 19 |
| CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE DE DESLIZAMIENTOS .....                             | 21 |
| 2.1 DEFINICIÓN.....  | 21 |
| 2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS.....                               | 21 |
| 2.3 PARTES DEL DESLIZAMIENTO.....  | 32 |
| 2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS .....                                     | 34 |
| 2.4.1 TIPO DE MATERIAL .....   | 34 |
| 2.4.2 HUMEDAD .....  | 35 |
| 2.4.3 ESTILO.....  | 35 |
| 2.4.4 ESTADO DE ACTIVIDAD.....   | 36 |
| 2.4.5 SECUENCIA DE REPETICIÓN .....  | 37 |
| 2.4.6 VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO .....   | 37 |
| CAPÍTULO III: RECOLECCIÓN DE DATOS Y RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO. .... | 40 |
| 3.1 UBICACIÓN Y ACCESOS A LA ZONA DE ESTUDIO .....                               | 40 |
| 3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....  | 42 |
| 3.3 RECONOCIMIENTOS DE HITOS.....  | 43 |
| 3.4 RECOLECCIÓN DE FOTOS AÉREAS Y SATELITALES.....                               | 44 |
| 3.5 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE CAMPO.....                                       | 45 |
| 3.5.1 GEOLOGÍA LOCAL.....  | 45 |
| 3.5.2 GEOLOGÍA DE LA ZONA .....  | 46 |
| 3.5.3 CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS.....   | 48 |



|  |   |     |
|--|---|-----|
| 3.5.4  | CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES .....                             | 50  |
| 3.5.5  | ACTIVIDAD TECTÓNICA.....  | 51  |
| 3.5.6  | ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....  | 53  |
| 3.6  | RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE SUELOS .....                       | 54  |
| 3.7  | INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....                                 | 79  |
| 3.7.1  | CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS .....                                | 79  |
| 3.7.2  | METEOROLOGÍA .....  | 80  |
| 3.7.3  | REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS .....                                  | 82  |
| CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO ..... |   | 83  |
| 4.1  | INTRODUCCIÓN.....   | 83  |
| 4.2  | CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....                  | 84  |
| 4.2.1  | CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA A NIVEL REGIONAL .....     | 84  |
| 4.3  | IDENTIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA .....                         | 86  |
| 4.3.1  | RÍOS SUPERFICIALES .....  | 86  |
| 4.3.2  | RÍOS SUBTERRÁNEOS.....  | 87  |
| 4.3.3  | CUERPOS DE AGUA: LAGOS, LAGUNAS, EMBALSES. ....                 | 87  |
| 4.3.4  | CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE LOCAL.....                           | 88  |
| 4.4  | ANÁLISIS HIDROMETEOROLÓGICO .....                               | 88  |
| 4.4.1  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA.....              | 88  |
| 4.4.2  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN .....                 | 89  |
| 4.4.3  | PERÍODOS DE HUMEDAD Y TIPO DE CLIMA POR RÉGIMEN DE HUMEDAD ...  | 91  |
| 4.4.4  | ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO EN QUILLOAC .....                        | 92  |
| 4.5  | RESULTADOS DE LABORATORIO .....                                 | 99  |
| 4.5.1  | ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN .....                                  | 99  |
| 4.5.2  | ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE .....                              | 101 |
| 4.5.3  | ENSAYOS DE CORTE DIRECTO .....                                  | 102 |
| 4.6  | ANÁLISIS GEOHIDROLÓGICO.....                                    | 103 |
| 4.6.1  | LOCALIZACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS.....                      | 103 |
| 4.6.2  | LOCALIZACIÓN DE MATERIALES PERMEABLES E IMPERMEABLES.....       | 109 |
| 4.6.3  | LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE RECARGA.....                           | 110 |
| 4.7  | ANÁLISIS DE MOVIMIENTO Y DESPLAZAMIENTO DEL DESLIZAMIENTO ..... | 111 |
| 4.7.1  | FOTOINTERPRETACIÓN.....   | 111 |
| 4.7.2  | RESULTADOS DE MONITOREO DE HITOS.....                           | 119 |
| 4.7.3  | CORRELACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO CON LA PRECIPITACIÓN .....       | 121 |



|   |  |     |
|---|--|-----|
| 4.8   | DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DE MASAS .....                        | 122 |
| CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....                           |  | 125 |
| 5.1   | DEFINICIÓN DE MODELOS.....                                       | 125 |
| 5.2   | FACTOR DE SEGURIDAD .....  | 128 |
| 5.3   | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....                                     | 129 |
| 5.4   | PRE DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN .....                        | 145 |
| 5.4.1   | EVALUACIÓN DE CAUSAS QUE DESENCADENAN LAS INESTABILIDADES... 145 |     |
| 5.4.2   | MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....                                       | 145 |
| CAPÍTULO VI. DETERMINACIÓN DE AMENAZAS DE TERRENOS INESTABLES ..... |  | 157 |
| 6.1   | INTRODUCCIÓN.....  | 157 |
| 6.2   | CONCEPTOS BÁSICOS.....   | 157 |
| 6.3   | METODOLOGÍA MORA VAHRSON .....                                   | 158 |
| 6.4   | RECONOCIMIENTO DE AMENAZAS POR TERRENOS INESTABLES.....          | 159 |
| 6.5   | RECONOCIMIENTO DE ZONAS SEGURAS.....                             | 160 |
| CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                  |  | 162 |
| 7.1   | CONCLUSIONES.....  | 162 |
| 7.2   | RECOMENDACIONES .....  | 163 |
| REFERENCIAS.....  |  | 165 |
| ANEXO 1 Mapa de ubicación provincial .....                          |  | 167 |
| ANEXO 2 Mapa de ubicación cantonal.....                             |  | 168 |
| ANEXO 3 Mapa de ubicación parroquial .....                          |  | 169 |
| ANEXO 4 Mapa de delimitación.....                                   |  | 170 |
| ANEXO 5 Mapa de acceso .....  |  | 171 |
| ANEXO 6 Mapa geológico .....  |  | 172 |
| ANEXO 7 Monografía de calicatas .....                               |  | 173 |
| ANEXO 8 Ensayos de Laboratorio. Clasificaciones.....                |  | 174 |
| ANEXO 9 Ensayos de Laboratorio. Compresiones simples.....           |  | 175 |
| ANEXO 10 Ensayos de Laboratorio. Cortes Directos.....               |  | 176 |
| ANEXO 11 Monitoreo de hitos.....                                    |  | 177 |
| ANEXO 12 Planta de ubicación de exploraciones.....                  |  | 178 |
| ANEXO 13 Modelos de estabilidad. Perfil Superior.....               |  | 179 |
| ANEXO 14 Modelos de estabilidad. Perfil intermedio.....             |  | 180 |
| ANEXO 15 Modelos de estabilidad. Perfil inferior.....               |  | 181 |
| ANEXO 16 Mapa de amenazas provincia de Cañar.....                   |  | 182 |



ANEXO 17 Mapa de pendientes de la delimitación del deslizamiento. .... 183



## LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 2.1. Esquema de caída de roca y residuos. (Suárez, 2009) .....  | 22  |
| Ilustración 2.2. El volcamiento puede generar un desmoronamiento del talud o falla en escalera, formando caídos o derrumbes. (Suárez, 2009) .....             | 23  |
| Ilustración 2.3. Esquema de un proceso de reptación. (Suárez, 2009) .....   | 24  |
| Ilustración 2.4. Desplazamiento de rotación en una ladera. (Suárez, 2009) .....   | 25  |
| Ilustración 2.5 ilustración deslizamiento de traslación. (USGS, 2004) .....   | 26  |
| Ilustración 2.6 flujos de bloques de roca. (USGS, 2004) .....   | 27  |
| Ilustración 2.7 Flujo de bloques de roca y residuos en la excavación de un talud para la construcción de una vía. (Suárez, 2009) .....                        | 28  |
| Ilustración 2.8 Flujo de tierra. (USGS, 2004) .....   | 29  |
| Ilustración 2.9 Formación de grandes flujos de lodo (Geertsema et al., 2006) .....  | 30  |
| Ilustración 2.10 avalanchas por deslizamientos generalizados. (USGS, 2004) .....  | 31  |
| Ilustración 2.11 Lahar que cubrió la ciudad de Armero, Colombia. ....   | 32  |
| Ilustración 2.12. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento. (Suárez, 2009). ....  | 33  |
| Ilustración 2.13 Velocidad de acuerdo al tipo de movimiento. (Suárez, 2009) .....   | 39  |
| Ilustración 3.1 Delimitación de la zona de estudio .....  | 41  |
| Ilustración 3.2 Equipos de topografía.....  | 43  |
| Ilustración 3.3. Recorrido de la quebrada rosas pamba de sur a norte en la zona de estudio. ....  | 49  |
| Ilustración 3.4 Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC, 2011).....   | 52  |
| Ilustración 3.5 Nivel de amenaza volcánica en las provincias del ecuador. (IGJEPN- Wolf, 2000) .  | 54  |
| Ilustración 3.6 Ubicación de los PCA realizados en la parte superior del deslizamiento. ....  | 55  |
| Ilustración 3.7 Ubicación de los PCA realizados en la parte intermedia del deslizamiento.....   | 56  |
| Ilustración 3.8 Ubicación de los PCA realizados en la parte inferior del deslizamiento. ....  | 56  |
| Ilustración 3.9 Ubicación de la estación Cañar. ....  | 80  |
| Ilustración 3.10 Variabilidad de la precipitación total anual de la estación Cañar en el periodo de 1962 a 2013 registros pluviométricos, Fuente propia. .... | 81  |
| Ilustración 4.1 delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del ecuador en el nivel 5. Fuente propia. ....   | 86  |
| Ilustración 4.2 Distribución temporal de la temperatura media de la estación cañar en el periodo de 1958 – 2013. Fuente propia. ....                          | 89  |
| Ilustración 4.3 Distribución temporal de la precipitación de la estación cañar en el periodo 1958 – 2013. Fuente propia. ....                                 | 90  |
| Ilustración 4.4 Diagrama Ombrotérmico. Fuente propia. ....  | 91  |
| Ilustración 4.5 Periodo de crecimiento generado a partir de los datos del área de estudio. Fuente propia.....   | 92  |
| Ilustración 4.6 Representación gráfica de la variación de la precipitación por niveles previamente categorizados. Fuente propia. ....                         | 94  |
| Ilustración 4.7 Curva de períodos de retorno vs precipitación máxima 24 horas .....   | 97  |
| Ilustración 4.8 Curvas IDF para 500 años de la estación Cañar. Fuente propia. ....  | 98  |
| Ilustración 4.9 Carta de plasticidad. Fuente propia. ....   | 101 |
| Ilustración 4.10 Ejemplo de disminución de resistividad en los resultados de tomografía eléctrica. Fuente propia. ....  | 104 |





|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 4.11 Ubicación de los perfiles en la zona del deslizamiento. Fuente propia.....   | 105 |
| Ilustración 4.12 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 1. Fuente: GADICC. ....              | 106 |
| Ilustración 4.13 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 1. Fuente: GADICC. ....       | 107 |
| Ilustración 4.14 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 2. Fuente: GADICC. ....              | 107 |
| Ilustración 4.15 cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 2. Fuente: GADICC. ....       | 108 |
| Ilustración 4.16 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 3. Fuente: GADICC. ....              | 108 |
| Ilustración 4.17 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 3. Fuente: GADICC. ....       | 109 |
| Ilustración 4.18 Correlación de la permeabilidad y la resistividad. Fuente: propia. ....  | 110 |
| Ilustración 4.19 Cuenca de aporte al área de estudio. Fuente: propia. ....  | 111 |
| Ilustración 4.20 Ubicación en planta de los hitos.....  | 120 |
| Ilustración 4.21. Identificación de las características del fenómeno. ....  | 123 |
| Ilustración 5.1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes según Suárez (2009). ....  | 125 |
| Ilustración 5.2. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el Método de Spencer (Suárez, 2009). ....  | 130 |
| Ilustración 5.3 Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer(Suárez, 2009). .   | 130 |
| Ilustración 5.4. Perfil de exploraciones del perfil superior del deslizamiento de Quilloac. ....  | 132 |
| Ilustración 5.5. Perfil de exploraciones del perfil intermedio del deslizamiento de Quilloac.....   | 132 |
| Ilustración 5.6. Perfil de exploraciones del perfil inferior del deslizamiento de Quilloac.....   | 132 |
| Ilustración 5.7 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Spencer en época de invierno. ....             | 134 |
| Ilustración 5.8 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Spencer en época seca.....                     | 135 |
| Ilustración 5.9 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno. ....   | 135 |
| Ilustración 5.10. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca. ....        | 136 |
| Ilustración 5.11 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. ....   | 137 |
| Ilustración 5.12. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. ....  | 137 |
| Ilustración 5.13. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno. .... | 138 |
| Ilustración 5.14. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca. ....        | 138 |
| Ilustración 5.15. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. ....   | 140 |
| Ilustración 5.16. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. ....   | 140 |
| Ilustración 5.17. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno. ....    | 141 |
| Ilustración 5.18. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca. ....           | 141 |
| Ilustración 5.19 registro fotográfico de la evidencia de la inclinación de los árboles.....   | 142 |
| Ilustración 5.20 Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. ....  | 143 |
| Ilustración 5.21. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. ....   | 143 |



|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 5.22. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. ....  | 144 |
| Ilustración 5.23. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca. ....                              | 144 |
| Ilustración 5.24. Algunas técnicas de remediación de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos. (Suárez, 2009).....  | 145 |
| Ilustración 5.25. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático. ....   | 148 |
| Ilustración 5.26. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil superior del deslizamiento de Quilloac. ....                         | 149 |
| Ilustración 5.27. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático. .... | 150 |
| Ilustración 5.28. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil intermedio del deslizamiento de Quilloac.....                        | 151 |
| Ilustración 5.29. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático. ....   | 151 |
| Ilustración 5.30. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil inferior del deslizamiento de Quilloac. ....                         | 152 |
| Ilustración 5.31. Ubicación de la cuneta de coronación. Fuente: propia. ....   | 153 |
| Ilustración 5.32. Colocación de un subdrén de corona de talud. ....  | 154 |
| Ilustración 6.1. Mapa de pendientes aplicado un factor de peso.....  | 160 |



## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 2.1 Velocidad de los movimientos adaptado por Cruden y Varnes. (Suárez, 2009)                   | 38  |
| Tabla 3.1 valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada (NEC, 2011).                    | 52  |
| Tabla 3.2. Resumen de las exploraciones   | 57  |
| Tabla 4.1 Tabla de datos para generar el diagrama Ombrotérmico del área de estudio. Fuente propia.    | 90  |
| Tabla 4.2. Categorización de las precipitaciones  | 93  |
| Tabla 4.3 Registros de precipitaciones máximas en 24 horas  | 96  |
| Tabla 4.4 Precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno.                     | 97  |
| Tabla 4.5. Resumen de resultados de ensayos de clasificación  | 100 |
| Tabla 4.6 Resumen de los resultados de los ensayos de compresión simple                               | 102 |
| Tabla 4.7 Resumen de resultados de ensayos de corte directo   | 103 |
| Tabla 4.8 Tabla resumen del monitoreo de hitos.   | 121 |
| Tabla 5.1. Parámetros geotécnicos establecidos para el análisis                                       | 133 |
| Tabla 5.2. Matriz de medidas de mitigación propuestas para el área de estudio                         | 147 |
| Tabla 6.1 Susceptibilidad parcial asignados para las pendientes, adaptada de (Barrantes et al., 2011) | 160 |



## LISTA DE FOTOS

|   |     |
|---|-----|
| Foto 1. Excavación para el PCA 01. Ubicada en el sector de Chacaguin. ....                        | 58  |
| Foto 2. Excavación para el PCA 02. Ubicada en el sector de Chacaguin. ....                        | 59  |
| Foto 3. Excavación para el PCA 03. Ubicada en el sector de Chacaguin. ....                        | 60  |
| Foto 4. Excavación para el PCA 04. Ubicada en el sector de la Iglesia de San Antonio. ....        | 61  |
| Foto 5. Excavación para el PCA 05. Ubicada en la comunidad de Quilloac. ....                      | 62  |
| Foto 6. Excavación para el PCA 06. Ubicada en el sector de Guanto. ....                           | 63  |
| Foto 7. Excavación para el PCA 07. Ubicada en la urbanización Inti- Raymi. ....                   | 64  |
| Foto 8. Excavación para el PCA 08. Ubicada en la urbanización Inti- Raymi. ....                   | 65  |
| Foto 9. Excavación para el PCA 09. Ubicada en el sector de Chaglaban.....                         | 66  |
| Foto 10. Excavación para el PCA 10. Ubicada en el sector de Chaglaban.....                        | 67  |
| Foto 11. Excavación para el PCA 11. Ubicada en el sector de Chaglaban.....                        | 68  |
| Foto 12. Excavación para el PCA 12. Ubicada en el sector de Cunducucho.....                       | 69  |
| Foto 13. Excavación para el PCA 13. Ubicada en el sector de la ciudadela de Choferes. ....        | 70  |
| Foto 14. Excavación para el PCA 14. Ubicada en el sector de Isavieja.....                         | 72  |
| Foto 15. Excavación para el PCA 15. Ubicada en la comunidad La Posta. ....                        | 73  |
| Foto 16. Excavación para el PCA 16. Ubicada en el sector del puente de Río Cañar.....             | 74  |
| Foto 17. Excavación para el PCA 17. Ubicada en el sector de Cuchucún.....                         | 75  |
| Foto 18. Excavación para el PCA 18. Ubicada en el sector del estadio 26 de enero. ....            | 76  |
| Foto 19. Excavación para el PCA 19. Ubicada en el sector del estadio 26 de enero. ....            | 77  |
| Foto 20. Excavación para el PCA 20. Ubicada en vía a La Posta.....                                | 78  |
| Foto 21. Excavación para el PCA 21. Ubicada en vía a La Posta.....                                | 79  |
| Foto 22. Año 2012, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia. ....                     | 113 |
| Foto 23. Año 1989, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia. ....                     | 114 |
| Foto 24. Medición del desplazamiento, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia.....   | 114 |
| Foto 25. Año 2012, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia.....                    | 115 |
| Foto 26. Año 1989, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia.....                    | 116 |
| Foto 27. Medición del desplazamiento, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia..... | 116 |
| Foto 28. Año 2012, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.....                             | 117 |
| Foto 29. Año 1989, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.....                             | 118 |
| Foto 30. Medición del desplazamiento, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.....          | 118 |



Yo, Valeria Paola Ramos Bermeo, autora de la tesis “PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC”, reconozco y acepto el derecho de la universidad de cuenca, en base al art. 5 literal c) de su reglamento de propiedad intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de ingeniera civil el uso que la universidad de cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 24 de octubre de 2014

---

Valeria Paola Ramos Bermeo

C.I: 0104789854



Yo, Valeria Paola Ramos Bermeo, autora de la tesis “PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 24 de octubre de 2014

---

Valeria Paola Ramos Bermeo

C.I: 0104789854



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme la sabiduría necesaria para poder culminar mis estudios con este trabajo de tesis. A mis padres por brindarme su apoyo, ejemplo y sacrificio.

A el Mg. Belisario Chimborazo, alcalde del Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural del Cantón Cañar por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto y de la misma manera al Director de tesis Ing. Alfredo Vásquez por su apoyo y asesoramiento para la realización de la presente tesis.

Quiero expresar mi sincera gratitud al Ing. Luis Matute por su tiempo, su constante ayuda y por brindarme sus conocimientos y experiencia para el trabajo realizado. De igual manera al Ing. Aleksandr Khachatryan y al Ing. Diego Ordoñez por su asesoramiento en este trabajo.

De manera especial quiero agradecer a mis hermanos, mi familia, mis amigos quienes fueron mi apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

*Valeria Ramos Bermeo.*



## DEDICATORIA

A mis abuelitas Rosa y Rosario, señoras que con su ejemplo me han enseñado la fuerza y dedicación que se debe tener cada momento de la vida.

A mis padres Henry y Marina por ser el pilar fundamental de mi vida y por su apoyo incondicional en cada uno de mis días.

A mi sobrina, mis hermanos y mi familia por su voz de aliento en todo este trayecto.

A mis amigos que han compartido el día a día de mi vida universitaria y me han sabido brindar su amistad y soporte para culminar esta etapa.

A mis hermanos y compañeros de vida, gracias por estar siempre estar aquí.

**Vale**

A las comunidades de La Posta, Chaglaban, Quilloac, para que conozcan las amenazas de su zona y que mejoren su calidad de vida en zonas fuera de riesgo.

**Valeria Ramos Bermeo**





## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural Del Cantón Cañar (GADICC), viene implementando los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal, en los cuales se recomienda realizar estudios geotécnicos e hidrogeológicos a escala adecuada, con la finalidad de determinar las zonas de riesgo y medidas de mitigación hacia las actividades y poblaciones ubicadas en el cantón.

Por otro lado, las comunidades involucradas con el deslizamiento en la zona de Quilloac y el crecimiento poblacional, está cambiando el uso del suelo por zonas de expansión de asentamientos, situación que las mismas comunidades involucradas han priorizado y han solicitado que el Gobierno Local intervenga.

Según el GADICC los términos de referencias para el estudio y diseño del proyecto “Diagnóstico Geotécnico e Hidrogeológico para la estabilización e identificación de medidas de Mitigación en la zona de Deslizamiento de Quilloac”, está conformada por tres fases de estudios:

- FASE I: Conformada por investigaciones mediante técnicas directas e indirectas (perforaciones SPT y Geofísicas) con el propósito de determinar la profundidad del deslizamiento, el nivel freático de las aguas subterráneas y la caracterización geotécnica del deslizamiento. esta fase fue ejecutada por la Consultora Geo&Geo Cía. Ltda.
- FASE II: Esta fase se presenta en este documento, y comprende: el estudio hidrológico, monitoreo del movimiento de las masas del deslizamiento, identificación de las zonas seguras, pre-diseño de las medidas de mitigación y mapa de amenazas por terrenos inestables según el Método de Mora Vahrson con su respectivo diagnóstico de inestabilidades de fallas.



- FASE III: Diseños definitivos del proyecto en la comunidad, fuera del alcance de este estudio.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Los procesos geodinámicos como los movimientos de masa son eventos naturales o inducidos que presentan diversas características, magnitud y velocidad. Estos eventos se generan por características y propiedades geológicas, geomecánicas e hidrológicas propias de la zona vulnerable y además de la actuación de otros factores naturales y ambientales, principalmente la meteorización.

Actualmente, se han registrado desastres naturales de gran magnitud como deslizamientos e inundaciones, debido a fenómenos hidrometeorológicos y eventos geodinámicos y que conjuntamente con la falta de ordenamiento de los usos del territorio y planificación urbana se ha puesto en riesgo a la población frente a estas amenazas.

Estos registros de desastres naturales deben ser analizados y controlados, ya que mediante las políticas y lineamientos del Plan del Buen Vivir de la República del Ecuador se garantiza la preservación y protección integral del patrimonio cultural y natural y de la ciudadanía ante las amenazas y riesgos de origen natural y antrópico.

Mediante este estudio se busca analizar las causas y los factores que controlan y desencadenan los procesos en la zona del deslizamiento de Quilloac, que permitan abordar su control mediante modelos de estabilidad. Además la identificación de zonas seguras y zonas inestables para aplicaciones preventivas dentro de la planificación urbana.



### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Conocer el comportamiento del deslizamiento de Quilloac, sus características y zonas de mayor vulnerabilidad. Definir las zonas de riesgo y las posibles medidas de mitigación.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar una recolección de datos de la zona de estudio proporcionada por el GADICC y Geo&Geo Cía. Ltda.
2. Analizar y evaluar la información obtenida.
3. Calcular la velocidad del movimiento de masas, mediante el estudio de fotografías aéreas.
4. Modelar y analizar el movimiento de masa.
5. Elaborar un mapa de amenazas por terrenos inestables (peligrosidad y susceptibilidad al deslizamiento).
6. Identificar zonas seguras considerando el tipo de amenazas.
7. Realizar el pre-diseño de las obras de mitigación para la estabilización del deslizamiento.

### **1.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

El desarrollo del proyecto de tesis se planteó básicamente de tres etapas, la primera es la recolección y revisión de información cartográfica existente en las oficinas del GADICC, observación y recopilación de datos de campo, reconocimiento del levantamiento topográfico, fotografías aéreas de diferentes épocas existentes en las oficinas del GADICC. Una vez recopilada y analizada la información previa se realizó los primeros recorridos de campo para constatar la información revisada y la influencia que tiene sobre la población asentada en la zona, en este punto será básica la colaboración de la fiscalización del GADICC, y



se realizó las investigaciones de campo mediante excavaciones a cielo abierto (calicatas) y recopilación de información climatológica existente.

En la segunda etapa la información obtenida se integrará en un Sistema de Información Geográfica para ser analizada de forma espacial con la ayuda de la cartografía publicada por la Dirección de Geología y Minas a escala 1:100.000 y mapas del cantón Cañar a escala 1:25.000 entregada por el GADICC. Para todos los planos presentados y elaborados dentro de este estudio se utilizó como Datum de referencia el World Geographical System de 1984 (WGS84). Además, se realizó el procesamiento de información como es el estudio de fotografías aéreas mediante el software de sistema de información ArcGISgis, análisis de las muestras de campo en el laboratorio de suelos y análisis de la información climatológica.

La tercera etapa comprendió las actividades como el cálculo de velocidad del movimiento de masas, modelación y análisis de movimiento, elaboración de un mapa de amenazas por terrenos inestables, identificación de zonas seguras considerando el tipo de amenaza y el pre-diseño de obras de mitigación para estabilizar el deslizamiento en la zona de Quilloac. Se dispone para su ejecución el apoyo logístico y de recursos por parte del GADICC.



## CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE DE DESLIZAMIENTOS

### 2.1 DEFINICIÓN

Los deslizamientos (“landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos de denudación. La naturaleza precisa del proceso de deslizamiento no está incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, etc. (Suárez, 2009).

Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Los fenómenos de inestabilidad incluyen, generalmente, una combinación de procesos de erosión y denudación interrelacionados entre sí y a menudo mezclados (Suárez, 2009).

### 2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS.

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

**Caído:** Es el desprendimiento y caída de materiales de ladera. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde una ladera de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. El movimiento de la masa desprendida e produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando. En la Ilustración 2.1 (a) y (b) se observa un esquema del caído de roca y un esquema del caído de residuos respectivamente.

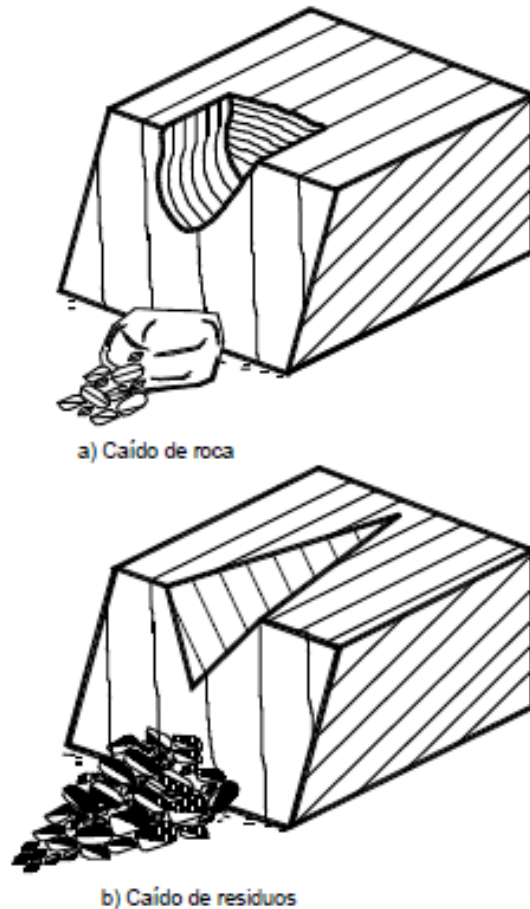


Ilustración 2.1. Esquema de caída de roca y residuos. (Suárez, 2009)

**Inclinación o Volcamiento:** Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales.

En los volcamientos de roca, las fracturas definen las características del movimiento. En las inclinaciones del suelo las grietas de tensión, la cohesión de los materiales, la altura y la pendiente de los taludes, determinan el volumen de la masa, la magnitud del movimiento y la posibilidad de desmoronamiento, caído o flujo (Ver Ilustración 2.2).

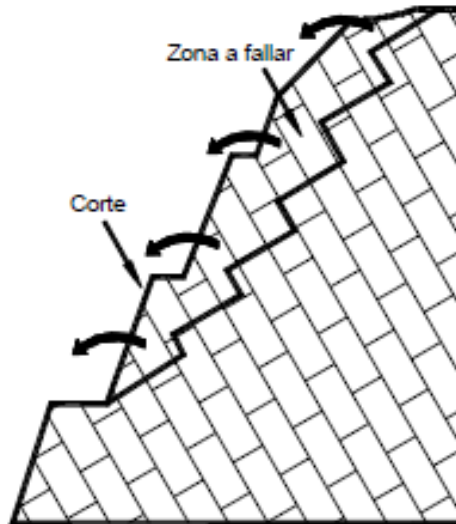


Ilustración 2.2. El volcamiento puede generar un desmoronamiento del talud o falla en escalera, formando caídos o derrumbes. (Suárez, 2009)

**Reptación (“Creep”):** La reptación o “creep” consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno.

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos traslacionales. La reptación comúnmente ocurre en las laderas con pendiente baja a media. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas. En la Ilustración 2.3 se muestra un esquema del proceso de reptación.

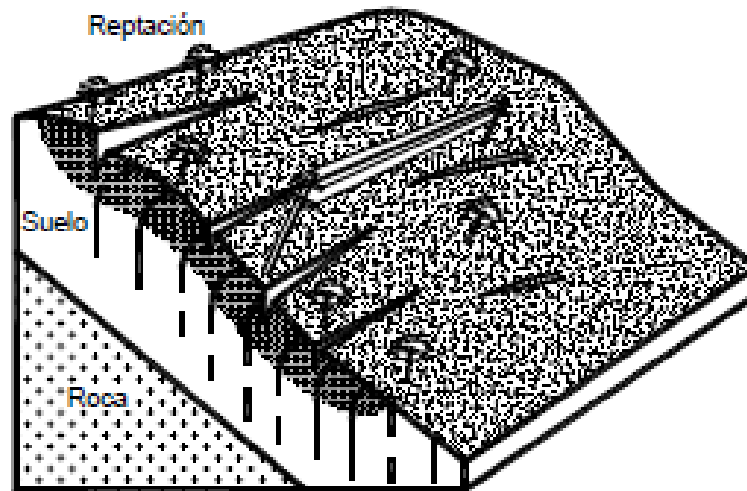


Ilustración 2.3. Esquema de un proceso de reptación. (Suárez, 2009)

**Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales):** El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. El movimiento puede ser progresivo, es decir que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería la superficie de falla, sino que se va generando en un proceso gradual. La superficie de falla es una zona de determinado espesor, en la cual se producen cambios volumétricos y desplazamientos relacionados con la falla de rotura, al cortante de los materiales. Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear.

- **Deslizamiento Rotacional:** En un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto





al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y si hay árboles éstos se inclinan de forma diferente en la cabeza y en el pie del deslizamiento (Ver Ilustración 2.4)

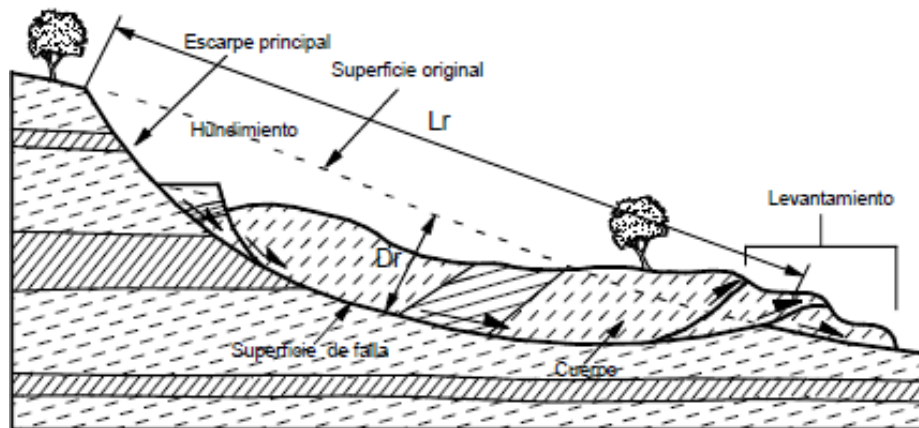


Ilustración 2.4. Desplazamiento de rotación en una ladera. (Suárez, 2009)

- **Deslizamiento de Traslación:** En el deslizamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera 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. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte (Ver Ilustración 2.5).

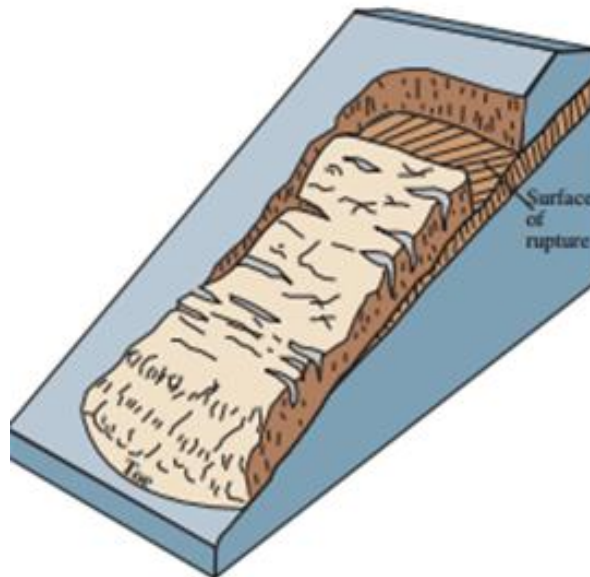


Ilustración 2.5 ilustración deslizamiento de traslación. (USGS, 2004)

**Flujos:** En un flujo ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques hacia la parte superior.

La ocurrencia de flujos puede estar relacionada con los siguientes factores: las lluvias, el deshielo de nevados, los sismos, la alteración de suelos sensitivos, zonas de pendientes altas.

Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los hay de roca, de residuos o de suelo o tierra.

#### **Tipos de flujos:**

- **Flujos de bloques de roca:** Están compuestos por bloques y cantos de roca, con o sin presencia de materiales finos. Las pendientes de estos taludes comúnmente son muy empinadas (más de  $45^\circ$ ). Inicialmente, se



presentan como caídos o deslizamientos y rápidamente evolucionan y se transforman a flujos o avalanchas. La pendiente de los flujos es generalmente superior a 20% y es común que haya pendientes de más de 100%. Su presencia es común tanto en las rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas, como en las rocas sedimentarias con ángulos fuertes de buzamiento de los planos de estratificación (Ver Ilustración 2.6).



Ilustración 2.6 flujos de bloques de roca. (USGS, 2004)

- **Flujos de residuos (detritos):** Los flujos de residuos o de detritos son movimientos relativamente rápidos que llegan a ser extremadamente rápidos y están compuestos de materiales gruesos con menos del 50% de finos. Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos (Ver Ilustración 2.7).

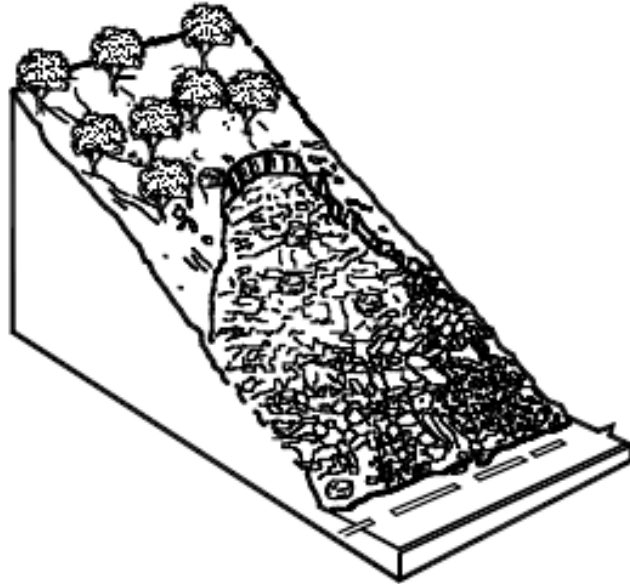


Ilustración 2.7 Flujo de bloques de roca y residuos en la excavación de un talud para la construcción de una vía. (Suárez, 2009)

- **Flujo de suelo o tierra:** Los flujos de tierra son movimientos de materiales con más del 50% de finos y su consistencia es líquida. Se inician comúnmente como desplazamientos de rotación o traslación y al acumularse los suelos sueltos abajo del pie del deslizamiento, éstos fluyen sobre la ladera. Los flujos de tierra son rápidos o lentos, de acuerdo con la humedad y la pendiente de la zona de ocurrencia. en las zonas de alta montaña y en las desérticas, se presentan flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas (Ver Ilustración 2.8).

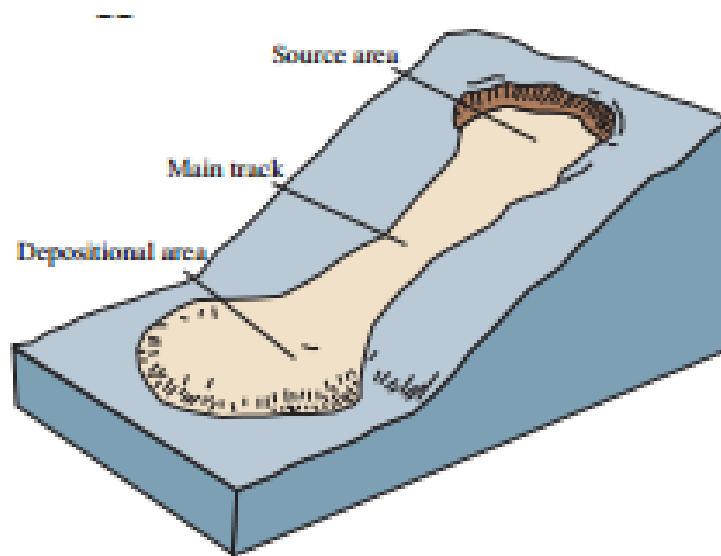
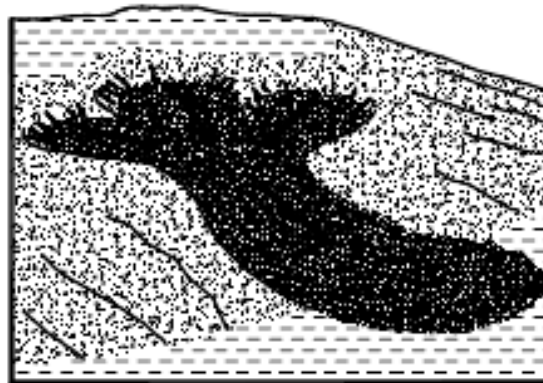
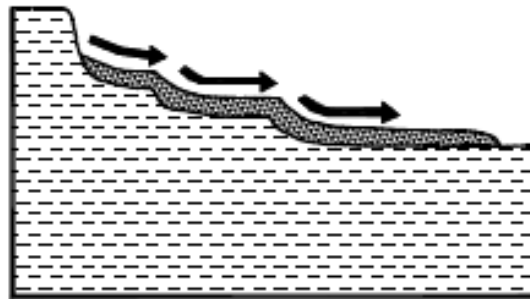


Ilustración 2.8 Flujo de tierra. (USGS, 2004)

- **Flujos de lodo:** En los flujos de lodo se habla de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de hablar de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo alcanzan velocidades muy altas y poseen grandes fuerzas destructoras, las cuales dependen de su caudal y velocidad. Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente, una zona de acumulación. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o desplazamientos de rotación o traslación; el camino o canal es un área estrecha, recta o una serie de canales a través de los cuales fluye el material viscoso. La anchura, profundidad y pendiente del camino del flujo, varía de acuerdo con las condiciones topográficas y morfológicas. La zona de acumulación es un área de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de depósitos. En la Ilustración 2.9 (a) y (b) se observa un flujo de lodos en planta y en perfil respectivamente.



a) Flujo de lodo en planta



b) Flujo de lodo en perfil

Ilustración 2.9 Formación de grandes flujos de lodo (Geertsema et al., 2006)

- **Avalanchas:** Cuando los flujos alcanzan grandes velocidades se clasifican como avalanchas. En las avalanchas el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca, suelo y residuos diversos”. Estos flujos comúnmente se relacionan con las lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionalmente altos, el deshielo de los nevados o los movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación. Esto último, aunque es un factor influyente, no es un pre-requisito para que ocurran (Ver Ilustración 2.10).

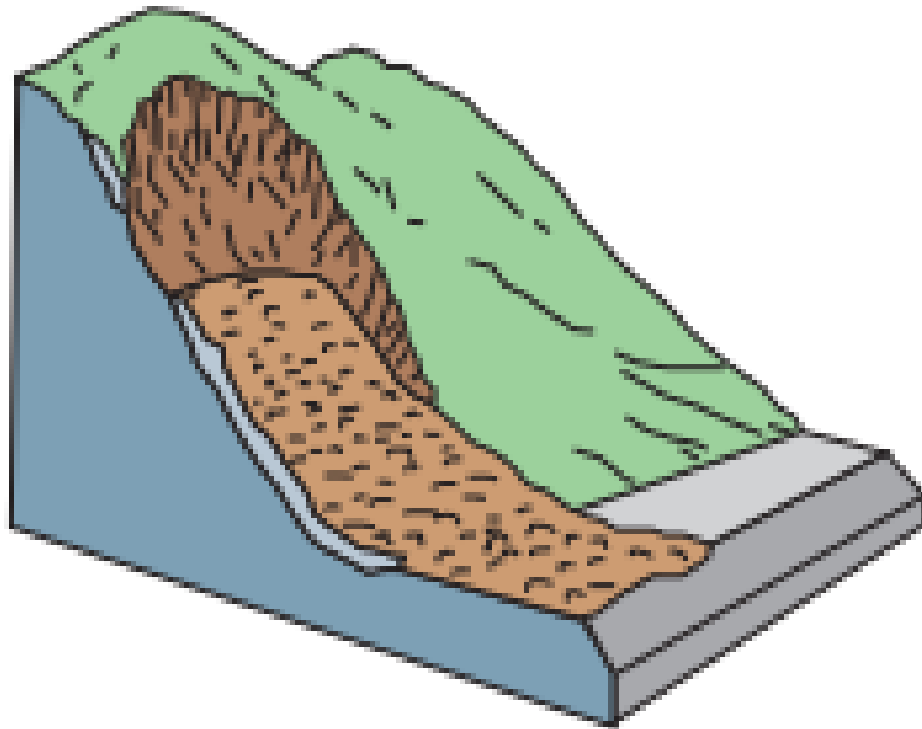


Ilustración 2.10 avalanchas por deslizamientos generalizados. (USGS, 2004)

- **Lahares:** Los lahares constituyen un tipo especial de avalancha o flujo de detritos, generados por el deshielo rápido de áreas de nevados, con erupciones volcánicas. el flujo de agua arrastra lodo, ceniza volcánica y detritos formando avalanchas de gran magnitud y alta velocidad, en la Ilustración 2.11 se muestra el lahar formado debido a la tragedia ocurrida en la ciudad de Armero en Colombia después de la erupción del volcán Nevado del Ruiz.



Ilustración 2.11 Lahar que cubrió la ciudad de Armero, Colombia.  
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Tragedia\\_de\\_Armero](http://es.wikipedia.org/wiki/Tragedia_de_Armero)

### 2.3 PARTES DEL DESLIZAMIENTO

En la Ilustración 2.12 se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa.

Según Suárez (2009), las partes principales son las siguientes:

1. Cabeza: Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
2. Cima: El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
3. Corona: El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.



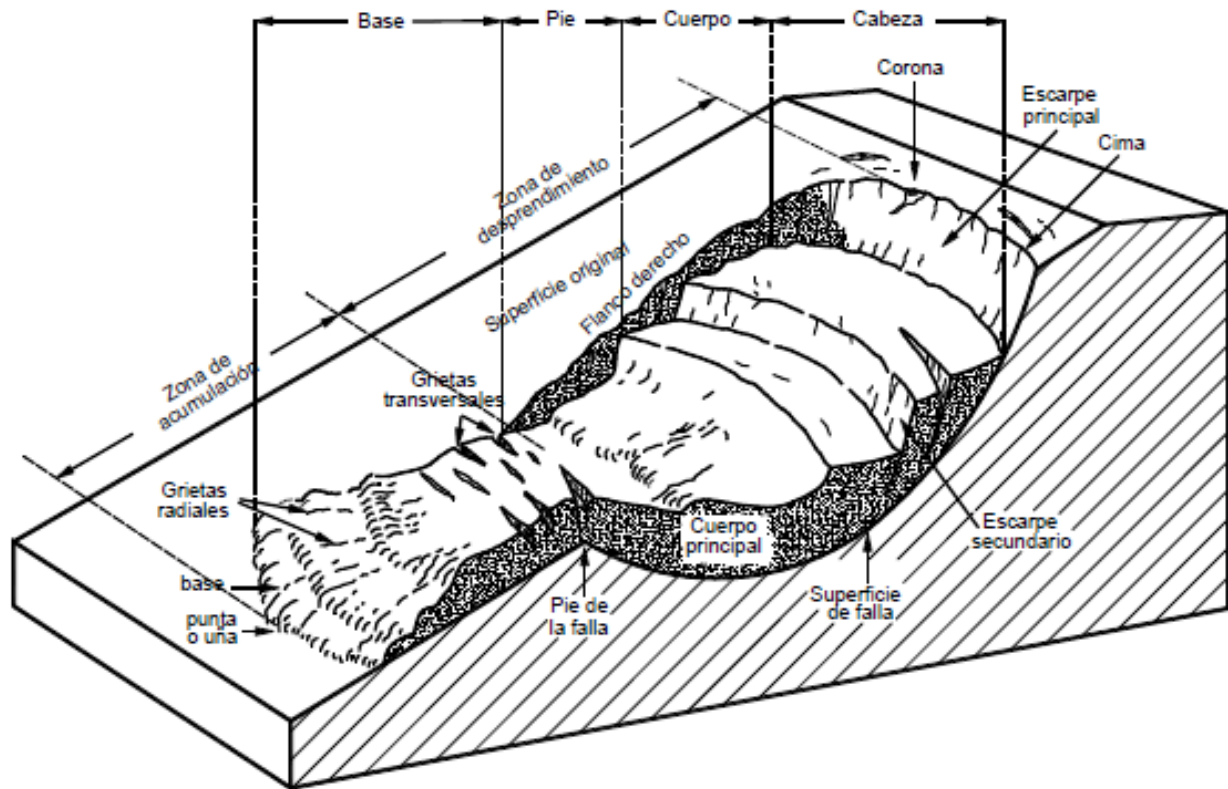


Ilustración 2.12. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento. (Suárez, 2009).

4. Escarpe principal: Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.
5. Escarpe secundario: Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
6. Superficie de falla: Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza.



7. Pie de la superficie de falla: La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
8. Base: Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
9. Punta o uña: Punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
10. Cuerpo principal del deslizamiento: El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
11. Superficie original del terreno: La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
12. Costado o flanco: un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

## 2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS

Con la definición del tipo de movimiento es necesario definir sus características según: el tipo de material, humedad, estilo, estado de actividad, secuencia de repetición y velocidad del movimiento. Se presenta la clasificación según Suárez (2009).

### 2.4.1 TIPO DE MATERIAL

Según Suárez (2009) los siguientes términos han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento del talud.

- **Roca:** Se denomina “Roca” al material duro y firme que estaba intacto en su lugar, antes de la iniciación del movimiento.
- **Residuos:** Se denomina “Residuos” o “Detritos”, al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro



equivalente, debe llamarse “Residuos”. Por lo general, existen partículas mucho mayores a 2 milímetros, para que sean consideradas de este modo.

- **Tierra:** Se denomina “Tierra”, a los materiales con más del 50% de finos (Pasantes tamiz ASTM 200) (USGS, 2004), su humedad es relativamente baja y no tiene consistencia líquida; se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.
- **Lodo:** Se denomina “Lodo” a un material con más del 50% de finos (Pasantes tamiz ASTM 200) (USGS, 2004), con humedades cercanas o superiores al límite líquido, esto le permite fluir rápidamente.

#### 2.4.2 HUMEDAD

Según Suárez (2009) se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

- **Seco:** No contiene humedad “visible”.
- **Húmedo:** Contiene algo de agua, pero no posee agua (corriente) libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.
- **Mojado:** Contiene suficiente agua para comportarse en parte, como un líquido y posee cantidades visibles de agua que pueden salir del material.
- **Muy mojado:** Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

#### 2.4.3 ESTILO

Según Suárez (2009) que expresa que Varnes (1978) estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento cuando aparecen conjuntamente diferentes tipos de movimiento:



- **Complejo:** Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos, dos tipos de movimiento. Por ejemplo, inclinación y desplazamiento.
- **Compuesto:** El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimientos en diferentes áreas de la masa desplazada.
- **Múltiple:** Se denomina múltiple a un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla.
- **Sucesivo:** Corresponde a movimientos repetidos, pero que no comparten la misma superficie de falla.
- **Sencillo:** Se presenta un solo tipo de movimiento.

#### 2.4.4 ESTADO DE ACTIVIDAD

Suárez (2009) indica que de acuerdo con su estado actual de actividad, los deslizamientos se clasifican de la siguiente forma:

- **Activo:** Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.
- **Reactivado:** Movimiento que nuevamente está activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.
- **Suspendido:** Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales, pero que no se están moviendo en la actualidad.
- **Inactivo:** Deslizamiento que lleva varios ciclos estacionales, sin actividad.
- **Dormido:** Deslizamiento inactivo donde aparentemente permanecen las causas del movimiento.
- **Abandonado:** Es el caso de un río que cambió de curso y que estaba produciendo un deslizamiento.
- **Estabilizado:** Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.



- **Relicto:** Deslizamientos que probablemente ocurrieron hace varios miles de años.

#### 2.4.5 SECUENCIA DE REPETICIÓN

La secuencia se refiere a los movimientos que se inician en un área local y progresan o se repiten en una determinada dirección. Varnes (1978) según Suárez (2009) recomienda utilizar la siguiente terminología:

- **Progresivo:** La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.
- **Retrogresivo o sucesivo:** 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 agregándoles 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 los 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 que está siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

#### 2.4.6 VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO

Según Suárez (2009) la velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos, corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable.



Por otro lado, los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles (sin instrumentos) y representan un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas. (Suárez, 2009)

Generalmente, la velocidad del movimiento es lenta al principio y puede aumentar (gradual o instantáneamente) aumentar de velocidad de acuerdo con el tipo de movimiento. En la Tabla 2.1 se muestran algunas velocidades de los movimientos con su respectiva clase, descripción, desplazamiento y poder destructor.

Tabla 2.1 Velocidad de los movimientos adaptado por Cruden y Varnes. (Suárez, 2009)

| Clase | Descripción           | Velocidad (mm/s.f) | Desplazamiento | Poder destructor  |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------|---|
| 7     | Extremadamente rápida | 5000               | 5 m/seg        | Catástrofe de violencia mayor, edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.                     |
| 6     | Muy rápida            | 50                 | 3 m/min        | Algunas pérdidas de vidas, velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.   |
| 5     | Rápida                | 0.5                | 1.8 m/hora     | Escape posible, estructuras, propiedades y equipos destruidos.  |
| 4     | Moderada              | 0.005              | 13 m/mes       | Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.   |
| 3     | Lenta                 | 0.00005            | 1.6 m/año      | Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente. |
| 2     | Muy lenta             | 0.0000005          | 16 mm/año      | Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.   |
| 1     | Extremadamente lenta  |                    |                | Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción teniendo ciertas precauciones.  |



En la Ilustración 2.13 se muestra un esquema de la velocidad de acuerdo al tipo de movimiento.

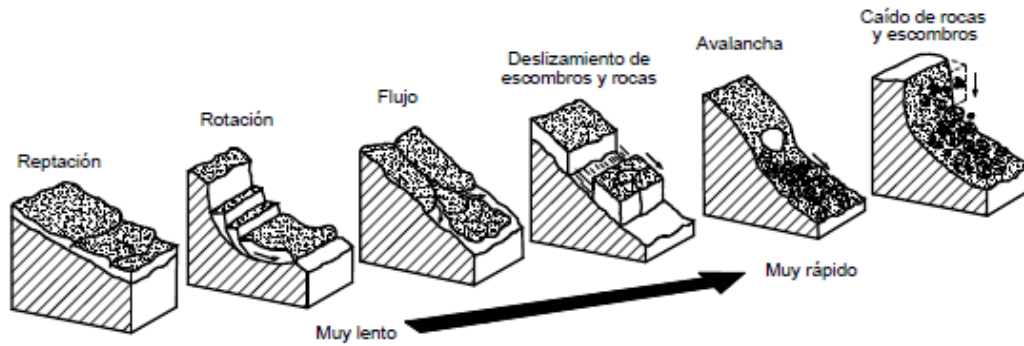


Ilustración 2.13 Velocidad de acuerdo al tipo de movimiento. (Suárez, 2009)



## CAPÍTULO III: RECOLECCIÓN DE DATOS Y RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.

### 3.1 UBICACIÓN Y ACCESOS A LA ZONA DE ESTUDIO

Para la realización del “Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac” es necesario conocer la ubicación y acceso al mismo:

- La zona en análisis se ubica en el Ecuador, Provincia Cañar, Cantón Cañar, Parroquia La Posta, Chaglaban, Quilloac como se muestra en el **Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3.**
- Localmente la zona afectada se encuentra ubicada en la parte más alta en la comunidad Quilloac a una altura de 3.995 m.s.n.m. y en la parte más baja en la comunidad La Posta a una altura de 2.827 m.s.n.m.
- El área está delimitada como se observa en la Ilustración 3.1: en UTM-WGS84: las coordenadas en UTM-WGS84 del sitio más alto son: 728.541, 9´721.023; 728.872, 9´720.931; las coordenadas del sitio intermedio: 728.255, 9´718.499; 728.514, 9´718.494 y las coordenadas del sitio más bajo son 726.825, 9´716.716; 726.943, 9´716.317. Se estima que la superficie afectada es alrededor de 180 ha, según la delimitación entregada por el GADICC (véase **Anexo 4**).





Ilustración 3.1 Delimitación de la zona de estudio

- El acceso se realiza por la vía Panamericana (E35) desde la ciudad de Cuenca hasta la ciudad de Cañar. **Anexo 5**



### 3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El proyecto “Levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico del sector de Quilloac, Chaglaban; y, La Posta del cantón Cañar en un área de 180 ha” fue realizado durante el año 2013 mediante la participación de un equipo de trabajo bajo contrato con el GADICC equipado con una Estación Total de última generación marca TRIMBLE 3605 CR ACV con una precisión de 3”, un GPS diferencial marca TOPCOM. Dentro de la memoria técnica del informe del proyecto anteriormente mencionado se redacta la metodología con la cual fue realizada y sus productos: planos y colocación de hitos.

El levantamiento topográfico es un conjunto de operaciones ejecutadas para determinar la configuración del terreno, el posicionamiento de los elementos naturales y los construidos por el hombre y para emplazar correctamente diferentes tipos de proyectos técnicos.

Es necesario analizar el levantamiento topográfico presentado para realizar la identificación del terreno a estudiar, sus límites y posicionamiento en la superficie de la tierra para realizar una investigación geológica y geomorfológica.

La superficie en estudio se generó mediante el software AutoCAD Civil 3D 2015 en escala 1:1.000 utilizando el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno y utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas “curvas de nivel” verificando que las elevaciones varían entre aproximadamente 4.200 y 2.800 m.s.n.m. Dentro del levantamiento se puede distinguir: curvas de nivel del terreno, hitos, casas, calles, quebradas y ríos.

El levantamiento topográfico proporcionado por el GADICC es un instrumento base y fundamental para el desarrollo del presente estudio. A partir de esta



superficie generada se empieza el desarrollo de los estudios necesarios para determinar la inestabilidad e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac.

### 3.3 RECONOCIMIENTOS DE HITOS

La colocación de hitos se realizó durante el levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico del sector de Quilloac, Chaglaban; y, La Posta del cantón Cañar en un área de 180 hectáreas descrito en la sección 3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Se realizó el reconocimiento mediante visitas de campo, donde se pudo realizar algunos ajustes como la corrección de lugares referenciales donde los hitos se habían colocado y observaciones sobre la ausencia de algunos hitos.

Se planteó que el periodo de monitoreo de los hitos se realizara dos veces durante la ejecución de este proyecto mediante la colaboración logística del GADICC a través de equipos marca TRIMBLE 3600-SERIES de alta precisión (ver Ilustración 3.2), un GPS diferencial marca TOPCOM, y equipo de trabajo del GADICC.



Ilustración 3.2 Equipos de topografía.

Para monitorear los hitos en este estudio se contó con una cuadrilla de campo, en la cual cada persona cumplió con una determinada función en campo:



- Observador: Debe ser una persona que tenga los conocimientos necesarios de la zona de estudio y de los equipos a usarse, además con la experiencia para observar y resolver algún inconveniente en el campo.
- Secretario: Persona a cargo de receptar los datos con claridad en la escritura y en el mapa o croquis de la zona de estudio.
- Cadeneros: Personas con total conocimiento de topografía como colocar la estación, dominar el equipo de trabajo, colocar el prisma de manera adecuada para realizar una lectura correcta.
- Conductor: Persona que conoce la zona de estudio y sus accesos ya que su trabajo es llevar a la cuadrilla a los sitios anteriormente mencionados.

El procedimiento de trabajo fue esquemático y de igual manera para todos los hitos: puesta a punto del equipo anteriormente mencionado, ubicación de la señal de puntería, ubicación del prisma en los puntos de monitoreo, medida en el campo y en el próximo capítulo se realizará el procesamiento de datos y cálculos, la presentación de datos y resultados y el respectivo análisis de resultados.

### **3.4 RECOLECCIÓN DE FOTOS AÉREAS Y SATELITALES**

El estudio de las fotografías aéreas es una técnica necesaria para los reconocimientos geológicos-geotécnicos en campo ya que permite reconocer zonas muy extensas de manera local como regional. Existen diferentes tipos de fotografías aéreas como: imágenes a color, imágenes en blanco y negro e imágenes infrarrojas o falso color.

Generalmente incluyen información en la esquina de cada fotografía como: el número del carrete, número de foto, hora y fecha de fotografía, etc.



Las fotografías que se recolectaron con el apoyo del GADICC, para el reconocimiento de la zona son:

- Foto aérea, en blanco y negro, # 27624, R 144 Jet, 25-VII-89, Proyecto Carta Nacional.
- Foto aérea, en blanco y negro, # 27625, R 144 Jet, 25-VII-89, Proyecto Carta Nacional.
- Foto satelital, Raster RGB, pixel depth 8 bit, año 2012.

Mediante las fotografías se pudo realizar un reconocimiento inicial de morfología, vías, estructuras geológicas, zonas de terrenos: firme y en transición, viviendas, zonas de concentraciones como escuelas, casas comunales y espacios deportivos en la zona de estudio.

### **3.5 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE CAMPO**

El Ecuador por su situación geográfica y geológica está expuesto a varios fenómenos naturales que se vuelven destructivos, en buena parte por la falta de aplicación de la variable “riesgo natural” en las actividades de desarrollo y en especial en la planificación y utilización adecuadas del territorio, respetando a la naturaleza y a sus fenómenos (PRECUPA, 1998).

El Austro ecuatoriano carece de volcanismo reciente y presenta algunas formaciones geológicas propensas a experimentar inestabilidad de laderas. (PRECUPA, 1998).

#### **3.5.1 GEOLOGÍA LOCAL**

Las rocas fundamentales son lavas de la formación Piñon (periodo Cretácico, 130-70 millones de años) que constituyen el núcleo de las alturas occidentales de Cañar, de donde se desprenden en forma de digitaciones que separan antiguos



valles glaciares y que al dirigirse hacia el norte confluyen en las laderas del río Cañar. Estas lavas se profundizan bajo una cubierta de formaciones nuevas de carácter sedimentario que cronológicamente corresponden a la Formación Santa Rosa, Formación Tarqui, Morrenas (tilitas) (GEORISK, 2010).

### 3.5.2 GEOLOGÍA DE LA ZONA

Para establecer el entorno geológico de la zona se ha revisado las distintas fuentes previas de información geológica y de acuerdo a los mapas del cantón Cañar a escala 1:25.000 se puede observar en el **Anexo 6**. se establece que el área de estudio litológicamente se encuentra asentada en el Miembro Turi y a su entorno la Formación Cerro Culcay, el Miembro Cañar, Morrena, Terraza de Río y Deslizamientos. A continuación se presenta una breve descripción de GEORISK (2010) de cada una de estas litologías.

- Miembro Turi.

Está constituido por potentes secuencias de areniscas de grano medio a fino, areniscas conglomeráticas poco sorteadas con algunos niveles de limolitas y conglomerados finos, con mucho aporte volcánico. Hay muy poco material metamórfico, la serie esta ordenado en secuencias de grano crecientes, en general bien consolidado; los colores que predominan son gris verdoso a gris claro. La edad oscila entre los  $8.0 \pm 1.0$  Ma en trazas de fisión (Mioceno medio a tardío) (Steinmann, 1997) según (GEORISK, 2010).

- Formación Cerro Caucaj.

Consiste de una gruesa capa subhorizontal de tobas riolíticas de flujo de ceniza, que descansan discordantemente sobre lavas de la Formación Chanlud. Buza fuertemente hacia el noreste dentro del valle del Cañar, donde está discordantemente sobreyacido por sedimentos de la Formación Turi. Está bien



expuesta en el Cerro Caucaj con un espesor de unos 450 m, donde comprende tobas riolíticas de flujo de ceniza intensamente soldadas y con diaclasas de forma columnar. Las tobas exhiben texturas vitroclásticas y contienen abundante feldespató, biotita, anfíbol y cuarzo. Fábricas eutaxíticas son comunes y zonas extremadamente soldadas presentan evidencia de reomorfismo como plegamiento en flujo. Se obtuvieron dos edades  $30.2 \pm 1.1$  Ma y por trazas de fisión en zircón y  $27.0 \pm 1.0$  Ma, (oligoceno), (Codigem-Bgs, 1997) según (GEORISK, 2010).

- Miembro Cañar.

Está formada por una secuencia de areniscas bien estratificadas de grano fino a medio con clastos flotantes de material volcánico ( $\pm 2$ mm de diámetro), intercalados con algunos niveles de capas y lentes de conglomerados finos y limos. Los aportes de este miembro corresponden a material volcánico riolítico alterado hidrotermalmente, similar a los de las tobas y lavas que se encuentra en el grupo Saraguro.

Localmente se han encontrado bloques de hasta 1.5 m de ancho dentro de estos sedimentos; el color predominante es el blanco grisáceo, por lo que este miembro sobresale en el paisaje del valle del Cañar. Su edad es más joven que el Miembro Turi, pues en ciertos lugares se puede ver un paso transicional vertical entre el Miembro Turi y el Miembro Cañar. (Hoja geológica de cañar, escala 1:50.000) según (GEORISK, 2010).

- Depósitos Glaciares, Morrenas.

Gran parte de la zona nororiental del área de estudio está cubierto por depósitos de origen glaciario, ya sean morrenas (laterales y frontales), y tillitas sin mayor



exposición morfológica. El color de estos depósitos es generalmente de gris crema a caqui. Se lo atribuye una edad Holoceno. (GEORISK, 2010)

- Terrazas De Río.

Corresponden a materiales que se han depositado ayudados por un agente de transporte (agua, hielo, viento, etc.), y forman terrazas, aluviales, etc., la baja consolidación de sus elementos pueden generar movimientos de terrenos y pueden sufrir intensos procesos erosivos. Se observan estas terrazas en los márgenes del río Cañar. (GEORISK, 2010)

### 3.5.3 CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS

La zona de estudio ha sido modelada por la acción de los últimos glaciares pleistocénicos y modificada por fenómenos posteriores de erosión. Se pueden identificar áreas con características morfológicas comunes:

- Una meseta situada entre 3.995 y 2.827 m.s.n.m. que apoyada en las estribaciones de la cordillera occidental que constituye el asiento de poblaciones como: La Posta, Nar, Cuchucún, San Rafael, Chaglaban, Centro Urbano de Cañar y Quilloac.
- La Quebrada Rosas Pampa y la quebrada S.N recorren la zona de estudio de sur a norte, su recorrido está determinado por el sistema de fracturas del suelo y por la presencia de pequeños valles glaciales. En la Ilustración 3.3 se muestra el recorrido de la Quebrada Rosas Pampa y la quebrada S.N.



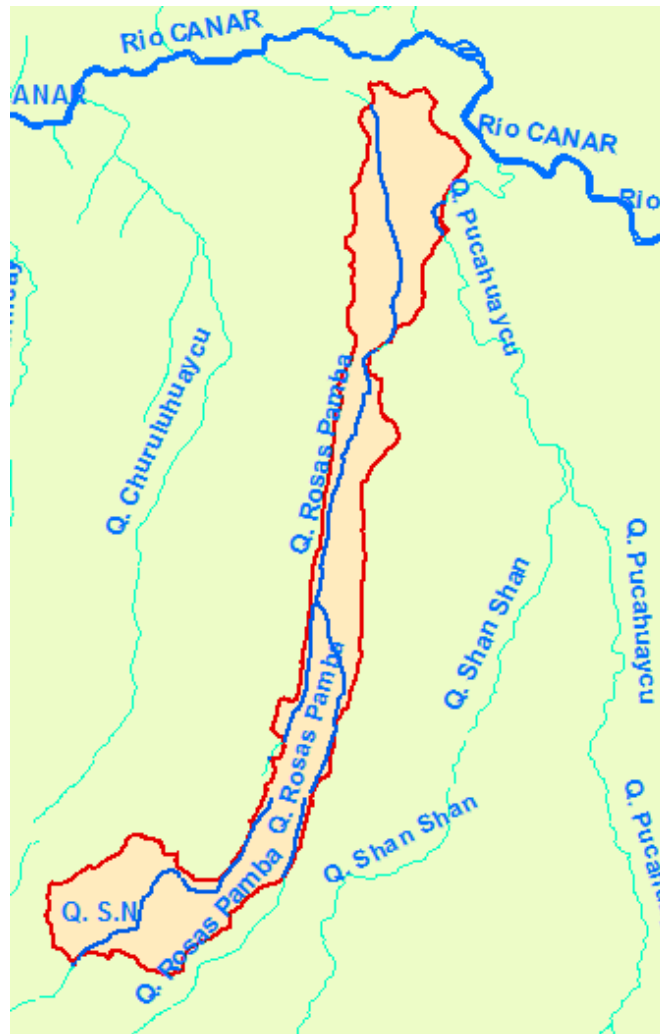


Ilustración 3.3. Recorrido de la quebrada rosas pamba de sur a norte en la zona de estudio.

- La presencia en el área de plataformas limitadas por pequeñas laderas, plataformas en escalera, pantanos y las humedades que existen al pie de ellas, son testigos de los deslizamientos ocurridos (Erazo, 1993).



### 3.5.4 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Las características estructurales más notables están definidas por la presencia de extensas grietas de deslizamiento que, con mayor o menor grado de actividad atraviesan la zona de estudio, pero no hay ninguna cartografía al respecto de las grietas, las principales grietas han sido nominadas por Erazo (1993) así:

- Grieta de Calasanz: Pasa por las inmediaciones del colegio del mismo nombre y se dirige por la localidad de Cashaloma hasta el sector de Corriuco.
- Grieta de Quilloac: Se inicia en esa localidad y se dirige hacia el sector La Posta.
- Grieta de Izavieja: Se inicia también en el área de Quilloac y siguiendo una dirección más o menos paralela a la anterior y se dirige igualmente hacia La Posta en el sentido sur-norte.

Además, según Erazo (1993), el bloque comprendido entre las dos últimas grietas tiene un movimiento constante hacia el norte. Es necesario señalar también la presencia de una serie de grietas secundarias relacionadas con las que se acaban de detallar.

Erazo (1993) expresa que la grieta de Calasanz es la causante de la inestabilidad de la ladera situada al pie de San Antonio, donde pueden observarse hundimientos y deslizamientos, que se internan en la meseta. Además las grietas de Quilloac e Izavieja han fracturado toda la superficie comprendida entre ellas y algunos puntos adyacentes exteriores. Su actividad se evidencia en el desplazamiento de la carretera que conduce al vivero del CREA y colabora en la inestabilidad generalizada de las laderas del río Cañar.



En definitiva, según la inestabilidad del suelo del cantón Cañar está ligada a la actividad de las grietas principales y secundarias así como a la presencia de las quebradas que contribuyen a debilitar sus laderas (Erazo, 1993).

Además en las visitas de campo se pudo observar que existen más grietas a lo largo del deslizamiento y en las afueras de la delimitación. También hay grietas ocultas por la actividad agrícola de las comunidades.

### **3.5.5 ACTIVIDAD TECTÓNICA**

El peligro sísmico puede causar perjuicios en el país, dado que se encuentra en el cinturón del fuego del pacífico, por lo que es fundamental considerar este aspecto para el análisis en proceso.

Para determinar el nivel de amenaza física se toma como referencia la zonificación sísmica elaborada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011) en el Capítulo 2: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo resistente. En la Ilustración 3.4 se observa que, el cantón Cañar se encuentra en la Zona Sísmica III, con valor factor  $Z=0.3$  y caracterización de amenaza sísmica alta, según la Tabla 3.1, dónde el valor de  $Z$  de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en la roca esperada para el sismo de diseño, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad.

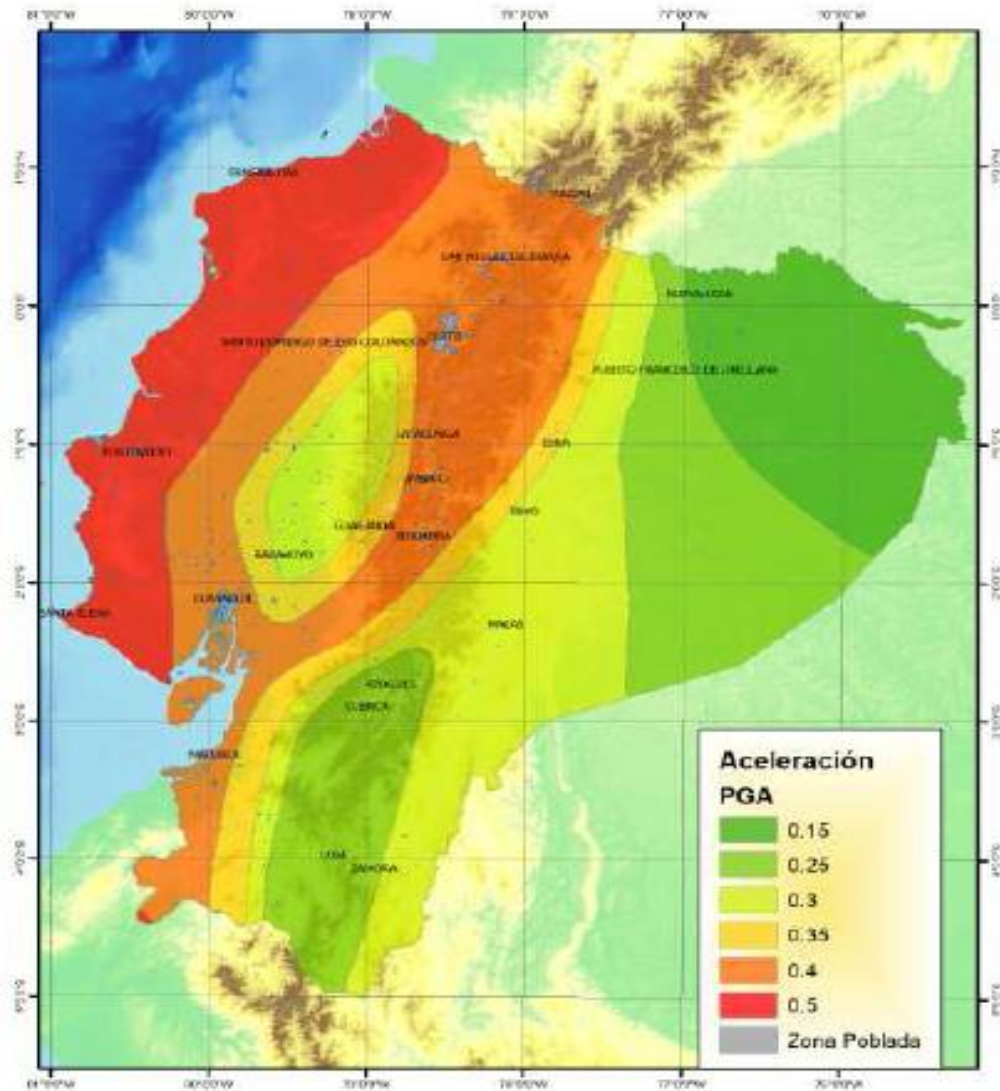


Ilustración 3.4 Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC, 2011)

Tabla 3.1 valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada (NEC, 2011).

| Zona sísmica                       | I          | II   | III  | IV   | V    | VI       |
|------------------------------------|------------|------|------|------|------|----------|
| Valor factor Z                     | 0.15       | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥ 0.50   |
| Caracterización de amenaza sísmica | Intermedia | Alta | Alta | Alta | Alta | Muy Alta |



Con la información obtenida anteriormente se puede concluir que el cantón Cañar y específicamente en la zona de estudio basándose en hechos históricos no existe mayor riesgo sísmico, sin embargo generalizando la actividad tectónica a nivel del país se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico lo que representa un peligro, por lo que es necesario tomar medidas de seguridad de terrenos inestables.

### **3.5.6 ACTIVIDAD VOLCÁNICA**

En lo que se refiere al nivel de amenaza volcánica para la provincia de Cañar y para la ciudad de Cañar, según el mapa mostrado en la Ilustración 3.5 es de grado 0. Las amenazas pueden ser lahares, flujos piroclásticos y/o caída de ceniza. Las zonas con bajo peligro volcánico (grado 0) son los que se encuentran afuera del área de concentración de los volcanes.

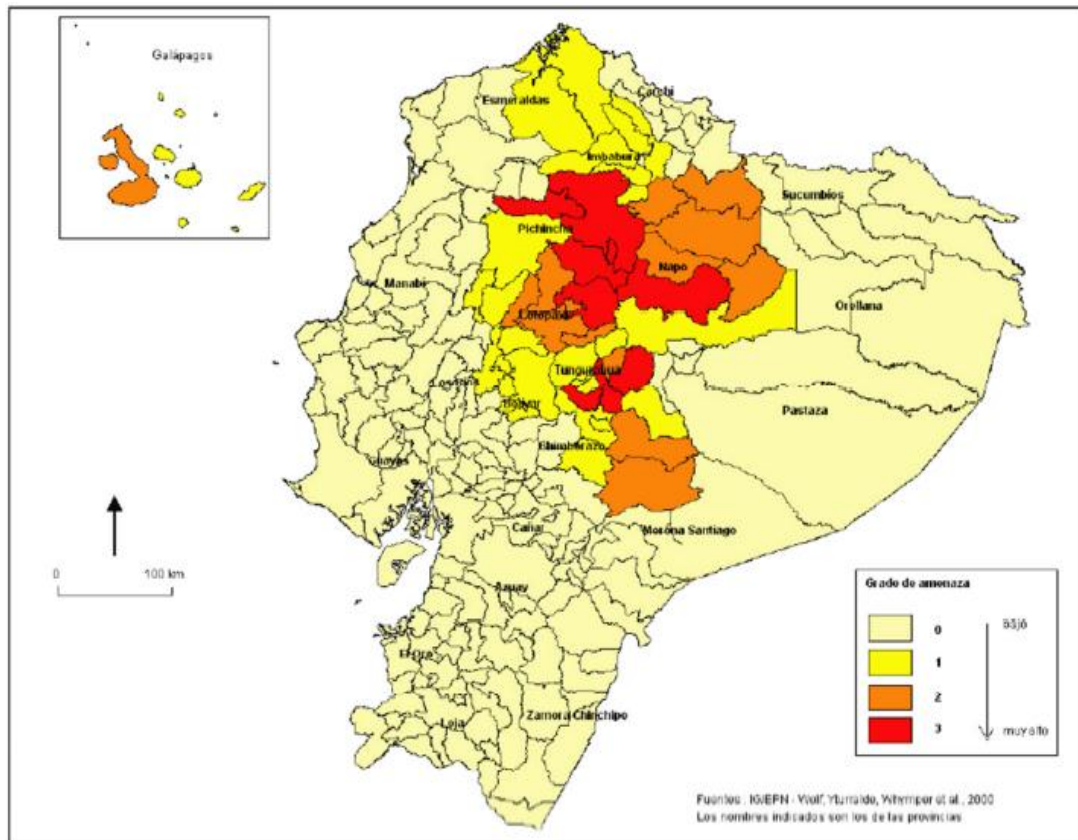


Ilustración 3.5 Nivel de amenaza volcánica en las provincias del Ecuador. (IGJEPN- Wolf, 2000)

Con la información expuesta anteriormente no existe mayor peligrosidad en cuanto a riesgos volcánicos debido a que Cañar no se encuentra en la zona de volcanes activos.

### 3.6 RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE SUELOS

La descripción geotécnica de los suelos en campo debe comprender la composición del suelo de forma cualitativa y debidamente clasificada según la normativa.

Para la determinación de los aspectos geotécnicos del proyecto se realizaron 21 Pozos a Cielo Abierto (PCA) debido a la longitud de Norte a Sur de 5 km y de este a oeste de 2 km. De los PCA se realizó una descripción litológica y se tomaron



muestras representativas para ensayos de laboratorio. Las observaciones de las exploraciones se pueden revisar en el **Anexo 7**.

Se realizaron 21 exploraciones, como se observa en la Ilustración 3.6, Ilustración 3.7, Ilustración 3.8. Cada una está realizada a diferentes profundidades para determinar las características de los materiales presentes en el terreno y extraer muestras para los ensayos de laboratorio.

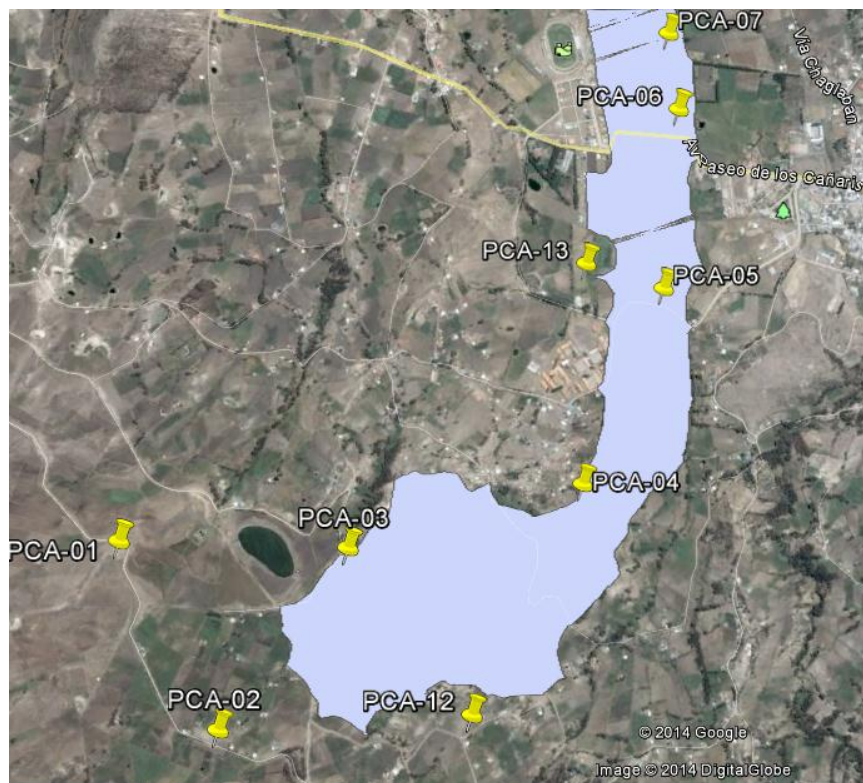


Ilustración 3.6 Ubicación de los PCA realizados en la parte superior del deslizamiento.

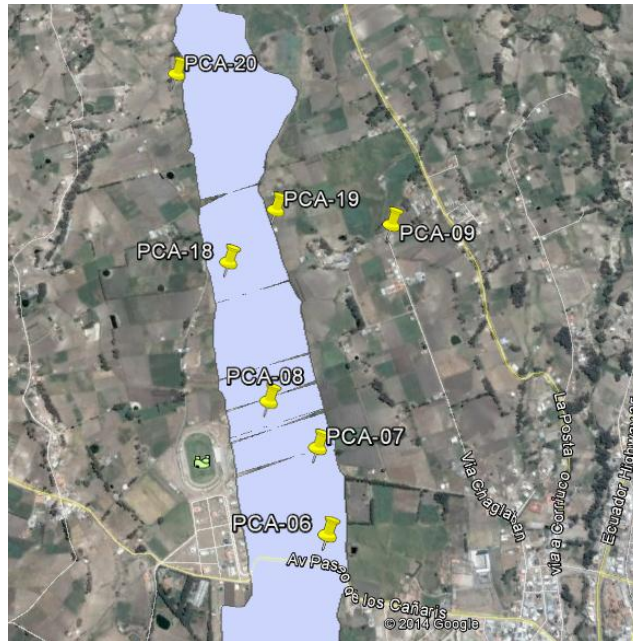


Ilustración 3.7 Ubicación de los PCA realizados en la parte intermedia del deslizamiento.



Ilustración 3.8 Ubicación de los PCA realizados en la parte inferior del deslizamiento.

A continuación se presenta la Tabla 3.2 un resumen de las 21 calicatas realizadas:





Tabla 3.2. Resumen de las exploraciones

| CALICATA |                 |           |           |           |             |                     |                |
|----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|----------------|
| ID       | COORDENADAS UTM |           | ELEVACIÓN | MUESTRA   | PROFUNDIDAD | PROFUNDIDAD MUESTRA | NIVEL FREÁTICO |
|          | E               | N         |           |           |             |                     |                |
|          | m               | m         |           |           | (m)         | (m)                 |                |
| PCA-01   | 726414          | 9717011   | 3400.4    | Muestra 1 | 3           | 0.5 - 2.0           | 1.35 m         |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 2.0 - 3.0           |                |
| PCA-02   | 726522          | 9 716 402 | 3397.2    | Muestra 1 | 2.5         | 0.8 - 2.5           | ---            |
| PCA-03   | 727 017         | 9 716 788 | 3350      | Muestra 1 | 3.7         | 0.3 - 3.7           | 2.80 m         |
| PCA-04   | 727 727         | 9 716 752 | 3166.6    | Muestra 1 | 3           | 0.1 - 1.25          | 1.20 m         |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 1.25 - 3.0          |                |
| PCA-05   | 728151          | 9717258   | 3099.1    | Muestra 1 | 3           | 1.0 - 3.0           | 0.55 m         |
| PCA-06   | 728 371         | 9 717 790 | 3058.6    | Muestra 1 | 3           | 1.0 - 3.0           | 0.50 m         |
| PCA-07   | 728 415         | 9 718 033 | 3045      | Muestra 1 | 2.8         | 1.0 - 2.8           | 0.70 m         |
| PCA-08   | 728 317         | 9 718 204 | 3032.3    | Muestra 1 | 2.5         | 0.4 - 2.5           | --             |
| PCA-09   | 728 815         | 9 718 598 | 3011.9    | Muestra 1 | 2.9         | 0.9 - 2.9           | 1.30 m         |
| PCA-10   | 728 958         | 9 720 606 | 2824.4    | Muestra 1 | 3.1         | 0.7 - 3.1           | 1.30 m         |
| PCA-11   | 728 813         | 9 719 995 | 2863.4    | Muestra 1 | 3.3         | 0.9 - 3.3           | 1.10 m         |
| PCA-12   | 727 218         | 9 716 204 | 3311      | Muestra 1 | 5           | 0.2 - 2.7           | --             |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 2.7 - 5.0           |                |
| PCA-13   | 727 942         | 9 717 406 | 3101      | Muestra 1 | 5           | 1.8 - 4.0           | 4.0 m          |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 4.0 - 5.0           |                |
| PCA-14   | 728 189         | 9 718 027 | 3044      | Muestra 1 | 5           | 0.2 - 2.0           | 4.20 m         |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 2.5 - 5.0           |                |
| PCA-15   | 728 643         | 9 720 342 | 2844      | Muestra 1 | 5           | 0.5 - 2.5           | 1.3 m          |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 2.5 - 5.0           |                |
| PCA-16   | 729 100         | 9 721 097 | 2777      | Muestra 1 | 5           | 0.2 - 2.2           | --             |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 2.2 - 5.0           |                |
| PCA-17   | 728 232         | 9 720 510 | 2857      | Muestra 1 | 4           | 0.4 - 4.0           | --             |
| PCA-18   | 728 317         | 9 718 639 | 2995      | Muestra 1 | 1.5         | 0.2 - 1.5           | 0.6 m          |
| PCA-19   | 728 497         | 9 718 749 | 3000      | Muestra 1 | 3.5         | 0.4 - 1.1           | ---            |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 1.1 - 3.5           |                |
| PCA-20   | 728 325         | 9 719 262 | 2962      | Muestra 1 | 3           | 0.2 - 1.1           | 1.4 m          |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 1.1 - 3.0           |                |
| PCA-21   | 728 584         | 9 719 857 | 2876      | Muestra 1 | 3           | 0.2 - 1.5           | 1.0 m          |
|          |                 |           |           | Muestra 2 |             | 1.5 - 3.0.          |                |

Se redacta el trabajo de campo realizado, a continuación se realiza la descripción de cada calicata.

### **PCA 01 (UTM-WGS84: 726.414 E, 9 717.011 N)**

La profundidad de la calicata es de 3 m, el nivel freático se encuentra a 1.35 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.50 m.

El segundo material es arenoso de color café claro con partículas subredondeadas con forma plana y alargada, la muestra se presenta con humedad. Este material posee una consistencia de firme a dura, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media y posee una estructura estratificada visiblemente en el talud, además presenta el material una tenacidad baja. Este material se observa hasta una profundidad de 2 m.

El tercer tipo de material es arenoso de color plomo y negro con presencia de erosión química: bicarbonato de sodio. El material presenta partículas subredondeadas con forma planas y alargadas, la muestra se presenta con humedad. Este material posee una consistencia firme, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media y posee una estructura estratificada visiblemente en el talud, además presenta el material una tenacidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.

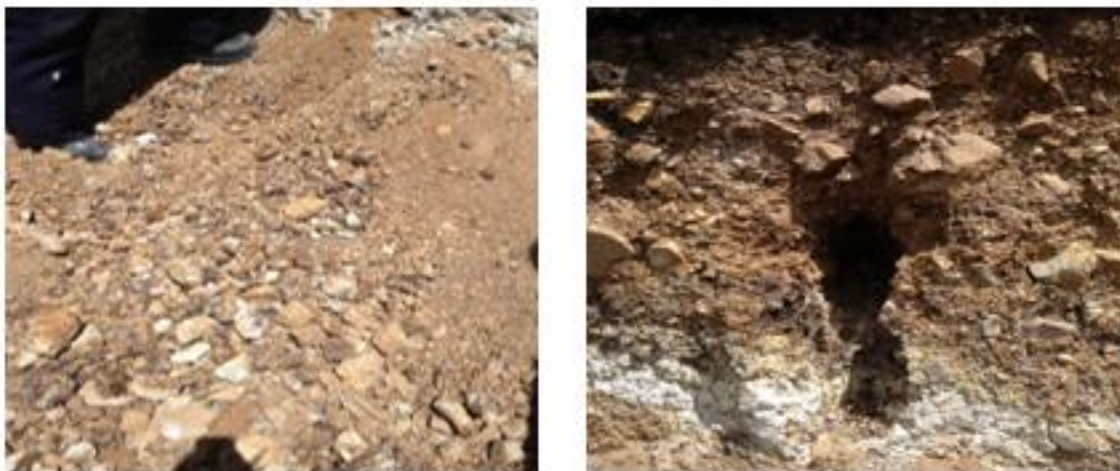


Foto 1. Excavación para el PCA 01. Ubicada en el sector de Chacaguin.



### **PCA 02 (UTM-WGS84: 726.522 E, 9´716.402 N)**

La profundidad de la calicata es de 2.5 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.30 m.

El segundo material es un relleno al volteo realizado con material del lugar, restos de árboles y materiales de construcción y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 0.80 m.

El tercer tipo de material es arenoso de color café oscuro con presencia de agregados gruesos redondeados y forma alargados. Este material se encuentra seco al momento de la exploración y posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media y posee una estructura estratificada visiblemente en el talud, además presenta el material una tenacidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 2. Excavación para el PCA 02. Ubicada en el sector de Chacaguin.

### **PCA 03 (UTM-WGS84: 727.017 E, 9´716.788 N)**



La profundidad de la calicata es de 3.70 m, el nivel freático se encuentra a 2.80 m y se pueden identificar dos tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.30 m.

El segundo material es de color café con partículas subredondeadas con forma planas, la muestra se presenta con humedad. este material posee una consistencia muy blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es débil y posee una estructura estratificada visiblemente en el talud, además presenta el material una tenacidad media y una plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 3. Excavación para el PCA 03. Ubicada en el sector de Chacaguin.

#### **PCA 04 (UTM-WGS84: 727.727 E, 9'716.752 N)**

La profundidad de la calicata es de 3 m, el nivel freático se encuentra a 1.20 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.10 m.

El segundo material es arenoso de color café claro con partículas subredondeadas con forma plana y alargada, la muestra se presenta con humedad. Este material posee una consistencia muy blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es débil y posee una estructura fisurada, además presenta el material una tenacidad media. Este material se observa hasta una profundidad de 1.25 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media y posee una estructura con lentes de arcilla amarilla, además el material presenta una tenacidad y plasticidad alta. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 4. Excavación para el PCA 04. Ubicada en el sector de la Iglesia de San Antonio.

**PCA 05 (UTM-WGS84: 728.151 E, 9 717.258 N)**



La profundidad de la calicata es de 3 m, el nivel freático se encuentra a 0.90 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color café formando un relleno al volteo realizado con material del resto de árboles y materiales de construcción y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 1.00 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad alta. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.

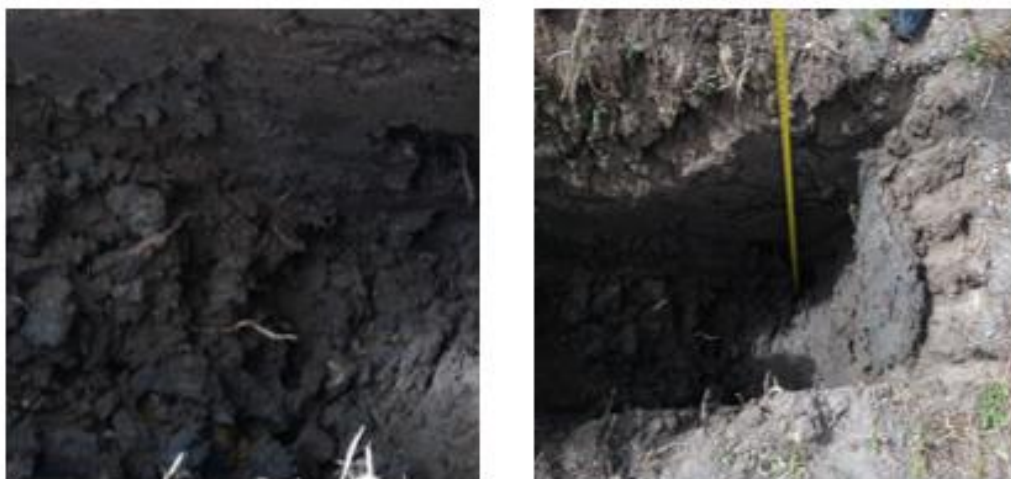


Foto 5. Excavación para el PCA 05. Ubicada en la comunidad de Quilloac.

**PCA 06 (UTM-WGS84: 728.371 E, 9´717.790 N)**



La profundidad de la calicata es de 3 m, el nivel freático se encuentra a 0.90 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color negro formando un relleno al volteo realizado con material del sitio, restos de árboles y materiales de construcción y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 1.00 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo, la muestra se presenta húmeda. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es firme, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 6. Excavación para el PCA 06. Ubicada en el sector de Guanto.

**PCA 07 (UTM-WGS84: 728.415 E, 9´718.033 N)**



La profundidad de la calicata es de 2.80 m, el nivel freático se encuentra a 0.70 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color café claro formando un relleno con material de arenoso y tiene una consistencia firme y una cementación media. Este material se observa hasta una profundidad de 1.00 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color negro, la muestra se presenta húmeda. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es firme, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 7. Excavación para el PCA 07. Ubicada en la urbanización Inti- Raymi.

**PCA 08 (UTM-WGS84: 728.317 E, 9´718.204 N)**





La profundidad de la calicata es de 2.50 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.15 m.

El segundo es de color negro claro formando un relleno con material arenoso y tiene una consistencia de firme a blanda y una cementación media. Este material se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El tercer tipo de material es arenoso de color café con visibilidad de partículas gruesas, la muestra se presenta seca. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es firme, además el material presenta una tenacidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 8. Excavación para el PCA 08. Ubicada en la urbanización Inti- Raymi.

**PCA 09 (UTM-WGS84: 728.815 E, 9'718.598 N)**



La profundidad de la calicata es de 2.9 m, el nivel freático se encuentra a 1.30 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color negro formando un relleno al volteo realizado con material del sitio, restos de árboles y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 0.90 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo oscuro, la muestra se presenta húmeda. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es firme, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 9. Excavación para el PCA 09. Ubicada en el sector de Chaglaban  
**PCA 10 (UTM-WGS84: 728.958 E, 9´720.606 N)**

La profundidad de la calicata es de 3.10 m, el nivel freático se encuentra a 1.30 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color negro formando un relleno al volteo realizado con material del sitio, restos de árboles y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 0.70 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es firme, además el material presenta una tenacidad y plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 10. Excavación para el PCA 10. Ubicada en el sector de Chaglaban.

#### **PCA 11 (UTM-WGS84: 728.813 E, 9719.995 N)**

La profundidad de la calicata es de 3.3 m, el nivel freático se encuentra a 1.10 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color café claro formando un relleno con material de arenoso y tiene una consistencia firme y una cementación media. Este material se observa hasta una profundidad de 0.90 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color gris oscuro, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad alta. Además se observó durante la exploración que a la profundidad de 2.35 m existen ojos de agua. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 11. Excavación para el PCA 11. Ubicada en el sector de Chaglaban.

### **PCA 12 (UTM-WGS84: 727.218 E, 9 716.204 N)**

La profundidad de la calicata es de 5 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material es de color gris oscuro. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad alta. Este material se observa hasta una profundidad de 2.70 m.

El tercer tipo de material es arcilloso de color café claro con clastos semiangulosos y con presencia de lentes de color amarillo, la muestra se presenta húmeda. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 12. Excavación para el PCA 12. Ubicada en el sector de Cunducucho.

### **PCA 13 (UTM-WGS84: 727.942 E, 9'717.406 N)**

La profundidad de la calicata es de 5 m, el nivel freático se encuentra a 4.00 m y se pueden identificar cuatro tipos de materiales.



El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color negro formando un relleno al volteo realizado con material del sitio, restos de materiales de construcción y no presenta una correcta compactación. Este material se observa hasta una profundidad de 1.80 m.

El tercer material arcilloso de color negro con estratificación homogénea. Este material posee una consistencia media, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad alta. Este material se observa hasta una profundidad de 4.00 m.

El cuarto material es arcilloso de color gris claro con presencia de lentes de arcilla color rojizo, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es débil, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad alta. Además se observó durante la exploración que al fondo de la calicata existen ojos de agua. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 13. Excavación para el PCA 13. Ubicada en el sector de la ciudadela de Choferes.



### **PCA 14 (UTM-WGS84: 728.189 E, 9´718.027 N)**

La profundidad de la calicata es de 5 m, el nivel freático se encuentra a 4.20 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material es de color café claro formando un relleno con material de sitio y presencia de materiales de construcción y basura, tiene una consistencia y una cementación media. Este material se observa hasta una profundidad de 2.00 m.

De la profundidad de 2.00 m a 2.50 m se observa un contacto de materiales al lado izquierdo el material de color gris tipo arcilloso y al lado derecho un material color café con consistencia de firme a blanda.

El tercer tipo de material es arcilloso de color plomo, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia de firme a blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad alta. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 14. Excavación para el PCA 14. Ubicada en el sector de Isavieja

#### **PCA 15 (UTM-WGS84: 728.643 E, 9´720.342 N)**

La profundidad de la calicata es de 5 m, el nivel freático se encuentra a 1.30 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.50 m.

El segundo material arcilloso de color café oscuro, la muestra se presenta semisaturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad media y plasticidad alta. Este material se observa hasta una profundidad de 2.50 m.

El tercer material es arcilloso de color gris oscuro, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es baja, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad alta. Además se observó durante la exploración que al fondo de la exploración hay agua y que las paredes de la calicata fueron muy





débiles durante la exploración ya que se derrumbaron. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 15. Excavación para el PCA 15. Ubicada en la comunidad La Posta.

#### **PCA 16 (UTM-WGS84: 729.100 E, 9´721.097 N)**

La profundidad de la calicata es de 5.2 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal que se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material es arenoso de color amarillo claro con presencia de clastos de hasta 0.70 m. Este material posee una consistencia firme, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad y plasticidad baja. Este material se observa hasta una profundidad de 2.20 m.

El tercer material es arenoso de color café oscuro con presencia de clastos redondeados de 3 a 25 cm. Este material posee una consistencia muy dura, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es fuerte, además el



material presenta una tenacidad y plasticidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 16. Excavación para el PCA 16. Ubicada en el sector del puente de Río Cañar.

#### **PCA 17 (UTM-WGS84: 728.232 E, 9´720.510 N)**

La profundidad de la calicata es de 4 m y se pueden identificar dos tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal, este material es de color café claro formando un relleno con material del sitio. Este material se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es tipo conglomerado conformado por matriz de color amarillento y clastos rosados claros milimétricos y centimétricos de hasta 30 cm. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es débil, además el material no presenta plasticidad. Además se observó durante la exploración que la estructura de esta capa es homogénea y muy débil ya que se desmoronó las paredes de las calicatas. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 17. Excavación para el PCA 17. Ubicada en el sector de Cuchucún.

#### **PCA 18 (UTM-WGS84: 728.317 E, 9'718.639 N)**

La profundidad de la calicata es de 1.50 m y se pueden identificar dos tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal, este material es de color café claro formando un relleno con material del sitio. Este material se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material es material arcilloso de color gris oscuro, la muestra se presenta saturada. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una tenacidad baja y plasticidad alta. Además se observó durante la exploración que el agua subterránea emerge mientras que el pozo está abierto. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 18. Excavación para el PCA 18. Ubicada en el sector del estadio 26 de enero.

**PCA 19 (UTM-WGS84: 728.497 E, 9´718.749 N)**

La profundidad de la calicata es de 3.50 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal, este material es de color café claro formando un relleno con material del sitio. Este material se observa hasta una profundidad de 0.40 m.

El segundo material es de color gris compuesto por material fino. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad baja. Este material se observa hasta una profundidad de 1.10 m.

El tercer material es arenoso de color gris oscuro con clastos color amarillo. Este material posee una consistencia media, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 19. Excavación para el PCA 19. Ubicada en el sector del estadio 26 de enero.

### **PCA 20 (UTM-WGS84: 728.325 E, 9°719.262 N)**

La profundidad de la calicata es de 3.0 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal, este material es de color café claro. Este material se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material tipo arcilloso de color rojizo compuesto por material fino. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad baja. La muestra se presenta húmeda. Este material se observa hasta una profundidad de 1.10 m.

El tercer material es arenoso de color gris claro con clastos color blanco. Este material posee una consistencia media, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad media. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 20. Excavación para el PCA 20. Ubicada en vía a La Posta

#### **PCA 21 (UTM-WGS84: 728.584 E, 9°719.857 N)**

La profundidad de la calicata es de 3.0 m y se pueden identificar tres tipos de materiales.

El primer material es una capa vegetal, este material es de color café claro. Este material se observa hasta una profundidad de 0.20 m.

El segundo material es de color gris compuesto por material fino tipo arcilloso. Este material posee una consistencia blanda, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad baja. Este material se observa hasta una profundidad de 1.50 m.

El tercer material es arcilloso de color gris oscuro con clastos color amarillo, la muestra al momento de la extracción presenta un nivel de humedad de medio a alto. Este material posee una consistencia media, la cementación del suelo donde se realiza la exploración es media, además el material presenta una plasticidad baja. Este material se puede observar hasta el final de la excavación.



Foto 21. Excavación para el PCA 21. Ubicada en vía a La Posta.

### 3.7 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

#### 3.7.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

El área de estudio se encuentra en la región interandina que está atravesada por la cordillera de los Andes que la recorre de Norte a Sur, la cordillera se divide en dos sistemas paralelos: Cordillera Oriental y Occidental, separados por una llanura longitudinal que está dividida en varios valles por nudos transversales. La diversidad de las alturas impuestas por la cordillera de los Andes, origina una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias.

En esta región, se presentan dos tipos de masas de aire: las masas de aire templadas, que se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido muy irregular de humedad, se sitúan en los valles interandinos: y las masas de aire frío que se asientan en las mesetas andinas y en las cimas altas de las montañas (más de 3.000 m de altura). En estas últimas las temperaturas son menores o iguales a 0 °C y la humedad depende de la influencia de las masas de aire que recibe (GEORISK, 2010).



Es necesario conocer los parámetros físicos-climáticos de la zona de estudio tanto en ubicación como en altitud y obtener una descripción de la misma para entender las condiciones de escurrimiento de la cuenca en base a sus cobertura vegetal, uso de suelos, pendientes, longitud de la cuenca de aporte a la zona de estudio.

### 3.7.2 METEOROLOGÍA

Debido a que el instituto nacional de meteorología e hidrología (inamhi) se encuentra brindando productos climáticos como insumo para el desarrollo socioeconómico del país mediante la elaboración de boletines climáticos en tiempo real y en diferentes espacios temporales, se escogió esta fuente confiable para usar una estación que esté operando dentro de la zona de interés, y ésta es la estación Cañar ubicada en el cantón Cañar, Código: M031, UTM-WGS84: 728.434 E, 9717.650 N. En la Ilustración 3.9 se presenta la ubicación de la estación Cañar.



Ilustración 3.9 Ubicación de la estación Cañar.





Los datos que fueron brindados por el INAMHI del periodo 1900-2014 en series mensuales de:

- Evaporación potencial media mensual.
- Heliofanía efectiva mensual.
- Humedad relativa media mensual.
- Precipitación total mensual.
- Temperatura media mensual.
- Temperatura máxima absoluta.
- Temperatura mínima absoluta.
- Viento máximo mensual y dirección.

En la Ilustración 3.10 se observa la variabilidad de la precipitación total anual de la estación Cañar para el período 1962 a 2013.

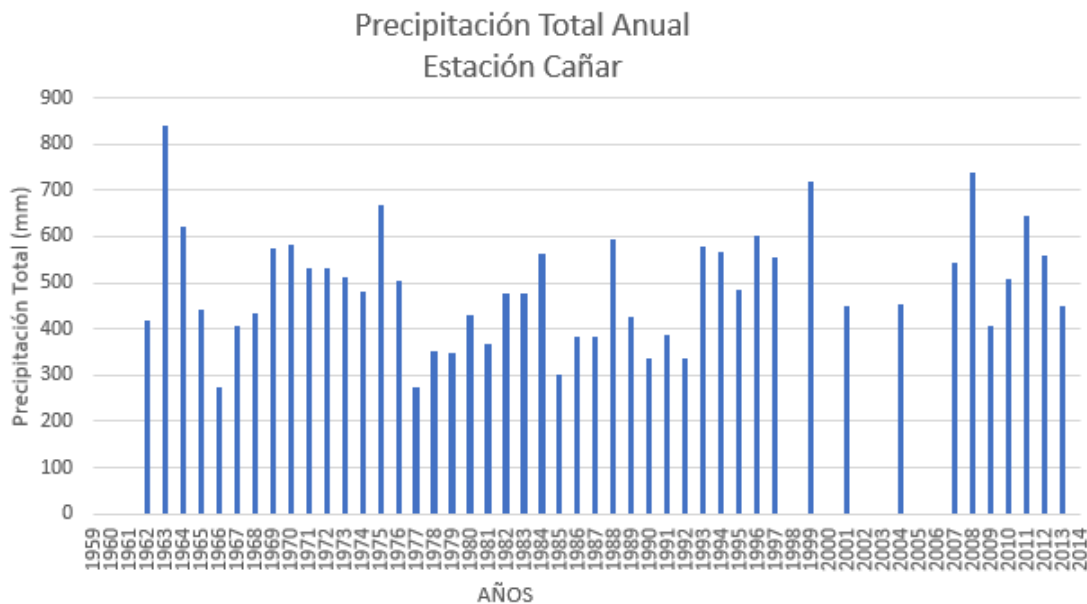


Ilustración 3.10 Variabilidad de la precipitación total anual de la estación Cañar en el periodo de 1962 a 2013 registros pluviométricos, Fuente propia.



### 3.7.3 REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

No se cuenta con estaciones disponibles.

Se registraron algunos problemas como: pérdidas de equipos, falta de compromiso de la gente a cargo de este monitoreo. Debido a los problemas señalados el monitoreo no llegó a su meta de 3 meses, en todas las estaciones las mediciones fueron inconstantes, por lo que los datos se revisaron con proceso cuidadoso para saber si son o no útiles para este estudio. Durante la revisión de datos se pudo constatar que las estaciones no se encontraron georreferenciadas y los datos de las 4 estaciones eran incompletos, por lo que es de suma importancia los datos de precipitación para lograr relacionar el movimiento de masas con tiempos de precipitación, por lo que se encuentra la opción de datos confiables brindados por el INAMHI.



## CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

A partir de la información recolectada se realizarán los análisis hidrológicos y geotécnicos respectivos para identificar el proceso, la dirección y la velocidad del deslizamiento de Quilloac y clasificar el tipo de movimiento para definir los modelos y los mecanismos de rotura en la zona.

Se realizará la caracterización de la cuenca hidrográfica a partir del manual de procedimientos para delimitar y codificar las unidades hidrográficas del Ecuador de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), aplicando la metodología Pfafstetter, misma que mediante resolución oficial es de uso obligatorio a nivel nacional controlada por SENAGUA, actual ente rector de los recursos hídricos, de manera que sea factible la identificación correcta de los cuerpos de agua presentes en el área.

El análisis hidrometeorológico es una herramienta que ayuda a analizar el comportamiento de las series de tiempo de los datos de precipitación, temperatura, evaporación de la estación Cañar que es la estación más cercana al área en estudio. El movimiento aproximado de la masa se calcula mediante el uso de fotografías aéreas de diferentes épocas y también mediante el monitoreo de hitos plantados en la zona.

Además con los resultados de laboratorio de clasificación de suelos, de compresión simple y de corte directo de las muestras extraídas en las calicatas se logra una caracterización y definición de parámetros geotécnicos de los diferentes suelos de la zona. Posteriormente a la generación de estos análisis y conjuntamente con los parámetros de identificación de los tipos de deslizamientos, se llega a identificar el proceso presente y su tipo de movimiento, dirección y velocidad.



Mediante esta caracterización completa de análisis hidrogeológico y geotécnico se logra definir el modelamiento de la problemática presente en la zona de estudio para poder identificar las posibles medidas de mitigación y exponer la situación de riesgo a la cual se encuentran expuestos los moradores.

## **4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

Según el manual de procedimientos para delimitar y codificar las unidades hidrográficas del Ecuador de la SENAGUA, la caracterización de los cursos hídricos y sus respectivas cuencas de captación se realiza en dos niveles de análisis:

- (i) La primera considera la definición de las cuencas hídricas a un nivel regional (nacional) con la definición de una codificación de común uso para instituciones públicas y privadas que permite su identificación y gestión a nivel nacional. Esta clasificación se realiza con base a las metodologías establecidas por los entes de control nacional como la SENAGUA.
- (ii) La segunda se realiza a un nivel local con la identificación y caracterización de las cuencas, subcuencas o microcuencas que se encuentran directamente relacionadas con el área de influencia directa del proyecto.

En este análisis se identifica las principales características físicas y morfométricas, que en posteriores análisis contribuyen en la ejecución de la caracterización climática e hidrológica de la zona de estudio.

### **4.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HÍDRICA A NIVEL REGIONAL**

Para un adecuado análisis de los recursos hídricos de una región, es fundamental el caracterizar de la mejor manera los diferentes cursos fluviales que atraviesan



una región. Para este efecto es necesario contar con una codificación y delimitación de las unidades hidrográficas de común uso para las diversas instituciones públicas y entidades privadas del país que desarrollan actividades de manejo de cuencas, manejo de recursos naturales y gestión de los recursos hídricos.

Con esta iniciativa la secretaría nacional del agua (SENAGUA), actual ente rector de los recursos hídricos, en coordinación con la Secretaría General de la Comunidad Andina SGCAN y la oficina sudamericana de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN Sur elaboró un Mapa de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador con la aplicación de la metodología de Pfafstetter hasta el nivel 5, misma que mediante resolución 2011-245 del 24 de marzo de 2011 es oficializada para su uso obligatorio a nivel nacional.

#### **4.2.1.1 CLASIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN SENAGUA (MÉTODO PFAFSTETTER)**

De acuerdo a esta metodología de clasificación y codificación de la red hidrográfica, en la que se definen 5 niveles, la red hídrica del cantón Cañar y el área de estudio se encuentra de acuerdo a la clasificación hidrográfica de SENAGUA. Con la utilización del método de Pfafstetter se tiene:

- Nivel 1: Región hidrográfica 1 (Sistema Pacífico)
- Nivel 2: Unidad hidrográfica 13
- Nivel 3: Unidad hidrográfica 139
- Nivel 4: Unidad hidrográfica 1396 (cuena del río Cañar)
- Nivel 5: Unidad hidrográfica 13969 (río Cañar)

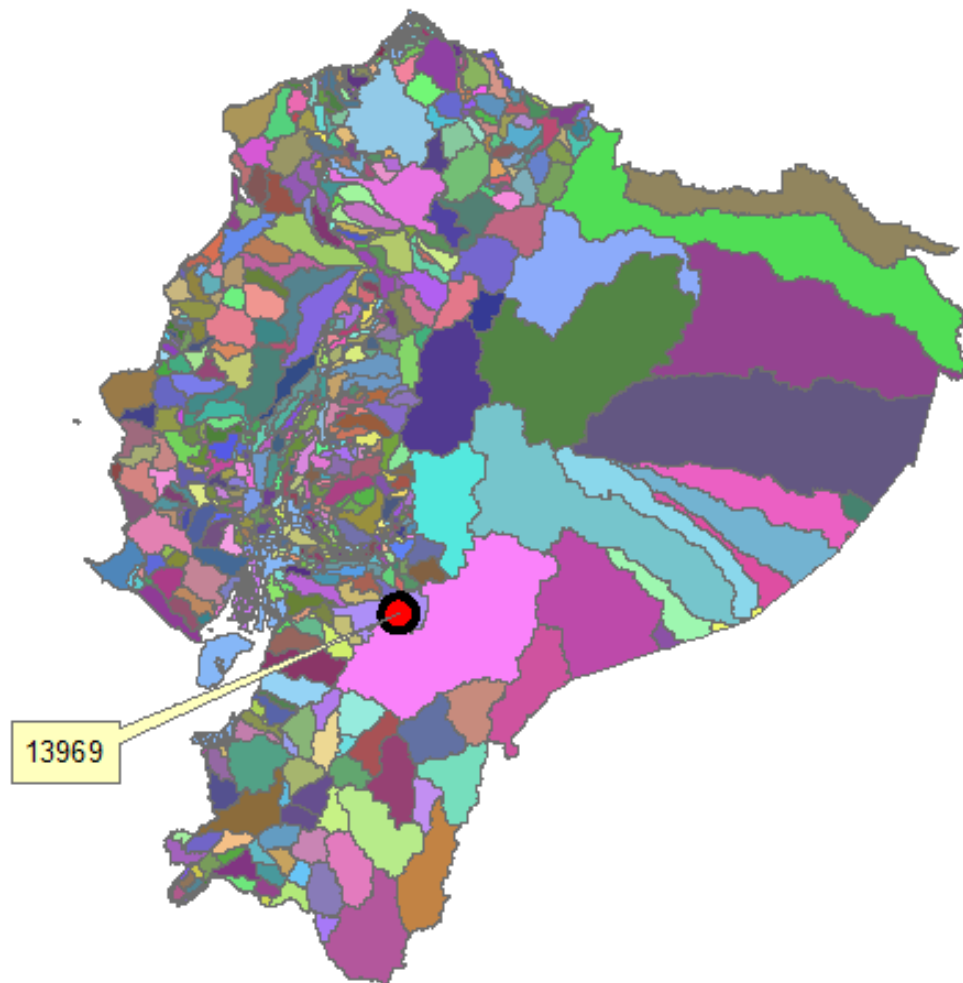


Ilustración 4.1 delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del Ecuador en el nivel 5.  
Fuente propia.

### 4.3 IDENTIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

#### 4.3.1 RÍOS SUPERFICIALES

Como se mencionó anteriormente dentro del área de estudio se identifica una vertiente superficial, la quebrada Rosas Pamba y Q. SN (quebrada sin nombre) que atraviesan el área de estudio y desembocan en el río Cañar.



El cauce de la quebrada presenta características típicas de flujos de montaña, con tramos de pendientes muy pronunciadas (>5%).

#### **4.3.2 RÍOS SUBTERRÁNEOS**

Lamentablemente en la zona no se cuenta con información suficiente para establecer la presencia de ríos subterráneos; sin embargo, con los resultados de los estudios de geofísica y los pozos a cielo abierto realizados se concluyen que existen niveles freáticos de importante consideración para el presente estudio. Además, los resultados de clasificaciones de las muestras analizadas en laboratorio indican que existen suelos con características de alta permeabilidad, por lo tanto se puede inferir que en la zona en estudio pueden existir flujos subterráneos que contribuyan al movimiento de la masa deslizada.

Se debe destacar que en la zona donde se realizaron PCA existen aparentes ojos de agua, sin embargo, su caudal es muy pequeño y en épocas de verano desaparecen, por lo que los mismos son considerados como posibles fuentes de agua para la zona en estudio.

#### **4.3.3 CUERPOS DE AGUA: LAGOS, LAGUNAS, EMBALSES.**

Del análisis de la cartografía existente a escala 1:25.000 y de las visitas y recorridos de campo realizados, se establece que en la zona en estudio existe la presencia de cuerpos de agua artificiales que han sido creados a fin de almacenar y abastecer agua para riego y para el consumo del ganado de la zona. También existen cuerpos de agua naturales que se han formado por la saturación del terreno en zonas endorreicas. Los cuerpos de agua que se encuentran en el levantamiento catastral de la municipalidad se pueden observar en el plano de planta de exploraciones.



Cabe mencionar que existe un desorden de canales de riego, pues no existe control en la construcción de los mismos y los existentes no cumplen ninguna normativa ni mucho menos permisos municipales. Además, en recorridos de campo los moradores afirman que los canales de riego son construidos según sus necesidades, ya que si el canal se seca abren otro para sus diferentes necesidades.

#### **4.3.4 CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE LOCAL**

A lo largo del área de estudio recorre la quebrada Rosas Pamba y la quebrada SN (quebrada Sin Nombre). Asimismo habría que considerar las obras de drenaje de la zona afectada por el deslizamiento pues pueden descargar a través de los cauces a estas dos quebradas principales.

#### **4.4 ANÁLISIS HIDROMETEOROLÓGICO**

Por razones expuestas anteriormente, se procedió a realizar un análisis de aquella estación ubicada más próxima a la zona de estudio; de este análisis se establece que la estación de tipo pluviométrica, con registros de información climática más cercana al área corresponde a la de Cañar, de código M031.

##### **4.4.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA**

En la Ilustración 4.2 se observa que el valor de temperatura media está alrededor de 11.4° C, siendo los meses que presentan mayores valores entre enero y mayo, mientras que los menores valores se registran en los meses de junio y agosto.



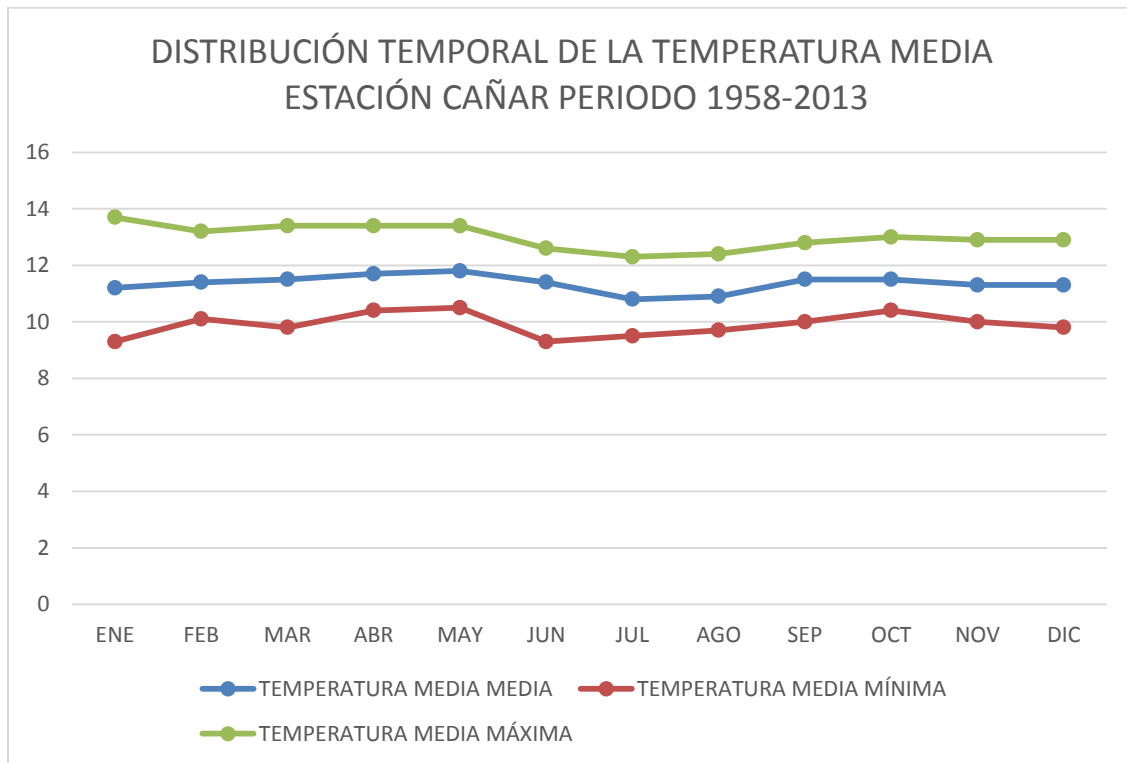


Ilustración 4.2 Distribución temporal de la temperatura media de la estación cañar en el periodo de 1958 – 2013. Fuente propia.

#### 4.4.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

La distribución de la precipitación está influenciada por la zona de Convergencia Intertropical, que en el continente toma el nombre de vaguada ecuatorial y las mismas presentan una distribución bimodal con dos máximos que se producen en los meses de febrero y noviembre.

El período húmedo se inicia el mes de septiembre y se prolonga hasta el mes de junio, en tanto que el período seco se encuentra comprendido los meses de julio y agosto. En la Ilustración 4.3 se muestra la distribución temporal de la precipitación de la estación Cañar.

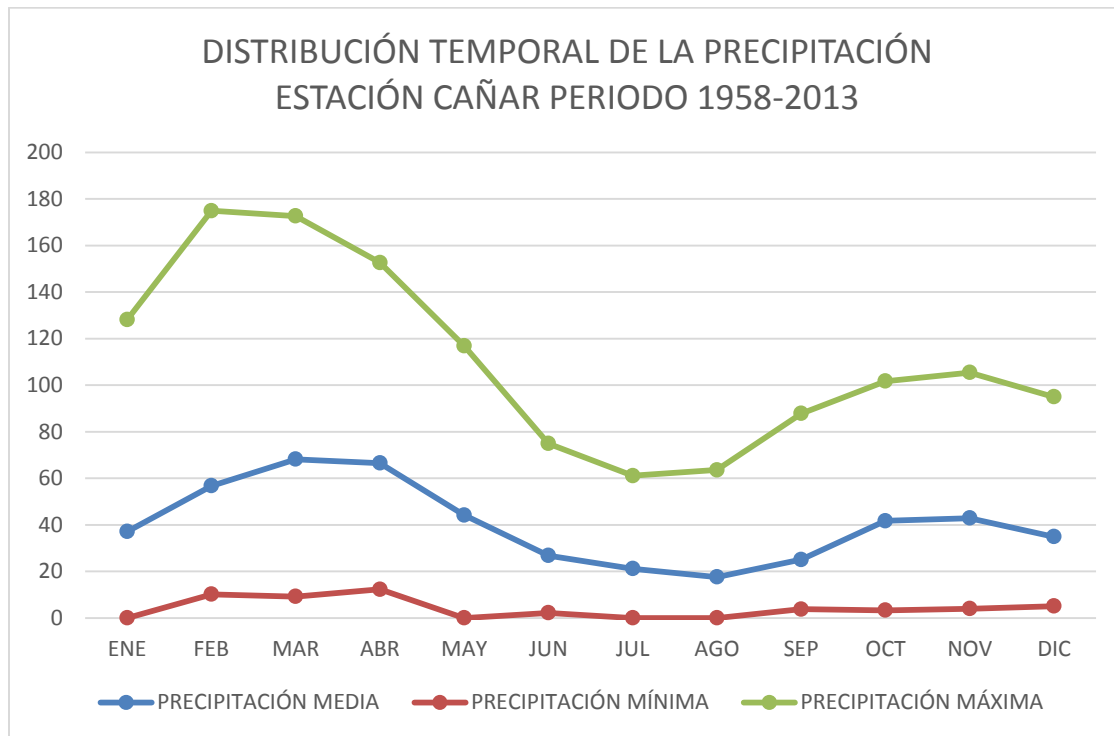


Ilustración 4.3 Distribución temporal de la precipitación de la estación cañar en el periodo 1958 – 2013. Fuente propia.

Para la clasificación de los meses húmedos o secos se utilizó la metodología propuesta por Gaussen: los diagramas Ombrotérmicos. Ésta se basa en contrastar los valores de precipitación y temperatura medias mensuales; identificando los meses como aquellos en los cuales los valores de la precipitación están debajo del doble de la temperatura. Conjugando las temperaturas con las lluvias medias en la zona de estudio se establece que los meses de julio y agosto se definen como la época seca, como se observa en la Ilustración 4.4 y en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Tabla de datos para generar el diagrama Ombrotérmico del área de estudio. Fuente propia.

| Parámetro           | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul   | Ago   | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura (°C)    | 11.20  | 11.40  | 11.50  | 11.70  | 11.80  | 11.40  | 10.80 | 10.90 | 11.50  | 11.50  | 11.30  | 11.30  |
| 2x Temperatura (°C) | 22.40  | 22.80  | 23.00  | 23.40  | 23.60  | 22.80  | 21.60 | 21.80 | 23.00  | 23.00  | 22.60  | 22.60  |
| Precipitación (mm)  | 37.1   | 56.8   | 68.2   | 66.5   | 44.2   | 26.8   | 21.2  | 17.6  | 25.1   | 41.7   | 42.9   | 34.9   |
| Tipo Meses          | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Seco  | Seco  | Húmedo | Húmedo | Húmedo | Húmedo |

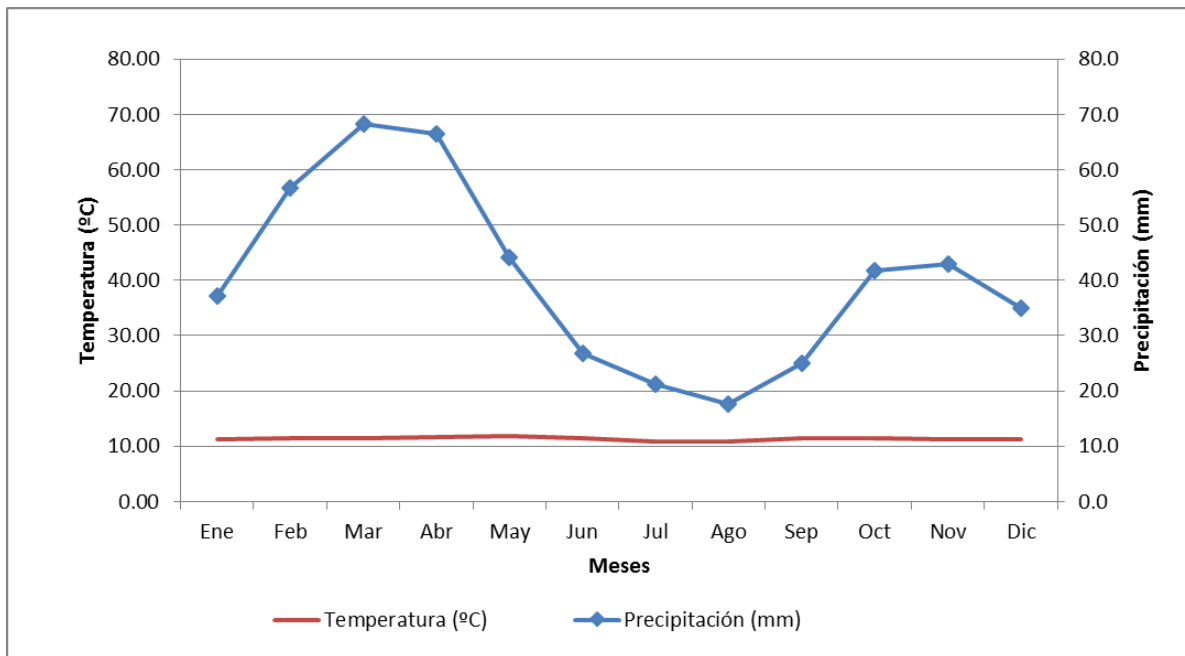


Ilustración 4.4 Diagrama Ombrotérmico. Fuente propia.

#### 4.4.3 PERÍODOS DE HUMEDAD Y TIPO DE CLIMA POR RÉGIMEN DE HUMEDAD

Para la clasificación del clima por el régimen de humedad es necesario calcular el periodo de crecimiento de la zona. El periodo de crecimiento se define como el tiempo en días en el cual la precipitación está por encima de la mitad de la evaporación potencial (FAO, 1978) más un periodo para que las plantas evaporen unos 100 mm de precipitación acumulada.

De acuerdo a este concepto y a la Ilustración 4.5, se establece que el periodo de crecimiento corresponde a 300 días (septiembre a junio), lo que clasifica al sector de acuerdo al régimen de humedad como un clima húmedo.

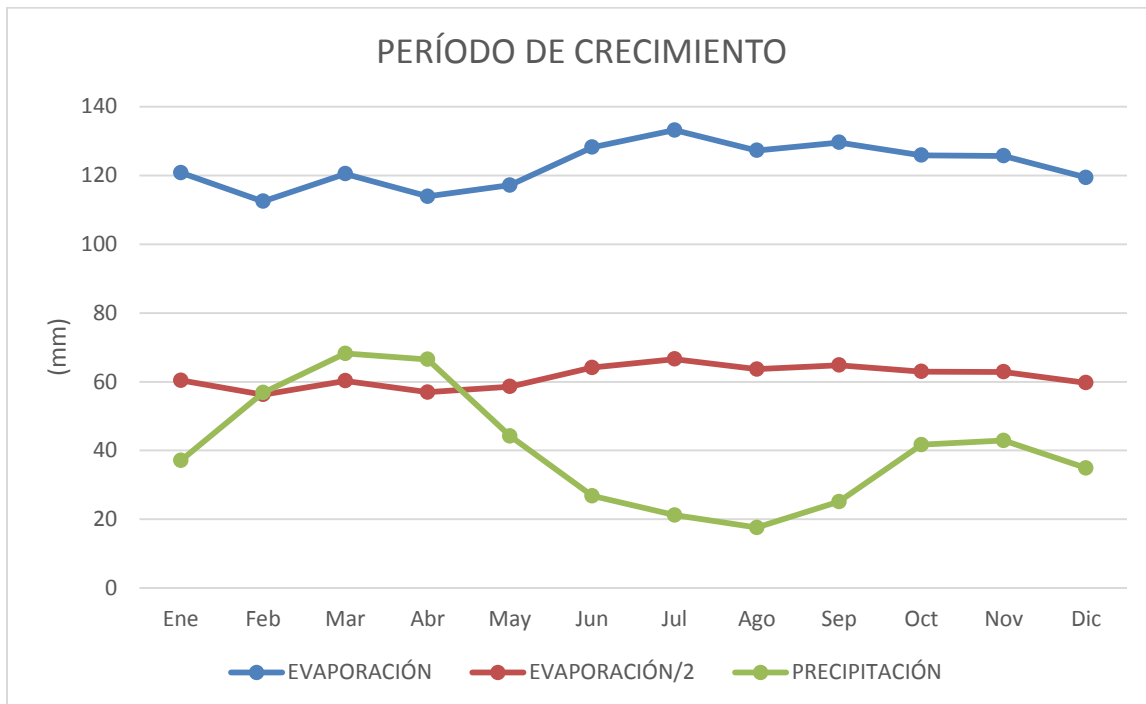


Ilustración 4.5 Periodo de crecimiento generado a partir de los datos del área de estudio. Fuente propia.

#### 4.4.4 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO EN QUILLOAC

La precipitación es un parámetro meteorológico y de fundamental trascendencia, de ahí que la exactitud con que se mida y evalúe es determinante en el balance hídrico. Debido a la pérdida de pluviómetros instalados para este estudio y la ausencia de datos de los que quedaron instalados, se adopta trabajar con datos del INAMHI en el periodo de (1958-2012).

De acuerdo a la Ilustración 4.6, la zona de estudio presenta dos períodos, el período lluvioso que se inicia en el mes de septiembre y se extiende hasta el mes de mayo y el período seco que comprende los meses de junio a agosto, es decir tiene un comportamiento bimodal con dos máximos, el primero en febrero con 174.9 mm y el segundo en noviembre con 105.4 mm, mientras que en la época seca el mínimo se da en el mes de julio con 61.1 mm.



En promedio, durante el período lluvioso se registra el 85.04% del total de precipitación del año, es decir apenas el 14.96% del total anual se produce durante el período seco.

Con las visitas de campo se ha observado que el drenaje superficial y subterráneo en las tres comunidades es muy pobre, prácticamente no existe, por lo que toda el agua producto de las precipitaciones que caen en estas zonas se infiltra o drena hacia la parte baja de las cuencas siguiendo la línea de máxima pendiente, causando desestabilización de las laderas y taludes produciéndose deslizamientos y hundimientos de terrenos.

Con los datos presentados, se realiza un análisis para concluir con la etapa de mayor precipitación, se analiza la sumatoria de la precipitación anual durante el periodo de datos de 1958-2013, donde por simple estadística se sabe que el promedio de lluvia por año está en 490 mm, por lo que es de mayor interés los años que tengan un valor superior al promedio. Se realiza una categorización con estos valores en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Categorización de las precipitaciones

| RANGO DE PRECIPITACIONES (mm) | CATEGORIA | VALORIZACIÓN | AÑOS DE OCURRENCIA   |
|-------------------------------|-----------|--------------|--|
| < 490                         | NIVEL 1   | PROMEDIO     |  |
| 490.1 – 608                   | NIVEL 2   | MEDIO        | 1964<br>1969,1970,1971,1972,1973<br>1976<br>1984<br>1988<br>1993,1994<br>1996,1997<br>1999<br>2007<br>2010<br>2012 |
| 608.1 – 725                   | NIVEL 3   | ALTO         | 1975<br>2011   |
| 725.1 – 841                   | NIVEL 4   | MUY ALTO     | 1963<br>2008   |

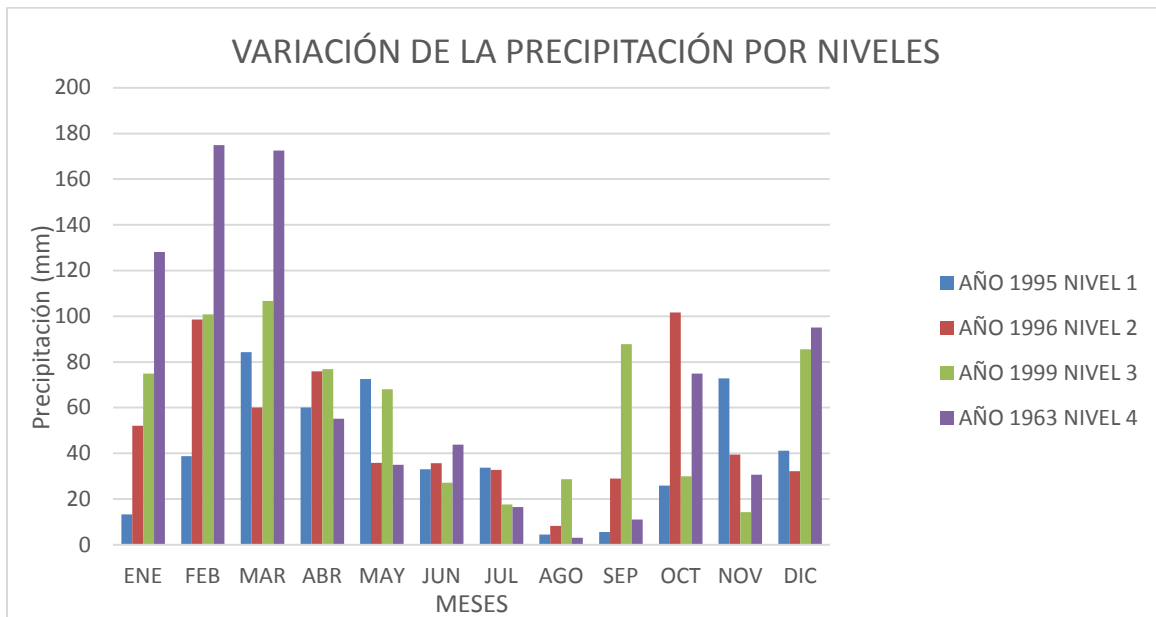


Ilustración 4.6 Representación gráfica de la variación de la precipitación por niveles previamente categorizados. Fuente propia.

#### 4.4.4.1 PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS

Como se mencionó en párrafos anteriores, lamentablemente dentro del área en estudio no existen estaciones de registro que permitan caracterizar de forma directa las condiciones pluviométricas, más aún en lo relacionado a eventos de lluvia cuya variación puede ser muy significativa de un sector a otro. Sin embargo, al estar la estación de Cañar (M-031) cercana a la zona, sus valores son adoptados como válidos para el estudio.

De la recopilación de información en los anuarios análogos y digitales del INAMHI se logró disponer de información de precipitaciones máximas en 24 horas para la estación de Cañar en un total de 48 años de información. En la Tabla 4.3 se reporta los valores recopilados.



Para el estudio de precipitaciones máximas se empleó el método estadístico mediante análisis probabilístico de Gumbel (1958); este método permite determinar precipitaciones máximas para diferentes periodos de recurrencia y es conocida como la distribución de valores extremos tipo I.

Gumbel utiliza la probabilidad de excedencia de un valor  $x$  la cual está dado por:

$$p = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Dónde:

$p$  = probabilidad de excedencia de un valor  $x$

$e$  = base de logaritmos naturales = 2,7183

$y$  = variable reducida



Tabla 4.3 Registros de precipitaciones máximas en 24 horas

| <b>PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)</b> |                      |            |                      |
|--|----------------------|------------|----------------------|
| <b>Año</b>                                   | <b>Precipitación</b> | <b>Año</b> | <b>Precipitación</b> |
| 1964   | 26.6                 | 1989       | 15.8                 |
| 1965   | 18.8                 | 1990       | 21.5                 |
| 1966   | 12.6                 | 1991       | 28.8                 |
| 1967   | 18.6                 | 1992       | 20.6                 |
| 1968   | 27.1                 | 1993       | 24.9                 |
| 1969   | 32.6                 | 1994       | 17.9                 |
| 1970   | 25.7                 | 1995       | 27.1                 |
| 1971   | 21.5                 | 1996       | 31.2                 |
| 1972   | 28.4                 | 1997       | 44.2                 |
| 1973   | 34.9                 | 1998       | 30.3                 |
| 1974   | 20.6                 | 1999       | 26.4                 |
| 1975   | 22.5                 | 2000       | 18.1                 |
| 1976   | 15.3                 | 2001       | 19.2                 |
| 1977   | 16.6                 | 2002       | 16.8                 |
| 1978   | 25.5                 | 2003       | 14.7                 |
| 1979   | 23.9                 | 2004       | 33.1                 |
| 1980   | 22                   | 2005       | 31.1                 |
| 1981   | 17                   | 2006       | 25                   |
| 1982   | 17.5                 | 2007       | 18.6                 |
| 1983   | 21                   | 2008       | 36.2                 |
| 1984   | 23.5                 | 2009       | 25.1                 |
| 1985   | 16.4                 | 2010       | 20.8                 |
| 1986   | 21.2                 | 2011       | 23.6                 |
| 1987   | 29                   | 2012       | 16.8                 |
| 1988   | 15.6                 | 2013       | 23.8                 |

Cuando los datos disponibles de precipitaciones máximas en 24 horas corresponden a valores medidos en pluviómetros automáticos como los disponibles del INAMHI, estos valores en la realidad no siempre corresponden al evento máximo producido, ya que las lecturas en dichos equipos son programadas para que se registren en horas específicas del día.





En la Tabla 4.4 y en la Ilustración 4.7 se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas para distintos períodos de retorno que serán útiles para la generación de las curvas IDF.

Tabla 4.4 Precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno.

| Periodo Retorno (Años) | Precipitación (mm) |
|------------------------|--------------------|
| 2                      | 22.27              |
| 5                      | 27.92              |
| 10                     | 31.66              |
| 25                     | 36.39              |
| 50                     | 39.90              |
| 100                    | 43.38              |
| 200                    | 46.85              |
| 500                    | 51.43              |

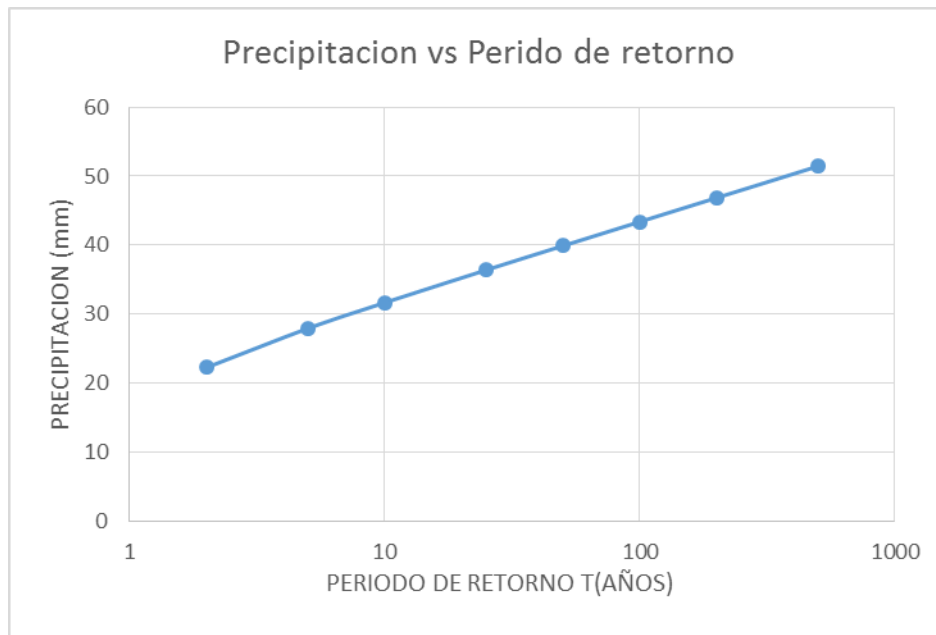


Ilustración 4.7 Curva de períodos de retorno vs precipitación máxima 24 horas



#### 4.4.4.2 CURVAS IDF

Una curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa la frecuencia de las precipitaciones intensas. Puede caracterizarse mediante períodos de retorno que no son más que la inversa de la frecuencia (Pizarro et al., (2003)).

El análisis del estudio se encuentra influenciado por factores climáticos, entre los que se destaca las precipitaciones. Es necesario conocer las precipitaciones pluviales extremas junto con las intensidades, y su duración para poder establecer medidas de prevención cuando ocurran los eventos extremos. En la Ilustración 4.8 se muestran las curvas IDF proyectadas para 500 años de la estación Cañar.

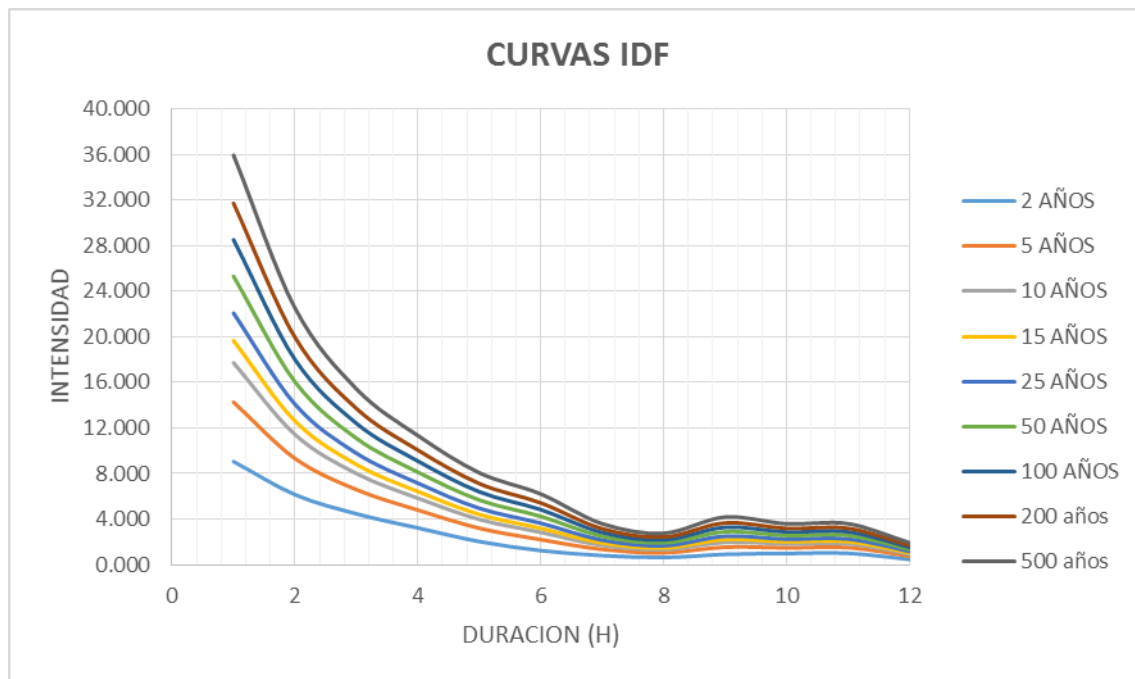


Ilustración 4.8 Curvas IDF para 500 años de la estación Cañar. Fuente propia.



## 4.5 RESULTADOS DE LABORATORIO

En las muestras extraídas en las calicatas se realizaron ensayos de clasificación de suelos para determinar el tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), además de ensayos de compresión simple y ensayos de corte directo con la finalidad de determinar parámetros geomecánicos de diseño: módulo de elasticidad, cohesión y ángulo de fricción interna, a partir del bloque extraído y muestra remoldeada. En base a la información recopilada en campo y laboratorio, se procederá a realizar los cálculos y modelos matemáticos, y junto con los parámetros de los ensayos de geofísica se determinarán los diseños geotécnicos necesarios.

### 4.5.1 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

En el laboratorio de GEOLAB de la ciudad de Cuenca se realizaron los ensayos de clasificación a las muestras obtenidas en campo. Los resultados se pueden observar en el **Anexo 8**, a continuación en la Tabla 4.5 se presenta un resumen de todas las exploraciones:



Tabla 4.5. Resumen de resultados de ensayos de clasificación

| ID     | MUESTRA   | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO |           |           |                      |        |        |             | CLASIFICACION |        |
|--------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--------|-------------|---------------|--------|
|        |           | GRADACIÓN               |           |           | LÍMITES DE ATTERBERG |        |        |             | SUCS          | AASHTO |
|        |           | Grava (%)               | Arena (%) | Finos (%) | LL (%)               | LP (%) | IP (%) | Humedad (%) |               |        |
| PCA-01 | Muestra 1 | 65%                     | 21%       | 14%       | 44%                  | 27%    | 17%    | 10%         | GM            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 78%                     | 22%       | 7%        | 53%                  | 29%    | 24%    | 11%         | GP - GC       | A-2-6  |
| PCA-02 | Muestra 1 | 62%                     | 22%       | 16%       | 44%                  | 29%    | 15%    | 22%         | GM            | A-2-6  |
| PCA-03 | Muestra 1 | 43%                     | 37%       | 20%       | 54%                  | 35%    | 19%    | 19%         | GM            | A-2-6  |
| PCA-04 | Muestra 1 | 43%                     | 36%       | 21%       | 45%                  | 28%    | 12%    | 18%         | GM            | A-2-7  |
|        | Muestra 2 | 36%                     | 35%       | 30%       | 45%                  | 28%    | 17%    | 25%         | GM            | A-2-6  |
| PCA-05 | Muestra 1 | 3%                      | 36%       | 61%       | 47%                  | 25%    | 22%    | 32%         | CL            | A-2-6  |
| PCA-06 | Muestra 1 | 2%                      | 9%        | 88%       | 65%                  | 27%    | 38%    | 42%         | CH            | A-2-6  |
| PCA-07 | Muestra 1 | 4%                      | 35%       | 61%       | 49%                  | 28%    | 21%    | 30%         | CL            | A-2-6  |
| PCA-08 | Muestra 1 | 56%                     | 23%       | 21%       | 47%                  | 31%    | 16%    | 15%         | GM            | A-2-6  |
| PCA-09 | Muestra 1 | 51%                     | 18%       | 31%       | 65%                  | 34%    | 31%    | 31%         | GM            | A-2-6  |
| PCA-10 | Muestra 1 | 20%                     | 60%       | 20%       | 57%                  | 31%    | 26%    | 38%         | SM            | A-2-6  |
| PCA-11 | Muestra 1 | 1%                      | 18%       | 81%       | 63%                  | 33%    | 30%    | 58%         | MH            | A-2-6  |
| PCA-12 | Muestra 1 | 2%                      | 8%        | 90%       | 98%                  | 37%    | 60%    | 40%         | CH            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 4%                      | 35%       | 61%       | 50%                  | 33%    | 17%    | 31%         | ML            | A-2-6  |
| PCA-13 | Muestra 1 | 3%                      | 22%       | 75%       | 74%                  | 23%    | 51%    | 36%         | CH            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 4%                      | 34%       | 63%       | 49%                  | 19%    | 30%    | 41%         | CL            | A-2-6  |
| PCA-14 | Muestra 1 | 6%                      | 31%       | 63%       | 57%                  | 33%    | 24%    | 24%         | CH            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 4%                      | 26%       | 70%       | 64%                  | 29%    | 35%    | 25%         | MH            | A-2-6  |
| PCA-15 | Muestra 1 | 7%                      | 38%       | 54%       | 47%                  | 25%    | 22%    | 28%         | CL            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 6%                      | 48%       | 46%       | 48%                  | 19%    | 29%    | 29%         | SC            | A-2-6  |
| PCA-16 | Muestra 1 | 0%                      | 20%       | 80%       | 38%                  | 28%    | 10%    | 28%         | ML            | A-2-5  |
|        | Muestra 2 | 66%                     | 32%       | 1%        | NP                   | NP     |        | 12%         | GP            | A-1-a  |
| PCA-17 | Muestra 1 | 9%                      | 59%       | 32%       | 42%                  | 36%    | 6%     | 18%         | SM            | A-1-a  |
| PCA-18 | Muestra 1 | 4%                      | 27%       | 69%       | 71%                  | 34%    | 37%    | 62%         | MH            | A-2-6  |
| PCA-19 | Muestra 1 | 8%                      | 40%       | 52%       | 56%                  | 30%    | 26%    | 31%         | MH            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 12%                     | 42%       | 46%       | 54%                  | 33%    | 21%    | 32%         | SM            | A-2-6  |
| PCA-20 | Muestra 1 | 9%                      | 52%       | 39%       | 48%                  | 26%    | 22%    | 25%         | SC            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 6%                      | 42%       | 52%       | 45%                  | 25%    | 20%    | 24%         | CL            | A-2-6  |
| PCA-21 | Muestra 1 | 17%                     | 55%       | 29%       | 47%                  | 28%    | 19%    | 30%         | SM            | A-2-6  |
|        | Muestra 2 | 12%                     | 49%       | 38%       | 56%                  | 29%    | 27%    | 29%         | SC            | A-2-6  |

La Ilustración 4.9 presenta todas las muestras recolectadas dentro de la carta de plasticidad.

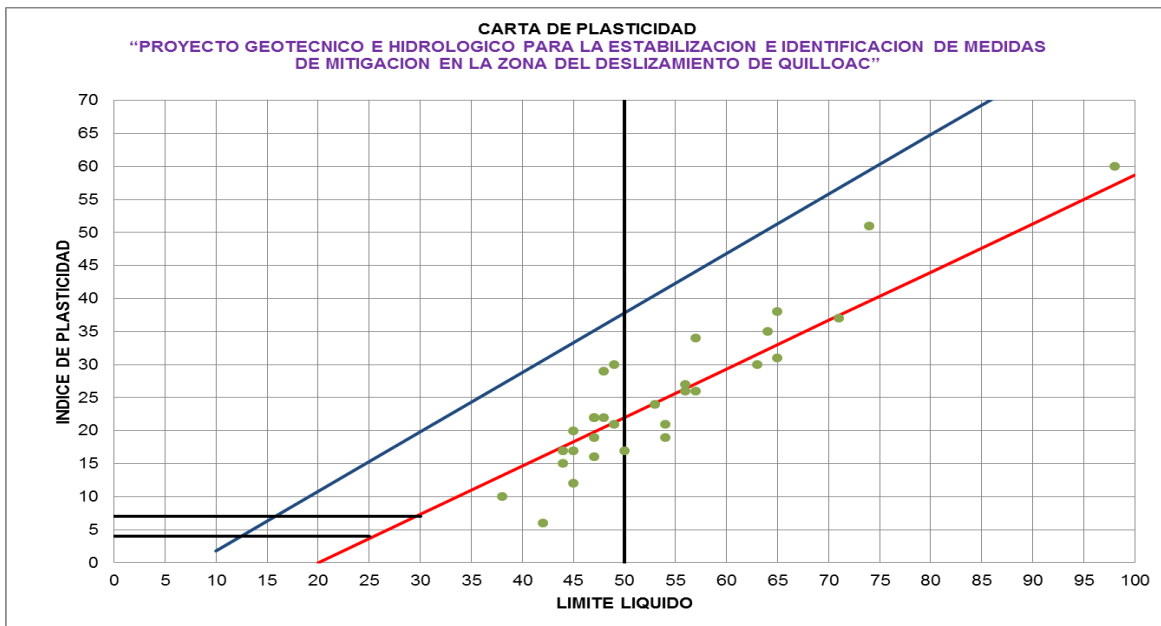


Ilustración 4.9 Carta de plasticidad. Fuente propia.

Se debe anotar que durante la elaboración de las calicatas PCA-09, PCA-10, PCA 11, PCA-13, PCA-14, PCA-15, PCA-18, PCA-20, PCA-21, el personal de campo reportó una capa tipo arcillosa limosa de consistencia blanda justo antes de que comience a aflorar el agua. Con respecto al nivel freático, se debe indicar que en general se detectó variabilidad, ya que la zona de estudio cuenta con diferentes terrazas y las exploraciones se realizaron en los meses de junio a agosto. Sin embargo, en la sección de análisis geohidrológico se definirá el nivel freático mediante los ensayos de tomografía eléctrica de la zona de estudio. En la carta de plasticidad se observa que la mayoría de los materiales están en rangos de 45 a 65 de límite líquido mientras que el índice de plasticidad oscila entre 10 y 40.

#### 4.5.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Se realizaron ensayos de compresión simple a muestras representativas que se señalan a continuación, y se les puede observar en el **Anexo 9**.



Tabla 4.6 Resumen de los resultados de los ensayos de compresión simple

| ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE |               |                    |                    |                           |
|------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| MUESTRA                      | CLASIFICACIÓN | qu                 | Cu                 | E (Módulo de Elasticidad) |
|                              |               | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup>        |
| PCA 06-01                    | CH            | 0.48               | 0.24               | 10.12                     |
| PCA 08-01                    | GM            | 3.05               | 1.53               | 41.53                     |
| PCA 11-01                    | MH            | 0.12               | 0.06               | 3.47                      |
| PCA 20-01                    | SC            | 2.20               | 1.10               | 57.85                     |
| PCA 20-02                    | SC            | 1.86               | 0.93               | 57.81                     |
| PCA 21-01                    | CL            | 1.32               | 0.66               | 84.00                     |
| PCA 21-02                    | SC            | 1.04               | 0.52               | 38.18                     |

Es necesario valorar la resistencia de los materiales sometidos a cargas para comprender el comportamiento de los materiales. Terzaghi y Peck, (1995) indican que si la carga última es menor a 0.25 kg/cm<sup>2</sup> se le puede describir como un material de consistencia muy blando como es el caso de los PCA06-01 y PCA 11-01; mientras que materiales que indiquen la carga última de 0.50-1.00 kg/cm<sup>2</sup> son de consistencia media como es el caso de los PCA 20-02, PCA 21-01 y PCA 21-02 y los materiales de consistencia firme son los de carga última de 1.0-2.0 kg/cm<sup>2</sup> que son los PCA 08-01 y PCA 20-01.

#### 4.5.3 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

En el laboratorio de materiales y suelos de la Universidad de Cuenca se realizaron los ensayos de corte directo que se presentan en el **Anexo 10**. En la Tabla 4.7 se presenta la tabla que resume los resultados:



Tabla 4.7 Resumen de resultados de ensayos de corte directo

| ENSAYOS DE CORTE DIRECTO |               |                    |        |                             |        |                             |        |
|--------------------------|---------------|--------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| MUESTRA                  | CLASIFICACION | INALTERADA         |        | REMOLDEADA<br>v=0.75 mm/min |        | REMOLDEADA<br>v=0.05 mm/min |        |
|                          |               | C                  | $\phi$ | C                           | $\phi$ | C                           | $\phi$ |
|                          |               | Kg/cm <sup>2</sup> | (°)    | Kg/cm <sup>2</sup>          | (°)    | Kg/cm <sup>2</sup>          | (°)    |
| PCA 05-01                | CL            | 0.11               | 17     | 0.05                        | 12     |                             |        |
| PCA 06-01                | CH            | 0.56               | 9      | 0.16                        | 1      |                             |        |
| PCA 08-01                | GM            |                    |        | 0.5                         | 31     |                             |        |
| PCA 10-01                | SM            | 0.46               | 10     | 0.19                        | 4      |                             |        |
| PCA 11-01                | MH            | 0.15               | 8      | 0.02                        | 19     | 0.22                        | 19     |
| PCA 21-02                | SC            |                    |        | 0.35                        | 5      |                             |        |

Los ensayos de corte directo fueron aplicados a muestras inalteradas y remoldeadas a velocidad de 0.75 mm/min, para determinar la cohesión y el ángulo de rozamiento interno. Además a la muestra PCA 11-01 se le aplica el ensayo en dos velocidades diferentes para comprobar que el ángulo de rozamiento interno no varía con la velocidad.

## 4.6 ANÁLISIS GEOHIDROLÓGICO

### 4.6.1 LOCALIZACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS

Según (Tarbuck and Lutgens) el nivel freático delimita el límite superior de la zona de saturación y es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos.

Con el uso de los perfiles de las líneas sísmicas realizadas y los perfiles de resistividad mediante tomografía eléctrica proporcionados por el GADICC, se analiza la situación de los niveles freáticos presentes en la zona.

Como señala Fukue and Samouëlian (2005), la resistividad eléctrica del suelo es función de numerosas propiedades, entre las que se incluyen grado de saturación,



resistividad del fluido de los poros, porosidad, forma y tamaño de las partículas sólidas, mineralogía, distribución y conectividad de poros, y de la temperatura. Además, efectuaron mediciones de resistividad eléctrica sobre muestras preparadas en celdas edométricas modificadas, con el objetivo de establecer la variación de la resistividad durante ciclos de carga y descarga. Los resultados obtenidos mostraron que al disminuir la relación de vacíos como resultado de un incremento de carga, aumentaba la resistividad eléctrica del suelo saturado, lo cual resulta consistente con la relación entre resistividad y porosidad.

Por medio de este principio se analiza el nivel freático en los resultados de resistividad en las tomografías eléctricas. Por ejemplo, en la Ilustración 4.10 se observa la disminución de resistividad eléctrica, por lo que se presume que a ese nivel se encuentra el nivel freático. Cabe mencionar que los ensayos de tomografía eléctrica fueron realizados en agosto del 2013 (época seca).

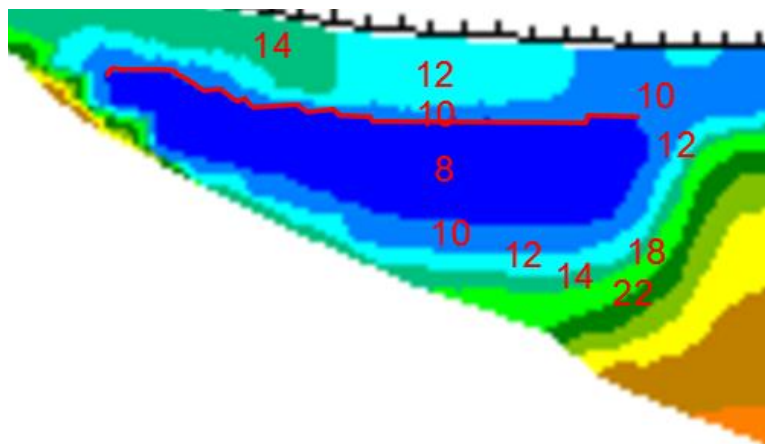


Ilustración 4.10 Ejemplo de disminución de resistividad en los resultados de tomografía eléctrica. Fuente propia.





Además, se combina este principio con los resultados de las líneas sísmicas, ya que se establece que un suelo que presenta agua en su estructura puede estar en la velocidad de 1500 m/s.

Con los resultados del análisis de la tomografía eléctrica y de las líneas sísmicas se establecen cotas posibles dónde se encuentre el nivel freático, se recalca que estos valores son para la época seca de la zona en estudio.

Las pruebas de tomografía eléctrica se realizaron de forma perpendicular a cada uno de los 3 perfiles que se pueden observar en la Ilustración 4.11.

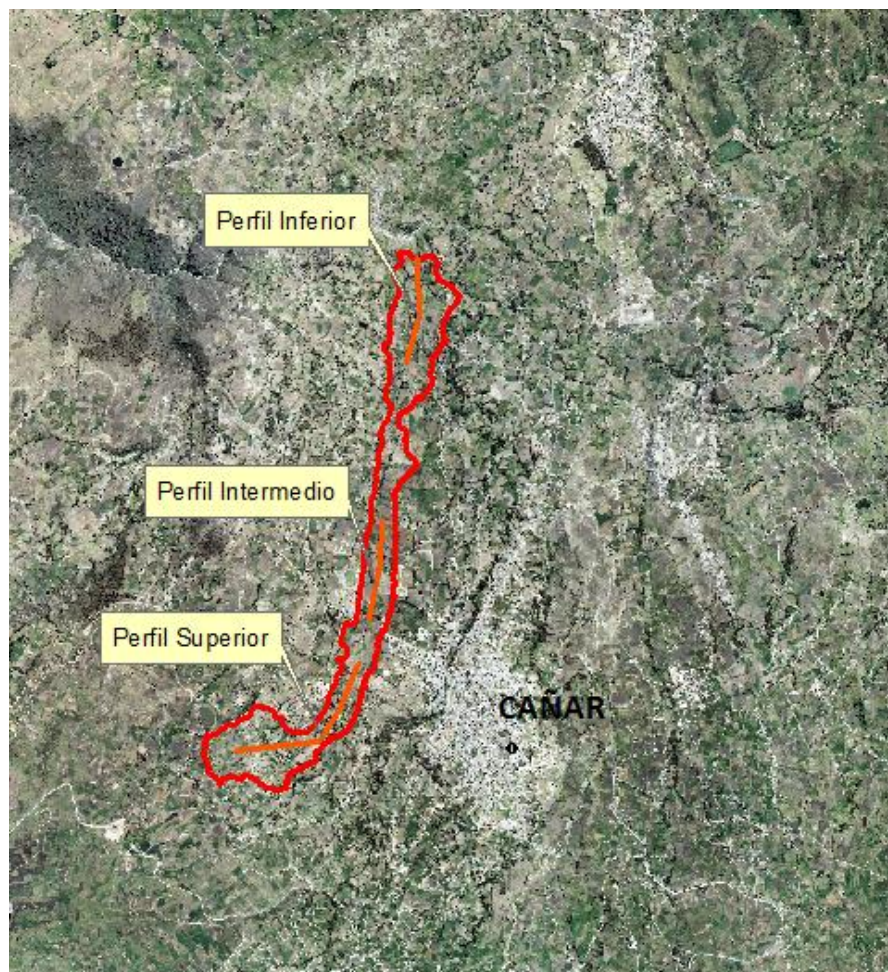


Ilustración 4.11 Ubicación de los perfiles en la zona del deslizamiento. Fuente propia.



### Perfil zona superior.

En la Ilustración 4.12 se ha colocado una propuesta de la línea de nivel freático del resultado de la línea sísmica 1, observando los cambios de estratos. En la ilustración también se señalan sus cotas en los extremos y en el punto medio.

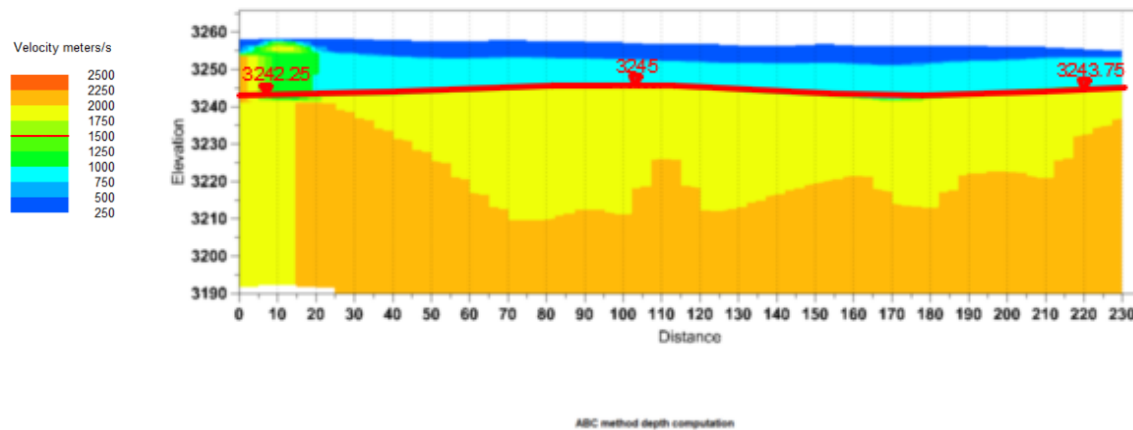


Ilustración 4.12 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 1. Fuente: GADICC.

En la Ilustración 4.13 se ha colocado una posible línea de nivel freático del resultado de la tomografía eléctrica 1, observando los cambios de resistividad eléctrica. En la ilustración también se señalan sus cotas en diferentes puntos.

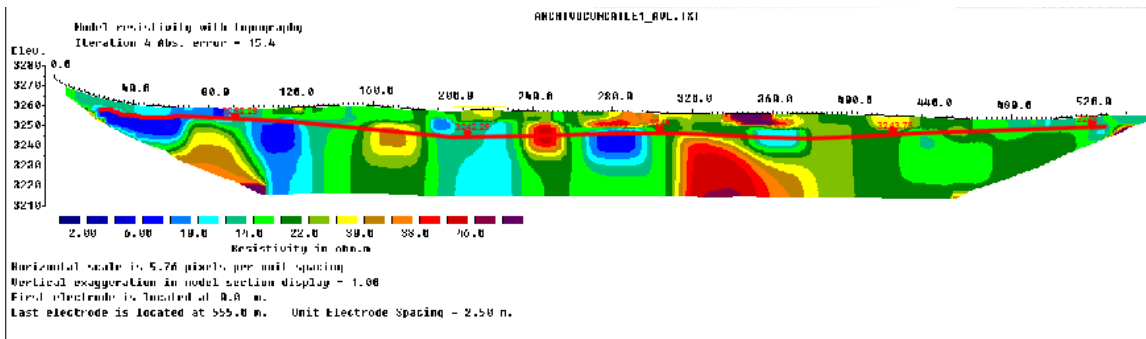


Ilustración 4.13 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 1. Fuente: GADICC.

### Perfil zona intermedia

En la Ilustración 4.14 se ha colocado una propuesta de la línea de nivel freático del resultado de la línea sísmica 2, observando los cambios de estratos. En la ilustración también se señalan sus cotas en los extremos y en el punto medio.

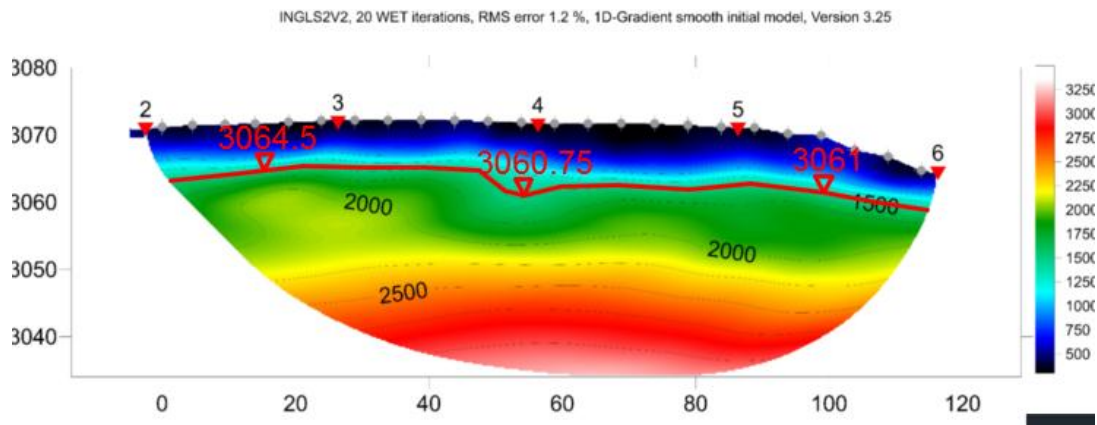


Ilustración 4.14 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 2. Fuente: GADICC.

En la Ilustración 4.15 se ha colocado una posible línea de nivel freático del resultado de la tomografía eléctrica 2, observando los cambios de resistividad eléctrica. En la ilustración también se señalan sus cotas en diferentes puntos.

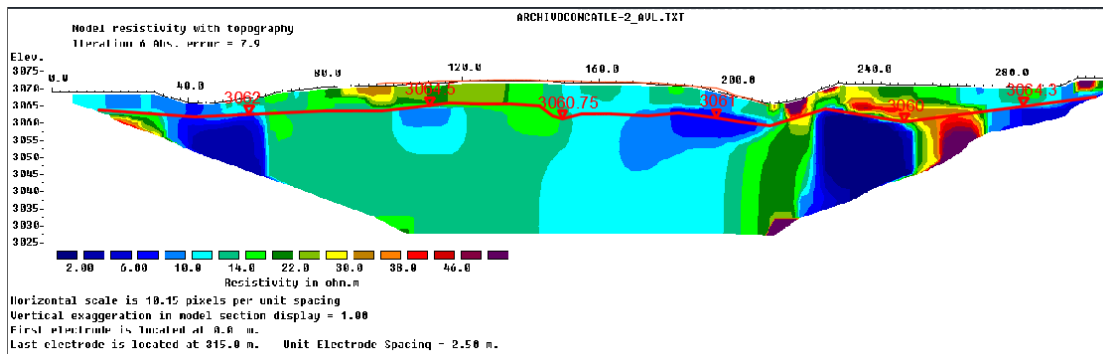


Ilustración 4.15 cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 2. Fuente: GADICC.

### Perfil zona inferior.

En la Ilustración 4.16 se ha colocado una propuesta de la línea de nivel freático del resultado de la línea sísmica 3, observando los cambios de estratos. En la ilustración también se señalan sus cotas en los extremos y en el punto medio.

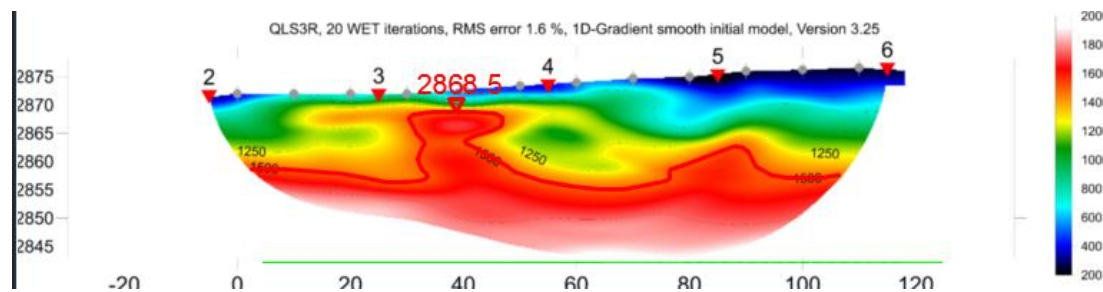


Ilustración 4.16 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la línea sísmica 3. Fuente: GADICC.

En la Ilustración 4.17 se ha colocado una posible línea de nivel freático del resultado de la tomografía eléctrica 3, observando los cambios de resistividad eléctrica. En la ilustración también se señalan sus cotas en diferentes puntos.

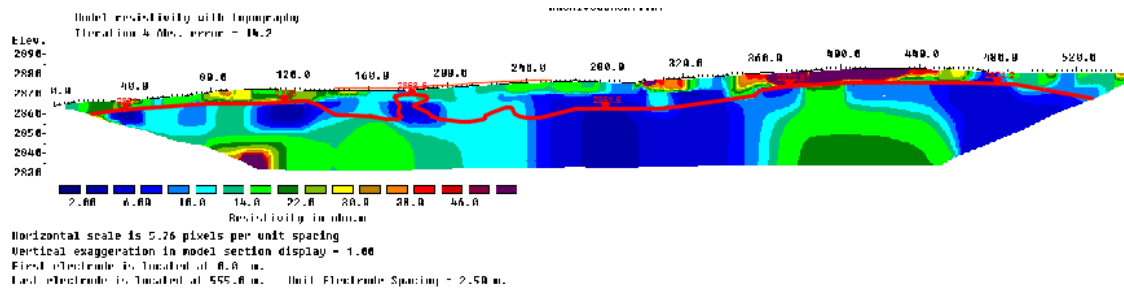


Ilustración 4.17 Cotas propuestas del nivel freático para el perfil superior, ubicado en el perfil de la tomografía eléctrica 3. Fuente: GADICC.

Estos resultados serán usados para el modelamiento de la estabilidad de la zona.

#### 4.6.2 LOCALIZACIÓN DE MATERIALES PERMEABLES E IMPERMEABLES.

Una de las propiedades fundamentales del suelo es la permeabilidad, debido a que interviene en problemas relativos a infiltraciones, asentamientos y estabilidad.

Las variables de principal influencia en la permeabilidad de suelos compactados corresponden a la estructura, humedad de compactación, compactación, el grado de saturación y la tixotropía.

La composición del suelo puede afectar significativamente a la permeabilidad, particularmente en suelos húmedos, donde el flujo resulta controlado por el tamaño, forma y conectividad de poros en microescala. Los suelos con mayor cantidad de finos y minerales arcillosos activos, por lo general presentan menores permeabilidades.

Mientras que la resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la estructura interna y sobre todo de su cantidad de agua. La resistividad es



directamente proporcional al agua contenida en los poros. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Debido a lo argumentado anteriormente se correlaciona que a menor permeabilidad menor resistividad y en el área de estudio se puede relacionar este concepto con los perfiles de resistividad eléctrica, como se presenta en la Ilustración 4.18.

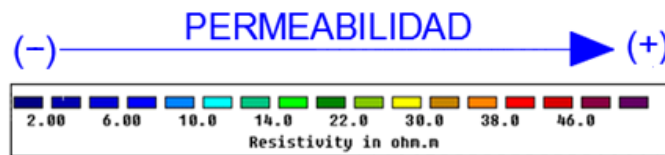


Ilustración 4.18 Correlación de la permeabilidad y la resistividad. Fuente: propia.

#### 4.6.3 LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE RECARGA.

Debido al estudio geomorfológico se puede observar una cuenca donde se presume que es la zona de recarga para el deslizamiento-flujo. Mediante el software ArcGIS se puede establecer la posible principal zona de recarga de la zona de estudio, como se puede observar en la Ilustración 4.19.

La figura no me queda clara. ¿Cómo recargan los ríos Churunhaycu y Shullín al deslizamiento-flujo? Los únicos ríos que aportan agua al deslizamiento flujo serían el Rosas Pamba y el Shan Shan. Por lo tanto, la cuenca hidrográfica que aparece dibujada en la siguiente figura está mal, habría que dibujar únicamente la cuenca de estos dos ríos.

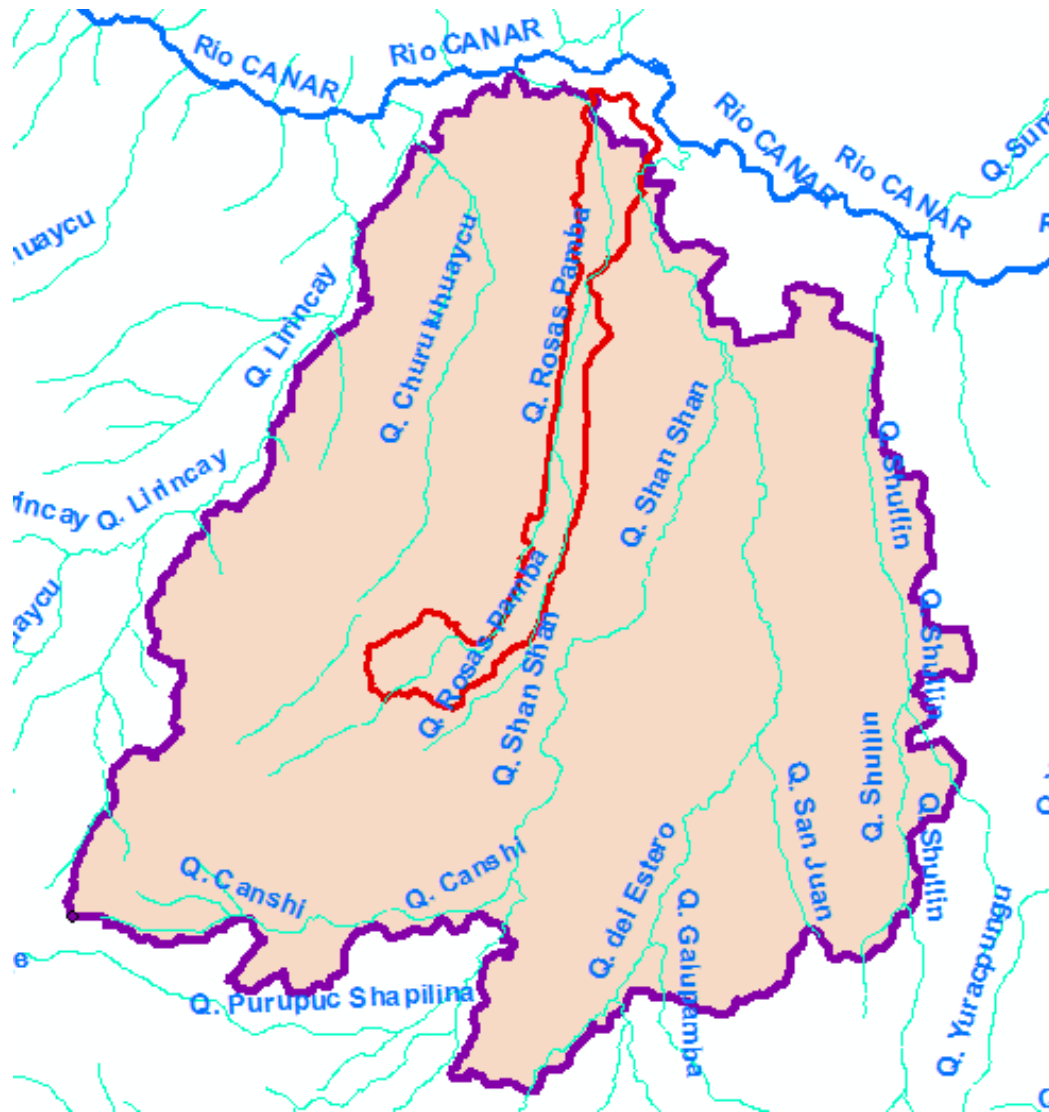


Ilustración 4.19 Cuenca de aporte al área de estudio. Fuente: propia.

## 4.7 ANÁLISIS DE MOVIMIENTO Y DESPLAZAMIENTO DEL DESLIZAMIENTO

### 4.7.1 FOTOINTERPRETACIÓN

Uno de los métodos de trabajo más utilizados en geología es la fotointerpretación, constituyendo una herramienta fundamental en cartografía geológica, reconocimientos litológicos y en estudios geomorfológicos, entre otras



aplicaciones. En ingeniería geológica la fotointerpretación constituye igualmente un método de gran utilidad (Gonzalez de Vallejo, 2002).

El objetivo principal de la fotointerpretación es identificar la variación de límites de la zona de estudio a través de los años. Con esta finalidad se usan: fotos aéreas (en blanco y negro, # 27624, r 144 jet, 25-vii-89, proyecto carta nacional) y ortofoto satelital (Raster RGB, pixel depth 8 bit, año 2012).

Para el estudio del movimiento de masas se utilizan las dos fotografías anteriormente mencionadas, el software ArcGIS 10.1 y se lleva a cabo el proceso descrito a continuación:

1. Se carga la ortofoto aérea del 1989 y la satelital del 2012 en ArcGIS.
2. Se verifica que ambas ortofotos estén correctamente referenciadas. Se dispone de la ortofotografía satelital del año 2012 georreferenciada, mientras que en la ortofotografía aérea del año 1989 se aplica la herramienta “georeferencing” del software ArcGIS 10.1 tomando en cuenta cuatro puntos referenciales que no han presentado movimiento en este periodo de estudio (2012 – 1989) y se encuentren dentro del lugar de análisis.
3. Se localizan los lugares que en campo se han podido identificar movimiento.
4. Mediante la herramienta “drawing” se re dibujan los caminos de cada fotografía y se obtiene un rango de desplazamiento.
5. Mientras que con la herramienta “measure” se realiza medición de desplazamiento en la parte derecha, central e izquierda de la foto.
6. Para obtener la tasa de desplazamiento: el desplazamiento es dividido para 23 años que es el periodo de estudio (2012 – 1989) que podemos abarcar con las ortofotos y ortoimágenes disponibles. Cabe señalar que esta tasa está calculada suponiendo una tasa de desplazamiento constante en cada





año. De acuerdo a la magnitud de la longitud desplazada y a conversatorios con los pobladores de la zona, la tasa de desplazamiento no es constante, pero este análisis presenta una idea general del movimiento del deslizamiento en estudio a lo largo del periodo de 23 años.

### 1. Calle vía colegio Quilloac

En la Foto 22 se observa la calle vía colegio Quilloac redibujada en la fotografía satelital del año 2012.



Foto 22. Año 2012, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia.

En la Foto 23 se observa la calle vía colegio Quilloac redibujada en la fotografía aérea del año 1989.

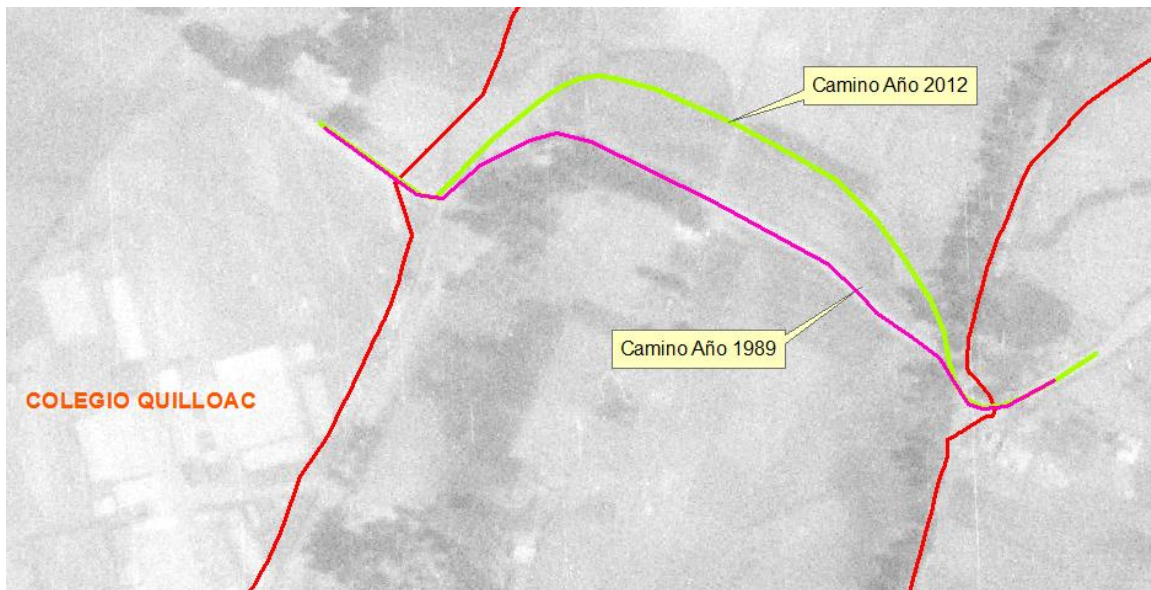


Foto 23. Año 1989, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia.

En la Foto 24 se observa el uso de la herramienta “measure” en la calle vía colegio Quilloac entre los trazos realizados en la ortofotografía aérea del año 1989 y la ortofotografía satelital del año 2012.

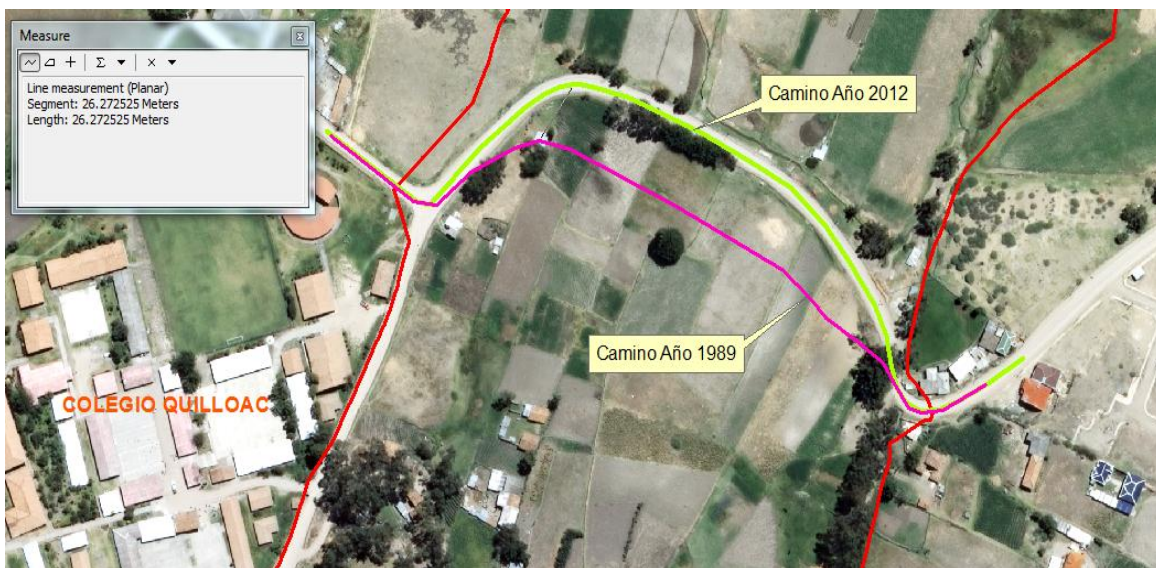


Foto 24. Medición del desplazamiento, ubicación calle vía colegio Quilloac. Fuente: propia.



| Resumen del análisis de la calle vía colegio Quilloac              |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Periodo de tiempo  | 23 años                             |
| Longitud desplazada, parte izquierda de la fotografía: 26.27 m     | Tasa de desplazamiento: 1.14 m/año* |
| Longitud desplazada, parte central de la fotografía: 33.46 m       | Tasa de desplazamiento: 1.45 m/año* |
| Longitud desplazada, parte derecha de la fotografía: 21.87 m       | Tasa de desplazamiento: 0.95 m/año* |
| *Cálculo realizado suponiendo una tasa de desplazamiento constante |                                     |

## 2. Avenida Paseo de los Cañaris

En la Foto 25 se observa la avenida Paseo de los Cañaris redibujada en la fotografía satelital del año 2012.



Foto 25. Año 2012, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia.

En la Foto 26 se observa la avenida Paseo de los Cañaris redibujada en la fotografía aérea del año 1989.

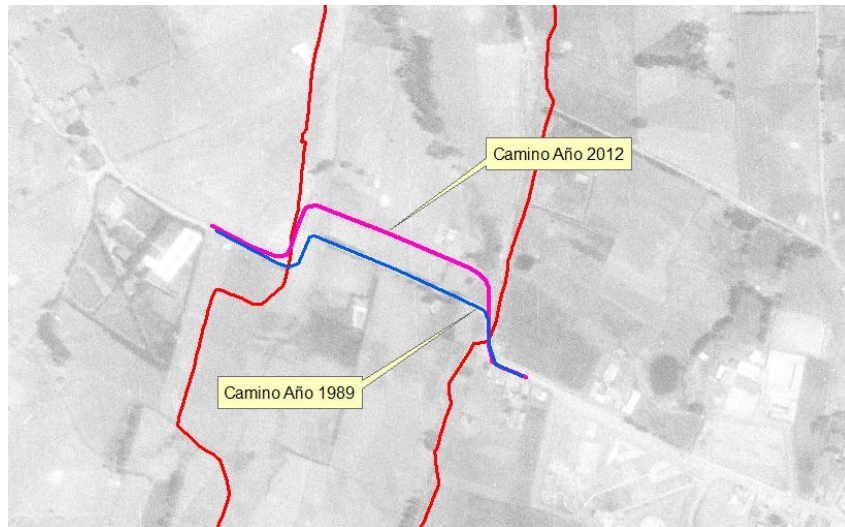


Foto 26. Año 1989, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia.

En la Foto 27 se observa el uso de la herramienta “measure” en la avenida Paseo de los Cañaris entre los trazos realizados en la ortofotografía aérea del año 1989 y la ortofotografía satelital del año 2012.

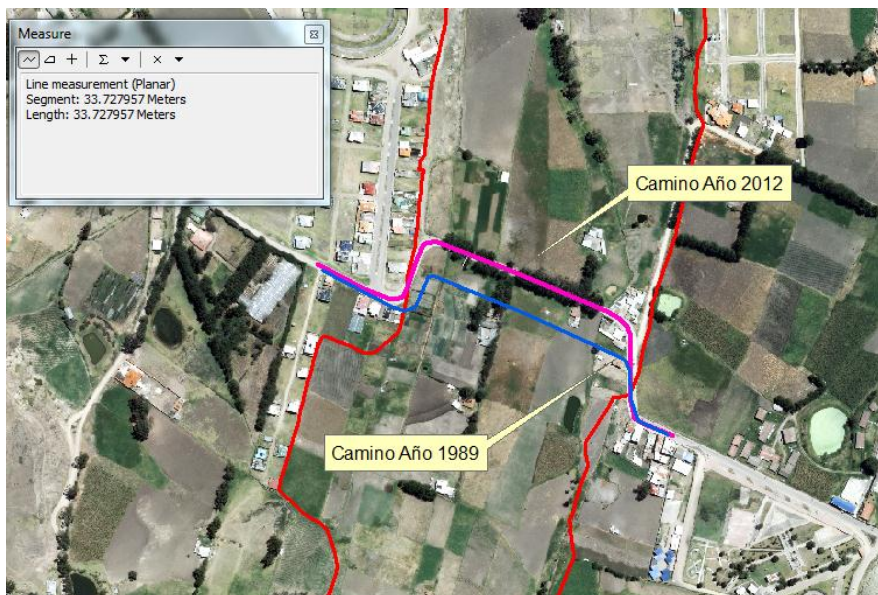


Foto 27. Medición del desplazamiento, ubicación Avenida Paseo de los Cañaris. Fuente: propia.



| <b>Resumen del análisis de la Avenida Paseo de los Cañaris</b>     |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Periodo de tiempo  | 23 años                             |
| Longitud desplazada, parte izquierda de la fotografía: 33.72 m     | Tasa de desplazamiento: 1.46 m/año* |
| Longitud desplazada, parte central de la fotografía: 32.72 m       | Tasa de desplazamiento: 1.42 m/año* |
| Longitud desplazada, parte derecha de la fotografía: 31.86 m       | Tasa de desplazamiento: 1.38 m/año* |
| *Cálculo realizado suponiendo una tasa de desplazamiento constante |                                     |

### 3. Sector Estadio 26 de enero

En la Foto 28 se observa la calle cerca del sector estadio 26 de enero redibujada en la ortofotografía satelital del año 2012.

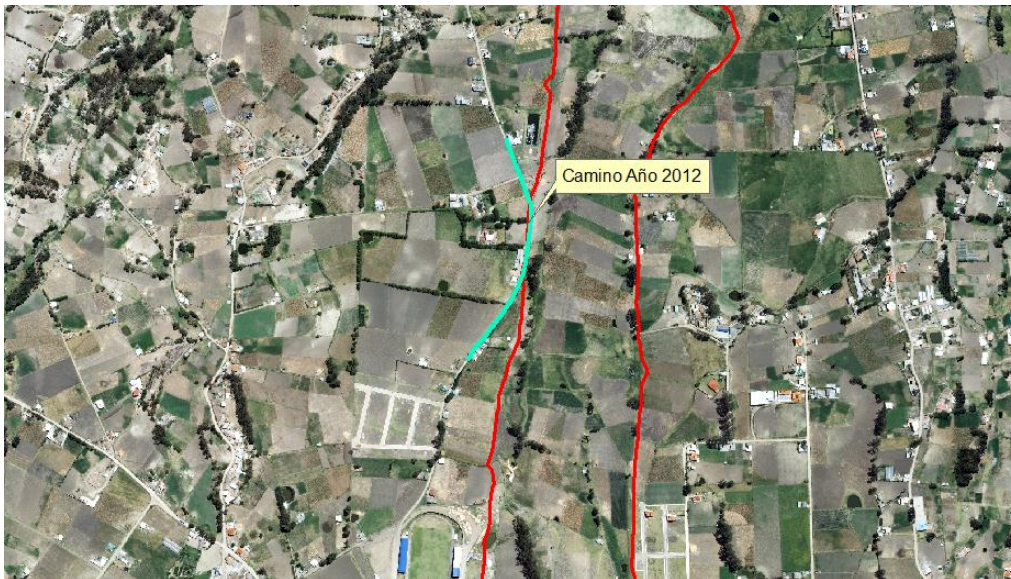


Foto 28. Año 2012, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.

En la Foto 29 se observa la calle cerca del sector estadio 26 de enero redibujada en la ortofotografía aérea del año 1989.

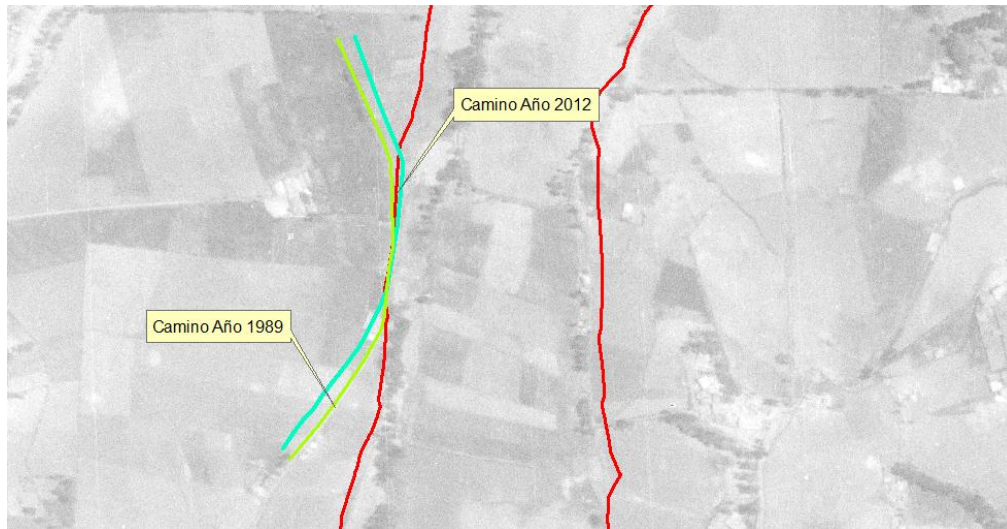


Foto 29. Año 1989, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.

En la Foto 30 se observa el uso de la herramienta “measure” en la calle en el sector del Estadio 26 de enero entre los trazos realizados en la ortofotografía aérea del año 1989 y la ortofotografía satelital del año 2012.

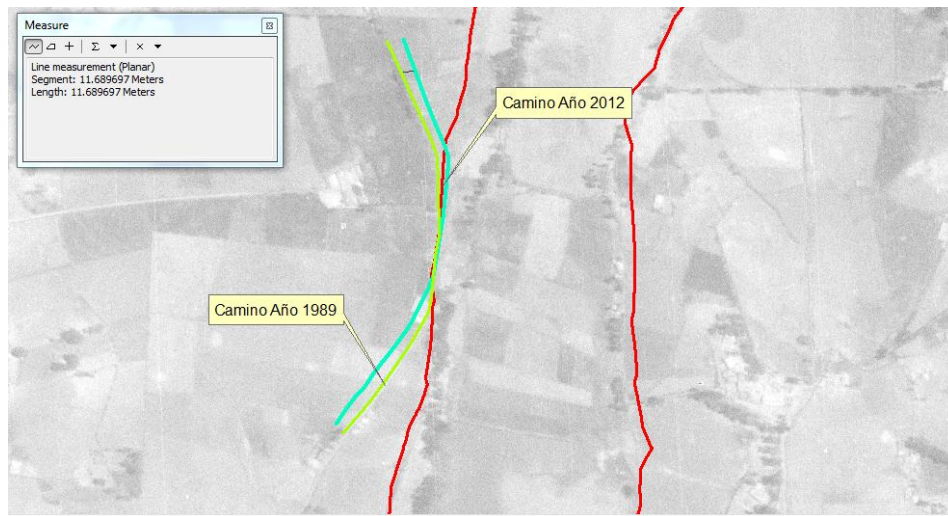


Foto 30. Medición del desplazamiento, ubicación Estadio 26 de enero. Fuente: propia.

| <b>Resumen del análisis de la Avenida Paseo de los Cañaris</b> |         |
|--|---------|
| Periodo de tiempo  | 23 años |



|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Longitud desplazada, parte superior de la fotografía: 11.68 m      | Tasa de desplazamiento: 0.50 m/año* |
| Longitud desplazada, parte central de la fotografía: 4.13 m        | Tasa de desplazamiento: 0.17 m/año* |
| Longitud desplazada, parte inferior de la fotografía: 31.86 m      | Tasa de desplazamiento: 0.58 m/año* |
| *Cálculo realizado suponiendo una tasa de desplazamiento constante |                                     |

#### 4.7.2 RESULTADOS DE MONITOREO DE HITOS

Los 9 hitos plantados durante el proyecto “Levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico del sector de Quilloac, Chaglaban; y, La Posta del cantón Cañar en un área de 180” no se encuentran enlazados a ningún punto de primer orden, además los hitos mencionados constan como bases y como puntos de monitoreo.

Después del periodo de monitoreo, se analiza la posición de cada hito para comprender la influencia del monitoreo en el área de estudio:

- Ningún hito se encuentra dentro del área de estudio.
- Solo el hito 2 (h2) se encuentra en el borde del deslizamiento, mientras que los demás hitos están fuera del área de estudio por lo que el resultado del desplazamiento de hitos no serán directamente válidos para definir el movimiento de la zona delimitada.
- El hito 5 (h5) no se encuentra enlazado a ninguna red de hitos.
- El hito 8 (h8) y el hito 9 (h9) se encuentran al margen derecho del río Cañar y se presencia desplazamiento de masas de Norte a Sur, mientras que la zona de estudio que se encuentra al margen izquierdo del río Cañar presenta desplazamiento de masas de Sur a Norte.



- Los hitos 3 (h3), 6 (h6), 7 (h7), se encuentran fuera de influencia de la zona de estudio. Después de realizar los dos periodos de monitoreo se establece la ausencia de 3 hitos por nuevas construcciones en el área.



Ilustración 4.20 Ubicación en planta de los hitos

A continuación se presentan los resultados de monitoreo de los hitos en la Tabla 4.8, y se puede observar a detalle en el **Anexo 11**.





Tabla 4.8 Tabla resumen del monitoreo de hitos.

| <b>MONITOREO DE HITOS</b> |                        |          |             |
|---------------------------|------------------------|----------|-------------|
| <b>HITO</b>               | <b>DESPLAZAMIENTOS</b> |          |             |
|                           | <b>N</b>               | <b>E</b> | <b>COTA</b> |
| HITO 1                    | 0.032                  | -0.033   | -0.113      |
| HITO 2                    | -0.004                 | 0.006    | -0.064      |
| HITO 3                    | NO HAY HITO            |          |             |
| HITO 4                    | -0.057                 | -0.069   | -0.037      |
| HITO 5                    | 0                      | 0        | 0           |
| HITO 6                    | NO HAY HITO            |          |             |
| HITO 7                    | NO HAY HITO            |          |             |
| HITO 8                    | -0.004                 | 0.006    | -0.064      |
| HITO 9                    | -0.002                 | -0.003   | -0.001      |

De acuerdo al análisis de la localización de hitos anteriormente mencionados y debido a que el hito 1 (h1) no presenta desplazamiento y que el hito 4 (h4) está fuera del área de estudio, se establece que la medición de movimiento de masas más acercado a la realidad es del hito 2 que se encuentra en la delimitación de la zona de estudio.

El movimiento que presenta el deslizamiento de Cañar es muy lento e imperceptible, estando dentro de la tolerancia y su verdadero desplazamiento se podrá notar en próximos monitoreos con adaptación de una mejor red de hitos de monitoreo.

#### **4.7.3 CORRELACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO CON LA PRECIPITACIÓN**

Mediante los resultados de la Sección 4.7.2 y 4.7.1, se reconoce que la tasa de desplazamiento no es uniforme a lo largo del deslizamiento y a su vez, que la precipitación que es el principal factor desencadenante no es constante ni uniforme ni en frecuencia, ni en intensidad, ni en duración. Por lo que la correlación del desplazamiento se debería verificar con instrumentación apropiada como son los inclinómetros.



#### 4.8 DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DE MASAS

El movimiento del deslizamiento de Quilloac se caracteriza, según Suárez (2009), descrito en la sección 2.3, de la siguiente manera:

- Tipo de material: Tierra y lodo, ya que contiene materiales con más del 50% de finos, con humedades cercanas o superiores al límite líquido y se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.
- Humedad: Húmedo, contiene algo de agua, pero no posee agua (corriente) libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.
- Estilo: Sencillo, ya que presenta un sólo tipo de movimiento.
- Estado de actividad: Activo.
- Secuencia de repetición: Ampliándose y alargándose ya que la superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales y alargándose porque la superficie de falla se alarga en una o más direcciones, agregando a la zona continuamente volumen de material desplazado.
- Velocidad: Muy lento a lento, ya que el deslizamiento tiene un desplazamiento de 16 mm/año a 1.6m/año.

Según las descripciones de Suárez (2009), el proceso se clasifica como deslizamiento tipo flujo, debido a la caracterización de su perfil, ya que presenta básicamente en tres partes, el “frente” donde se concentran los materiales más gruesos, el “cuerpo” y la “cola” donde se acumula parte del agua libre de sedimentos y la mezcla de agua con sedimentos finos. Mientras que en planta, el flujo muestra una zona de iniciación que forma un embudo, una zona de transición o zona de tránsito de flujo y una zona de depósitos en abanico como se muestra en la Ilustración 4.21.

El flujo pasa de una zona de alta pendiente (más de 40°) a una zona de depósitos menor o igual a 3°.



Ilustración 4.21. Identificación de las características del fenómeno.

El factor que más se tiene en cuenta al describir el comportamiento de los flujos es el porcentaje de concentración de sedimentos, el cual define el modelo de flujo. Igualmente, la proporción de sedimentos finos (arcillas y limos) afecta en forma determinante al tipo de flujo (Suárez, 2009).

Además, este flujo cumple con las características de un flujo de lodo, donde según Suárez (2009) predominan los sedimentos de limos y arcillas, lo que se presenta



en los resultados de laboratorio. Suárez también recalca que los flujos de lodo generalmente consisten en altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas), aunque también pueden transportar grandes bloques o cantos de roca.



## CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

### 5.1 DEFINICIÓN DE MODELOS

Según Suárez (2009) los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud se pueden clasificar en dos grandes grupos con sus respectivas subclasificaciones, como se puede observar en la Ilustración 5.1.

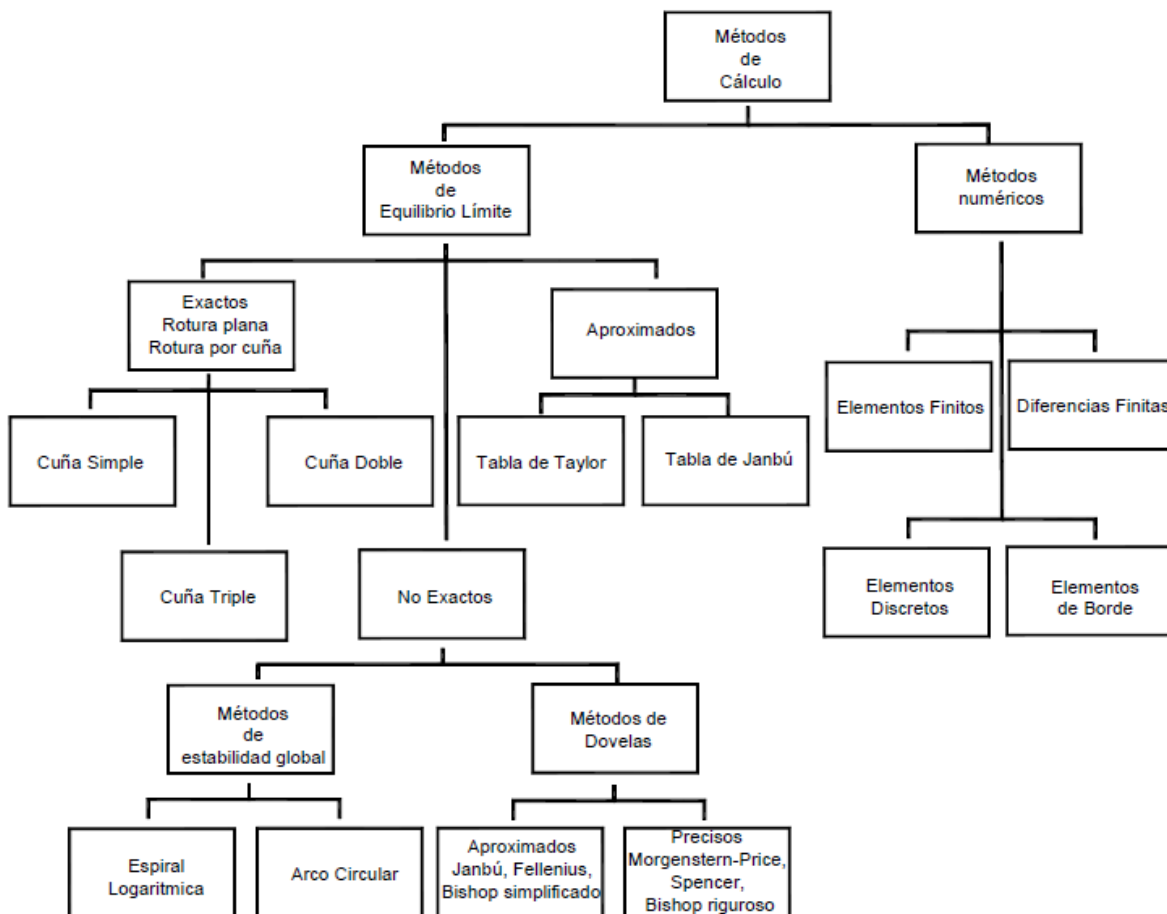


Ilustración 5.1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes según Suárez (2009).

**Métodos Numéricos.** Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad



y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos, elementos discretos, elementos de borde, diferencias finitas (Suárez, 2009).

**Métodos de Equilibrio Límite.** Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte (Suárez, 2009). Se pueden clasificar a su vez en tres grupos:

- **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 cuñas (Suárez, 2009).  
**Métodos Aproximados:** Mediante el uso de tablas (Tabla de Taylor y Tabla de Janbú) se da la evaluación rápida y general de las condiciones de estabilidad, pero no debe reemplazar los análisis rigurosos (Suárez, 2009).

**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 dividida en una serie de fajas verticales. A su vez los métodos se dividen en Métodos de Estabilidad Global (Espiral logarítmica y Arco circular) y en Método de Dovelas (Suárez, 2009), que a su vez se clasifica en aproximados y precisos.



- **Aproximados:** no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden citar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbú y Bishop Simplificado.
  - **Método ordinario de Fellenius (1927):** Se basa en la suposición de que la resultante de las fuerzas laterales en las caras de las rebanadas actúa paralelamente a la base de las mismas. Sólo satisface el equilibrio de momentos. Análogamente sólo tiene aplicación a líneas de rotura circulares (Suárez, 2009).
  - **Método de Janbú (1954).** Supone conocidos las posiciones de los empujes de las dovelas. Es la aplicación a líneas de rotura cualesquiera. No cumple el equilibrio de momentos y sí el de fuerzas (Suárez, 2009).
  - **Método simplificado de Bishop (1955):** Sólo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales. Es un método de aplicación a líneas de rotura circulares (Suárez, 2009).
- **Métodos Precisos:** Cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.
  - **Método de Morgenstern-Price (1965):** Es un método de aplicación a líneas de rotura cualesquiera. Se basa en la suposición de que la relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas se ajustan a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro. Este parámetro es la incógnita que completa el problema. El método satisface todas las ecuaciones de equilibrio (Suárez, 2009).



- **Método de Spencer** (1967): Análogo al anterior, considerando como función una constante, que constituye el parámetro necesario para completar el problema (Suárez, 2009).

**Método de Bishop riguroso:** Bishop propuso un método más riguroso de análisis para deslizamientos con superficie de falla esférica.

## 5.2 FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que un talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Según IGME (1986) indica que Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real calculada del material en el talud, y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$FS = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

Un factor de seguridad menor a 1.5 que demuestra que la zona se no se encuentra estable y puede llegar a causar pérdidas de vidas humanas al fallar la ladera, lo señala Suárez (2009).





### 5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Con el análisis de laderas se busca reducir los niveles de riesgo y definir su estabilidad o las posibles medidas de mitigación.

#### ***Metodología de estabilidad aplicada***

Es importante que al existir varios métodos se realice un análisis para identificar el método más apropiado para el caso en estudio. Considerando los métodos expuestos se descarta el Método Simplificado de Bishop y Método ordinario de Fellenius debido a que solo tienen aplicación a líneas de rotura circulares. También descartamos el Método de Janbú aunque se aplique a líneas de rotura cualesquiera, no cumple el equilibrio de momentos.

Consideramos que el Método Morgenstern-Price y el Método de Spencer son apropiados para este estudio, porque tienen aplicación a líneas de rotura cualesquiera y cumplen con todas las ecuaciones de equilibrio. Estos métodos aplican equilibrio de fuerzas y momentos y asumen que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Además, satisfacen el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.

Suárez (2009) expone el método de Spencer, señalando que es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas a las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación (Ilustración 5.2).

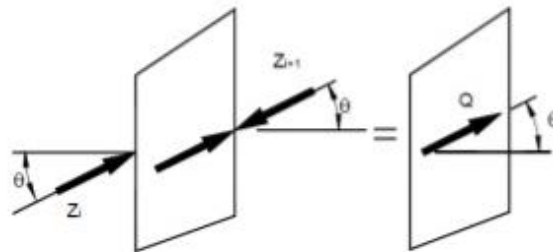


Ilustración 5.2. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el Método de Spencer (Suárez, 2009).

La inclinación específica de estas fuerzas (ver Ilustración 5.3) entre partículas es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio.

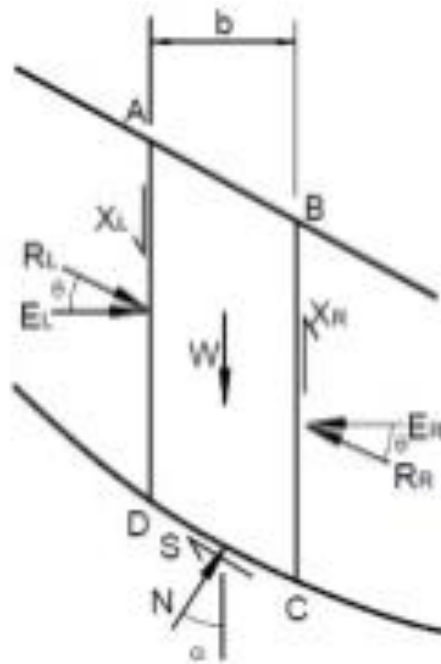


Ilustración 5.3 Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer (Suárez, 2009).

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  $\theta$ .



$$N + F_v \cos \alpha - F_h \sin \alpha - Q \sin(\alpha - \theta) = 0$$

$$S + F_v \sin \alpha - F_h \cos \alpha + Q \cos(\alpha - \theta) = 0$$

$$Q = \frac{-F_v \sin \alpha - F_h \cos \alpha - (c' \Delta l / F) + (F_v \cos \alpha - F_h \sin \alpha + u \Delta l)(\tan \phi' / F)}{\cos(\alpha - \theta) + [\sin(\alpha - \theta) \tan \phi' / F]}$$

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 de taludes y laderas por deslizamiento.

### ***Estratificación y espesor de capas litológicas.***

La definición de los espesores de las capas litológicas se realizó con datos de las líneas sísmicas realizadas en la parte superior, intermedia e inferior del deslizamiento. Se analiza en cada perfil de línea sísmica y se establece que el estrato más duro del área en estudio es el que tiene mayor velocidad de onda de compresión “ $V_p$ ”. Además, se complementa esta información con los pozos a cielo abierto realizados. Los espesores de las capas en cada perfil se pueden observar en los modelos de estabilidad que se presentan más adelante.

En la Ilustración 5.4 se observa las exploraciones realizadas y los estratos horizontales definidos por la colocación en perfil de las diferentes exploraciones para los modelos de estabilidad.

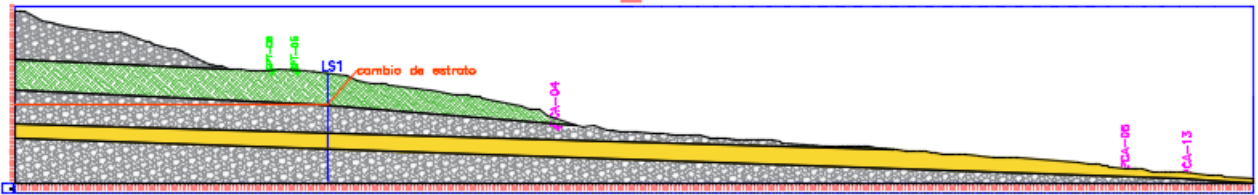


Ilustración 5.4. Perfil de exploraciones del perfil superior del deslizamiento de Quilloac.

En la Ilustración 5.5 se observa las exploraciones realizadas y los estratos definidos para los modelos de estabilidad.

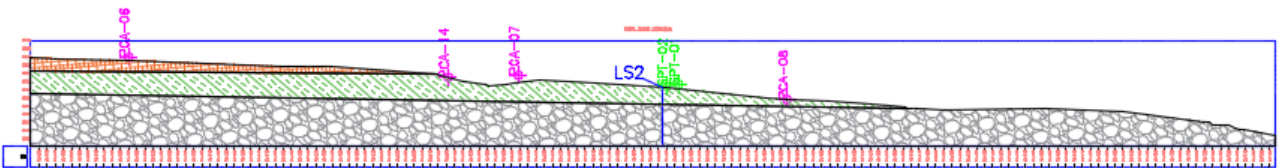


Ilustración 5.5. Perfil de exploraciones del perfil intermedio del deslizamiento de Quilloac

En la Ilustración 5.6 se observa las exploraciones realizadas y los estratos definidos para los modelos de estabilidad.

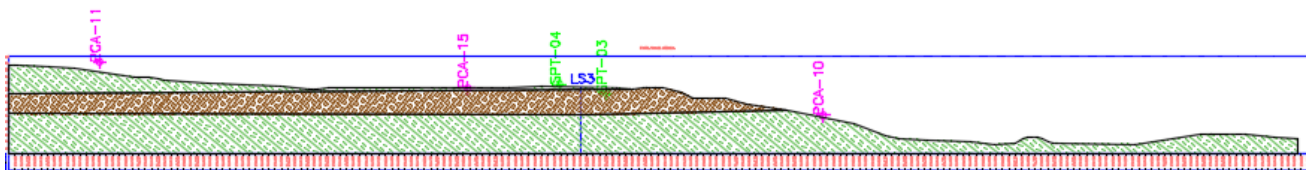


Ilustración 5.6. Perfil de exploraciones del perfil inferior del deslizamiento de Quilloac

### **Parámetros geotécnicos.**



Mediante los resultados de los ensayos de geofísica y los resultados de laboratorio, se establecen los parámetros geotécnicos de los suelos de la zona. Se señala que se tomará el límite inferior del rango de valores del ángulo de fricción.

Tabla 5.1. Parámetros geotécnicos establecidos para el análisis

| PARÁMETROS GEOTÉCNICOS |     |                    |          |                   |
|------------------------|-----|--------------------|----------|-------------------|
| MATERIAL               | N   | C                  | $\phi$   | $\gamma$          |
|                        |     | Kg/cm <sup>2</sup> | (°)      | Kg/m <sup>3</sup> |
| CL                     |     | 0                  | 12 -- 17 | 2135              |
| CH                     |     | 0                  | 1 -- 9   | 1735              |
| GM                     |     | 0.5                | 31       | 1965              |
| SM                     |     | 0.19               | 4 -- 10  | 1946              |
| MH                     | >30 | 0.04 -- 0.4        | 8 -- 19  | 2004              |
| SC                     |     | 0.35               | 5        | 1583              |

### **Modelos de estabilidad**

Los modelos de estabilidad se realizaron en la parte superior, intermedia e inferior del deslizamiento. los planos de planta y perfiles topográficos de estos modelos se puede revisar en el **Anexo 12**.

El cálculo de estabilidad se desarrolló en el software GEOSTUDIO 2007 – SLOPE/W usando los parámetros anteriormente descritos en esta misma sección, la ubicación de la línea piezométrica mediante los resultados de la sección 4.6.1. y para la proyección en perfil se toma en cuenta la permeabilidad de los materiales del estrato por el cual recorre. los modelos se presentan a continuación.

Los análisis se realizan por los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price, en época seca y en época de invierno.

### **Análisis del perfil superior**



Este perfil se localiza en la comunidad Quilloac y en el cual se analiza la estabilidad en la parte superior del deslizamiento. Se realiza un modelo de cálculo de estabilidad usando los parámetros geotécnicos establecidos anteriormente hasta obtener un modelo semejante a la realidad **Anexo 13**.

Se obtiene para el perfil superior MC1 con el Método de Spencer la Ilustración 5.7 que tiene un  $FS=0.567$  en época de invierno y la Ilustración 5.8 en época seca que tiene un  $FS=0.863$ . Mientras que con el Método de Morgenstern-Price se obtiene la Ilustración 5.9 que tiene un  $FS=0.564$  en época de invierno y la Ilustración 5.10 en época seca con un  $FS=0.862$ . Los resultados con los diferentes métodos apenas varían. Los valores correspondientes a la época de invierno se han obtenido tomando en cuenta los parámetros de resistencia más desfavorables.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC1  
MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER

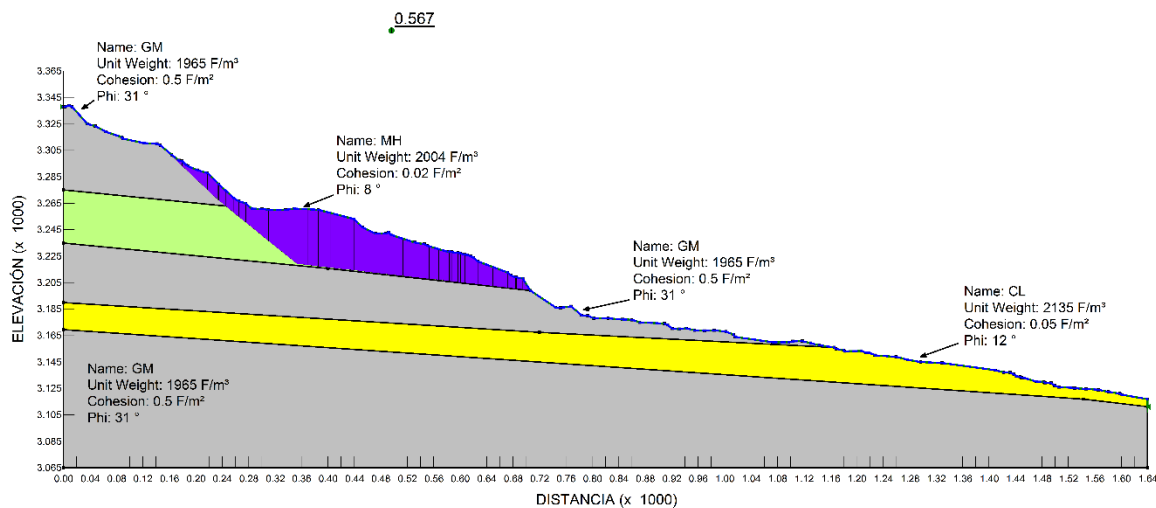


Ilustración 5.7 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Spencer en época de invierno.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC1

MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER

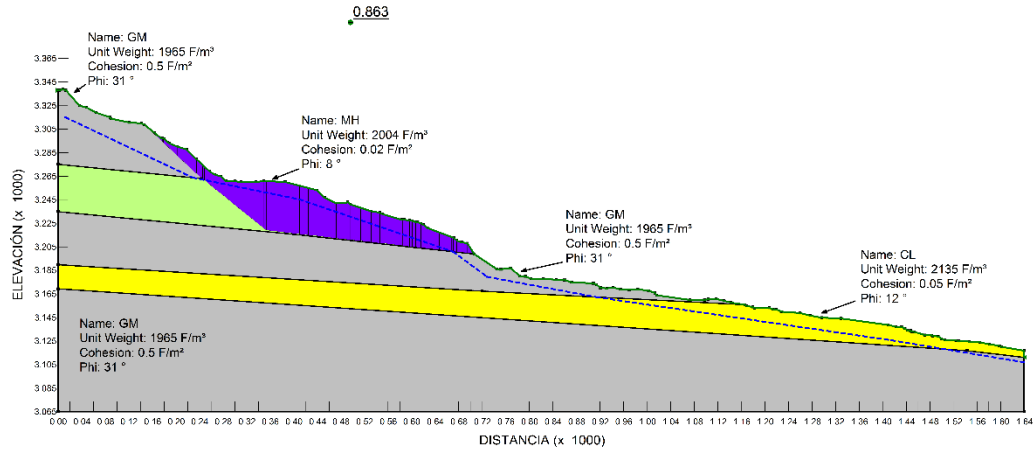


Ilustración 5.8 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Spencer en época seca.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC1

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN - PRICE

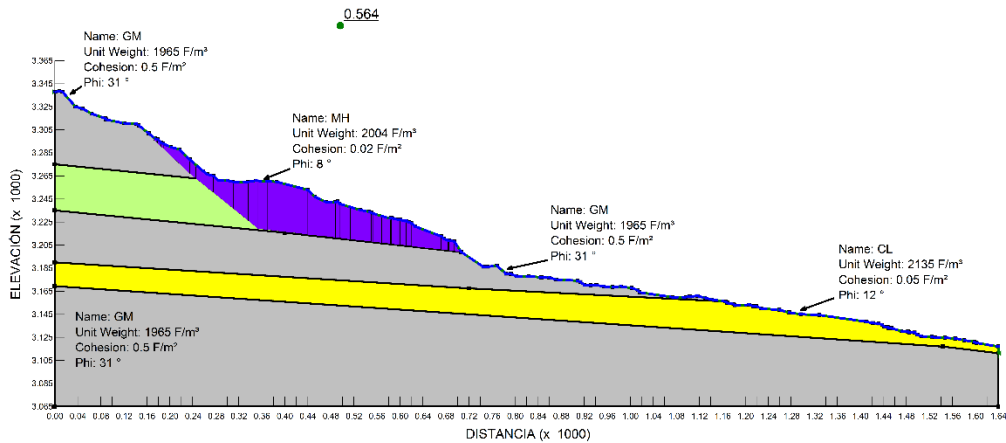


Ilustración 5.9 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC1

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE

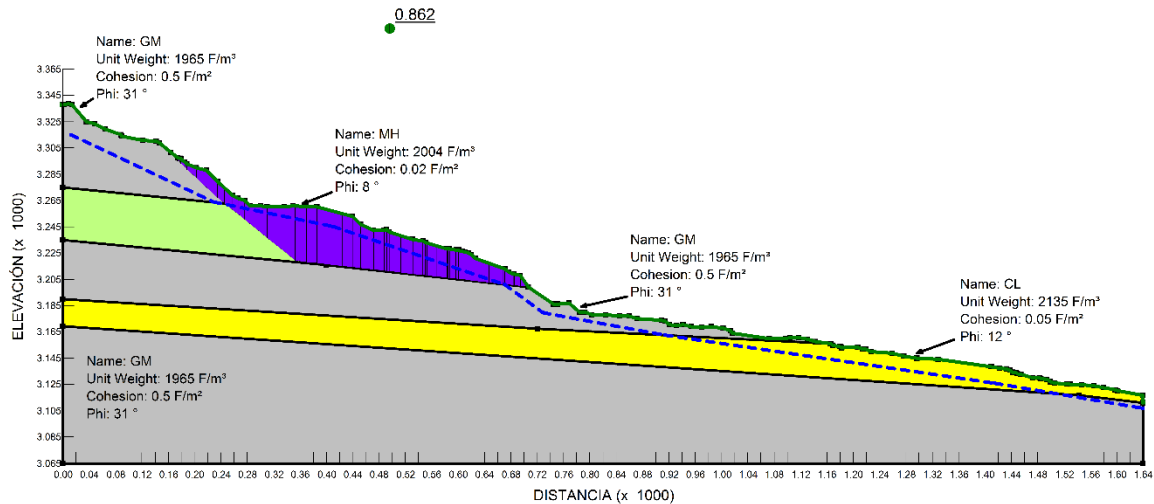


Ilustración 5.10. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC1. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca.

Se obtiene para el perfil superior MC2 con el Método de Spencer la Ilustración 5.11 que tiene un  $FS=1.632$  en época de invierno y la Ilustración 5.12 en época seca que tiene un  $FS=2.373$ . Mientras que con el Método de Morgenstern-Price se obtiene la Ilustración 5.13 que tiene un  $FS=1.632$  en época de invierno y la Ilustración 5.14 en época seca con un  $FS=2.372$ . Los resultados con los diferentes métodos apenas varían. La época de invierno se simula tomando en cuenta los parámetros de resistencia más desfavorables.





**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC2

MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER

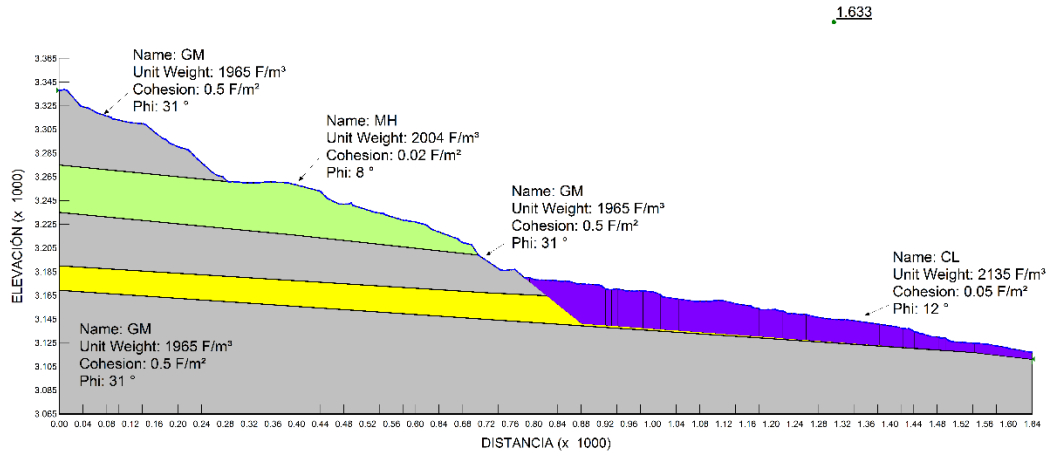


Ilustración 5.11 Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Spencer en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC2

MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER

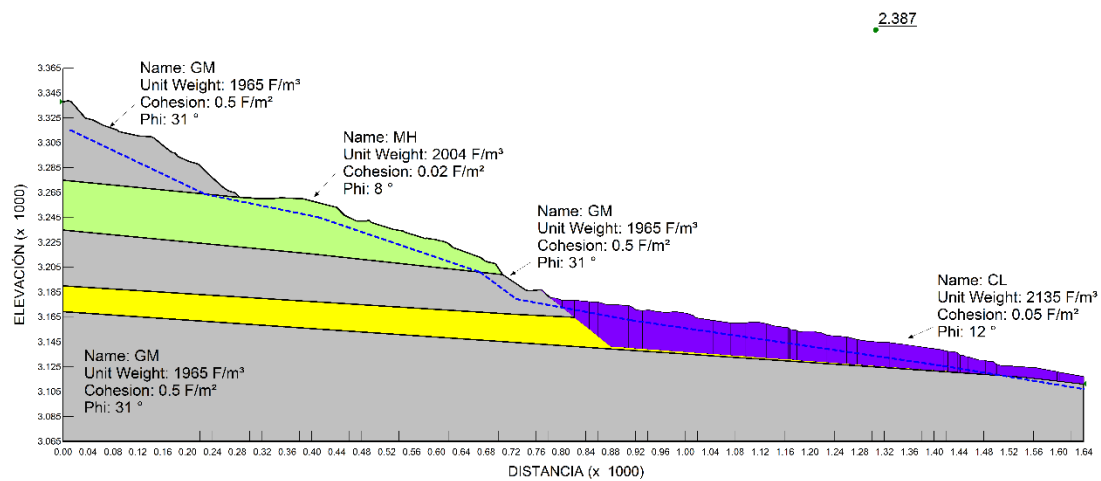


Ilustración 5.12. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Spencer en época seca.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC2

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE

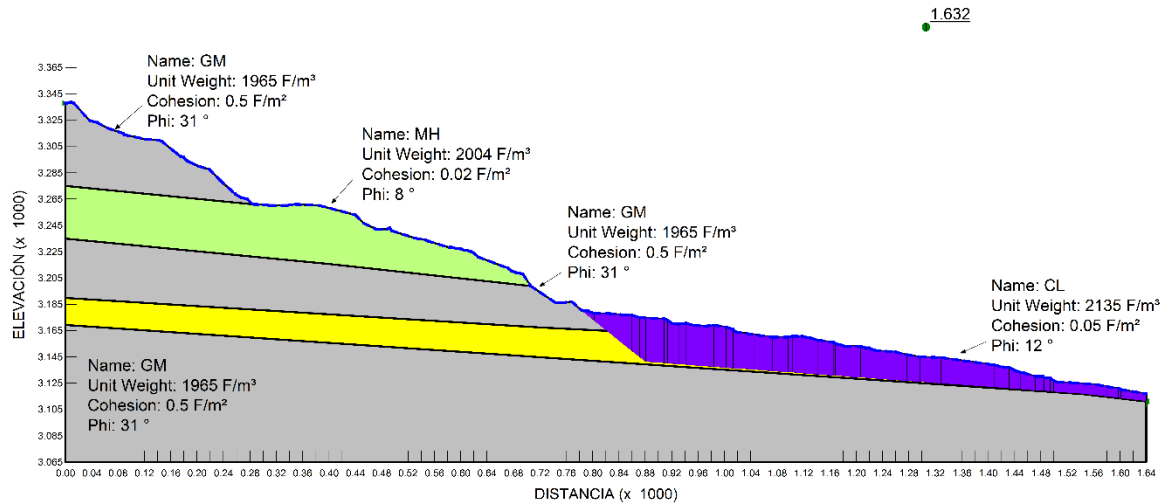


Ilustración 5.13. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL SUPERIOR MC2

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE

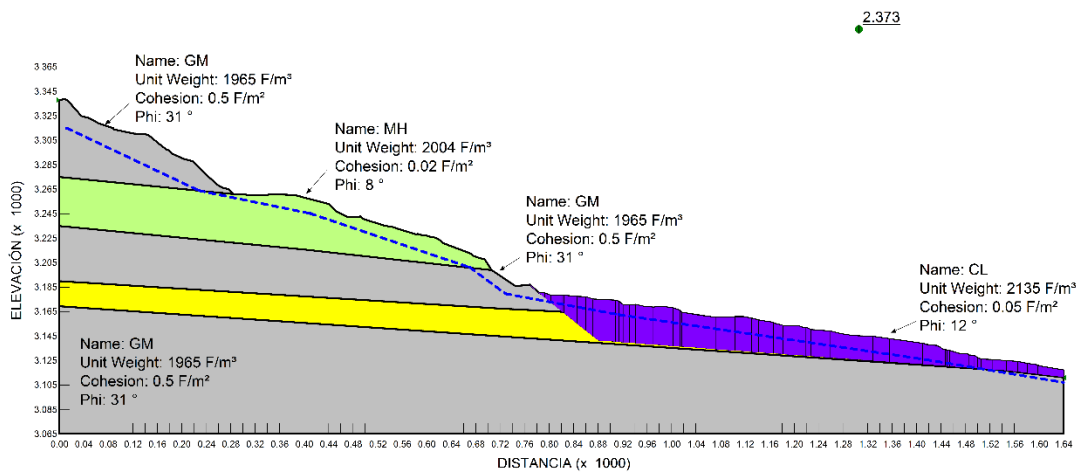


Ilustración 5.14. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento, MC2. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca.



## Perfil intermedio

Este perfil se localiza en la comunidad San Rafael y en el centro urbano del cantón Cañar y con el cual se realiza el análisis de estabilidad en la parte intermedia del deslizamiento usando los parámetros geotécnicos establecidos anteriormente hasta obtener un modelo semejante a la realidad **Anexo 14**.

Se obtiene para el perfil intermedio con el Método de Spencer la Ilustración 5.15 que tiene un  $FS=1.421$  en época de invierno y la Ilustración 5.16 en época seca que tiene un  $FS=2.842$ . Mientras que con el Método de Morgenstern-Price se obtiene la Ilustración 5.17 que tiene un  $FS=1.422$  en época de invierno y la Ilustración 5.18 en época seca con un  $FS=2.844$ . Los resultados con los diferentes métodos apenas varían. La época de invierno se simula tomando en cuenta los parámetros de resistencia más desfavorables.

En esta sección del deslizamiento no se establece como modelo inestable en época seca, pero mediante observaciones de campo se señala inestabilidad en la zona, pudiéndose hablar de ya que es típico este fenómeno en deslizamientos tipo flujo y además la pendiente se pudiera clasificar como de plano a pendientes poco inclinadas dónde se puede acumular el material desplazado pero de manera superficial sobre la pendiente natural. Además durante el trabajo de campo de los pozos a cielo abierto hay pruebas de desplazamiento de estratos como se puede revisar la las muestras extraídas demuestran movimiento de las estratos zona como se puede observar en el PCA 14 y mientras que en el PCA 18 el material de la muestra se encuentra con aspecto de lodo también típico de este fenómeno, además. Otro factor típico de este fenómeno es la inclinación de árboles y postes como se observa en la Ilustración 5.19. Todos estos factores son resultados de movimiento en la zona por lo que no se le puede denominar como zona estable.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INTERMEDIO**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER**

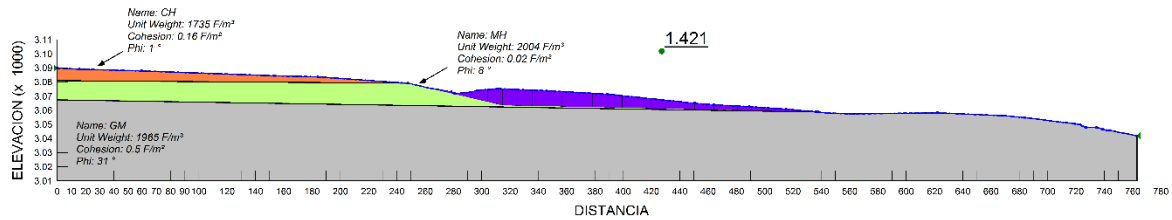


Ilustración 5.15. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INTERMEDIO**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER**

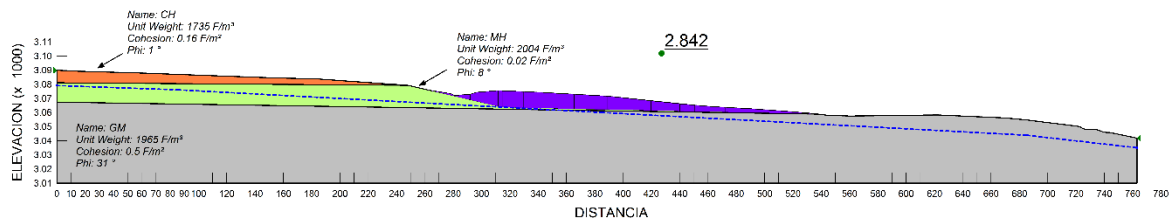


Ilustración 5.16. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer en época seca.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INTERMEDIO

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE

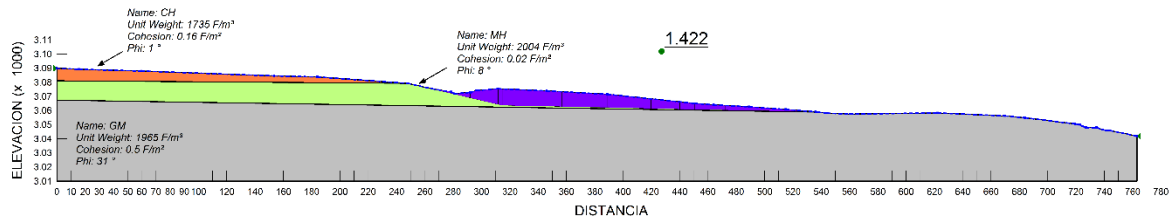


Ilustración 5.17. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INTERMEDIO

MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE

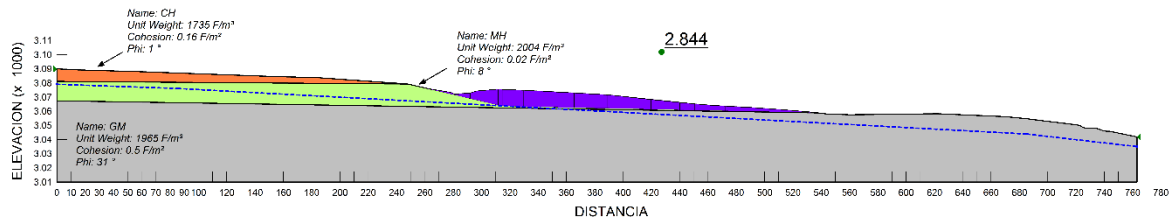


Ilustración 5.18. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca.



Ilustración 5.19 registro fotográfico de la evidencia de la inclinación de los árboles.

### Perfil Inferior

Este perfil se localiza en la comunidad Cuchucún y La Posta y con el cual se realiza el análisis de estabilidad en la parte inferior del deslizamiento. Usando los parámetros geotécnicos establecidos anteriormente hasta obtener un modelo semejante a la realidad **Anexo 15**.

Se obtiene para el perfil inferior con el Método de Spencer la Ilustración 5.20 que tiene un  $FS=0.606$  en época de invierno y la Ilustración 5.21 en época seca que tiene un  $FS=1.4$ . Mientras que con el Método de Morgenstern-Price se obtiene la Ilustración 5.22 que tiene un  $FS=0.606$  en época de invierno y la Ilustración 5.23 en época seca con un  $FS=1.399$ . Los resultados con los diferentes métodos apenas varían. La época de invierno se simula tomando en cuenta los parámetros de resistencia más desfavorables.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INFERIOR**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER**

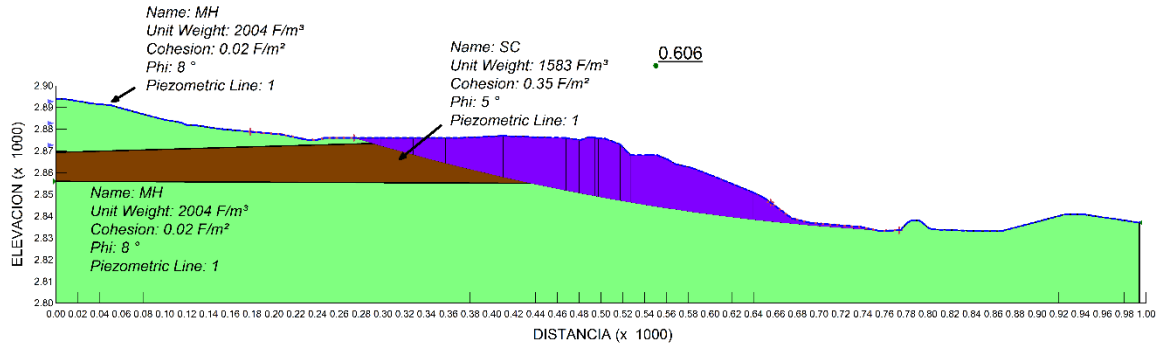


Ilustración 5.20 Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INFERIOR**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER**

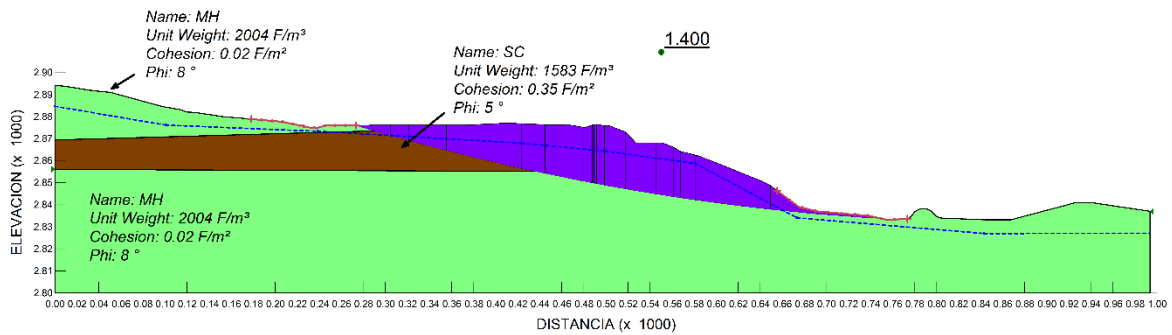


Ilustración 5.21. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer en época seca.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INFERIOR**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE**

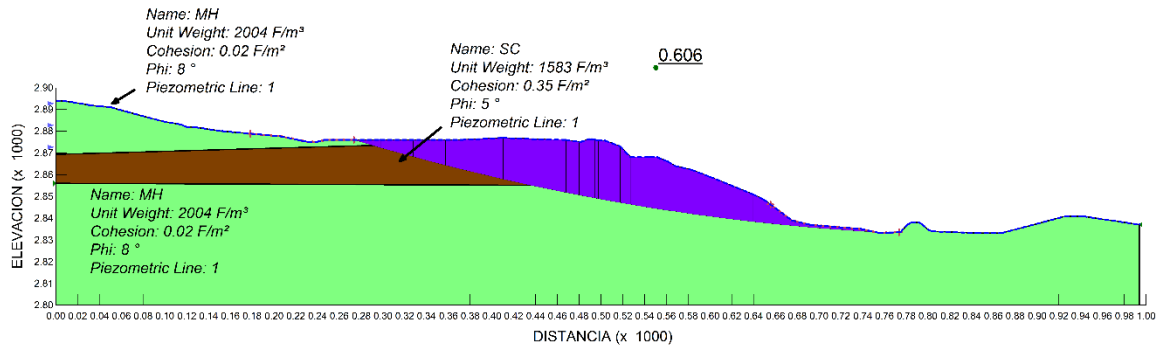


Ilustración 5.22. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época de invierno.

**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**  
**MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INFERIOR**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS: MORGENSTERN-PRICE**

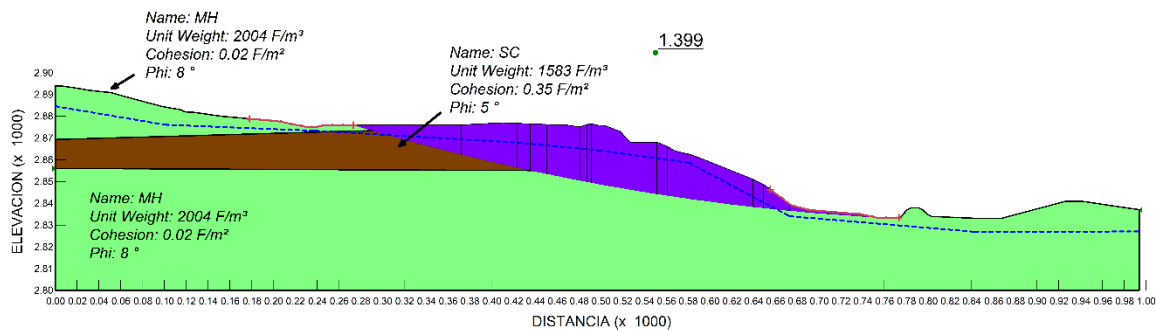


Ilustración 5.23. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Morgenstern-Price en época seca.





## 5.4 PRE DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

### 5.4.1 EVALUACIÓN DE CAUSAS QUE DESENCADENAN LAS INESTABILIDADES.

Mediante los análisis realizados en este estudio se determina que el principal factor desencadenante de este deslizamiento tipo flujo es el agua subterránea y el agua superficial. Prueba de ella es la variación del factor de seguridad en época de invierno y en época seca en los modelos de estabilidad. Las aceleraciones sísmicas parecen ocupar un puesto secundario como factor desencadenante.

En cuanto a los factores condicionantes, cabe destacar la litología, las estructuras geológicas, la pendiente y la falta de tecnificación en el riego de los cultivos de la zona.

### 5.4.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas, es diseñar medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización para reducir los niveles de amenaza y riesgo. Se han desarrollado gran cantidad de técnicas probadas para el manejo de las laderas inestables o los deslizamientos. (Suárez, 2009). En la Ilustración 5.24 se muestran algunos ejemplos.

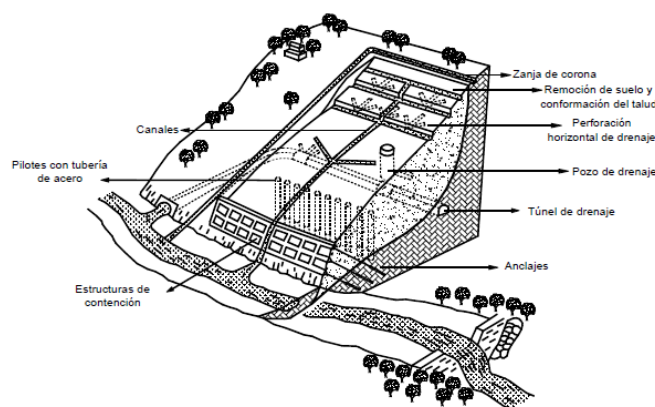


Ilustración 5.24. Algunas técnicas de remediación de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos. (Suárez, 2009)



Sin embargo, debido a la magnitud del área en estudio, a la variación de profundidad de los niveles freáticos y a la litología presente en el área se establece que no es posible estabilizar el fenómeno de remoción de masa por lo que se requiere establecer medidas mitigación en esta área.

Para analizar la mejor medida se debe considerar aspectos sociales, económicos y principalmente que sean aplicados a la naturaleza del problema.

Las medidas de mitigación pueden ser estructurales, no estructurales y políticas de estado. Los diseños estructurales generalmente se usan para incrementar fuerzas resistentes pero en este estudio las fuerzas actuantes son producidas por una masa demasiado grande por lo que dichos diseños no son viables.

Los diseños no estructurales como los drenajes son más adecuados ya que son viables y reducen la acción del principal factor desestabilizante de este deslizamiento tipo flujo, el agua.

Respecto a las políticas de estado son las medidas que determinarán la máxima mitigación de la zona en estudio.

En la Tabla 5.2 se presenta una matriz de medidas de mitigación que son propuestas para el área en estudio.



Tabla 5.2. Matriz de medidas de mitigación propuestas para el área de estudio

| MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS                                    |           |              |   |                            |
|---|-----------|--------------|---|----------------------------|
| ESTRUCTURAL   |           |              |   |                            |
| OBRA  | APLICABLE | NO APLICABLE | LUGAR   | OBSERVACIÓN                |
| Estructuras de contención   |           | x            |   |                            |
| Estructuras enterradas  |           | x            |   |                            |
| Estructuras de anclaje  |           | x            |   |                            |
| NO ESTRUCTURAL - DRENAJE  |           |              |   |                            |
| OBRA  | APLICABLE | NO APLICABLE | LUGAR   | OBSERVACIÓN                |
| Canales para redireccionar el agua de escorrentía                   |           | x            |   |                            |
| Zanjas de coronación  | x         |              | En la parte superior del deslizamiento, escarpe principal.                                |                            |
| Subdrenes interceptores   | x         |              | Se recomienda colocar en la cabeza del deslizamiento.                                     |                            |
| Drenes horizontales   | x         |              | Lugares cercanos a las quebradas, donde la profundidad máxima del nivel freático sea 5 m. |                            |
| Pozos verticales de drenaje   | x         |              | Análisis conjunto con el cumplimiento de los requisitos previos.                          | Cumplir requisitos previos |
| Pozos verticales de drenaje por bombeo                              | x         |              | Análisis conjunto con el cumplimiento de los requisitos previos.                          | Cumplir requisitos previos |
| POLITICAS DE ESTADO   |           |              |   |                            |
| OBRA  | APLICABLE | NO APLICABLE | LUGAR   | OBSERVACIÓN                |
| Forestación   | x         |              | Comunidades afectadas.  |                            |
| Programas de socialización  | x         |              | Comunidades afectadas.  |                            |
| Regularización de manejo de aguas mediante tecnificaciones de riego | x         |              | Comunidades afectadas.  |                            |
| Adquisición de propiedades por parte del estado                     | x         |              | Comunidades afectadas.  |                            |
| Monitoreo de la zona  | x         |              | Comunidades afectadas.  |                            |

A continuación se exponen brevemente las medidas que pueden ser aplicadas.



### 5.4.2.1 DRENAJES

Los drenajes son la técnica más efectiva y utilizada para el control de aguas superficiales y subterráneas, ya que su objetivo es controlar el agua y sus efectos disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando fuerzas resistentes (Suárez, 2009).

Se han realizado modelos de estabilidad para saber a qué profundidad del nivel freático, el talud en estudio es estable.

#### *Análisis del perfil superior*

En el perfil superior se toma en cuenta como principal punto del perfil la abscisa 0+285, del mismo se realiza variación de profundidad de flujo con su respectivo cálculo de estabilidad. Como se puede observa en la Ilustración 5.25.

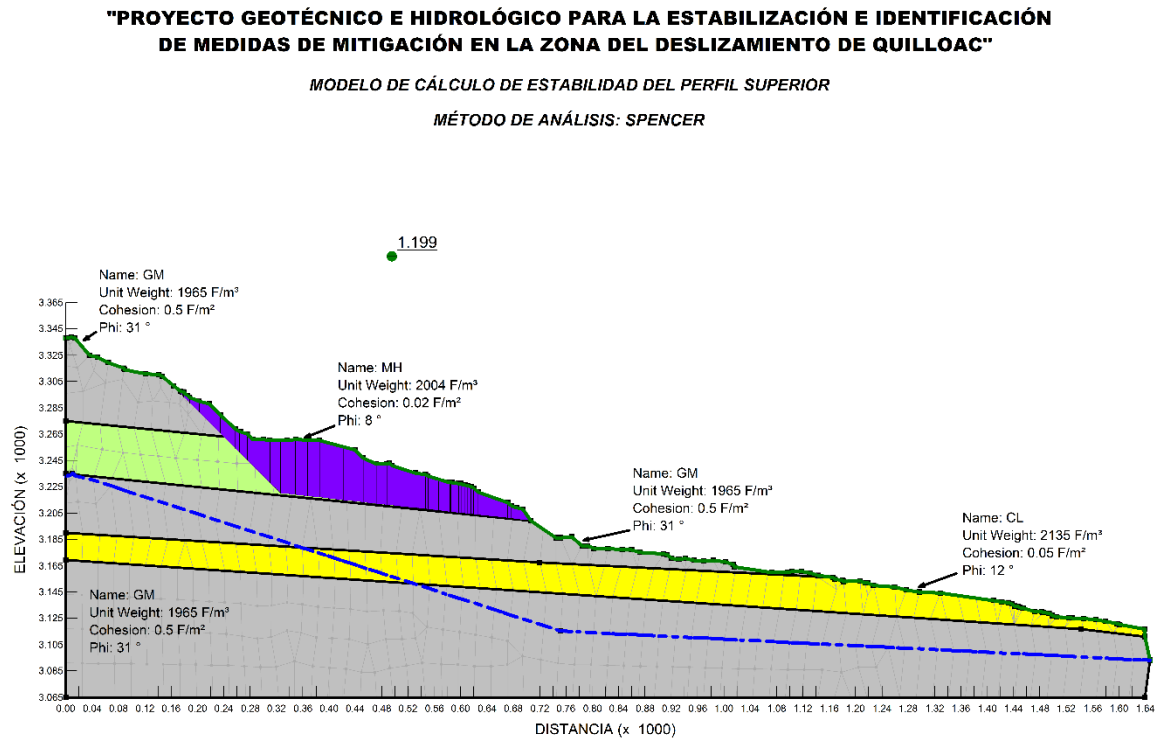


Ilustración 5.25. Modelo de estabilidad del perfil superior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático.



Para la realización de la Ilustración 5.26 se realizaron varios modelos de flujo combinados con modelos de estabilidad, de manera que se varió la profundidad del nivel freático y se calculó su respectivo factor de seguridad. Como se observa el mayor factor de seguridad alcanzado es 1.2 aunque la profundidad siga variando.

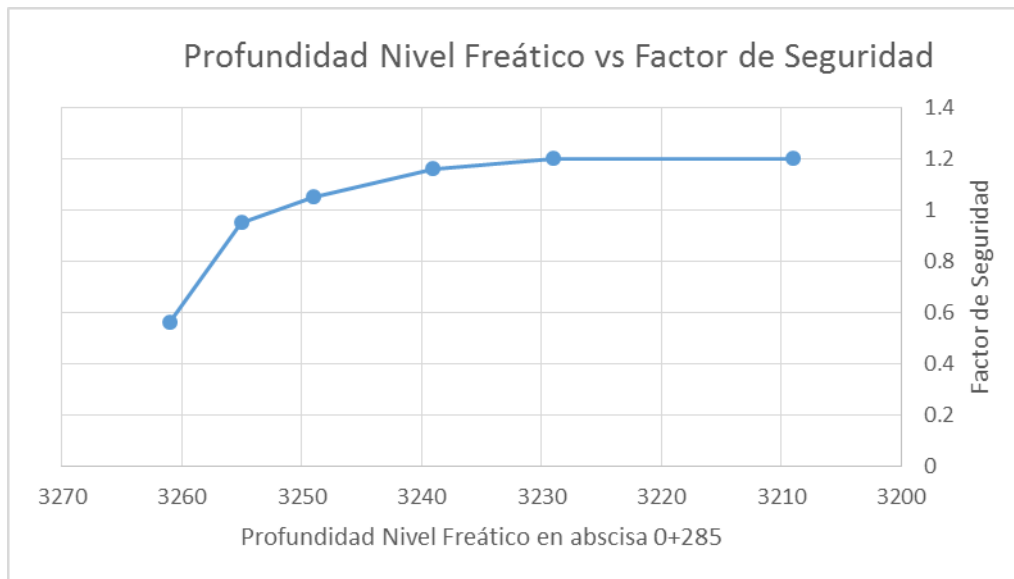


Ilustración 5.26. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil superior del deslizamiento de Quilloac.

### ***Análisis del perfil intermedio***

En el perfil intermedio se toma en cuenta como principal punto del perfil la abscisa 0+280 y se realiza variación de profundidad de flujo con su respectivo cálculo de estabilidad, como se puede observa en la Ilustración 5.27.



**"PROYECTO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA ESTABILIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO DE QUILLOAC"**

MODELO DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DEL PERFIL INTERMEDIO  
MÉTODO DE ANÁLISIS: SPENCER

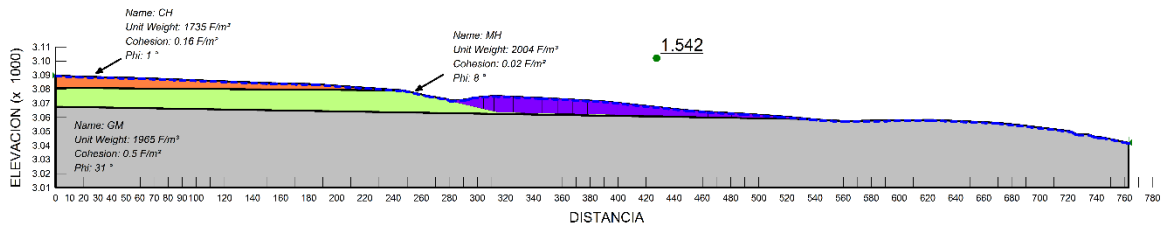


Ilustración 5.27. Modelo de estabilidad del perfil intermedio del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático.

Para la realización de la Ilustración 5.28 se realizaron varios modelos de flujo combinados con modelos de estabilidad, de manera que se varió la profundidad del nivel freático y se calculó su respectivo factor de seguridad. Como se observa si se alcanza un factor de seguridad mayor a 1.5 con la variación de la profundidad, pero hay que destacar que en el análisis de estabilidad se indica que el modelo no es apegado a las visitas de campo en términos de estabilidad, esto se debe que para modelar deslizamientos tipo flujo con mayor detalle se debe contar con información más detallada con es la topografía 3D.

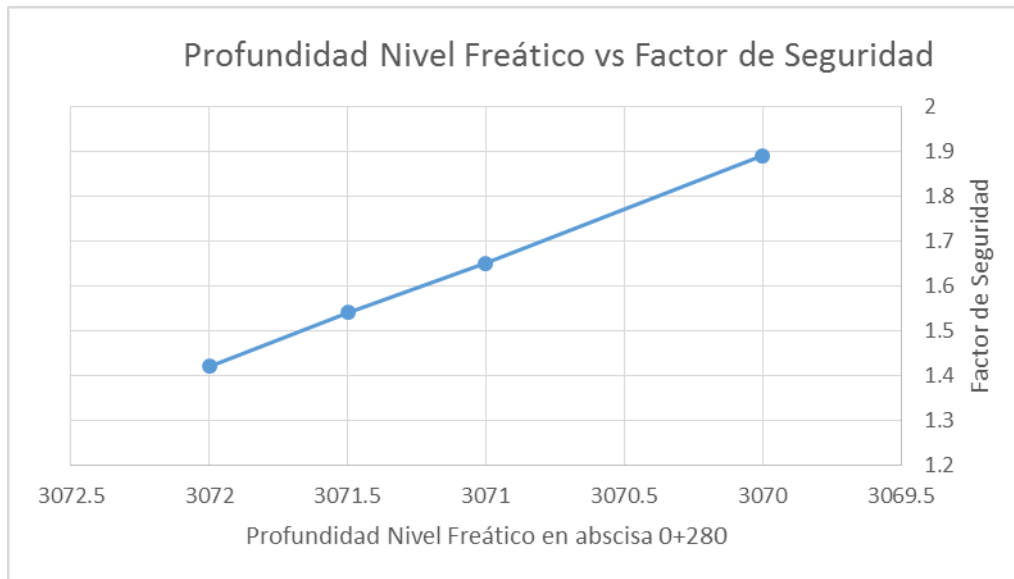


Ilustración 5.28. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil intermedio del deslizamiento de Quilloac.

### Análisis del perfil inferior

En el perfil inferior se toma en cuenta como principal punto del perfil la abscisa 0+205 y se realiza variación de profundidad de flujo con su respectivo cálculo de estabilidad, como se puede observa en la Ilustración 5.29.

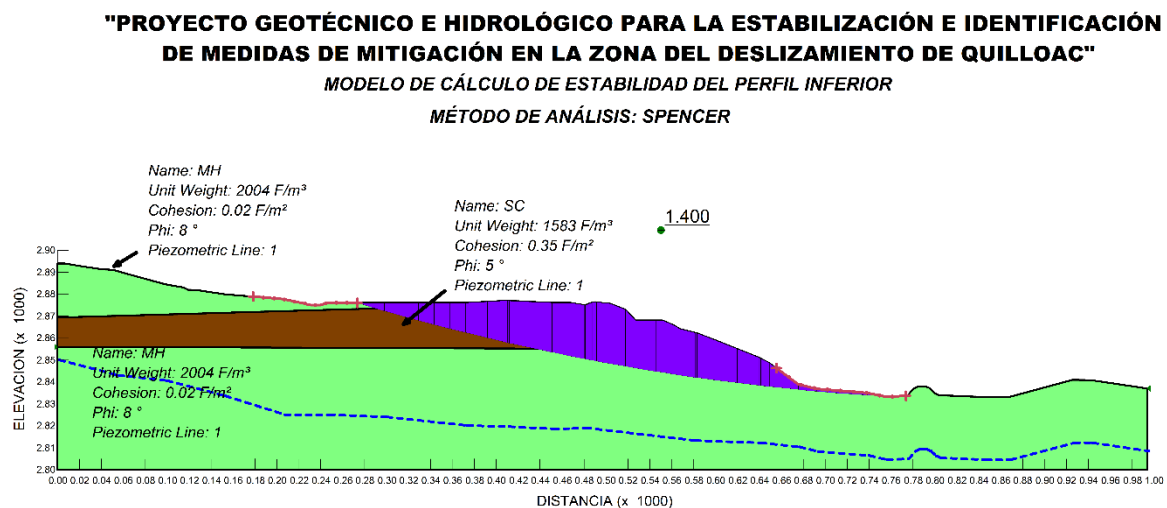


Ilustración 5.29. Modelo de estabilidad del perfil inferior del deslizamiento. Calculado por el Método de Spencer, con variación de la profundidad de nivel freático.



Para la realización de la Ilustración 5.30 se realizan varios modelos de flujo combinados con modelos de estabilidad, de manera que se varía la profundidad del nivel freático y se calculó su respectivo factor de seguridad. Como se observa el mayor factor de seguridad alcanzado es 1.4 aunque la profundidad siga variando.

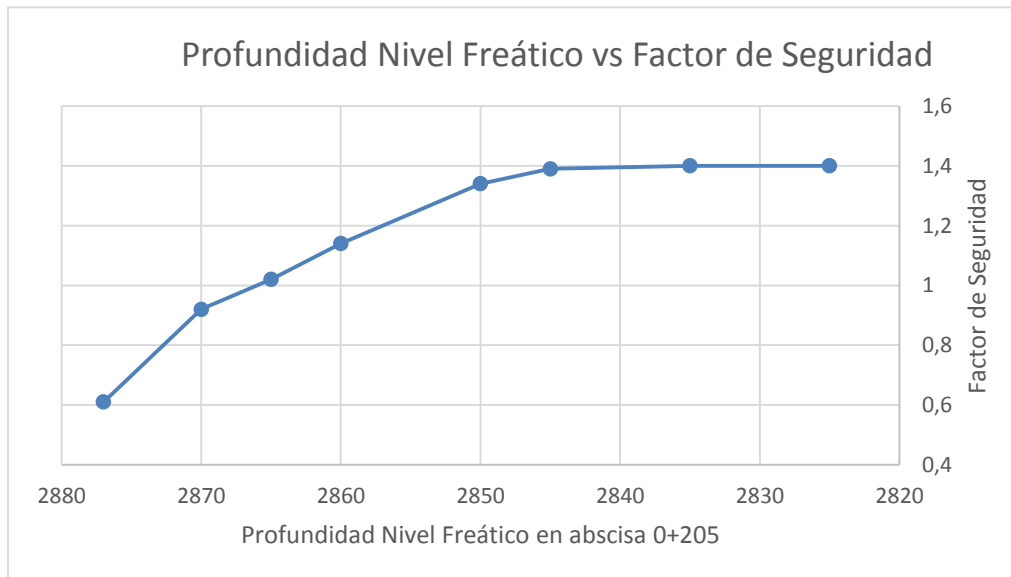


Ilustración 5.30. Gráfica de profundidad de nivel freático vs factor de seguridad aplicado en el perfil inferior del deslizamiento de Quilloac.

Se presentan a continuación diferentes tipos de drenaje que pudieran ser aplicados para esta zona de estudio.

#### 5.4.2.1.1 Tipos de obras para drenajes superficiales

- Cuneta de coronación que cumpla con el objetivo de interceptar la escorrentía en la parte superior del deslizamiento. Se las puede colocar en la cabeza del deslizamiento como se puede observar en la Ilustración 5.31 de manera que el agua recolectada se pueda descargar hacia la quebrada,





sin dejar de considerar la posible recarga que se puede dar en el área de la quebrada.

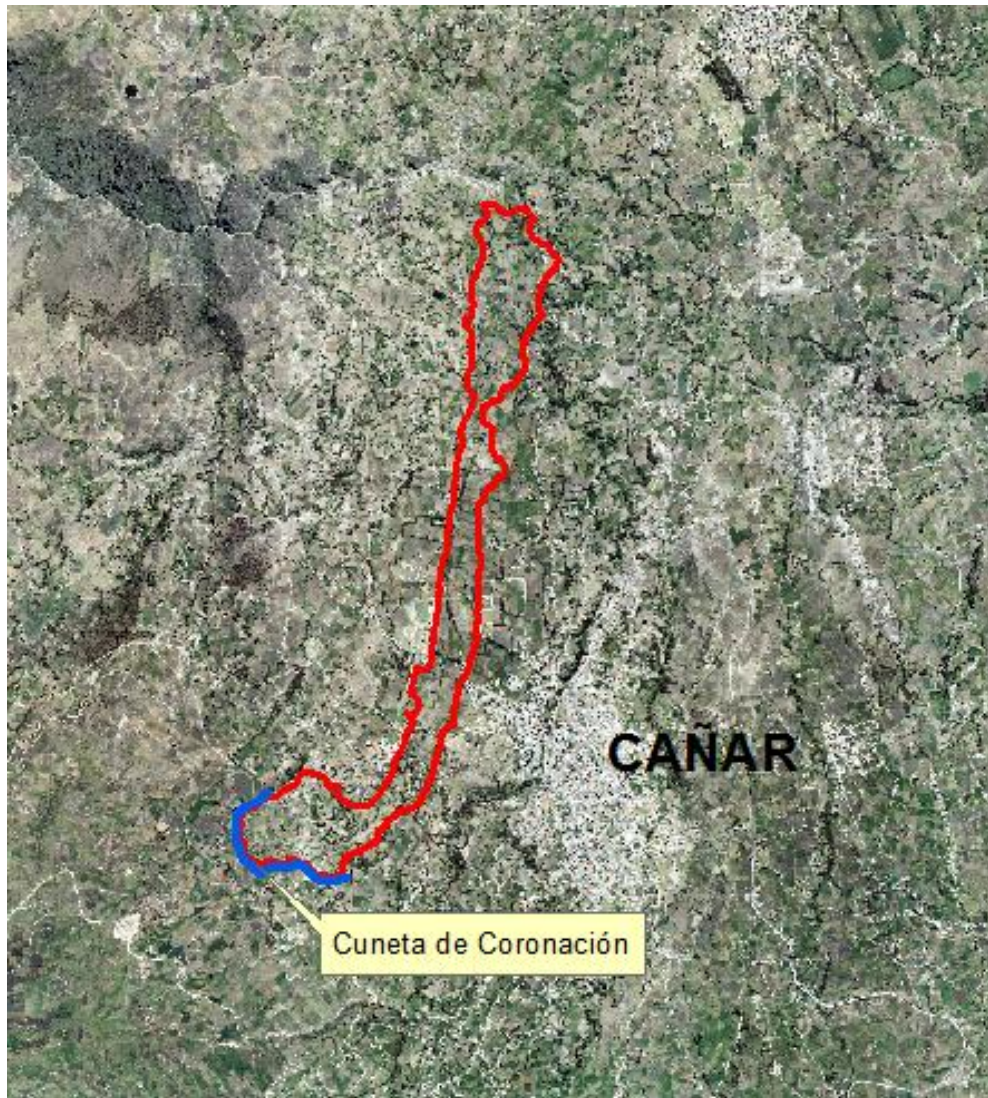


Ilustración 5.31. Ubicación de la cuneta de coronación. Fuente: propia.

#### **5.4.2.1.2 Tipos de obras para drenajes subterráneos**

Estos drenajes son enfocados para el perfil intermedio, ya que en visitas de campo durante la época seca, el agua emergía en la realización de algunas calicatas.

- Subdrenes interceptores: Son drenes que se colocan en sentido transversal al talud. Para evitar el riesgo de desestabilización debida a que ocasionan las zanjas se recomienda colocarlas en la cabeza del deslizamiento, de



igual manera que las zanjas de coronación se debe considerar la posible recarga en el área de la quebrada.

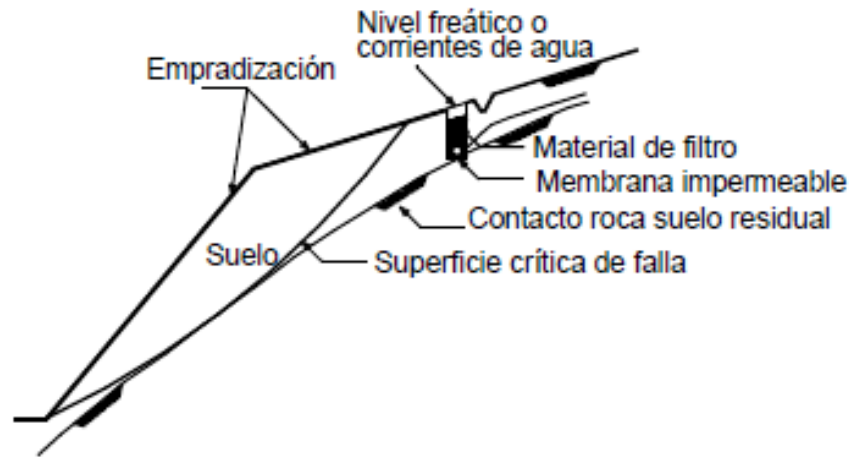


Ilustración 5.32. Colocación de un subdrén de corona de talud.

- Drenes horizontales o de penetración: Un dren horizontal es una tubería perforada colocada a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada con la cual se busca abatir el nivel freático hasta dónde se incremente la estabilidad del talud al valor deseado. Se eligen lugares cercanos a la quebrada para su descarga y se debe establecer que la profundidad máxima del nivel freático puede ser 5 m, ya que a más profundidad el costo crece excesivamente.
- Pozos verticales de drenaje: Son perforaciones verticales abiertas que tienen como objetivo la disminución de las presiones de poros en mantos profundos que no pueden alcanzarse utilizando drenes horizontales. Se deberá considerar las capas permeables y estimar el valor de permeabilidad en los lugares elegidos para estos pozos mediante ensayos de permeabilidad tipo lugeon o por la pruebas de restauración de presión o *buildup* mediante prueba de pozos.



- Pozos de drenaje por bombeo: Generalmente se utilizan para abatir los niveles freáticos, siempre y cuando cumpla las condiciones de los pozos verticales de drenaje.

#### 5.4.2.2 POLÍTICAS DE ESTADO

- Programas de socialización en el área afectada para exponer a la comunidad los efectos de este fenómeno.
- Cumplimiento a ordenanzas urbanas municipales, además de las ya reglamentadas por el GADICC. Es de gran importancia que se consideren los mapas de amenazas realizados en el año 2010 por GEORISK esta zona.
- Tecnificación del riego en la zona mediante riego por goteo y/o aspersión, de modo que se prohíba el riego por inundación.
- Medidas como negación a los servicios públicos y/o establecimiento de impuestos a personas que realicen obras sin permiso municipal.
- Programas de forestación y reforestación del área en riesgo. En lo posible declararla zona verde y que no se permita otros usos del suelo.
- Adquisición de propiedades por parte del estado.
- Monitoreo de la zona con medidas de aviso y alarma. Se pudiera realizar un monitoreo de la zona, como es la ciudad de Cañar, Quilloac y Cachi, ya que son áreas cercanas y continuas y expuestas a altos riesgos naturales.





## CAPÍTULO VI. DETERMINACIÓN DE AMENAZAS DE TERRENOS INESTABLES

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Según Suárez (2009) expresa que (Brabb y Hrrrod,1989) que los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año.

Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. El volumen total de daños es superior al de los terremotos y las inundaciones. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan las medidas de prevención o control (Suárez, 2009).

### 6.2 CONCEPTOS BÁSICOS

- **Amenaza:** Es un agente agresor externo natural o antrópico potencialmente destructivo con cierta magnitud dentro de un cierto lapso de tiempo y en una cierta área. Fenómeno social que puede causar heridos, muertes y daños graves (GEORISK, 2010).
- **Vulnerabilidad:** Es el grado de pérdida de un elemento dado o conjunto de elementos de riesgos, como resultado de la presencia de un peligro ambiental y/o fenómeno natural de magnitud determinada (GEORISK, 2010).
- **Riesgo:** Es el grado esperado de pérdida de los elementos en riesgo debido a la presencia de amenazas naturales. Puede ser expresado en términos de pérdidas, personas heridas, daños materiales e interrupción de actividad económica. Los riesgos se constituyen, también, como el



resultado de las prácticas antrópicas o ambientales de la población que generan consecuencias no controladas, ni buscadas por ellos (GEORISK, 2010).

- **Gestión del riesgo:** La gestión del riesgo es la manera en que se incrementa la capacidad de la comunidad para transformar las condiciones peligrosas y para reducir la vulnerabilidad antes que ocurra un desastre. Esta gestión comprende la planeación, la organización y participación de los actores en el manejo de riesgos (GEORISK, 2010).

Podemos sintetizar lo expuesto en la siguiente fórmula:

$$\text{RIESGOS} = \text{AMENAZA} * \text{VULNERABILIDAD}$$

### 6.3 METODOLOGÍA MORA VAHRSON

La metodología Mora & Vahrson, 1992 consiste en determinar el grado de susceptibilidad de la zona de estudio a experimentar deslizamientos en función de la combinación de parámetros, que reflejan por un lado los factores que condicionan a la inestabilidad de la ladera, tales como litología, el contenido de humedad del suelo y el grado de pendiente de la ladera; y por otro lado los factores de disparo o desencadenantes, como la sismicidad y las lluvias intensas que perturban el equilibrio de los materiales de la ladera. El grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los factores condicionantes y de la acción de los factores de disparo (Barrantes et al., 2011).

El resultado de la combinación de todos los factores no se establece en una escala única de valores del indicador, pues éstos deben ajustarse a las condiciones de cada área estudiada. No obstante, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para cada área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos. El calificativo de susceptibilidad es una representación



cualitativa de los diferentes niveles de amenaza y no una amenaza propiamente dicha (Barrantes et al., 2011).

#### **6.4 RECONOCIMIENTO DE AMENAZAS POR TERRENOS INESTABLES.**

El método Mora Vahrson se ajusta a cada área estudiada pero el método se debe aplicar a áreas extensas donde se tenga variabilidad en los parámetros, mientras que en esta zona de estudio se mantienen constantes en toda su extensión y sólo el parámetro de grado de pendiente presenta variabilidad, por lo que se concluye que el método no es aplicable a esta zona, ya que al final resultaría el mapa de pendientes y esa no es la finalidad.

Como alternativa se presenta la localización de la zona de estudio en el mapa de amenazas de la provincia de cañar realizada en el año 2010 por GEORISK. Este mapa se presenta en el **Anexo 16**.

Además se presenta la Ilustración 6.1 el mapa de pendientes a escala 1:1000, ya que es un elemento pasivo o condicionante que según el método de Mora Vahrson es directamente proporcional al parámetro de amenazas en terrenos inestables. Se presenta en mejor escala en el **Anexo 17**.

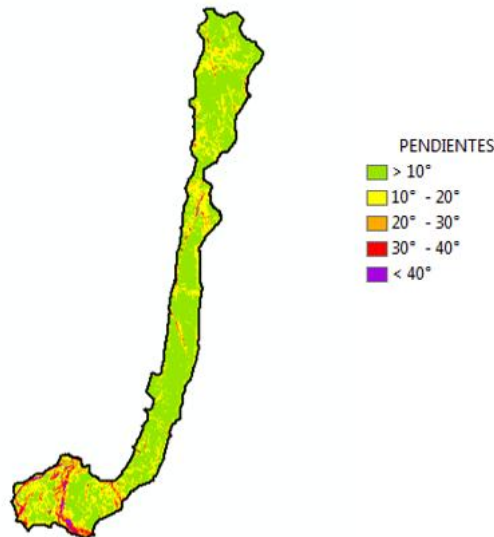


Ilustración 6.1. Mapa de pendientes aplicado un factor de peso.

En la Tabla 6.1 se indica el peso o grados de susceptibilidad parcial asignados para las diferentes pendientes.

Tabla 6.1 Susceptibilidad parcial asignados para las pendientes, adaptada de (Barrantes et al., 2011)

| Pendiente (grados) | Peso | Condiciones características del terreno  |
|--------------------|------|--|
| < 10               | 1    | De plano a pendientes inclinadas         |
| 10 – 20            | 2    | Moderadamente escarpado                  |
| 20-30              | 3    | Escarpado                                |
| 30 – 40            | 4    | Muy escarpado                            |
| > 40               | 5    | Muy escarpado a extremadamente escarpado |

## 6.5 RECONOCIMIENTO DE ZONAS SEGURAS

Según Gutiérrez (2013), la zona de seguridad es definida como un lugar de refugio temporal al aire libre, que debe cumplir con las características de ofrecer seguridad para la vida de quienes estén en peligro.





Por zona de seguridad se entiende aquella en la cual los riesgos están bajo control. Para su designación se debe considerar que no existan elementos que puedan producir daños por caídas (árboles, cables eléctricos, estructuras antiguas, etc.) (Gutiérrez, 2013), por gases tóxicos, por explosiones, por avalanchas humanas, por incendios y por fenómenos meteorológicos y biológicos.

Debido a que la zona de estudio se encuentra delimitada por el área del deslizamiento, se determina que fuera de esta delimitación es una zona segura de este fenómeno analizado: deslizamiento tipo flujo, se debe salir de esta zona limitada como el deslizamiento de Quilloac y mantenerse al menos 20 m de distancia de sus bordes por precaución.



## CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Por medio del análisis del deslizamiento de la zona de Quilloac se ha podido caracterizar e identificar éste fenómeno natural, un movimiento de ladera compuesto por un deslizamiento tipo flujo de material de tierra y lodo en el que predominan materiales como arcillas y limos. Es una zona húmeda y el movimiento se encuentra en estado activo ampliándose y alargándose de más allá de sus limitaciones pre establecidas y el principal efecto desencadenante es la infiltración del agua superficial.

Con la información previa a este estudio como: topografía, datos climáticos y ensayos de geofísica se plantearon exploraciones para correlacionar y determinar los parámetros geotécnicos necesarios para los modelos de estabilidad. Mediante de análisis de estabilidad se seleccionó el método de Spencer como el más apropiado para este caso y para comprobación del método también se utilizó el método Morgenstern-Price.

Los modelos de estabilidad del deslizamiento fueron generados por el software GEOSTUDIO 2007 con los parámetros geotécnicos seleccionados y con la ubicación de la línea piezométrica en el caso más desfavorable que es la superficie para la época de invierno, mientras que para la época seca la línea piezométrica es la establecida por el análisis de los resultados de la línea sísmica y de la tomografía eléctrica. Dando como resultado inestabilidad en los perfiles planteados para la parte superior, intermedia e inferior del deslizamiento en la época de invierno, mientras que en la época seca hay resultados de estabilidad, los mismos que no concuerdan con las visitas de campo en la misma época.



Esto se puede dar por no tener información más detallada y sofisticada de la zona del deslizamiento, como puede ser topografía 3D, mayor detalle de los suelos mediante una campaña amplia de sondeos.

La estabilización de una masa de gran recorrido no es posible, por lo que se sugiere posibles medidas de mitigación como son drenajes y políticas de estado. Los drenajes deben analizarse de manera técnica - económica para establecer si su construcción justifica su costo.

El método de Mora Vahrson que fue planteado como objetivo de esta tesis para el mapa de amenazas no pudo ser aplicado, ya que no existe variabilidad en los parámetros que garanticen la efectividad de este método. Además se plantea que toda la zona dentro de los límites del deslizamiento en la zona de Quilloac es peligrosa y un lugar seguro de este fenómeno es fuera de los límites del deslizamiento con una margen de seguridad.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones frente a este fenómeno que pone en riesgo a siete comunidades de la ciudad de Cañar es que se estudie la viabilidad de las obras de drenaje y que se trabaje por aplicar las políticas de estado planteadas como medidas de mitigación ya que el riesgo de este fenómeno estudiado tiene un componente invaluable que es la vida de los habitantes de esta zona.

Se recomienda que las medidas de drenaje sean respaldadas por un análisis técnico - económico para garantizar el objetivo de estas obras.

Se sugiere equipos de monitoreo para obtener más datos de la amplia zona en estudio como son: los piezómetros, inclinómetros y colocación de red de hitos que se encuentren enlazados a hitos de mayor nivel para complementar con los planes de monitoreo en la zona. Además equipos que aporten con caracterización de la



zona como son los pluviómetros dentro de la zona del deslizamiento. Y para la caracterización del movimiento mediante técnicas de teledetección.

Es necesario la realización de sondeos profundos que intercepten la superficie del deslizamiento y que nos permitan obtener muestras a esas profundidades. Además dichos sondeos (con recuperación de testigos) nos permitirían conocer la estratigrafía de la ladera. Con las muestras obtenidas es necesario emprender una campaña de ensayos de laboratorio más intensa incluyendo análisis triaxiales.

Para monitoreo del deslizamiento de Quilloac se recomienda el escaneo desde tierra ya que podría proporcionar mejores resultados del movimiento horizontal del deslizamiento, como por ejemplo LIDAR o Escáner laser.

Se recomienda aplicar planes de monitoreo de mayor precisión y tecnología, que puedan funcionar conjuntamente con los deslizamientos vecinos, como: el deslizamiento de la ciudad de Cañar y el deslizamiento de Cachi para lograr modelos más refinados de caracterización, estabilidad y amenazas. Se puede considerar monitoreo con nuevas técnicas, por ejemplo con metodología ALS (Escáner Láser Aéreo), TLS (Escáner Láser Terrestre), SAR (Radar de Apertura Sintética) satelital que su procesamiento genera modelos digitales del terreno de mejor escala y precisión.



## REFERENCIAS

- Barrantes, G., Barrantes, O., and Nuñez, O., 2011, Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica: Revista Geográfica de America Central, v. 47, p. 141 - 162.
- Cruden, D. M., 1991, A simple definition of a Landslide Bullentin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27-29.
- Erazo, M. T., 1993, Estudio Geológico de la ciudad de Cañar.
- Fukue, and Samouëlian, 2005.
- Geertsema, M., Clague, J., J, Schwab, J. W., and Evans, S. G., 2006, An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada.
- GEORISK, 2010, INVENTARIO Y PLANES DE MITIGACIÓN DE FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE TERRENOS EN LOS CANTONES CAÑAR, SUSCALY EL TAMBO DE LA PROVINCIA DEL CAÑAR.
- Gonzalez de Vallejo, L., 2002, Ingeniería Geológica.
- Gutiérrez, N. C., 2013, Espacios para salvaguardar vidas, HSEC: Chile.
- IGJEPN- Wolf, Y., 2000.
- IGME, 1986, Manual de Taludes, Geotécnia: España.
- NEC, 2011, Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Pizarro, R., Pizarro, J. P., Sangüesa, C., and Martínez, E., (2003), Curvas Intensidad Duración Frecuencia. Sociendad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA.
- PRECUPA, 1998, Prevención de Desestras Naturales en la Cuenca del Paute.
- Suárez, J., 2009, Deslizamientos. Análisis Geotécnico, 588 p.:
- Tarback, E. J., and Lutgens, F. K., Ciencias de la Tierra - Una Introducción a la Geología Física. .
- USGS, 2004, Landslide types and processes, v. Fact Sheet 2004-3072.



Varnes, D. J., 1978, Slope moments types and processes: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, v. 176, p. 11-33.



## ANEXO 1 Mapa de ubicación provincial

# Mapa de ubicación provincial

**“Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac”**

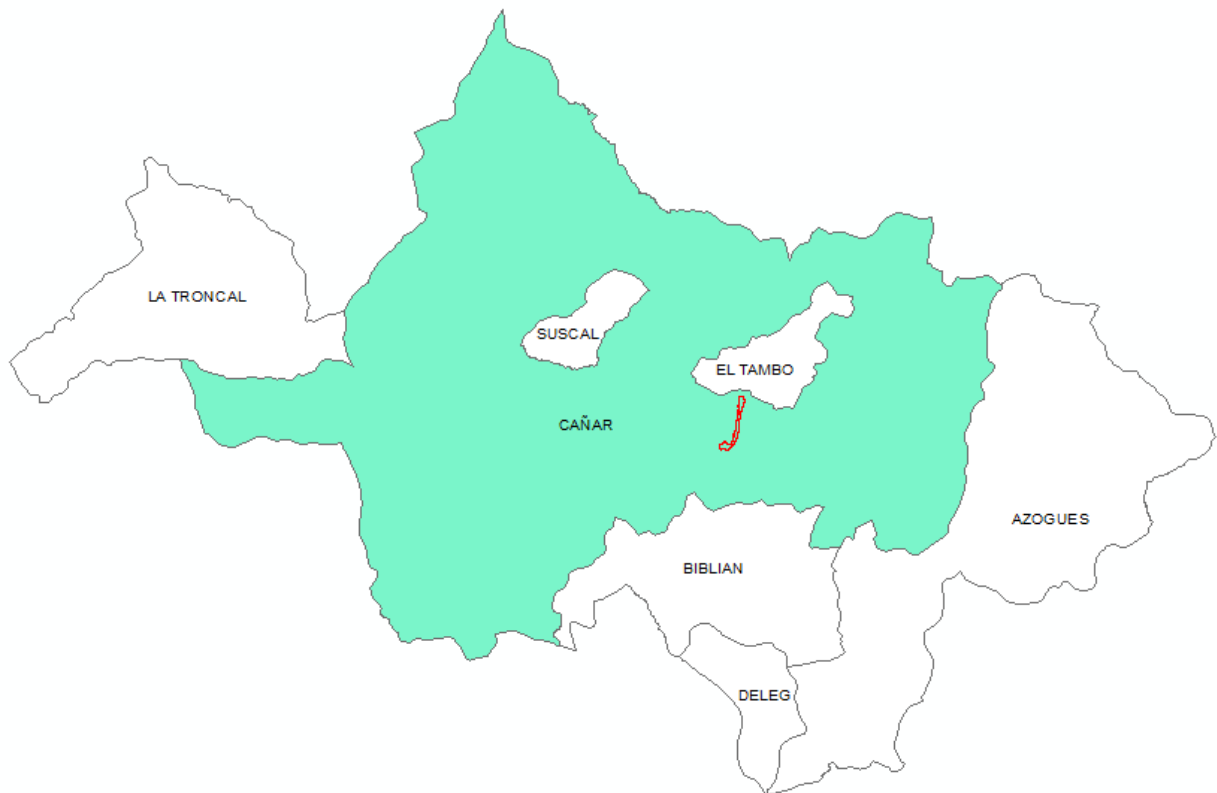




## ANEXO 2 Mapa de ubicación cantonal

# Mapa de ubicación cantonal

**“Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac”**



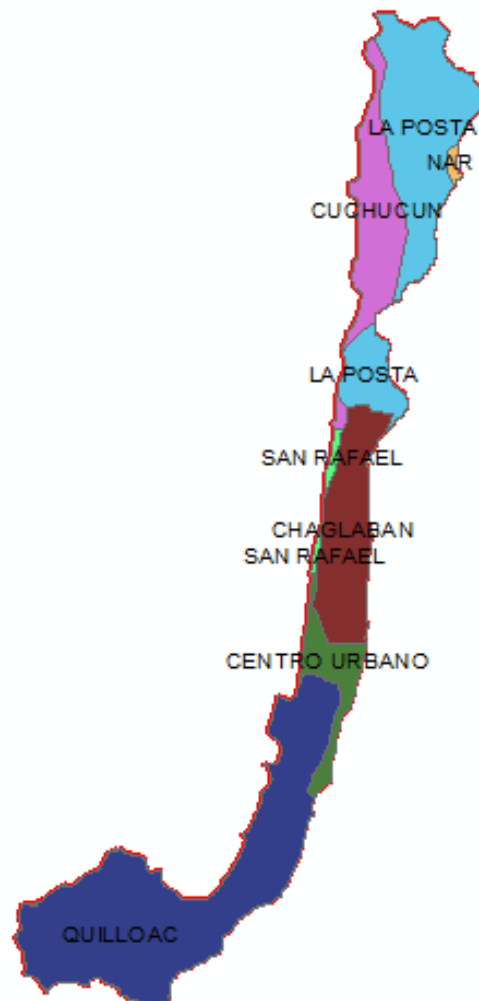




## ANEXO 3 Mapa de ubicación parroquial

# Mapa de ubicación parroquial

**“Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac”**





## ANEXO 4 Mapa de delimitación

# Mapa de delimitación

**“Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac”**

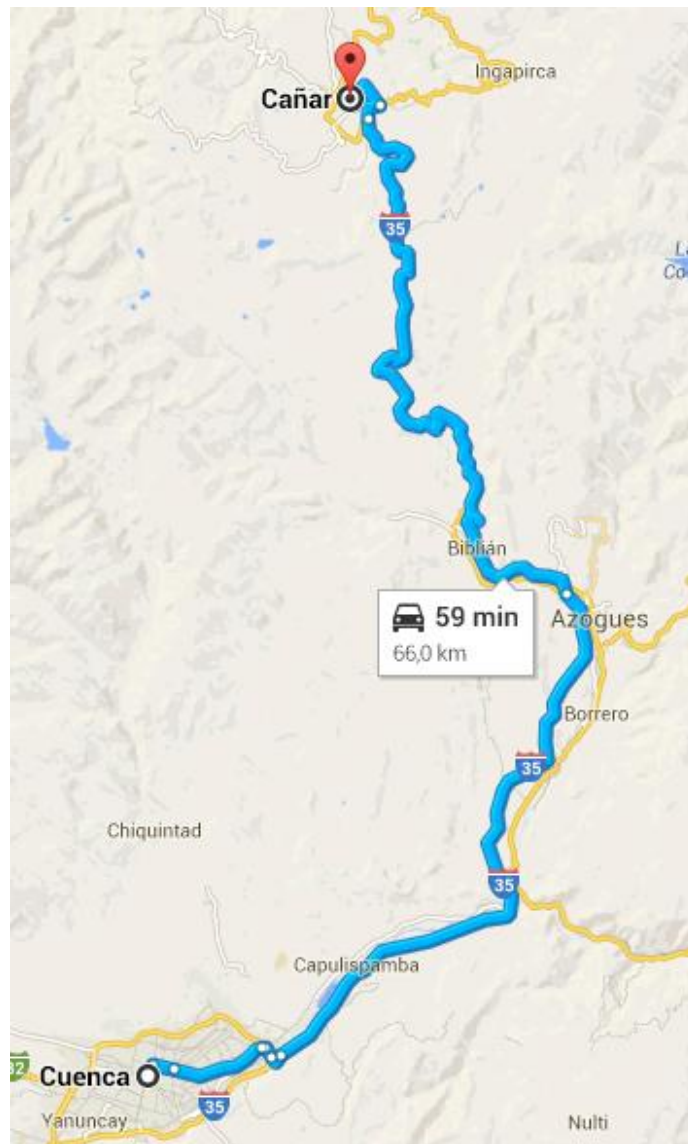




## ANEXO 5 Mapa de acceso

# Mapa de acceso

**“Proyecto geotécnico e hidrológico para la estabilización e identificación de medidas de mitigación en la zona del deslizamiento de Quilloac”**





## ANEXO 6 Mapa geológico

# Mapa geológico



## ANEXO 7 Monografía de calicatas

# Monografía de calicatas



## ANEXO 8 Ensayos de Laboratorio. Clasificaciones.

# Ensayos de laboratorio. Clasificaciones.



## **ANEXO 9 Ensayos de Laboratorio. Compresiones simples.**

# Ensayos de laboratorio. Compresiones simples.



## **ANEXO 10 Ensayos de Laboratorio. Cortes Directos.**

# Ensayos de laboratorio. Cortes directos.





## ANEXO 11 Monitoreo de hitos.

# Monitoreo de hitos.



**ANEXO 12 Planta de ubicación de exploraciones.**

# Planta de ubicación de exploraciones.



## ANEXO 13 Modelos de estabilidad. Perfil Superior.

# Modelos de estabilidad. Perfil superior.



## **ANEXO 14 Modelos de estabilidad. Perfil intermedio.**

# Modelo de estabilidad. Perfil intermedio.



**ANEXO 15 Modelos de estabilidad. Perfil inferior.**

# Modelo de estabilidad. Perfil inferior



## ANEXO 16 Mapa de amenazas provincia de Cañar.

# Mapa de amenazas provincia de Cañar.

fuelle (GEORISK, 2010)



**ANEXO 17 Mapa de pendientes de la delimitación del  
deslizamiento.**

# Mapa de pendientes de la delimitación del deslizamiento.