

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE MASA EN LA ZONA DE CACHI ALTO – CUTURIVÍ, CANTÓN PUJILÍ A TRAVÉS DEL ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA DEFORMACIÓN OCURRIDA ENTRE LOS AÑOS 2017 A 2021.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA**

**KATHERYN ESTEFANIA AREQUIPA BARRAGÁN**

[katheryn.arequipa@epn.edu.ec](mailto:katheryn.arequipa@epn.edu.ec)

**DIRECTOR: ING SANTIAGO DANIEL ANDRADE VARELA PhD.**

[daniel.andrade@epn.edu.ec](mailto:daniel.andrade@epn.edu.ec)

**Quito, diciembre 2021**

# DECLARACIÓN

Yo, KATHERYN ESTEFANIA AREQUIPA BARRAGÁN, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente

---

Katheryn Estefania Arequipa Barragán

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por KATHERYN ESTEFANIA AREQUIPA BARRAGÁN, bajo mi supervisión.

---

Daniel Andrade Varela PhD  
Director de proyecto

# AGRADECIMIENTOS

Doy gracias Dios y a la Virgen del Quinche quienes han sido mi guía y mi protección durante esta travesía llamada vida, porque bajo su bendición me permitieron llegar hasta estas instancias y concretar esta gran anhelada ilusión y deseo.

A mis amados padres Eduardo y Martha; mis palabras no bastarían para agradecerles tanto y todo lo dado, gracias por sus compañías en mis salidas de campo sin duda son los mejores ayudantes de campo que he tenido, gracias por su amor, sus consejos, su apoyo incondicional, su comprensión, su esfuerzo, su deseo de lucha y perseverancia que han realizado durante toda mi vida para que por fin llegara este momento, gracias por haber fomentado en mi deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida profesional y personal, mi admiración y respeto para ustedes dos a quienes amo con todo mi ser.

A mis hermanos Salomé, Karolyn y Marcelo; de verdad soy muy feliz de tenerlos conmigo, gracias ñañas por los momentos vividos desde que tomamos la decisión de alejarnos de nuestra tierra para cumplir con nuestros sueños, gracias Salito por ser como mi segunda madre durante toda mi vida ahora entiendo los regaños y jalones de orejas que me dabas cuando me desviaba de mi camino, gracias Karo por ayudarme a crecer interiormente, por tu sabiduría y por enseñarme a luchar por lo que quiero y defender lo que es mío, gracias Marce por llegar a formar parte de nosotros y demostrar que con superación y esfuerzo se puede lograr todo, me siento afortunada de saber que puedo contar con ustedes cuando lo necesite, los amo con todo mi ser

A la MSc. Eliana Jiménez Alvarado por la oportunidad que me dio, por la confianza y apoyo depositado con su conocimiento para llevar a cabo este trabajo de investigación. Así mismo quiero agradecer a la Dra. Carolina Bernal por su tiempo, guía y sabiduría impartida en una etapa de campo.

Quiero agradecer al proyecto Tomorrow's Cities especialmente al MSc Camilo Zapata, por su ayuda desinteresada en la consecución de mi trabajo de titulación, gracias por tus consejos, apoyo y ser guía durante las salidas de campo y reuniones.

Quiero agradecer a mi director Dr. Daniel Andrade por el conocimiento compartido, por el tiempo invertido, por su apoyo en las salidas de campo y ser guía en este trabajo de titulación.

Agradezco a MSc. Jorge Bustillos por el apoyo brindado durante las últimas etapas de campo, por la información brindada y el apoyo incondicional que me han motivado en varios aspectos académicos, así como personales.

Agradezco al Gobierno Autónomo Descentralizado de Pujilí y a los encargados del área de Gestión de Riesgos por su apoyo con la movilización durante mis etapas de campo.

Agradezco al Gobierno Autónomo de la Provincia de Cotopaxi, especialmente a la Ing. Dayana Camino y la Ing. María Padilla por el apoyo brindado en etapa de campo para el levantamiento de columnas estratigráficas.

Gracias a los docentes de la Carrera de Ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional por su apetencia de enseñar y formar excelentes profesionales al servicio del país, por su ardua pasión la cual era transmitida fomentándome aún más mi amor por la Geología.

También agradezco a mis amigos de la facultad: Eliana, Emilia, Priscila, Cristhian, Carlos, César, Eder y Stalin por todas las experiencias vividas a lo largo de la vida universitaria y por la amistad brindada durante estos años, sin ustedes no hubiese sido igual.

De igual manera quiero agradecer a Diego Silva por la ayuda prestada en la etapa final de mi trabajo de titulación.

## **DEDICATORIA**

*A mi padre, Eduardo*

*A mi madre, Martha*

*A mis hermanas, Salo y Karo.*

# INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes y Planteamiento de Problema .....	1
1.2 Justificación.....	3
1.2.1 Justificación Teórica .....	3
1.2.2 Justificación Metodológica .....	3
1.2.3 Justificación Práctica.....	4
1.3 Hipótesis4	
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Ubicación del Área de Estudio .....	5
Clima y vegetación .....	7
Hidrología.....	7
Relieve y morfología.....	8
<b>2. CONCEPTOS GENERALES .....</b>	<b>9</b>
2.1 Terminología .....	9
2.1.1 Amenaza .....	9
2.1.2 Proceso de Inestabilidad de Laderas .....	9
2.1.3 Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM) .....	10
2.1.4 Inventario de movimiento en masa.....	13
2.2 Teoría de la deformación .....	14
2.2.1 Pliegues .....	15
2.2.2 Fallas.....	15

<b>3. CONTEXTO GEOLÓGICO .....</b>	<b>17</b>
3.1 Configuración estructural .....	17
3.2 Geología Regional.....	18
Cordillera Occidental.....	19
3.3 Estratigrafía de la zona oriental de la Cordillera Occidental .....	19
3.3.1 Formación Pallatanga K <sub>Pa</sub> – Cretácico Superior (86 -75 Ma) .....	19
3.3.2 Formación Río Cala KRC – Cretácico Superior .....	20
3.3.3 Grupo Angamarca – Paleoceno - Oligoceno .....	20
3.3.4 Grupo Zumbahua Mz- Mioceno Medio a Superior .....	21
3.3.5 Depósitos volcánicos Q <sub>v</sub> - Cuaternario.....	22
3. 4 Contexto Sismológico.....	22
<b>4. CONTEXTO METODOLÓGICOS .....</b>	<b>25</b>
4.1. Diseño Metodológico .....	25
4.1.1 Investigación Preliminar.....	26
4.1.2 Topografía.....	26
4.1.3 Reconocimiento de campo litológico y estructural .....	27
Monitoreo con extensómetros laterales.....	28
Elaboración de inventario de deslizamientos .....	29
4.1.4 Análisis de los mecanismos de falla .....	29
4.1.5 Caracterización del MM de Cachi Alto.....	29
<b>5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ.....</b>	<b>30</b>
5.1.1 Resultados del estudio de Topografía. ....	30
5.1.2 Resultados del reconocimiento de campo.....	38
Regiones Morfogenéticas .....	38
Unidad de origen Denudacional (D).....	38
Unidad de Origen Estructural (S).....	39

Unidad de Origen Fluvial (F) .....	40
5.1.3 Unidad Geomorfológica .....	41
5.1.4 Entorno Litológico .....	43
Unidad Ígneas .....	44
Unidades Sedimentarias .....	48
Depósitos Cuaternarios .....	52
Depósito Superficial .....	54
5.1.5 Entorno Estructural .....	57
Estructuras de lavas andesíticas y dacíticas producto de tectonismo. ....	66
5.1.6 Mecanismos de falla .....	67
Factores Condicionantes .....	67
Factor Desencadenante.....	68
Estudios sísmicos .....	69
Análisis y resultados de la sismicidad registrada con la estación temporal .....	70
Señales de posible tilt (inclinación) .....	72
5.1.7 Caracterización de los Movimientos en Masa de Cachi Alto.....	73
Deslizamiento Rotacional .....	73
Deslizamiento Complejo .....	74
Flujo de detritos.....	77
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>80</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPITULO VII: RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>



# INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación de la zona de Cachi – Cuturiví.....	6
<b>Figura 2</b> Vía de acceso de la zona de Cachi – Cuturiví. ....	7
<b>Figura 4</b> Mapa hidrográfico del área de estudio (K. Arequipa – EPN). ....	8
<b>Figura 5</b> Caída de bloque por gravedad en roca fracturada. ....	11
<b>Figura 6</b> Caída de bloques rodando .....	11
<b>Figura 7</b> Esquema del vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976) .....	11
<b>Figura 8</b> Esquema de expansiones laterales, según Varnes (1978). ....	11
<b>Figura 9</b> Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996). ....	12
<b>Figura 10</b> Esquema de un deslizamiento rotacional mostrado los rasgos morfológicos característicos. ....	12
<b>Figura 11</b> Esquema de deslizamiento traslacional.....	13
<b>Figura 12</b> Figura 11 (a) Esquema de Reptación (b) Esquema de Solifluxión. ....	13
<b>Figura 13</b> Formato para inventario de Movimiento en Masa.....	14
<b>Figura 14</b> Clasificación de pliegue según la inclinación del plano axial .....	15
<b>Figura 15</b> Clasificación de fallas: Normal, Inversa y Transcurrente (M. Rodríguez, 2012).....	16
<b>Figura 16</b> . Mapa de la tectónica activa del Ecuador. Las líneas rojas continuas representan los segmentos de fallas mayores. Las zonas de sutura se marcan en líneas punteadas negras (Zamora and Litherland, 1993; Aspden and Litherland; Hughes and Pilatasig, 2002; Jaillard et al., 2009). La geodinámica regional se muestra en el recuadro de la equina superior izquierda (Audemard and Audemard, 2002). NAS: Sliver Norandino; Cosanga-MF: Falla Cosanga Méndez; Pujilí: Sutura del Melange Pujilí; Jubones: Falla Jubones; Toachi: Zona de cizalla Toachi; Py: Zona de Pisayambo; QFS: Sistema de fallas Quito. Q: Quito; L: Latacunga; C: Cuenca; R: Riobamba; G: Guayaquil (Alvarado et al. 2016).....	18
<b>Figura 17</b> Geología simplificada del Ecuador. (Drobe et al., 2020) .....	19
<b>Figura 18</b> Mecanismo focal obtenido por inversión de formas de onda (Global CMT), para el sismo Pujilí, Mw (Vaca, 2021).....	23
<b>Figura 19</b> Sismicidad reportada alrededor de la zona de Pujilí a partir de 1994 (IG-EPN,2021) .....	24
<b>Figura 20</b> Esquema metodológico para la investigación del movimiento en masa de Cachi Alto – Cuturiví (modificado de Suárez, 2008).....	25
<b>Figura 21</b> Ubicación de los extensómetros en la corona del deslizamiento reactivo 1) extensómetro occidental UTM 750276 - 9892427, 2) extensómetro oriental 750749 - 9892333 (Mariño, 2021). ....	30
<b>Figura 22</b> Modelo de sombras donde se observa lineamientos y zonas de falla con tendencia N-S	

cerca del área de estudio y posibles estructuras que afecten al deslizamiento- ..... 59

**Figura 23** Mapa de fallas activas y pliegues alrededor de la Zona de Cachi Alto. (IG-EPN, 2021)..... 61

**Figura 24** Estructuras morfológicas foto interpretadas en las fotografías representan un acercamiento al área de estudio en el que se observa escarpes, varias grietas radiales y transversales en el cuerpo del deslizamiento. .... 66

**Figura 25** La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días centrado en el día de cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. (Weather, 2019) ..... 68

**Figura 26** Distribución espacial de intensidades del sismo de 1962. (Castro, 2021) ..... 69

**Figura 27** Líneas de colores indican los niveles de ruido calculado en el área de estudio. (Vaca, 2021) ..... 71

**Figura 28** Localización de sismos comunes registrados en la RENSIG y la estación temporal PUJI. (Vaca, 2021) ..... 72

**Figura 29** Señal sísmica (3 componentes) de la estación temporal PUJI correspondiente al día 27 de noviembre de 2020, filtrada bajo una frecuencia de 1 Hz. La zona verde indica la duración de un tilt. (IG-EPN, 2020) ..... 73

**Figura 30** Escarpe principal del deslizamiento moderadamente activo observado al suroeste en la comunidad de Cuturiví rodeando la carretera de segundo orden. .... 74

**Figura 31** Deslizamiento traslacional activo de mediano tamaño afectando a la carretera antigua que dirigía Pujilí- Cachi Alto el cual se encuentra inmerso al deslizamiento reactivado de gran tamaño- ..... 75

**Figura 32** Deslizamiento traslacional activo de pequeño tamaño se encuentra en la parte este del deslizamiento activo de mediano. .... 78

# INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1</b> Fotografía En la izquierda se observa la afectación de una construcción tipo casa, la cual presenta fracturas y desplazamiento en su estructura. En la derecha de tracción son muy evidentes en las vías que rodean la zona del deslizamiento (UTM: 750911 - 9892520) (K. Arequipa – EPN) .....	2
<b>Fotografía 2</b> Imágenes de actividades realizadas en campo a) levantamiento de imágenes aéreas con Dron UTM 749998 - 98901129 b) Mediciones estructurales UTM 750381 – 9892543 c y e) levantamiento de columnas estratigráficas UTM 751117 – 9893521 d) toma de datos de extensómetros UTM 750270 – 9892430 f) toma de datos litológicos UTM 750827 – 9892609 (K. Arequipa). .....	28
<b>Fotografía 3</b> Deslizamiento de tamaño pequeño se observa el escarpe de color negro y la dirección del movimiento de color amarillo UTM 750993 – 9892639 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	39
<b>Fotografía 4</b> Subunidad de aluviales a lo largo del Río Patoa (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	40
<b>Fotografía 5</b> Subunidad de llanuras coluviales al sur en la zona de Cuturiví UTM 7498641 - 9891994 (Foto: K. Arequipa-EPN).....	41
<b>Fotografía 6</b> Pie de monte foto tomada en UTM 752177 – 9892154, desde la vía que dirige Cachi Alto – Cuturiví (Foto: K. Arequipa_EPN). .....	42
<b>Fotografía 7</b> Colina moderadamente ondulada foto tomada en UTM 753005 - 9892468, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	42
<b>Fotografía 8</b> Loma moderadamente alargada foto tomada en UTM 752447 - 9892519, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	43
<b>Fotografía 9</b> Ladera moderadamente escarpadas foto tomada en UTM 751264 - 9892821, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	43
<b>Fotografía 10</b> : Andesita basáltica con textura subporfírica con presencia de minerales como plagioclasa, piroxenos. (Foto: K. Arequipa-EPN).....	44
<b>Fotografía 11</b> Afloramiento donde se observa en la parte basal subrayada con color naranja la unidad de Lavas andesíticas subyaciendo el aluvial y capas centimétricas de Cangahua, UTM 750977 – 9893561 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	45
<b>Fotografía 12</b> Andesítica con presencia de sílice granular indicada en el círculo de color rojo (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	46
<b>Fotografía 13</b> Afloramiento de andesitas basálticas al sur de la comunidad de Cuturiví Grande, UTM 749784 – 9891966 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	47
<b>Fotografía 14</b> Andesita basáltica con presencia de piroxenos (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	47
<b>Fotografía 15</b> Dacita porfírica, que se interpreta como una ventana erosional en el flanco norte del Cerro Punteras, UTM 751908 – 9893073 (Foto: K. Arequipa-EPN).....	48
<b>Fotografía 16</b> Brecha conglomerática, círculo rojo indican los clastos volcánicos andesíticos y dacíticos. (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	49
<b>Fotografía 17</b> Arenisca tobácea de la zona norte de Cachi Bajo (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	50
<b>Fotografía 18</b> Arenisca alterada de la zona SE del deslizamiento moderadamente activo, UTM 750827	

– 9892609 (Foto K. Arequipa-EPN). .....	50
<b>Fotografía 19</b> Lutita Silicificada con partes molidas al margen del río Patoa, UTM 750962 - 9893596. (Foto: K. Arequipa-EPN).....	51
<b>Fotografía 20</b> Afloramiento de lutita al NE de Cuturiví, UTM 750620 – 9892045 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	52
<b>Fotografía 21</b> Afloramiento de lutita al NE de Cuturiví, UTM 750105 – 9892078 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	52
<b>Fotografía 22</b> Capa de Cangahua con lapilli subyaciendo aluviales aguas arriba del Río Patoa. UTM 7517899 – 9893225 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	53
<b>Fotografía 23</b> Capa potente de Cangahua con intercalación de laminación centimétrica de lapilli, toba y pómez a) aguas abajo del Río Patoa margen derecho, UTM 752080 - 9892903. b) escarpe principal del deslizamiento de gran tamaño, UTM 750381 – 9892543 (Foto: K. Arequipa – EPN). .....	53
<b>Fotografía 24</b> Coluvial en la zona sur de la comunidad de Cuturiví, UTM 750066 - 9891636. (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	54
<b>Fotografía 25</b> Coluvial asociado al deslizamiento Reactivado, UTM 751159 – 9893304 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	55
<b>Fotografía 26</b> a) agrietamiento en la carretera antigua Pujilí - Cachi Alto UTM 750944 - 9892559 b) Agrietamiento que se forma por el desplazamiento del deslizamiento reactivo con dirección NE-SW. UTM 750929 – 9892542 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	55
<b>Fotografía 27</b> Material caótico del coluvial reciente UTM 750868-9892667 (Foto: K. Arequipa-EPN). ..	56
<b>Fotografía 28</b> Aluvial margen del Rio Patoa a) clastos de menor tamaño centimétricos, UTM 751313 - 9893417 b) clastos de mayor tamaño centimétrico, UTM 751117 – 9893521 ( Foto: K. Arequipa-EPN). .....	57
<b>Fotografía 29</b> Fragmentos de rocas subangulosas y subredondeados de tamaño métrico a centimétrico de composición volcánica UTM 751006 – 9893553 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	57
<b>Fotografía 30</b> Líneas negras continuas indican zonas de fallas con tendencia NS, líneas discontinuas de color tomate indican lineamientos NS, figuras de color café indican antiguas zonas de deslizamientos posiblemente asociadas al movimiento de fallas aledañas (Foto: K. Arequipa-EPN) ....	60
<b>Fotografía 31</b> En la corona del deslizamiento Cachi se observan estructuras marcadas de color negro UTM 759674 - 9892450 (Foto: K. Arequipa - EPN).. .....	62
<b>Fotografía 32</b> a) b) Lutita con deformación y fracturación presenta una falla que se alinea a un pequeño drenaje UTM 750105 – 9892078 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	63
<b>Fotografía 33</b> Lutitas que presentan deformación y fracturación en la parte superior se observan escarpes con dirección NE-SW UTM 750197 – 9892125 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	63
<b>Fotografía 34</b> Estructura morfológica – fallamiento activo afectando a la Cangahua UTM 750381 – 9892543 (Foto:K. Arequipa-EPN) .....	64
<b>Fotografía 35</b> Estructura morfológica en la vía antigua de Pujilí - Cachi Alto. El trazo de color negro representa el contraescarpe, las líneas discontinuas de color azul representan las grietas transversales.	

UTM 750929 – 9892517 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	65
<b>Fotografía 36</b> Estructura morfológica en la vía antigua de Pujilí - Cachi Alto. El trazo de color negro representa un escarpe, las líneas discontinuas de color tomate representa el escarpe del deslizamiento reactivado a) Foto tomada el 01 de febrero de 2021 b) Foto tomada el 12 de julio de 2021 (Foto: K. Arequipa-EPN) .....	65
<b>Fotografía 37</b> a) Estructura de lava andesítica, UTM 751143 – 9893279 b) Estructura de lava dacítica, UTM 751908 – 9893073 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	67
<b>Fotografía 38</b> Equipo instalado en el sitio de Cachi Alto. UTM 751043 – 9892259 (Vaca, 2021).....	70
<b>Fotografía 39</b> Estrías provocadas por el desplazamiento de terreno con orientación NE SW, UTM 750929 – 9892517 (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	76
<b>Fotografía 40</b> Grietas formadas en la carretera vía antigua Pujilí - Cachi Alto. UTM 750942 – 9892535 (Foto: K. Arequipa-EPN).....	76
<b>Fotografía 41</b> Presencia de vertientes de agua a lo largo del cuerpo del deslizamiento activo de mediano tamaño marcados de color azul (Foto: K. Arequipa-EPN). .....	77
<b>Fotografía 42</b> Deslizamiento pequeño activo las flechas amarillas indican la dirección del movimiento del coluvial, las líneas tomates indican las grietas transversales que indican el movimiento constante del deslizamiento, (Foto: K. Arequipa – EPN).....	79

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tabla de velocidad donde muestra los desplazamientos de los deslizamientos desde el año 2019 al 2021 en 10 puntos de control .....	31
<b>Tabla 2</b> Desplazamiento de extensómetro Occidental .....	31
<b>Tabla 3</b> Desplazamiento del extensómetro Oriental .....	31
<b>Tabla 4</b> Tabla de área de los movimientos en masa .....	32
<b>Tabla 5</b> Clasificación según Cruden y Varnes (1996 ) .....	37

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Vector AB. ....	26
<b>Ecuación 2</b> Distancia entre dos puntos. ....	26
<b>Ecuación 3</b> Ángulo de la dirección. ....	27
<b>Ecuación 4</b> Ecuación de desplazamiento unitario ....	29

## RESUMEN

El Movimiento en Masa en estudio es uno de los tantos que se encuentra ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, específicamente en la comunidad de Cachi Alto – Cuturiví pertenecientes al cantón Pujilí, dicha zona está dominada por un relieve montañoso, escarpado muy accidentado. En esta investigación se utilizó técnicas de fotointerpretación, modelo geodésico con el propósito de determinar las diferentes características morfológicas, geológicas y estructurales, además, determinar desplazamientos, velocidades y áreas para poder distinguir cambios abruptos en el movimiento en masa a través de la comparación de las imágenes levantadas entre los años 2017 a 2021.

Los resultados indican que los puntos de control ubicado en toda la zona de los deslizamientos presentan un movimiento con dirección NE–SW, siendo el mínimo de 0,08 m/mes correspondiente a un punto de control (PC2) el cual se encuentra ubicado en una casa dentro del deslizamiento denominado como reactivado, mismo que tiene un área de 142.30 km<sup>2</sup> por lo que se le clasificó de gran tamaño y una velocidad máxima de 3,27 m/mes para un punto de control (PC5) correspondiente a la carretera antigua que dirigía Pujilí – Cachi Alto ubicado en el deslizamiento activo que tiene un área de 2,53 km<sup>2</sup> por lo que se clasificó de tamaño mediano.

Geológicamente, la zona de estudio está caracterizada por lavas de composición andesita-basáltica, por rocas volcanoclásticas y volcanosedimentarias, brechas conglomeráticas, areniscas tobáceas, limolitas tobáceas, lutitas y andesitas. La parte expuesta comprende una potente capa de ceniza volcánica con fragmentos de lapilli la cual conforma un extenso depósito de Cangahua, aluviales y coluviales los cuales están relacionados con los deslizamientos en estudio.

Estructuralmente no se ha identificado ninguna falla tectónica que afecte al área de estudio. La estación sísmica temporal instalada en el área de estudio arrojó resultados de las vibraciones inducidas al suelo, de un total de 57 eventos registrados 48 se registraron como vibraciones pequeñas, por lo que no se asocia a fallas tectónicas.

En cuanto a los procesos geodinámicos externos, existen 3 deslizamientos: deslizamiento rotacional de un deslizamiento reactivado de gran tamaño; deslizamiento complejo de tamaño mediano y un flujo de detritos de tamaño pequeña los cuales en la actualidad se encuentran activos e inmersos en el cuerpo del deslizamiento antiguo.

En el resultado de geoformas, existen escarpes en zonas de contrapendiente al sureste del área de estudio con dirección NE-SW y NW-SE asociados al deslizamiento reactivado, escarpes con dirección E-W que se junta con el deslizamiento reactivado, escarpes discontinuos de dirección NE-SW y N-S, el análisis de grietas con dirección similar y otras con dirección E-W. Al suroeste se observa la ocurrencia de bloques de cangahua buzando en contra pendiente y una posible falla NE-SW, sugieren el basculamiento de varios bloques limitados por fallas. Se observó estructuras lineales con orientación EW y una suave inclinación al SE afectando a las rocas sedimentarias clasificadas como lutitas las cuales presentan un rumbo 255° y un buzamiento de 30°.



# Abstract

The Landslides in this case study is one of many that is located on the eastern flank of the Cordillera Occidental, specifically in the community of Cachi Alto – Cuturiví of the Pujilí city, this area is dominated by a mountainous relief, steep very rugged. In this research, photointerpretation techniques were used, geodetic model with the purpose of determining the different morphological, geological and structural characteristics, in addition, determine displacements, velocities and areas to be able to distinguish abrupt changes in mass movement through the comparison of images taken between the years 2017 to 2021.. The results indicate that the control points located throughout the area of the landslides present a movement with NE-SW direction, being the minimum of 0.08 m/month corresponding to a control point (PC2) which is located in a house within the landslide called reactivated, which has an area of 142.30 km<sup>2</sup> so it was classified as large and with a maximum speed of 3.27 m/month for a control point (PC5) corresponding to the old road of Pujilí – Cachi Alto located in the active landslide that has an area of 2.53 km<sup>2</sup> so it was classified as medium size.

Geologically, the study area is characterized by lavas of andesite-basaltic composition, by volcanoclastic and volcano sedimentary rocks, conglomeratic brethes, tobaceous sandstones, tobaceous limolites, shales and andesites. The exposed part comprises a powerful layer of volcanic ash with fragments of lapilli which forms an extensive deposit of Cangahua, alluvial and colluvial which are related to the landslides under study.

Structurally, no tectonic fault has been identified that affects the study area. The temporary seismic station installed in the study area yielded results of ground-induced vibrations, out of a total of 57 recorded events 48 were recorded as small vibrations, so they are not associated with tectonic faults.

Regarding external geodynamic processes, there are 3 landslides: rotational landslide of a large reactivated landslide; Medium-sized complex landslide and a small-sized debris flow which are currently active and immersed in the body of the old landslide.

In the results of geofoms, there are escarpments in areas of the counter slope to the southeast of the study area with NE-SW and NW-SE directions associated with the reactivated landslide, scarps with an EW direction that joins with the reactivated landslide, discontinuous escarpments with a NE -SW direction. and NS, the analysis of cracks with similar direction and others with EW direction. To the southwest, the occurrence of Cangahua blocks dipping against the slope and a possible NE-SW fault are observed, suggesting the tilting of several blocks limited by faults. Linear structures with an EW orientation and a little inclination to the SE were observed affecting sedimentary rocks classified as shales which present a bearing of 255 ° and a dip of 30 °.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes y Planteamiento de Problema

Las comunidades de Cachi Alto y Cuturiví se encuentran ubicadas en la región centro-norte del Ecuador, pertenece políticamente al cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, aproximadamente a 7km al suroeste del centro de la ciudad de Pujilí y 115 km de distancia de la ciudad de Quito.

Históricamente la denominación de Cachi Alto se debe a la existencia de una vertiente de agua salada cuyo nombre en kichwa es “Cachi Yacu” que significa agua salada, la misma que está ubicada en la parte baja de lo que hoy se denomina Cachi Alto existiendo también otro sitio denominado como Cachi Bajo (Tibán, 2004).

La zona de estudio se encuentra dominada por un relieve montañoso, escarpado muy accidentado típico de las zonas pertenecientes al flanco oriental de la Cordillera Occidental, caracterizada por la presencia de terrenos alóctonos, incluyendo fragmentos ofiolíticos – oceánicos, que fueron acrecionados al margen Sudamericano durante el Cretácico Tardío y el Terciario Temprano (Egüez, 1986).

Cada terreno compuesto de un basamento máfico oceánico, cubierto por rocas sedimentarias pre, syn y post acrecionarias cuya edad varía entre el Cretácico y el Terciario (Vallejo & Winkler, 2009), también están formados por depósitos volcánicos como depósitos de tobas, cenizas, flujos piroclásticos, lahares y lavas del Cuaternario (Hall & Mothes, 1994), estructuralmente están atravesados por dos fallas geológicas que son parte del Sistema de Fallas Pallatanga-Pujilí-Calacalí (McCourt et al., 1997).

La zona presenta un principal drenaje, el río Patoa que fluye de W-E, que recoge las aguas de las pequeñas quebradas con orientación N-S en la mayoría de los casos, sin embargo, hacia el sur de la zona de estudio existen dos quebradas con un rumbo aproximado E-W hasta su confluencia con el río Pujilí y el río Isinche que desembocan en el río Cutuchi, afluente de la cuenca hidrográfica del río Pastaza.

La comunidad de Cachi y sus alrededores han sido el escenario de la ocurrencia de eventos sísmicos que se han registrado desde la década de los 60 – 70; los más importantes son una serie de sismos entre el 11 y 16 de noviembre de 1962, provocando grandes asentamientos de tierra en la comunidad Cuturiví, casas semidestruidas en Cusubamba y amplias grietas en la zona superficial a lo largo de los deslizamientos activos con varios espesores que van desde 15cm hasta 1 metro de separación y deslizamientos en las faldas de los cerros de Casahuala, Cuturiví y Conchacapac. (Arguello, 1996).

En este contexto geológico dinámico, el objetivo de la investigación es caracterizar el gran movimiento de masa activo clasificado como tipo rotacional y de flujo que tiene una extensión de

25 km<sup>2</sup> ubicados en la zona de Cachi Alto. Este movimiento de masa está afectando a los asentamientos poblacionales de la comunidad de Cachi Alto, Cachi Bajo y Cuturiví y a su vez podría provocar impactos secundarios como el daño en la represa de agua para regadío (Proyecto San Juan) en etapa de construcción final por parte del Gobierno Provincial de Cotopaxi y que se encuentra ubicado en el curso del río Patoa aguas abajo de pie del movimiento en masa, afectando vías de segundo orden, casas aledañas al deslizamiento y el cultivo de productos en la zona, medio de sustento de las familias que habitan en el lugar. (Fotografía 1).

La litología de la zona está caracterizada por varios productos volcánicos como depósitos de tobas, flujos, lahares, cenizas, depósitos coluviales y rocas volcánicas de composición andesítico-basáltica (Burga, 2019) y la dinámica de la ocurrencia de las subsidencias requieren ser evaluadas y profundizadas a través de estudios geológicos que permitan la medición de desplazamientos y velocidades dentro del movimiento en masa en un periodo de tiempo, en este caso entre el 2017 a 2021 ya que en estos años inició o se activaron los movimientos en masa. Las evaluaciones y estudios realizados en este proyecto constituirán una herramienta de planificación para el gobierno local, la cual complementa también los estudios técnicos ya realizados en la zona por parte de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (FIGEMPA) de la Universidad Central.



**Fotografía 1** Fotografía En la izquierda se observa la afectación de una construcción tipo casa, la cual presenta fracturas y desplazamiento en su estructura. En la derecha de tracción son muy evidentes en las vías que rodean la zona del deslizamiento (UTM: 750911 - 9892520) (K. Arequipa – EPN)

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación Teórica**

La Ingeniería Geológica tiene entre sus principales objetivos entender la evolución, de los riesgos geológicos para su prevención y mitigación. La zona de estudio y en general la región interandina están sometidas a procesos geodinámicos que han modificado la superficie terrestre con movimientos de masa de distintas características, magnitudes y velocidades. Varios factores pueden producir movimientos de masa asociados al carácter dinámico del medio geológico, la evolución natural del relieve, aspectos climáticos, eventos sísmicos, gravedad, meteorización, filtración de agua o bien actividades antrópicas como el cultivo, deforestación o construcciones civiles han causado en la mayoría muchas víctimas y grandes pérdidas económicas (Abad, 2006).

Las parroquias de Cachi Alto y Cuturiví han llegado a ser afectadas por continuos movimientos de masa desde los años 70 hasta la actualidad lo cual ha ocasionado un cambio drástico en la morfología de la zona y daños considerables a la infraestructura civil, impactos en las actividades agrícolas y económicas lo cual genera la aparición de nuevas amenazas.

Los estudios geológicos con uso de dron en el movimiento en masa ayudarán a determinar las deformaciones e identificar la inestabilidad dentro de éste, así también cambios en la morfología. Estos datos complementaran los aspectos geológicos y estructurales levantados a través del trabajo de campo para una comprensión integral de las causas de disparo y su comportamiento futuro.

### **1.2.2 Justificación Metodológica**

Trabajos previos sobre la caracterización geológica como el de Burga (2019) describe en forma general el área de Cachi Alto. Sin embargo, no existe un trabajo más preciso acerca de la caracterización geológica tanto de la zona de Cachi Alto, Cachi Bajo y de Cuturiví en donde se encuentra asentada la mayor parte de la comunidad. La información bibliográfica previa será la base de este estudio, así como también imágenes realizadas con el dron ya que ayudará a levantar datos geológicos en zonas donde se observan marcas de inestabilidad y con la cual se podrá iniciar esta investigación.

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT) comúnmente conocido como dron de uso civil es una aeronave a propulsión, no tripulada y reutilizable que opera mediante control a distancia y autónomamente (Addati & Pérez, 2014), es un aparato de alta tecnología y que tiene un gran potencial en áreas muy diversas ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes o capturando otro tipo de datos gracias a los dispositivos que puede transportar (cámara, sensores) sin ocasionar riesgo para las personas (Gonzales et al., 2019).

El uso del equipo de dron permitirá caracterizar las estructuras del deslizamiento, zonas de nuevos agrietamientos y todas las partes del movimiento en masa ya que proporcionará datos morfológicos, determinar desplazamientos, velocidades y áreas para poder distinguir cambios abruptos en el movimiento en masa a través de la comparación de las imágenes levantadas entre los años 2017 a 2021, lo que permitirá la caracterización de patrones de deformación complejos típicos de los movimientos de masa. La cuantificación de la deformación durante meses anteriores y meses posteriores al mayor deslizamiento de tierra moderno en la zona de Cachi Alto – Cuturiví, Pujilí, con el uso del dron permitirá una comprensión de la geodinámica de la zona al correlacionarse con levantamiento de datos estratigráficos y estructurales en la zona de estudio, así como el análisis de la información técnica ya disponible de investigaciones anteriores.

### **1.2.3 Justificación Práctica**

Bajo el convenio existente entre el Municipio de Pujilí y la Prefectura de Cotopaxi conjuntamente con la Escuela Politécnica Nacional y con el propósito de mejorar la calidad de vida de los habitantes que se hallan en áreas donde existen los deslizamientos, se realizan trabajos de socialización, mitigación y conocimiento ante el peligro en el que se encuentran las comunidades de Cachi Alto, Cachi Bajo y Cuturiví.

Este trabajo proporcionará una herramienta de planificación territorial al gobierno local que determinará el área total de afectación y las zonas con mayores desplazamientos y velocidades, lo que permitirá planificar actividades de reubicación de las familias en situación vulnerable para prevenir la pérdida de vidas y reducir impactos económicos.

## **1.3 Hipótesis**

La dinámica de deformación del movimiento de masa en la zona de Cachi Alto – Cuturiví puede ser estudiada, cuantificada a través de la interrelación del estudio geomorfológico y estructural con el uso del dron.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Caracterizar el movimiento de masa de la zona de Cachi Alto en el cantón Pujilí a través del estudio de los cambios geomorfológicos ocurridos entre los años 2017 a 2021.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la cartografía morfológica y una evaluación previa de los movimientos de masa de la zona de Cachi Alto a través del uso de imágenes temporales de dron e imágenes de dron de

los años 2017 a 2021.

- Realizar el levantamiento litoestratigráfico para analizar las características geológicas asociadas al proceso de deformación en la zona de Cachi Alto y zona sur correspondiente a Cuturiví.
- Realizar el mapa estructural de la zona de estudio asociada al proceso de deformación de la zona de Cachi Alto y de la Zona sur correspondientes a Cuturiví
- Proponer un modelo geodinámico que permita caracterizar el movimiento de masa, analizar las causas de las deformaciones y su comportamiento futuro

## **1.5 Alcance**

En el proceso de investigación se realizó la caracterización del gran movimiento en masa, las características litológicas como estructurales ubicadas en la comunicad de Cachi Alto. Cuturiví en el cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi.

Todas las muestras recolectadas en campo fueron sometidas a un análisis petrográfico macroscópico. Los análisis petrográficos consistieron principalmente en la toma de datos como: tipo de roca, color, textura, estructura, porcentaje de cristales o clastos, porcentaje de matriz, grado de meteorización, alteración, minerales presentes principales, accesorios y secundarios.

Se realizó un mapa litológico-estructural a escala 1:15000 junto a una columna estratigráfica la cual tiene una relación con las unidades litológicas del área de estudio. Un mapa de los movimientos en masa y un mapa de pendientes a escala 1:3600 y 1:5000 respectivamente para identificar las zonas con mayor pendiente y definir el impacto de la morfología de la zona en los deslizamientos.

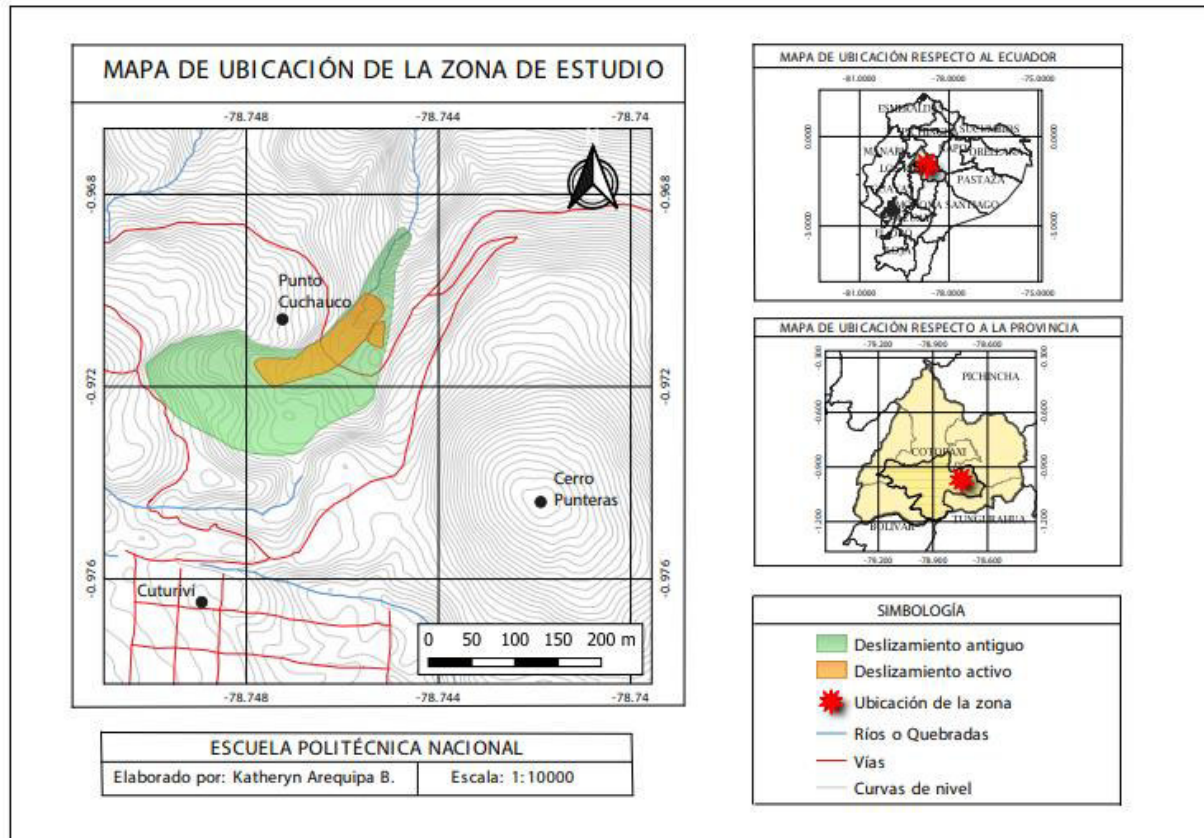
Se elaboró un mapa de nivel de riesgo-exposición con el cual se pudo establecer las zonas seguras de asentamiento para contribuir a que el Municipio de Pujilí pueda tomar acciones para salvaguardar el bienestar de la población que se encuentra expuesta, lo que a futuro servirá para generar una mejor planificación territorial.

## **1.6 Ubicación del Área de Estudio**

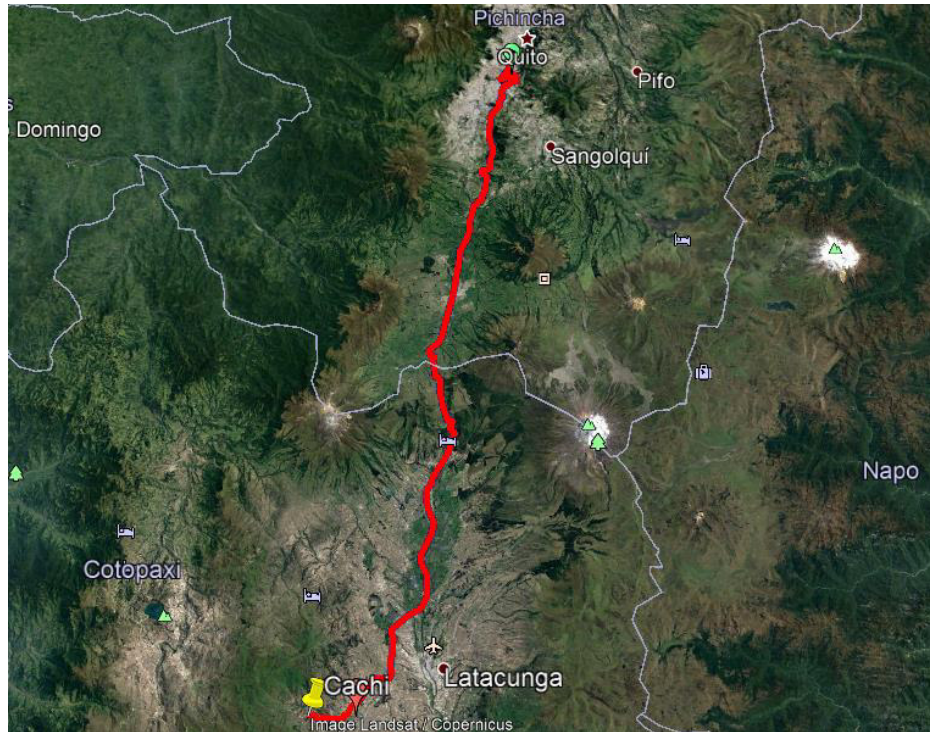
La comunidad de Cachi Alto pertenece a la organización de segundo grado “Jatun Cabildo” de la parroquia matriz de Pujilí en la Provincia de Cotopaxi, filial al Movimiento Indígena y Campesino de Cotopaxi MIIC (Tibán, 2004), situada en el centro-norte del Ecuador aproximadamente a 7 Km al suroeste del centro de la ciudad de Pujilí (Figura 1). Esta zona en su mayoría corresponde a un área verde como los sembríos fuente de sustento de la comunidad por otra parte un aproximado de hectáreas perteneciente a las viviendas de los habitantes.

Se encuentra a 115 km de distancia de la capital del Ecuador. El ingreso para la zona de estudio

se realiza por la vía de primer orden Panamericana sur E35 que comunica a la ciudad al norte con Quito y al sur con Latacunga, Pujilí, Ambato y desde este punto se accede por una vía de segundo orden contrario a la vía Isinche que lleva al sitio de interés (Figura 2).



**Figura 1 Mapa de ubicación de la zona de Cachi – Cuturivi**



**Figura 2 Vía de acceso de la zona de Cachi – Coturiví.**

### **Clima y vegetación**

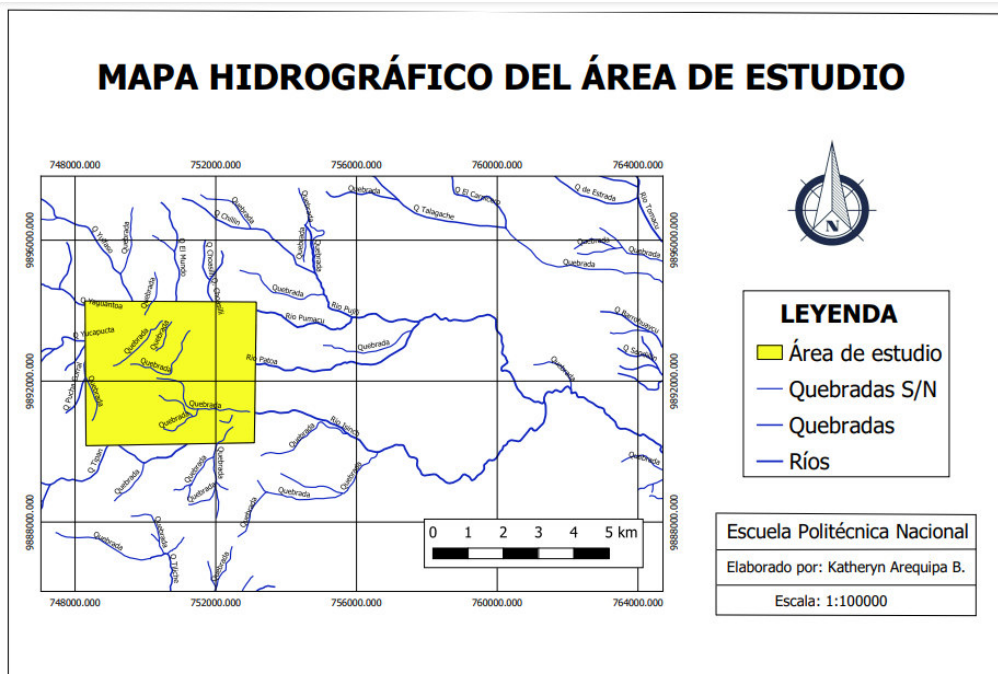
El cantón de Pujilí perteneciente a Cotopaxi se caracteriza por tener un clima ecuatorial de alta montaña es decir presenta un clima frío, páramo de alta montaña debido a su altitud, los valores máximos de tu temperatura no superan los 20° C y los mínimos 0°C por lo que su temperatura oscila entre 4° y 8°C anual.

En cuanto a la vegetación es caracterizada por la presencia de pajonales, eucaliptos, chilcas, pencas, árboles de pino, ciprés, laurel y musgos los cuales son representativos de la zona de páramos, también se encuentran plantas medicinales como manzanilla, toronjil, orégano. existen áreas pequeñas en donde se encuentran cultivos de hortalizas, legumbres, cebada.

### **Hidrología**

El área de estudio se caracteriza por varias quebradas y pequeños ojos de agua dentro del cuerpo del deslizamiento las cuales se unen con el principal drenaje el río Patoa que fluye de oeste a este hasta su confluencia y que unido con el río Pujilí y río Isinche desembocan en el río Cutuchi, afluente de la cuenca hidrográfica del río Pastaza (Figura 3).





**Figura 3 Mapa hidrográfico del área de estudio (K. Arequipa – EPN).**

### Relieve y morfología

Se encuentra ubicado en las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental, en la zona se evidencia amplias zonas de cizallamiento, fracturación, y brecha tectónica por esa razón su morfología es bastante accidentada generada por el producto de continuos deslizamientos, dominado por relieves de vertientes cóncavas en su mayoría entrelazado con relieves tipo valle y montañoso, Al sur-este del deslizamiento se halla el cerro Punteras, rasgo fisiográfico muy relevante de la zona con una altura de 3515 msnm.

## 2. CONCEPTOS GENERALES

### 2.1 Terminología

#### 2.1.1 Amenaza

Evento, fenómeno o actividad humana que puede causar daño, pérdida de vidas, impactos en la salud como heridas o lesiones, daños a la propiedad, interrupción de las actividades sociales y económicas o degradación ambiental (*Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD)*, 2004).

**Amenaza Natural:** Procesos o fenómenos naturales que tienen lugar en la biosfera que pueden resultar en un evento perjudicial y causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. (*Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD)*, 2004). Existen tres tipos de amenazas naturales: Geofísicas o geológicas (sismos, volcanismo), Hidrometeorológicas (lluvias, sequías, inundaciones) y las Geohidrometeorológicas (fenómenos de remoción en masa) Las amenazas pueden interrelacionarse, es decir, cuando un fenómeno natural se produce, este puede generar la ocurrencia de otros (Cardona, 2003).

**Amenaza Geológica:** Procesos o fenómenos naturales terrestres, que puedan causar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

La amenaza geológica incluye procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como terremotos, tsunamis, actividad de fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; así como procesos externos (exógenos) tales como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas, colapsos superficiales, licuefacción, suelos expansivos, deslizamientos marinos y subsidencias. Las amenazas geológicas pueden ser de naturaleza simple, secuencial o combinada en su origen y efectos. (*Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD)*, 2004).

#### 2.1.2 Proceso de Inestabilidad de Laderas

La inestabilidad de una ladera genera el movimiento pendiente debajo de rocas, suelos, y vegetación bajo la influencia de la gravedad. Los materiales se mueven a través de diferentes mecanismos como: caídos o derrumbes, deslizamientos y flujos. (Varnes, 1978)

Cuando la fuerza de la gravedad es mayor al esfuerzo de la roca o el suelo que forma parte de la ladera genera la rotura el material y junto a eso un cambio en el equilibrio. El material que empieza a desplazarse debido a los factores como la topografía, volumen de masa en roca, el mecanismo de rotura, la acción del agua entre otros puede tener un movimiento lento (milímetros/año a

centímetros/año) a un movimiento rápido (metros/día a metros/segundo)

El origen de un deslizamiento origina múltiples factores de susceptibilidad externos e internos, rara vez actúan solos, estos se dividen en:

**Factores condicionantes:** vienen dados por las características resistentes de las laderas y por los esfuerzos que se generan en ellas. Pueden ser litoestructurales (laderas, suelos, rocas), tectónicos (fracturas, pliegues), climáticos (pluviometría, desecación del suelo), topográficos (pendiente, desnivel) (USAID, 1993).

**Factores desencadenantes:** producen variaciones en las características de las laderas y a su vez pueden ser de tipo natural o antrópico:

- a) De tipo natural: las precipitaciones, socavación por el agua encauzada, acción hielo/deshielo, crecimiento de la cobertura vegetal, actividad sísmica (terremotos).
- b) De tipo antrópico: excavaciones por obras civiles, voladuras, sobrecargas, repoblaciones, deforestación, cambios de usos del suelo con incidencia en la infiltración y en la red de drenaje.(USAID, 1993).

### **2.1.3 Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM)**

Se considera como una amenaza natural de tipo geohidrometeorológico, referida a procesos de movilización rápida o lenta de determinado volumen de suelos, rocas o ambos en diversas proporciones, generados por acción directa de la gravedad y por una serie de varios factores (Hauser, 2000), que se pueden clasificar como condicionantes y detonantes.

La clasificación de los fenómenos de remoción en masa es muy variada ya que se hace tomando en cuenta el tipo cinemático de movimiento, tipo de material movilizado, estado de la actividad, velocidad del movimiento, etapa de desarrollo, entre otros.

**Desprendimientos o caídas (Fall):** Uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de un talud de pendiente fuerte, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. La principal causa es por la gravedad el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978) (Figura 4 y 5).

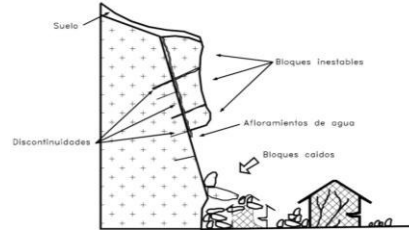


Figura 4 Caída de bloque por gravedad en roca fracturada.

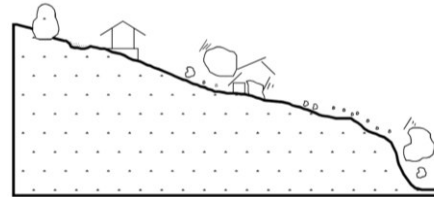


Figura 5 Caída de bloques rodando

**Vuelcos:** Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren por acción de la gravedad por empuje de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos o grietas (Varnes, 1978). (Figura 6).

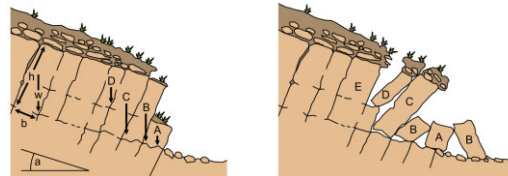


Figura 6 Esquema del vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976)

**Expansiones laterales (Lateral Spreads):** Se origina por deformación interna expansión del material y pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo. (Varnes, 1978) (Figura 7).

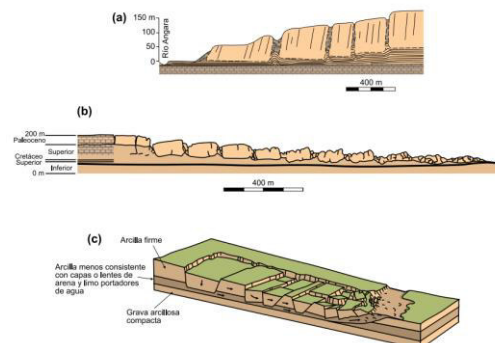


Figura 7 Esquema de expansiones laterales, según Varnes (1978).

**Flujos:** Movimientos de bloques pequeños de roca o de residuos de suelo o de tierra que se mueve sobre una superficie de falla; pueden ocurrir en presencia de agua o en seco y pueden ser rápidos o lentos. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Los flujos más comunes son los movimientos de suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de detritos (flujos de detritos) o bloques rocosos (flujos de bloques), pueden ser canalizados o no canalizados y los (Ormaza, 2017). (Figura 8).

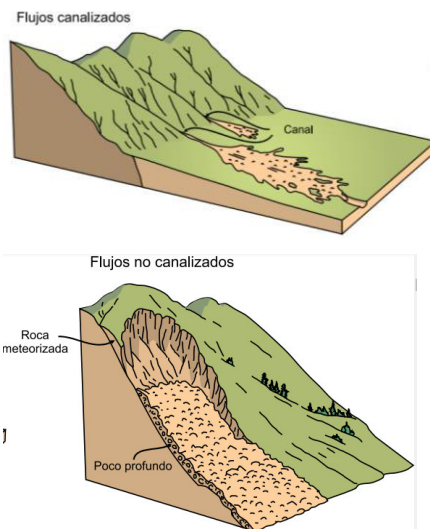


Figura 8 Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996).

**Deslizamiento rotacional:** Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, presenta una rotura que se produce a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava (Varnes, 1978) (Figura 9). Su morfología es caracterizada por un escarpe principal y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

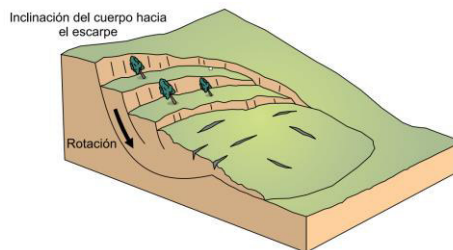


Figura 9 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrado los rasgos morfológicos característicos.

**Deslizamiento traslacional:** Son más superficiales que los rotacionales, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Ocurre frecuentemente a lo largo de discontinuidades como fallas,

diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Corominas, s. f.). Debido a las características de la superficie de rotura los deslizamientos traslacionales pueden variar desde rápidos a extremadamente rápidos. (Figura 10).

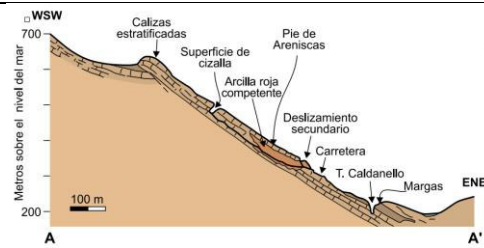


Figura 10 Esquema de deslizamiento traslacional

**Reptación:** Movimiento en masa lento o extremadamente lento donde no se distingue una superficie de falla definida. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo. Dentro de este movimiento se incluye la solifluxión y la gelifluxión, este último término reservado para ambientes periglaciales (Figura 11 b.) (Suaréz, 2009) y (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

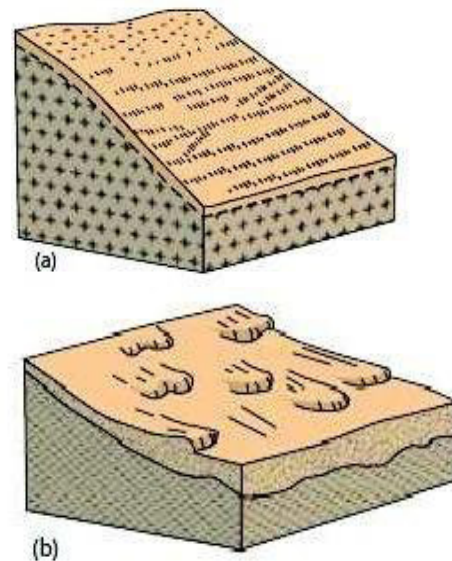


Figura 11 (a) Esquema de Reptación (b) Esquema de Solifluxión.

## 2.1.4 Inventario de movimiento en masa

Un inventario de movimientos en masa es un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área dada. Las dichas características a registrarse en el inventario dependen del interés para el cual este se encuentre en estudio. Se considera al MM como la compilación de datos básicos para localizar en el espacio y el tiempo un conjunto de movimiento en masa y sintetizar sus rasgos más característicos de acuerdo con atributos de tipo geológico, geomorfológico, geotécnico y de efectos causados. (Proyecto Multinacional Andino, 2007) (Figura 12).

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012											
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas											
DATOS DE REGISTRO											
INVENTARIADOR*	FECHA EVENTO*	FECHA REPORTE*	INSTITUCIÓN*	COD. GRUPO						IMPORTANCIA*	
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA				DOCUMENTACIÓN			FOTOGRAFÍAS AERIAS				
COORDENADAS GEOGRÁFICAS				PLANCHAS			AÑO				
REFERENTES GEOGRÁFICOS				ESCALA			EDITOR				
Departamento*				Plano de			Foto				
Municipio*				Año			Escala				
Vereda*				Editor			Año				
Proyección: Magna *				Año			Escala				
ACTUALIDAD DEL MOVIMIENTO											
EDAD		TIPO		CONDICIÓN		DESCRIPCIÓN		ESTRUCUTURA			
< 1 año <input type="checkbox"/> 1-10 años <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 11-40 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Suspenso <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Humilde <input type="checkbox"/> Inicial <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Final <input type="checkbox"/>		Retrogrado <input type="checkbox"/> Avanzado <input type="checkbox"/> Estancado <input type="checkbox"/> Confundido <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/> Móvil <input type="checkbox"/>		ESTRUCTURA Avanzado <input type="checkbox"/> Retrogrado <input type="checkbox"/> Estancado <input type="checkbox"/> Confundido <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/> Móvil <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN DR B2 2-0-0 0-0-0-0 0-0-0-0 0-0-0-0		ESPACIAMIENTO (m) 0-0-0 0-0-0 0-0-0 0-0-0	
Nota: Incluir mínimo origen de la roca (M o S) Edad, Fr, Utiología y estratigrafía, rumbo.											
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO											
TIPO		MATERIAL		TIPO		TIPO		PLANCHAS			
Caída <input type="checkbox"/> Volcanismo <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Proyección Lateral <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/> Seifens Grav. Profundas <input type="checkbox"/>		Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Volcan. de roca <input type="checkbox"/> Volcan. de cenizas <input type="checkbox"/> Volcan. de cenizas <input type="checkbox"/> Volcan. de cenizas <input type="checkbox"/> Volcan. de cenizas <input type="checkbox"/> Volcan. de cenizas <input type="checkbox"/>		Desliz. tradicional <input type="checkbox"/> Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional planar <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional <input type="checkbox"/>		Desliz. ubicación dentro <input type="checkbox"/> Desliz. ubicación roca fracturada <input type="checkbox"/> Desliz. lateral lento <input type="checkbox"/> Desliz. lateral ubicación <input type="checkbox"/> Desliz. ubicación <input type="checkbox"/> Desliz. ubicación <input type="checkbox"/>		Roca Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico <input type="checkbox"/>	
Nota: DR: Dirección de buzamiento, B2: Buzamiento											
MORFOMETRÍA											
DIFERENCIA DE ALTURA CORONA A PUNTA (m)		ANCHO DE LA MASA DESPLAZADA (m)		VOLUMEN INICIAL (m <sup>3</sup> )		REFORMACIÓN TERRENO		REPERCUSA			
LONGITUD HORIZONTAL CORONA A PUNTA (m)		ANCHO DE LA SUPERFICIE DE RUPTURA (m)		VOLUMEN DESPLAZADO (m <sup>3</sup> )		ONDULACIÓN		SEVERIDAD			
FAHRLICHUNG (grados)		LONGITUD DE LA MASA DESPLAZADA (m)		ÁREA INICIAL (Km <sup>2</sup> )		EXCAVAMIENTO		LEV			
PENDIENTE DE LADERA EN PUNTA (grados)		LONGITUD DE SUPERFICIE DE RUPTURA (m)		ÁREA TOTAL Afectada (Km <sup>2</sup> )		LEV		MEDIO			
PENDIENTE DE LADERA EN PUNTA (grados)		ESPAESOR DE LA MASA DESPLAZADA (m)		RUN UP (m)		MEDIO		SEVERA			
DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO (grados)		PROFUNDIDAD DE SUPERFICIE DE RUPTURA (m)		DISTANCIA DE VIAJE (Km)		SEVERA					
ÁNGULO DEL TALUD (grados)		LONGITUD TOTAL L (m)									
CAUSAS DEL MOVIMIENTO											
MATERIALES		CONDICIONES DE LOS MATERIALES		CONDICIONES DE LOS MATERIALES		CONDICIONES DE LOS MATERIALES		CONDICIONES DE LOS MATERIALES			
Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsable <input type="checkbox"/> Material meteo. fisicamente <input type="checkbox"/> Material meteo. químicamente <input type="checkbox"/> Material tallado por corte <input type="checkbox"/>		Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/> Orientación de fallas de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Meteoriz. por descomposición/deshielo <input type="checkbox"/> Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Uvicio (mm) 24h <input type="checkbox"/> 48h <input type="checkbox"/> 72h <input type="checkbox"/> Mes <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Avance/Retraso de glaciar <input type="checkbox"/> Remojamiento de lodo en crateres <input type="checkbox"/> Remojamiento de arenas <input type="checkbox"/>		Desmantelamiento rígido de presas <input type="checkbox"/> Resaca para del talud por glaciar <input type="checkbox"/> Excavación para del talud por corriente agua <input type="checkbox"/> Excavación para del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Excavación de mamparas de rios <input type="checkbox"/> Desbaste <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/>		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escasez de agua de riego <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Dislocación deficiente de estribos/comienzo <input type="checkbox"/> Vibración artificial (tráfico, explosiones, trazo de pilotes) <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/> Erupción Pluvial <input type="checkbox"/>		Huelcos, 1988 <input type="checkbox"/> Cadenes Varner, 1995 <input type="checkbox"/> Varner, 1978 <input type="checkbox"/> Hungar et al., 2001 <input type="checkbox"/>	
TIPO DE EROSIÓN											
SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		TIPO		ESTADO		EVALUACIÓN			
Tierras mates <input type="checkbox"/> Serros <input type="checkbox"/> Caricacas <input type="checkbox"/> Rondondas <input type="checkbox"/>		Laminar <input type="checkbox"/> Caverna <input type="checkbox"/> Tubificación <input type="checkbox"/>		Antigua <input type="checkbox"/> Reciente <input type="checkbox"/>		Baja <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Socav. fondo <input type="checkbox"/> Socav. lateral <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
COBERTURA Y USO DEL SUELO											
COBERTURA DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR		AÑO		REFERENCIAS			
Veg. herbácea <input type="checkbox"/> Cultivos <input type="checkbox"/> Bosques/árboles <input type="checkbox"/> Construcción <input type="checkbox"/> Matorrales <input type="checkbox"/> Pastos <input type="checkbox"/> Cuerpo de agua <input type="checkbox"/> Sin cobertura <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Sin uso <input type="checkbox"/>		Ganadería <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> Recreación <input type="checkbox"/> Zona arqueológica <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Zona industrial <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Sin uso <input type="checkbox"/>									
EFECTOS SECUNDARIOS											
TIPO (Código de 3 dígitos)		IMPACTOS DE LA PRESA		IMPACTOS DEL TERREMOTO		CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS			
I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/>		Longitud (m) <input type="checkbox"/> Volumen (m <sup>3</sup> ) <input type="checkbox"/> Altura (m) <input type="checkbox"/> Talud arriba (°) <input type="checkbox"/> Ancho (m) <input type="checkbox"/> Talud abajo (°) <input type="checkbox"/>		Longitud (m) <input type="checkbox"/> Área cuenca (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> Área (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> Caudal entrada <input type="checkbox"/> Volumen (m <sup>3</sup> ) <input type="checkbox"/> Caudal salida <input type="checkbox"/> Nivel agua bajo corona (m) <input type="checkbox"/> Tasa de llenado <input type="checkbox"/>		Obstrucción parcial <input type="checkbox"/> Moderadamente socavada <input type="checkbox"/> Emisión de la presa <input type="checkbox"/> Fuertemente socavada <input type="checkbox"/> Estabilización artificial <input type="checkbox"/> Parcialmente socavada <input type="checkbox"/> Ligeramente socavada <input type="checkbox"/> Fallada <input type="checkbox"/>		Tsunami <input type="checkbox"/> Hundición <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/>			
POBLACIÓN AFECTADA											
PERSONAS		DANOS		INFRAESTRUCTURA		DANOS ECONOMICOS		DANOS AMBIENTALES			
Heridos <input type="checkbox"/> Víctimas <input type="checkbox"/> Desaparecidos <input type="checkbox"/> Personas <input type="checkbox"/> Familias <input type="checkbox"/>		TIPO DAÑO <input type="checkbox"/> TIPO DAÑO <input type="checkbox"/> TIPO DAÑO <input type="checkbox"/> TIPO DAÑO <input type="checkbox"/> TIPO DAÑO <input type="checkbox"/>		TIPO <input type="checkbox"/> CANTIDAD <input type="checkbox"/> UNIDAD <input type="checkbox"/>		VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/>		VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/> VALOR DAÑO <input type="checkbox"/>			
TIPO DE DAÑO: Infraestructura, edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía férrea, torre comunicación eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, copa telefónica, galpones, tanques almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Ecuaciones: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, plantas tratamiento de agua.											
Nota: I: Infraestructura, E: Económico, A: Ambiental, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable.											
NOTAS											
APRECIACIÓN DEL RIESGO		FECHA		FOTOGRAFÍA		AÑO		OBSERVACIONES			
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO											
PLANTA					PERFIL						
FECHA					FECHA						
OBSERVACIONES					OBSERVACIONES						

Figura 12 Formato para inventario de Movimiento en Masa

Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

## 2.2 Teoría de la deformación

Las rocas que forman parte de la corteza se ven afectadas por fuerzas que pueden variar considerablemente en la forma y volumen de la roca este sometida a una comprensión, distensiones, movimientos verticales o en reposo.

La acción de los esfuerzos puede provocar plegamiento sobre las rocas produciendo una deformación dúctil, frágil, elástica o plástica. (P. Rodríguez, 2007)

### 2.2.1 Pliegues

Un pliegue es una estructura resultado de la deformación dúctil heterogénea, la cual indica como la roca sufre un cambio en su forma presentando una o varias ondulaciones.

Según su geometría pueden clasificarse sinclinal: y anticlinal. En cuanto a la inclinación del plano axial el pliegue puede ser: recto, inclinado, tumbado y en abanico. (P. Rodríguez, 2007) (Figura 13)



**Figura 13 Clasificación de pliegue según la inclinación del plano axial**

**Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007**

### 2.2.2 Fallas

Se define como una discontinuidad plana en la que se ha producido un desplazamiento considerable de dos bloques rocosos uno respecto al otro y poseen la siguiente clasificación. (M. Rodríguez, 2012) (Figura 14).

- **Falla Normal:** Se genera un desplazamiento vertical por esfuerzos distensivos cuando el bloque que está encima del plano techo baja con respecto al bloque que está abajo del plano piso.
- **Falla Inversa:** Se genera un desplazamiento vertical por esfuerzos comprensivos cuando el bloque que está encima del techo sube con respecto al bloque que está debajo del piso.
- **Falla Transcurrente:** Se genera cuando el movimiento es paralelo al rumbo de la superficie de falla y los bloques se desplazan lateralmente uno respecto al otro.



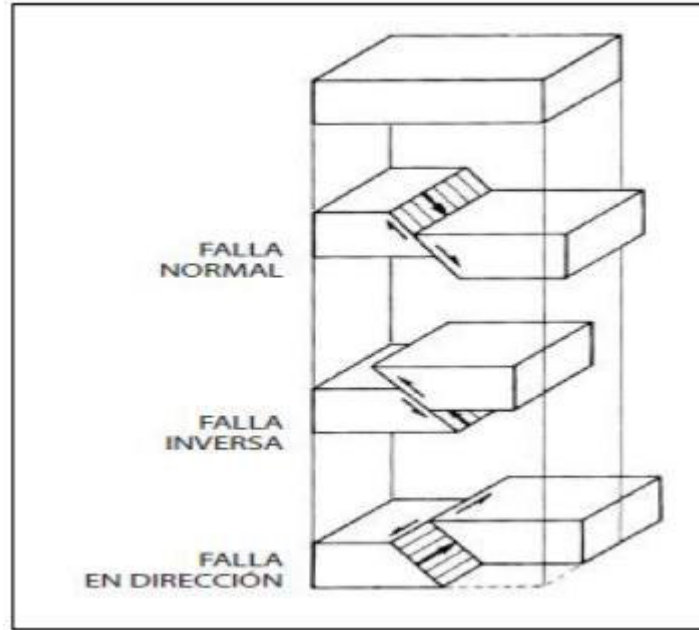


Figura 14 Clasificación de fallas: Normal, Inversa y Transcurrente (M. Rodríguez, 2012)

### 3. CONTEXTO GEOLÓGICO

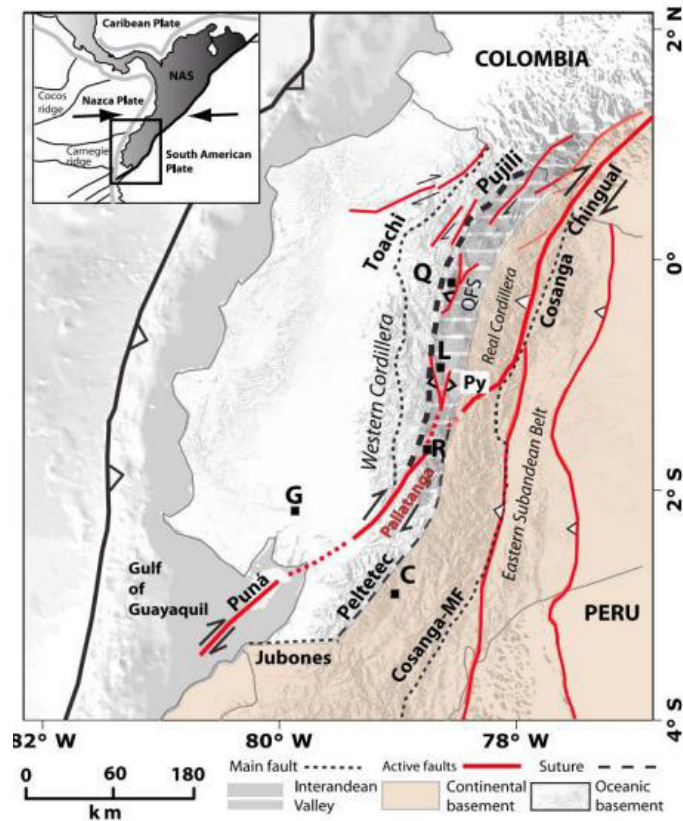
#### 3.1 Configuración estructural

La fuente de mayor extensión es el Sistema de Fallas Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP). Este sistema separa el denominado Sliver Nor-Andino que se mueve a una velocidad ~8mm/año hacia el NE respecto a la Sud-América estable (Alvarado et al., 2016). Adicionalmente otras fallas y sistemas de fallas menores (Figura 15) están acumulando esfuerzos tectónicos, los mismos que en determinado momento son liberados con la generación de terremotos, varios de los cuales son de carácter destructivo. Entre los sistemas de fallas (menores) se tiene por ejemplo al ‘Sistema de Fallas Inversas de Quito-Latacunga’ (Alvarado et al., 2016). Al interior del continente, la deformación descrita a través de mecanismos focales y tensores de deformación (Vaca et al., 2019) provenientes de los datos sísmicos y de Geodesia muestran un movimiento hacia el NE del Sliver Norandino además de compresión (acortamiento) al interior del continente (Figura 15).

Específicamente en el área de estudio ubicado en la Cordillera Occidental está atravesada por varias fallas y lineamientos estructurales los cuales tienen una tendencia general NNE aunque varía en orientación desde NE-SW y fallas transpresivas dextrales a escala kilométrica con orientación aproximadamente N-S yuxtapuesta estructuralmente por sucesiones volcánicas sedimentarias de litologías similares, pero de diferentes edades (Amórtegui et al., 2005) y otras fallas con orientación E-W como se describen a continuación: El sistema de fallas Calacalí-Pujilí- Pallatanga expone al bloque Pallatanga a lo largo del borde oriental de la Cordillera Occidental con rumbo aproximado N-S presentando movimiento dextral lo que representa parte de la sutura océano - continente del Cretácico Tardío.

El sistema está constituido por al menos tres fallas de extensiones, entre el área de Pujilí- Saquisilí, existen evidencias de quebradas que drenan hacia el este de la Unidad Pallatanga donde se evidencia turbiditas, deformación frágil en forma de vetas de cuarzo y calcita de la Unidad Yunguilla y deformaciones frágiles en las rocas de la Unidad Saquisilí (Hughes & Bermúdez, 1997). En contacto del Grupo Angamarca con la Unidad Macuchi se encuentra la Falla Pilaló – Sigchos. La falla Tambillo se encuentra ubicada en sentido paralelo hacia el W del sistema de fallas Calacalí-Pujilí-Pallatanga, esta falla se extiende desde el área de Tambillo hacia el volcán Chimborazo que se encuentra localizado sobre su extensión. Al parecer la falla Tambillo es la responsable de que la Formación Apagua en contacto concordante se encuentre cortada por Formación Unacota. La Falla Guayrapungo con movimiento dextral y rumbo N-S se encuentra al E de la zona de Guayrapungo entre la Unidad Pallatanga y la Formación Apagua, esta Formación se oculta debajo del grupo Zumbagua (Hughes & Bermúdez, 1997). Por último, las fallas con rumbo preferencial E-W se definen por los desplazamientos identificados en las formaciones Apagua y Unacota (Hughes & Bermúdez,

1997).



**Figura 15 . Mapa de la tectónica activa del Ecuador. Las líneas rojas continuas representan los segmentos de fallas mayores. Las zonas de sutura se marcan en líneas punteadas negras (Zamora and Litherland, 1993; Aspden and Litherland; Hughes and Pilatasig, 2002; Jaillard et al., 2009). La geodinámica regional se muestra en el recuadro de la esquina superior izquierda (Audemard and Audemard, 2002). NAS: Sliver Norandino; Cosanga-MF: Falla Cosanga Méndez; Pujilí: Sutura del Melange Pujilí; Jubones: Falla Jubones; Toachi: Zona de cizalla Toachi; Py: Zona de Pisayambo; QFS: Sistema de fallas Quito. Q: Quito; L: Latacunga; C: Cuenca; R: Riobamba; G: Guayaquil (Alvarado et al. 2016).**

### 3.2 Geología Regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental, la cual atraviesa el Ecuador en dirección N-S. Morfológicamente forma una barrera montañosa que separa la planicie costera y la depresión interandina (valle interandino). Tiene una compleja evolución geodinámica debido a la interacción entre las placas de Nazca, Sudamérica, el Caribe y el Bloque NorAndino (NAB). La Geodinámica cuaternaria del Ecuador está controlada por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Se estima que este proceso comenzó en el Oligoceno Tardío (Gutscher et al., 1999), dicha subducción tiene una dirección N83°E (Kendrick et al., 2003), y tiene una velocidad entre 55-58 mm/año (Trenkamp et al., 2002).

Ecuador está conformado por ocho terrenos fisiográficos (Ordoñez, 2012) los cuales son de este a oeste: Cuenca Oriente, La Zona Sub-Andina, La Cordillera Real, el Valle Interandino, Cordillera

Occidental, Costa, Cuenca Alamor- Lancones, Bloque Amotape – Tahuín presentan características geológicas como limitaciones por mega estructuras tectónicas que fueron originados por complejos procesos de colisión/acreción de terrenos alóctonos contra el continente sudamericano (Litherland et al., 1994) (Figura 16).

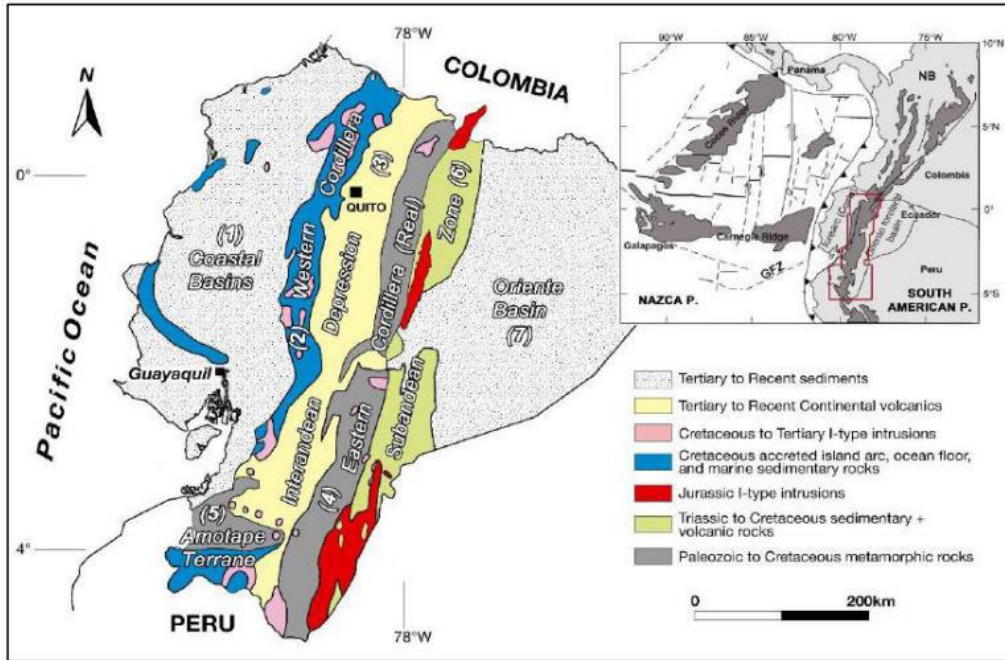


Figura 16 Geología simplificada del Ecuador. (Drobe et al., 2020)

### Cordillera Occidental

La Cordillera Occidental forma parte del segmento de los Andes del norte, cuyo basamento está constituido de rocas de origen oceánico los cuales fueron acrecionadas al margen Sudamericano durante el Cretácico Tardío y el Terciario Temprano (Egüez, 1986); Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo & Winkler, 2009), que constituyen terrenos alóctonos incluyendo ofiolitas y fragmentos oceánicos (Feininger & Bristow, 1980; McCourt et al., 1984). El basamento de esta cordillera está formado por dos terrenos de afinidad oceánica. El más antiguo es el terreno Pallatanga similar a la Formación Piñón que constituye el basamento de la costa (Reynaud et al., 1999) y por un terreno más joven denominado Macuchi conformado por secuencias volcansedimentarias de composición basáltica y andesítica con intrusiones andesíticas de alto nivel (Hughes & Pilatasig, 2002).

## 3.3 Estratigrafía de la zona oriental de la Cordillera Occidental

### 3.3.1 Formación Pallatanga K<sub>Pa</sub> – Cretácico Superior (86 -75 Ma)

La Formación Pallatanga aflora a lo largo del borde Este de la Cordillera Occidental y aparece asociada a la Formación Yunguilla se encuentra separada del margen continental por una zona de sutura deformada Zona de Falla Pujilí. El borde occidental del Bloque Pallatanga está marcado por la Falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga, que incluye una zona de melange tectónico conocido como Melange de Pujilí. Consiste de basaltos, microgabros, diabasas, peridotitas, pillow lavas, doleritas masivas no vesiculares y hialoclastitas (Hughes & Bermúdez, 1997; Boland et al., 2000; Vallejo, 2007).

### **3.3.2 Formación Río Cala KRC – Cretácico Superior**

La Formación Río Cala aparece exclusivamente en la parte norte de la Cordillera Occidental y se encuentra en contacto tectónico con las formaciones adyacentes, como la Formación Natividad compuesta de turbiditas se encuentra cubriendo concordantemente con la Formación Río Cala compuesta de andesitas basálticas (Vallejo, 2007). Generalmente consiste en lavas masivas y rocas volcanoclásticas, ocasionalmente lentes de areniscas ocurren dentro de la secuencia. (Boland et al., 2000)

### **3.3.3 Grupo Angamarca – Paleoceno - Oligoceno**

El contacto oeste del Grupo Angamarca con la Unidad Macuchi es la Falla Pilaló Sigchos. Al este el contacto con el grupo Zumbahua es inconforme. El grupo Angamarca es subdividido de base a techo en las Formaciones Pilaló, Saquisilí, Apagua, Unacota y Rumi Cruz (Hughes & Bermúdez, 1997). Es una secuencia siliciclástica que incluye areniscas turbidíticas, conglomerados e intervalos de caliza.

#### **Formación Pilaló**

La Formación Pilaló se encuentra conformada por un contacto con la Formación Macuchi el cual no se encuentre determinado y se ubica en la carretera Latacunga – La Maná en esta carretera también se encuentra un contacto interpretado como concordante con las calizas Unacota (Egüez, 1986). Al este del pueblo de Pilaló a lo largo del valle del río Chilca-Pilaló se encuentra un contacto concordante mejor expuesto. Un contacto interpretado como concordante de la Formación Pilaló que sobreyace a la Formación Apagua. La Formación Pilaló reporta un miembro inferior que consiste en brechas volcánicas con elementos detríticos verdes y rojos, además de delgadas lavas y la parte superior se encuentra constituida por limolitas calcáreas. Los minerales máficos se encuentran alterados a clorita (Egüez, 1986).

### **Formación Saquisilí Pc<sub>S</sub>- Paleoceno inferior tardío – Paleoceno Medio temprano**

La Formación Saquisilí está limitada por fallas al Este y Oeste, donde se expone en varias quebradas que drenan de la cuenca hidrográfica de la cordillera hacia el graben interandino entre La Victoria y Saquisilí (Hughes & Bermúdez, 1997). Por otro lado, la Formación Saquisilí se encuentra discordantemente sobre cherts pelágicos del Campaniano - Maastrichtiano descritos por Jaillard et al. (2004) y turbiditas de la Formación Yunguilla en la carretera Riobamba-Guaranda. Consiste de secuencias turbidíticas de areniscas micáceas grises oscuros, limolitas y lodolitas, y algunos estratos ligeramente calcáreos (Hughes & Bermúdez, 1997); (Jaillard et al., 2004).

### **Formación Apagua PcE<sub>A</sub> – Paleoceno Medio Eoceno Superior**

La Formación Apagua está por encima de las calizas Unacota (Egüez, 1986; Hughes y Bermúdez, 1997) y se encuentra expuesta cerca de la población Apagua en la carretera La Maná-Latacunga (Egüez & Bourgois, 1986). Se reportan localidades aisladas en Guayrapungu en la carretera Zumbagua-Chugchilán (Hughes & Bermúdez, 1997). Consiste en areniscas de grano medio, limolitas grises oscuras y lodolitas depositados dentro de facies turbidíticas. Se reporta la presencia de sills y stocks de composiciones andesíticas dentro de la Formación Apagua (Egüez, 1986; Vallejo, 2007).

### **Formación Rumi Cruz E<sub>RC</sub> – Eoceno tardío**

La Formación Rumi Cruz está expuesta al sur de la población de Apagua donde una cresta de 20 km de tendencias norte-sur de conglomerados muy gruesos y brechas junto con areniscas de grano grueso cubre a la Formación Apagua (Hughes & Bermúdez, 1997), por otro lado un contacto discordante de edad del Mioceno perteneciente a la Formación Zumbahua cubre a la Formación Rumi Cruz (Vallejo, 2007). La Formación Rumi Cruz es expuesta como ambiente continental debido a la presencia de madera (Hughes & Bermúdez, 1997; Vallejo, 2007). La Formación Rumi Cruz presenta una fuente metamórfica en base a la presencia de cherts en los clastos de los conglomerados, micas, y abundante vetilleo de cuarzo

### **3.3.4 Grupo Zumbahua M<sub>Z</sub>- Mioceno Medio a Superior**

El Grupo Zumbahua toma su nombre por el pueblo de Zumbahua cerca al camino principal entre La Maná y Pujilí se encuentra mejor expuesta a lo largo de la carretera Zumbahua – Pujilí y en los altos páramos al sur este de Sigchos y al noroeste de Pujilí, se encuentra pobremente expuesta en el área al noreste de la falla Toachi – Toacazo, Se encuentra en contacto discordante con la formación Rumi Cruz y La Formación Apagua. Comprende areniscas feldespáticas masivas con brechas masivas de matriz soportada con clastos ígneos y turbiditas lacustres. (Hughes & Bermúdez, 1997)

### 3.3.5 Depósitos volcánicos Q<sub>v</sub> - Cuaternario

Tienen su origen en varios centros volcánicos del área (Cotopaxi, Chimborazo, Carihuayrazo, Ilinizas, Tungurahua, Pululagua y Quilotoa), comprenden depósitos de toba, brachas y aglomerados, ceniza, flujos piroclásticos, lahares y lavas andesíticas. Depósitos extensos de terrazas cuaternarias sobreyacen rocas del basamento. (McCourt et al., 1997).

## 3. 4 Contexto Sismológico

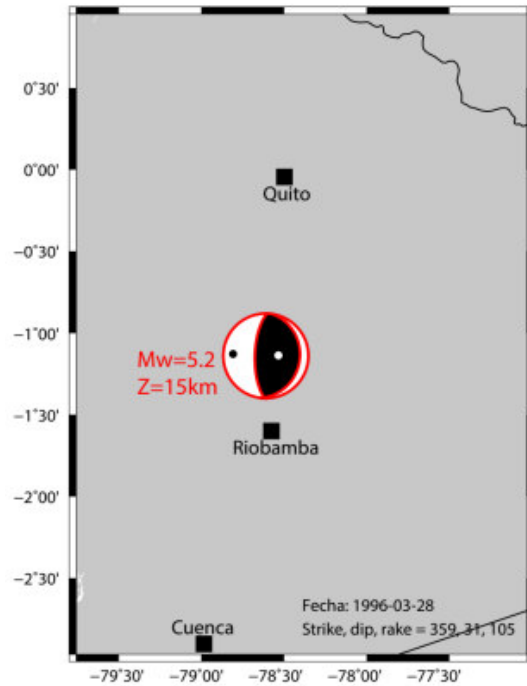
El Ecuador se caracteriza por tener un nivel alto de sismicidad proveniente de dos tipos de fuentes sísmicas: en la zona de contacto por la convergencia oblicua de la placa Nazca, con la placa Sudamericana se acumula una deformación mayor, generan sismos de falla normal, localizados en la placa oceánica Nazca y una parte menor de deformación evidenciada por la presencia de pliegues y fallas, los sismos corticales o someros (<40km de profundidad) que ocurren en la placa Sudamericana, las mismas que son la fuente de importante sismicidad al interior del continente.

Existen sismos de fuerte magnitud con fuentes en estructuras tectónicas cercanas a Pujilí. Los dos eventos desde el siglo XVI y antes de 1990, con fuentes cercanas a la zona de estudio, han sido reportados. Según las descripciones recopiladas por Egred (2009), los dos terremotos ocurrieron en el siglo XVIII, el primero en 1736 con una intensidad máxima de VIII en Pujilí y el segundo evento asociado al llamado “Terremoto de Latacunga” en 1757 con intensidad máximas IX (Beauval et al., 2013).

Los dos eventos se atribuyen al denominado sistema de fallas Saquisilí-Poaló-Yambo (Beauval et al., 2013). En el siglo XX dos eventos ocurrieron a kilómetros hacia el sur de Pujilí los cuales pudieron tener intensidades considerables en el área de estudio, estos corresponden al “Sismo de Pasa” y al “Sismo de Cusubamba” ocurridos en los años 1960 y 1962 respectivamente cuyas intensidades son de VII EMS (Grüntal, 2003) y magnitudes de intensidad equivalente a Mw Mi 5.9 y Mi ~5.7 (Beauval et al., 2010).

El evento más importante ocurrido en años recientes como el sismo de noviembre de 1962 de intensidad VI Y VIII en escala MSK (CERESIS, 1985), y 5.15 Mw (Castro, 2021) provocaron asentamientos de terreno, formación de grietas y deslizamientos de grandes masas de tierra en los cerros Casahuala, Cuturivíes y Conchacapac y en la vía que conecta Pujilí con Cuturiví, este sismo produjo cambios de esfuerzos en la falla La Victoria, posiblemente se relacione con el terremoto de Pujilí de 1996 (Castro, 2021).

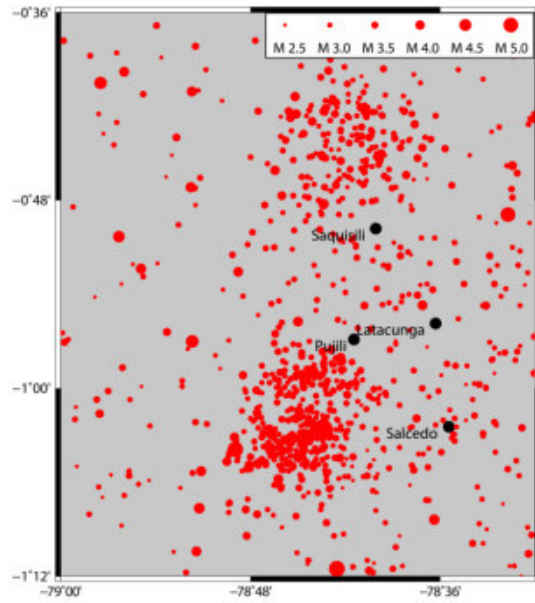
El sismo del 28 de marzo de 1996 con epicentro en (Lat=1.025, Lon=-78.725, IGEPN,1996), al noroeste de Pujilí de intensidad VII en escala MSK (Rivadeneira et al., 2007), y 5.7 mb (Catálogo IG-EPN,1996), fue atribuido a la falla La Victoria (OPS e IG-EPN, 1996) que se localiza en el margen oeste de la cuenca (Guéguen et al., 1998). La solución del mecanismo focal (MF) (Global CMT), indica un movimiento inverso con planos ~N-S (Figura 17), que está en coherencia con la tectónica descrita para la zona. Este terremoto ocasionó la reactivación de algunos deslizamientos antiguos en el valle del río Patoa y desprendimientos de taludes en la zona de Cuturiví Bajo (Reporte IG-EPN, 1997). (Beauval et al., 2010).



**Figura 17 Mecanismo focal obtenido por inversión de formas de onda (Global CMT), para el sismo Pujilí, Mw (Vaca, 2021)**

En la Figura 18 se observa sismicidad (MLv) mayor a 2.5, reportada alrededor de la zona de interés a partir de 1994 por el IG-EPN. Donde se observa una concentración de evento al norte de Saquisilí relacionado a la falla Poaló y otra al sur-oeste de Pujilí atribuida a las réplicas del terremoto de Pujilí en 1996.





**Figura 18 Sismicidad reportada alrededor de la zona de Pujilí a partir de 1994 (IG-EPN,2021)**

## 4. CONTEXTO METODOLÓGICO

### 4.1. Diseño Metodológico

Para llegar al alcance de los objetivos planteados, la metodología se divide en cinco partes en las que se detalla los procesos realizados en el estudio.

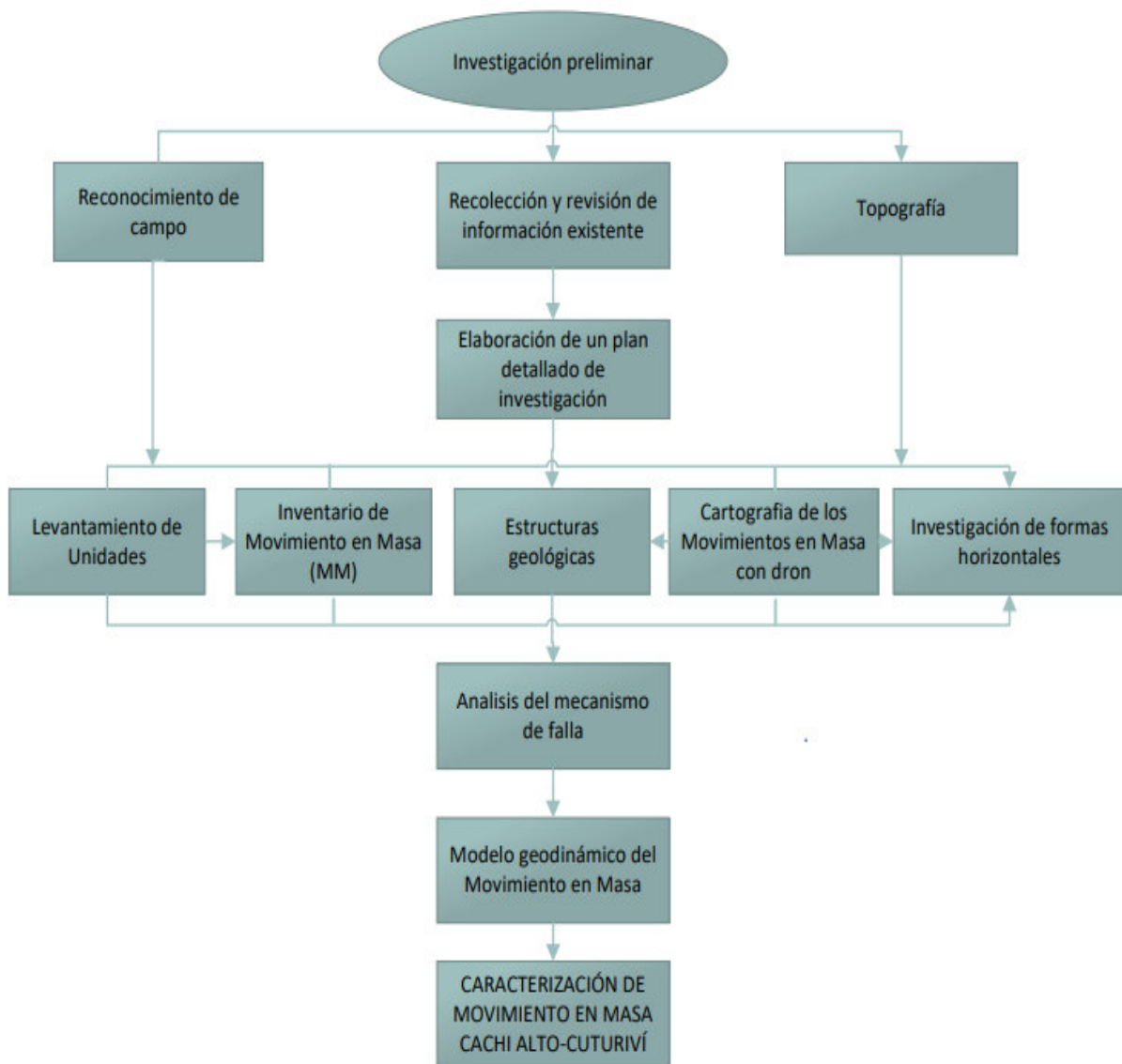


Figura 19 Esquema metodológico para la investigación del movimiento en masa de Cachi Alto – Cuturiví (modificado de Suárez, 2008)

#### 4.1.1 Investigación Preliminar

Consistió en la recopilación y análisis de la información bibliográfica, informes técnicos, artículos científicos, información histórica brindada por los moradores de Cachi Alto, Cuturiví, mapas topográficos y geológicos e imágenes (fotografías aéreas e imágenes satelitales).

Con la información compilada se podrá generar una caracterización de los deslizamientos el mismo que es objeto de estudio y permitirá efectuar un mapa geológico previo con el objetivo de tener una noción del nivel de reconocimiento que presenta la zona de estudio.

#### 4.1.2 Topografía

Para el análisis de las fotografías aéreas y ortofotos de la zona, con ayuda del software QGis se realizó la caracterización del deslizamiento basándose en la definición de la geometría, morfología, estructuras de colapso, el cálculo de desplazamiento y la comparación de velocidades de movimientos en masa tanto activos como moderadamente activo tomados en imágenes satelitales (Google Earth) adquiridas poco antes del evento de deformación de terreno (año 2017) y de imágenes de dron ópticas de alta resolución después del evento de deformación de terreno (año 2019, 2020 y 2021), para el año 2018 no se obtiene ningún punto de control ya que en comparación con las demás ortofotos no presento una georreferenciación adecuada y tampoco un área suficiente para poder obtener los puntos de control necesarios para las mediciones.

Estas imágenes cuantificarán los vectores de desplazamiento horizontal medidos en metros/mes para los tres movimientos en masa, utilizando 10 puntos de control a lo largo de los deslizamientos. Para determinar la magnitud es necesario obtener un punto fijo con coordenadas (x, y) que están ubicado en el Cerro Punteras dicho punto se utilizará para determinar el vector entre el punto fijo y los 10 puntos movibles por cada año respectivamente utilizando la ecuación de vector desplazamiento:

$$AB = (x_2 - x_1); (y_2 - y_1)$$

**Ecuación 1 Vector AB.**

Con los datos de vector obtenidos por cada punto de control se procedió a calcular la distancia del período 2017 al 2019; 2019 al 2020 y 2020 al 2021, a partir de la siguiente ecuación de distancia entre dos puntos:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

**Ecuación 2 Distancia entre dos puntos.**

Para determinar el ángulo y dirección fue necesario utilizar los valores (x, y) obtenidos y usar la

ecuación para obtener el ángulo de dirección:

$$\theta = \tan^{-1}(y/x)$$

### **Ecuación 3 Ángulo de la dirección.**

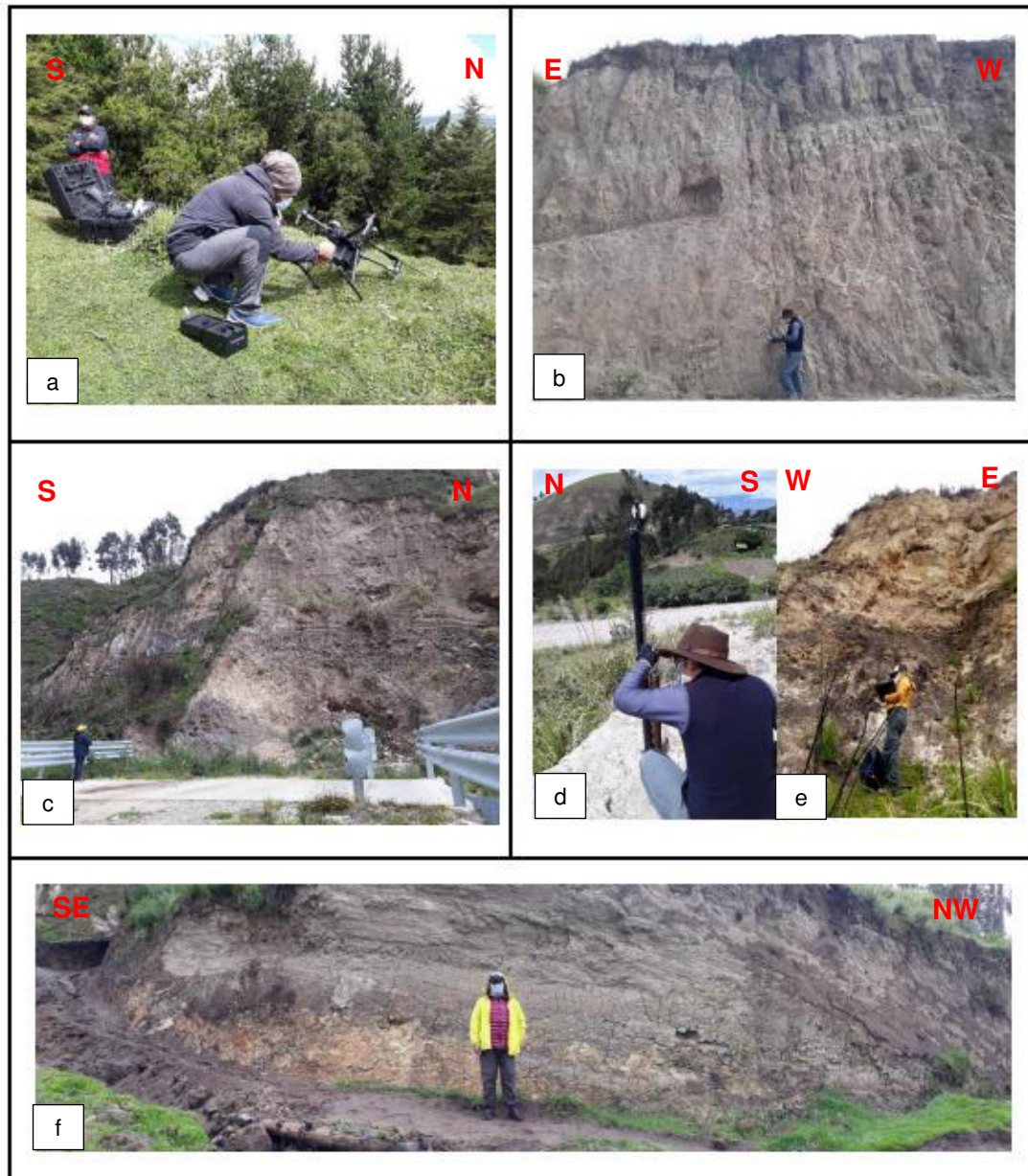
Por otra parte, para los cinco años desde el 2017 al 2021 se determinó el área de cada deslizamiento mediante la herramienta QGis, inicialmente se crearon polígonos de cada deslizamiento, y mediante la herramienta Calculadora, se obtuvo el “área” de dichos polígonos. (Figura 19). Cabe recalcar que para el deslizamiento que se hablará posteriormente y es clasificado como tamaño grande se le asignó un valor referente ya que las ortofotos del año 2018 no representan toda el área de este deslizamiento. Los datos obtenidos ayudarán a deducir posibles sitios donde se han producido deslizamientos o bien lugares que dan indicios de inestabilidad (Figura 20), así como también lineamientos, contactos geológicos, drenaje, escarpes, fallas, grietas, etc. que posteriormente se comprobaron durante las salidas de campo y revisión de investigaciones realizadas a nivel regional

Además, de ello mediante la información obtenida con las imágenes satelitales se elaboró mapas morfológicos, que representa los diferentes patrones morfológicos divididos en 3 unidades y los principales rasgos estructurales y direcciones de fallamiento que afectan el área.

#### **4.1.3 Reconocimiento de campo litológico y estructural**

Se dirigió a cabo un reconocimiento e identificación general de campo con 4 salidas, como primera instancia se corroboró la información obtenida en la investigación preliminar, seguido, se realizó el levantamiento geológico que incluye el levantamiento de columnas litológicas y la caracterización macroscópica de las rocas (Fotografía 2) con el objetivo de ayudar a la descripción paulatina de las diferentes formaciones geológicas y contactos geológicos.

Además, fue necesario la toma de mediciones de espesores, rumbo, buzamientos, tipo y magnitud de estructuras para la descripción e identificación de estructuras geológicas. Los datos obtenidos se incorporaron en tablas Excel para posteriormente hacer una relación con las fallas plasmadas en el mapa realizado previo a la etapa de campo. Tomando en cuenta estos datos obtenidos en campo, se diseñó el mapa estructural escala 1:7500 del área de estudio



**Fotografía 2** Imágenes de actividades realizadas en campo a) levantamiento de imágenes aéreas con Dron UTM 749998 - 98901129 b) Mediciones estructurales UTM 750381 – 9892543 c y e) levantamiento de columnas estratigráficas UTM 751117 – 9893521 d) toma de datos de extensómetros UTM 750270 – 9892430 f) toma de datos litológicos UTM 750827 – 9892609 (K. Arequipa - EPN).

### **Monitoreo con extensómetros laterales**

Se utilizó los valores obtenidos con los Extensómetros 1 y Extensómetro 2 ubicados sobre la corona del deslizamiento reactivado de gran tamaño. El monitoreo se realizó desde el 28 de diciembre de 2020 hasta el 12 de septiembre de 2021.

Para el desplazamiento unitario fue necesario realizar una ecuación de diferencia entre cada medida

unitaria.

$$\Delta EU = E_i - E_f$$

#### **Ecuación 4 Ecuación de desplazamiento unitario**

Donde  $E_i$  es la lectura del extensómetro más reciente y  $E_f$  la lectura del extensómetro anterior al más reciente.

### **Elaboración de inventario de deslizamientos**

Para la elaboración del inventario de deslizamientos se realizó en primera instancia un levantamiento de los deslizamientos denominados como reactivado y activo donde se recolectó datos como los escarpes del deslizamiento, depósitos de los mismos, nicho de arranque, dirección del movimiento, tipo de material, tamaño de rodados, que fueron llenados en la ficha de deslizamiento.

Posterior a la realización de las fichas de identificación de deslizamientos se obtuvo un flujo de información extenso por lo que se depuro la información obtenida, que se transformó en su mayoría en un inventario de deslizamientos que está constituido por los siguientes campos: código, tipo de deslizamiento, sitio, área, coordenadas, Litología, pendiente (grados), uso de suelo.

#### **4.1.4 Análisis de los mecanismos de falla**

Para este análisis fue importante el estudio de los factores condicionante y detonantes, donde se realizó una verificación de la información obtenida en campo, en especial el inventario de deslizamientos del área, se identificaron los rasgos en común de cada proceso de deslizamiento para así lograr definir qué factores estaban influyendo en su generación.

#### **4.1.5 Caracterización del MM de Cachi Alto**

En cuanto a la caracterización del Movimiento en Masa fue necesario recopilar la información bibliográfica con documentos existentes y estudios realizados previamente, así como también el compendio de información histórica brindada por parte de los moradores habitantes de la zona. Además, fue importante compilar información existente detallada en las etapas de campo como: levantamiento de las unidades geológicas, estructuras geológicas, cartografía de los Movimientos en Masa con la utilización del dron, inventario de Movimiento en Masa.

Con toda esta información recabada se puede generar una explicación de la evolución de los Movimientos en Masa en el tiempo el cual estudio es un punto crucial para el desenvolvimiento de otros procesos similares o completamente diferentes que necesiten de esta información.

## 5. CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ

### 5.1.1 Resultados del estudio de Topografía.

#### Evaluación de las velocidades de los Movimientos en Masa (MM)

Con el cálculo de velocidades se obtuvieron 60 resultados numéricos mostrados en la Tabla 1, los resultados de velocidades indican que, en el periodo agosto de 2017 al 17 de diciembre de 2019 (Mapa N°1) el mayor desplazamiento seleccionado corresponde al punto de control cinco (PC5) dicho punto se encuentra ubicado en la carretera antigua que conducía de Pujilí – Cachi Alto y cuya velocidad es de 3,27 m/mes. El desplazamiento menor se encuentra en el punto de control dos (PC2) que corresponde a una casa desalojada en el extremo derecho de la carretera antigua que dirige Pujilí – Cachi Alto y cuyo desplazamiento es de 0,08 m/mes.

En el periodo de 17 de diciembre 2019 al 19 de Julio de 2020 (Mapa N°2) el mayor desplazamiento es para el punto de control seis (PC6) que corresponde al extremo oeste de la carretera antigua que dirige Pujilí – Cachi Alto y cuya velocidad es de 2,11 m/mes. El menor desplazamiento es para el punto de control nueve (PC9) que corresponde a un corral desalojado cuya velocidad es de 0,43 m/mes.

El último periodo de 19 de julio de 2020 al 18 de enero de 2021 (Mapa N°3) el mayor desplazamiento es para el punto de control cinco (PC5) que corresponde a la carretera antigua que dirige Pujilí – Cachi Alto cuya velocidad es de 1,01 m/mes y en menor desplazamiento es para el punto de control nueve (PC9) que corresponde a una intersección de una carretera de segundo orden que se encuentra al suroeste del área de estudio con una velocidad de 0,17 m/mes.

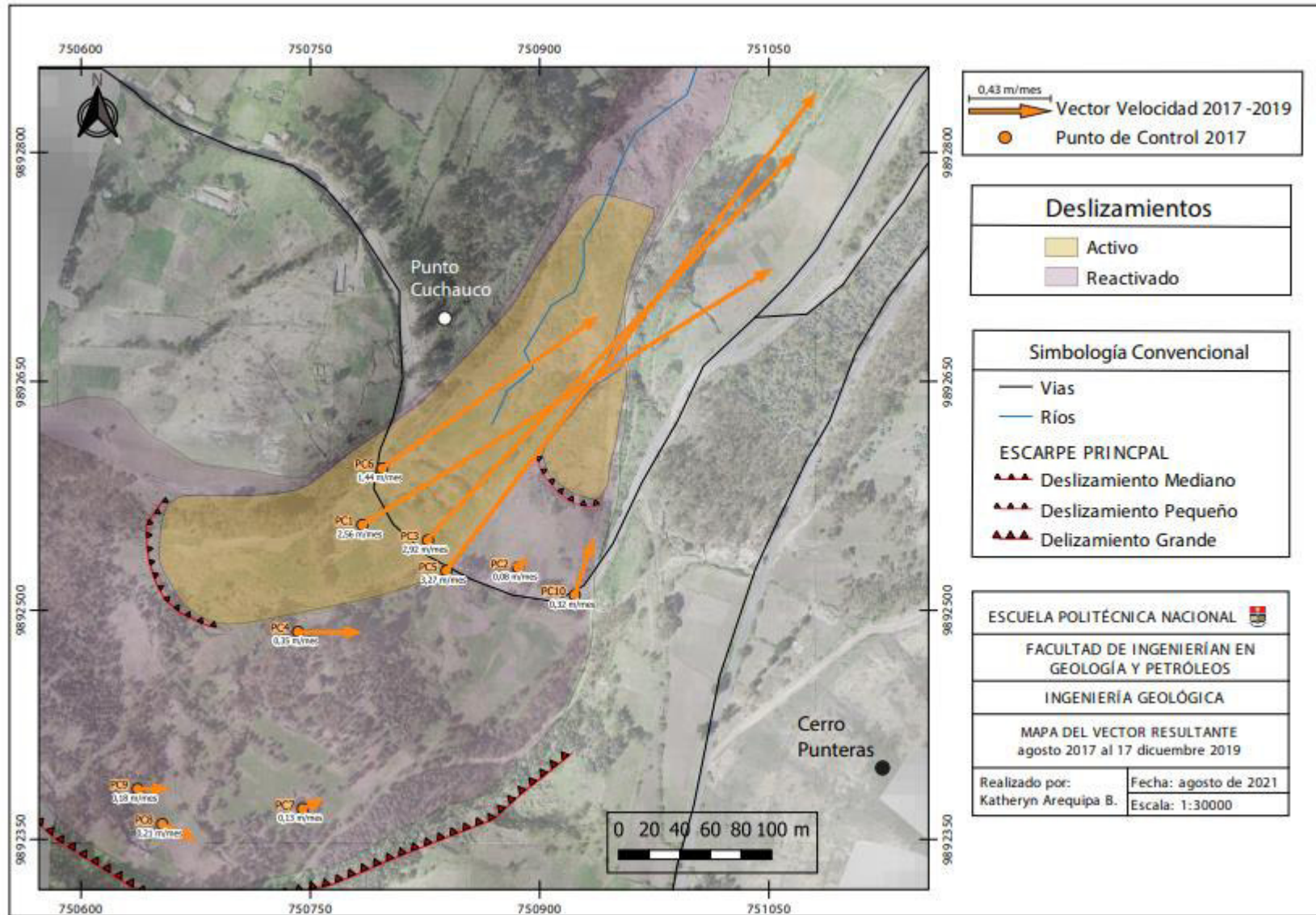
Por lo que entre el periodo agosto del 2017 a 18 de enero de 2021 los Movimientos en Masa (Mapa N°4) indican que el mayor desplazamiento corresponde a los puntos de control uno, tres, cinco y seis (PC1, PC3, PC5, PC6) y con un menor desplazamiento corresponde a los puntos de control dos, cuatro, siete, ocho, nueve, diez y once (PC1, PC3, PC7, PC8, PC9, PC10, PC11).

En cuanto al ángulo y dirección de las velocidades se obtuvieron 30 resultados numéricos mostrados en la Tabla 1 donde se determina que, para todos los puntos de control desde agosto de 2017 a 18 de enero de 2021 los valores varían entre los 10° a 90° y todos mantienen una dirección NE.

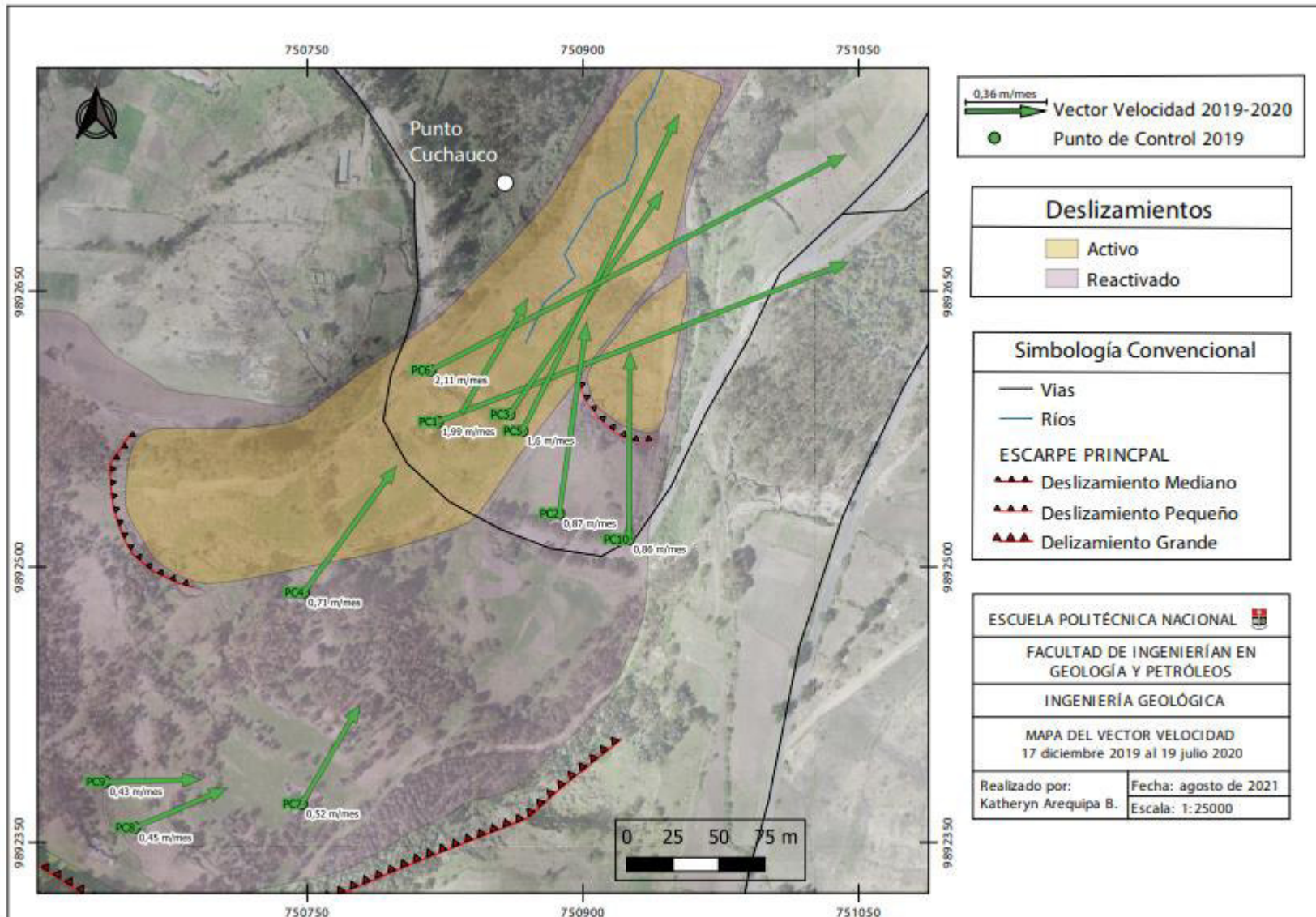
PC	Velocidad 2017 - 2019		Velocidad 2019 - 2020		Velocidad 2020 - 2021	
	V - m/mes	Dirección	V - m/mes	Dirección	V - m/mes	Dirección
1	2,56	N58E	1,99	N69E	0,60	N34E
2	0,08	NE	0,87	N10E	0,24	N20E
3	2,92	N41E	1,23	N36E	0,75	N24E
4	0,35	N90E	0,71	N37E	0,24	NE
5	3,27	N30E	1,60	N27E	1,01	N10E
6	1,44	N55E	2,11	N62E	0,71	NE
7	0,13	N63E	0,52	N34E	0,37	N63E
8	0,21	N56E	0,45	N72E	0,53	N18E
9	0,18	N90E	0,43	N90E	0,17	N90E
10	0,32	N22E	0,86	N90E	0,24	NE

**Tabla 1** Tabla de velocidad donde muestra los desplazamientos de los deslizamientos desde el año 2019 al 2021 en 10 puntos de control

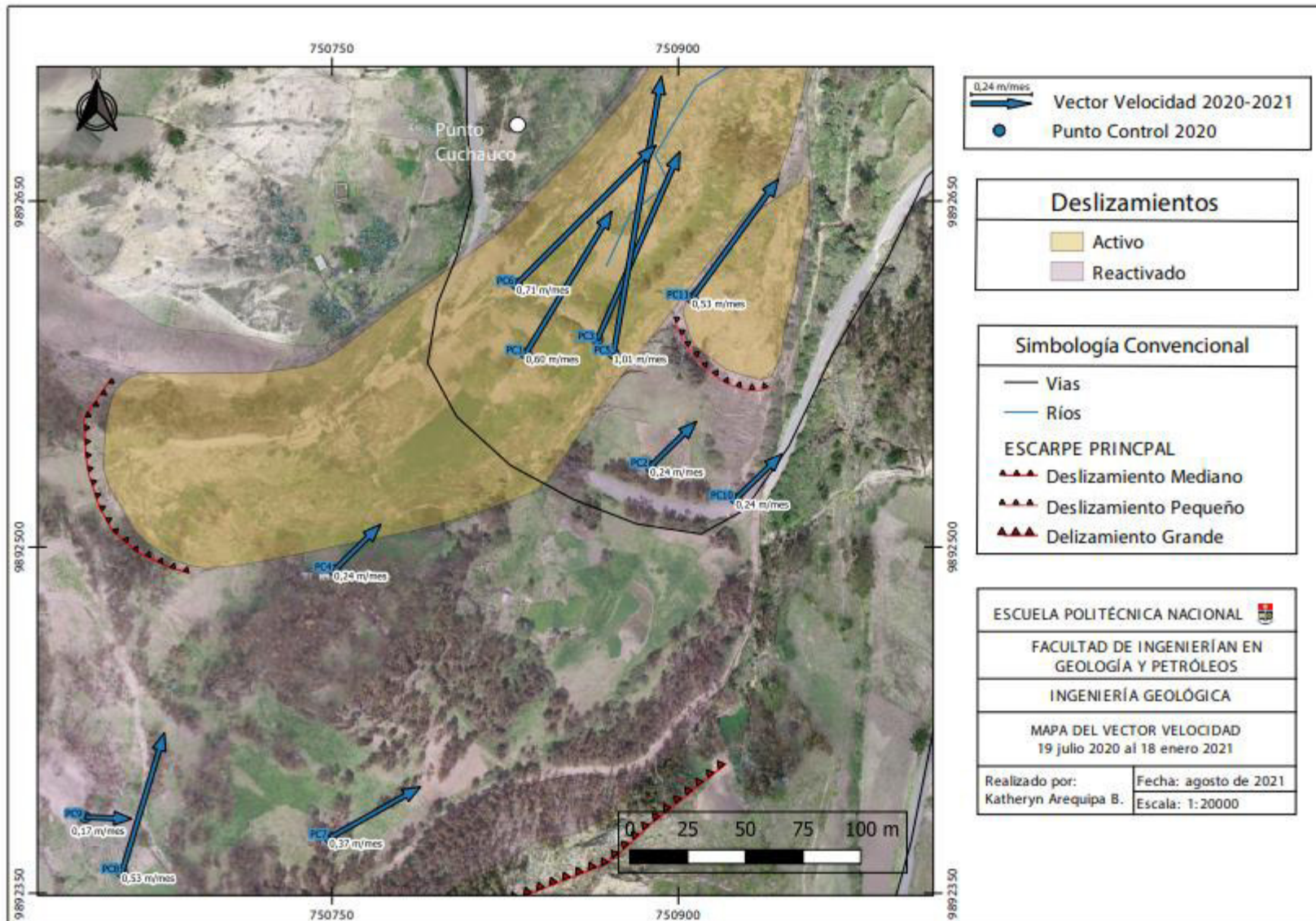




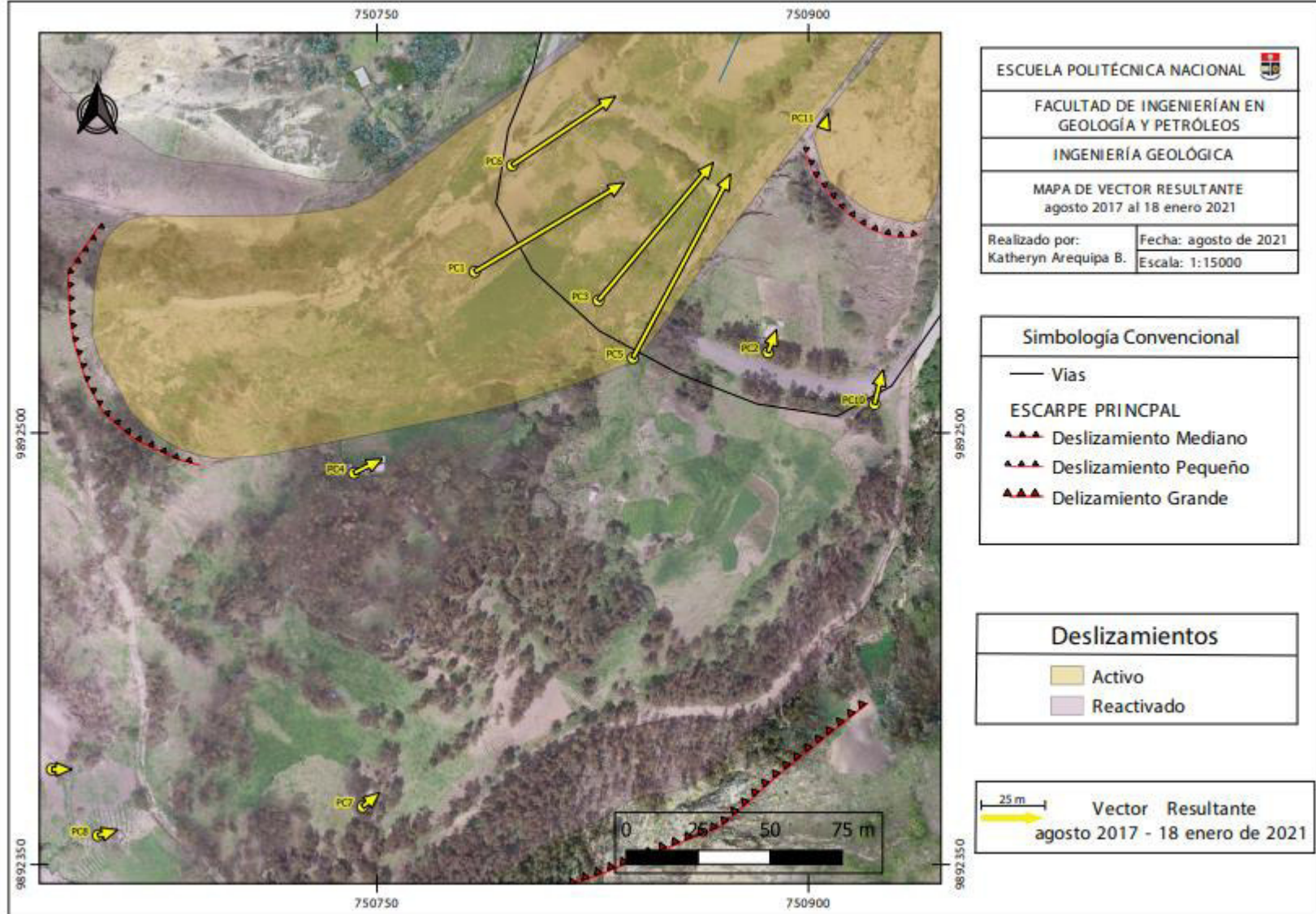
Mapa 1 Vectores resultantes de agosto de 2017 al 17 de diciembre de 2019. En el mapa se observa el mayor vector de velocidad para el punto de control 5 (PC5) ubicado en el deslizamiento activo mediano con una velocidad de 3,27 m/mes.



Mapa 2 Vectores resultantes de 17 de diciembre de 2019 al 18 de julio de 2020. En el mapa se observa el mayor vector de velocidad para el punto de control 6 (PC6) ubicado dentro de deslizamiento activo mediano con una velocidad de 2,11 m/mes.



Mapa 3 Vectores resultantes del 19 de julio de 2020 al 18 de enero de 2021. En el mapa se observa el mayor vector de velocidad para el punto de control 5 (PC5) ubicado dentro de deslizamiento activo mediano con una velocidad de 1,01 m/mes.



Mapa 4 Vectores resultantes de agosto de 2018 al 18 de enero de 2021. En el mapa se observa el mayor vector de velocidad para el punto de control 5 (PC5) ubicado dentro de deslizamiento activo mediano.

### Evaluación de los Movimientos en Masa con extensómetros.

Mediante el monitoreo geodésico con el extensómetro (Figura 20) se pudo medir el desplazamiento ubicado en el escarpe principal del Movimiento en Masa clasificado según Cruden & Varnes (1996) con tamaño grande debido al área ocupacional. Los resultados que se muestran en la Tabla 2 indican que en la parte Occidental existe un desplazamiento total de 0,59 cm/mes, mientras que en la parte Oriental el desplazamiento es de 0,07 cm/mes Tabla 3, desde el 28 de diciembre de 2020 hasta el 12 de septiembre de 2021.



**Figura 20 Ubicación de los extensómetros en la corona del deslizamiento reactivo 1) extensómetro occidental UTM 750276 - 9892427, 2) extensómetro oriental 750749 - 9892333 (Mariño, 2021).**

1. EXTENSÓMETRO OCCIDENTAL			
Fecha de Dic 2020 -Sept 2021	Lectura (cm)	Desplazamiento (cm)	
		Unitario	Total
28-dic-20	21,8	0	0
12-jun-21	17,3	4,5	4,5
12-sep-21	16,5	0,8	5,3

**Tabla 2 Desplazamiento de extensómetro Occidental**

2. ETENSÓMETRO ORIENTAL			
Fecha de Dic 2020 -Sept 2021	Lectura (cm)	Desplazamiento (cm)	
		Unitario	Total
28-dic-20	26,7	0	0
12-jun-21	26,3	0,4	0,4
12-sep-21	26,1	0,2	0,6

**Tabla 3 Desplazamiento del extensómetro Oriental**

### **Evaluación de las Áreas de los Movimientos en Masa (MM)**

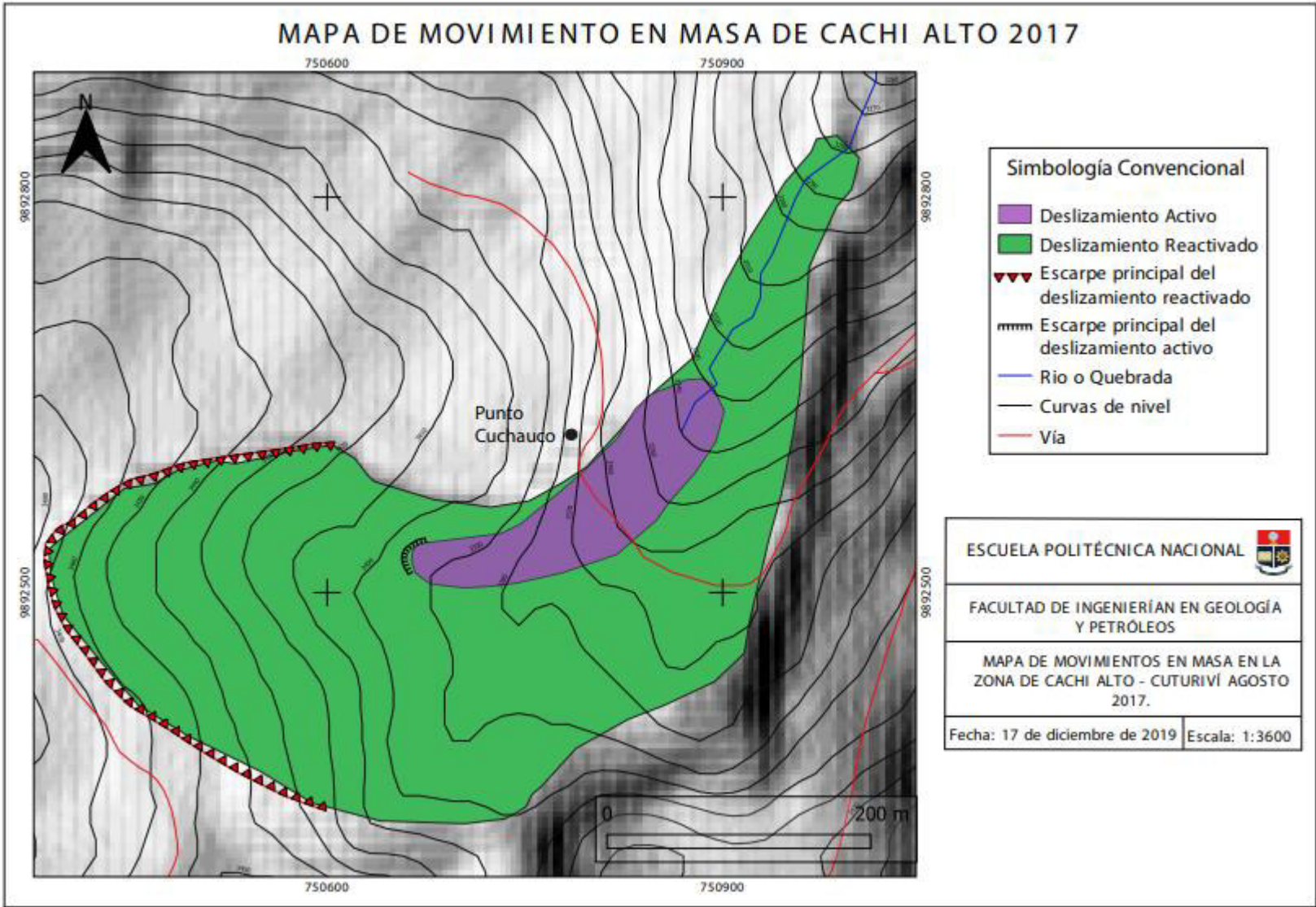
En el cálculo de las áreas se obtuvo 12 resultados numéricos mostrados en la Tabla 3 desde la columna dos hasta la cinco las cuales abarcan las áreas de los Movimientos en Masa tomados desde el año 2017 hasta el 2021. Los resultados numéricos que se observaron en la tabla ayudaron a categorizar por tamaño y se encuentran mostrados en la columna uno; la clasificación es la siguiente: pequeño, mediano y grande. Los tres MM indican que el mayor desplazamiento de área se generó en el periodo 22 de junio de 2018 a 17 de diciembre de 2019. El deslizamiento pequeño presenta un área desplazada de 1,03 km<sup>2</sup>. El MM mediano indica un área desplazada es de 5,13 km<sup>2</sup>. Se recalca que para el MM grande el área no abarco todo el MM debido a que las ortofotos de los diferentes años no cubren esta área específica; sin embargo, se le pudo asignar un valor

referente de área de 32,65 km<sup>2</sup>. Con los datos obtenidos tanto de velocidades, áreas y evaluación de los extensómetros para los tres MM, se asignó una clasificación en cuanto al estado del deslizamiento cuya clasificación es obtenida de (Suárez, 2009) y adaptado de (Cruden y Varnes, 1996). Los Movimientos en Masas se clasificaron como dos movimientos activos y uno reactivado.

		<b>Área desplazada de los Movimientos en Masa (km<sup>2</sup>)</b>			
<b>Tamaño</b>	<b>Estado</b>	<b>Agos 2017 al 22 Jun 2018</b>	<b>22 Jun 2018 al 17 Dic 2019</b>	<b>17 Dic 2019 al 18 Jul 2020</b>	<b>19 Jul 2020 al 18 Ene 2021</b>
Pequeño	Activo	0,62	1,03	0,7	0,18
Mediano	Activo	2,43	5,13	1,1	3,45
Grande	Reactivado	29,92	32,65	5,9	3,67

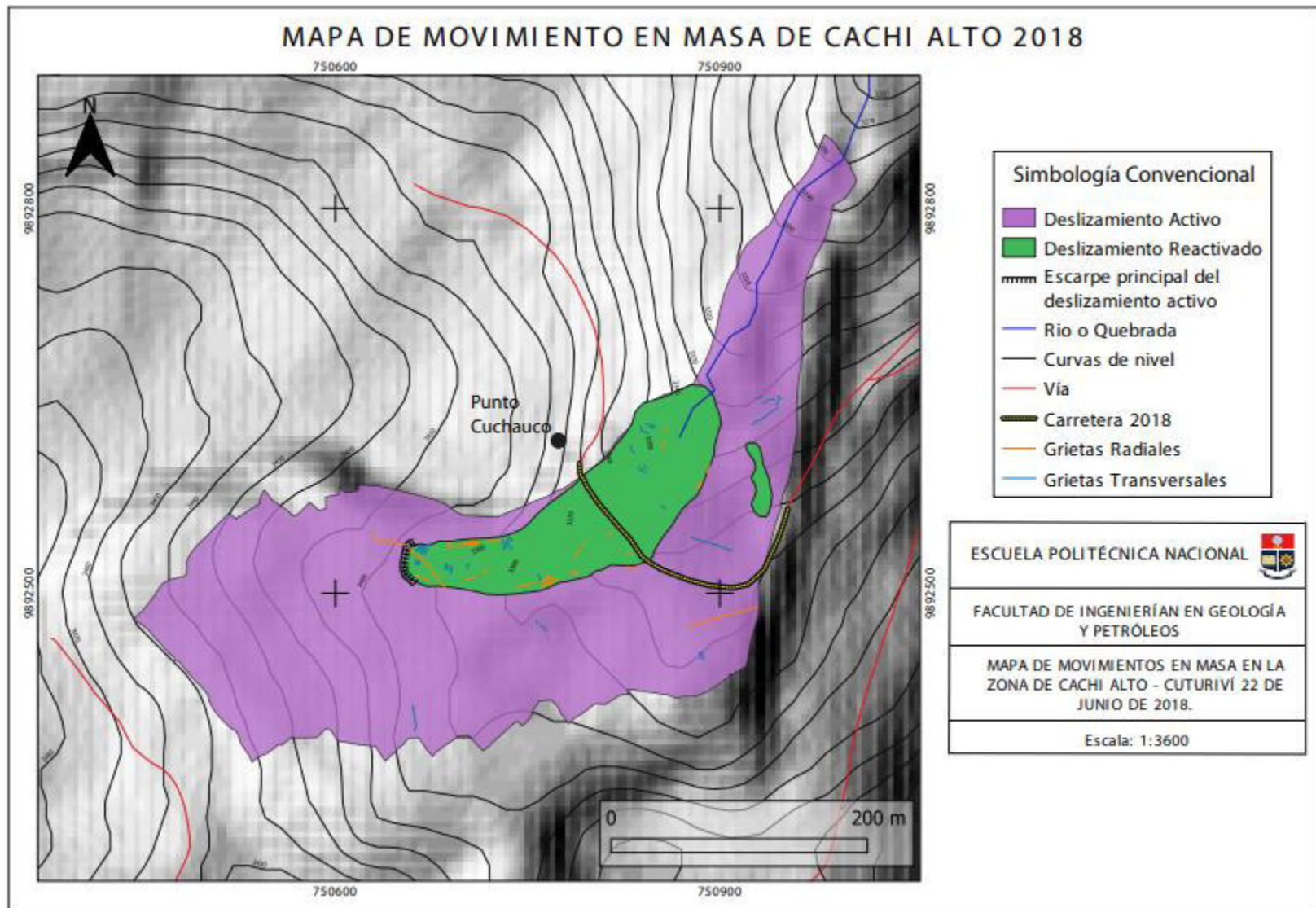
**Tabla 4 Tabla de área de los movimientos en masa**

Los Mapas 5-9 muestran los cambios en área de los MM reactivado y activo, así como también el incremento progresivo de grietas radiales de color naranja y grietas transversales de color azul desde el año agosto 2017 al 18 de enero de 2021.

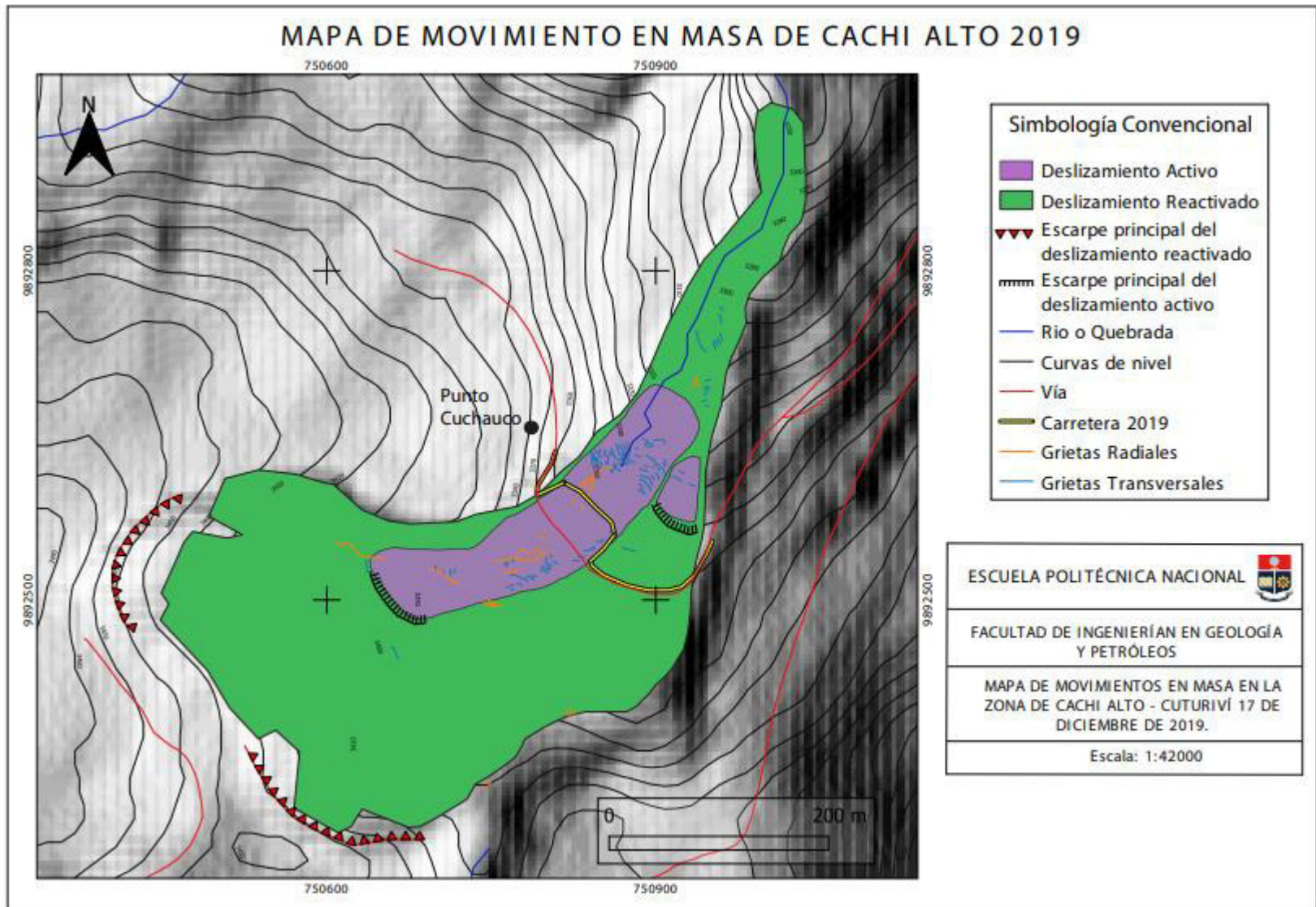


**Mapa 5** *Movimiento en Masa de agosto de 2017 donde se observa el deslizamiento reactivado con el escarpe en la corona al suroeste y el deslizamiento activo mediando formándose.*

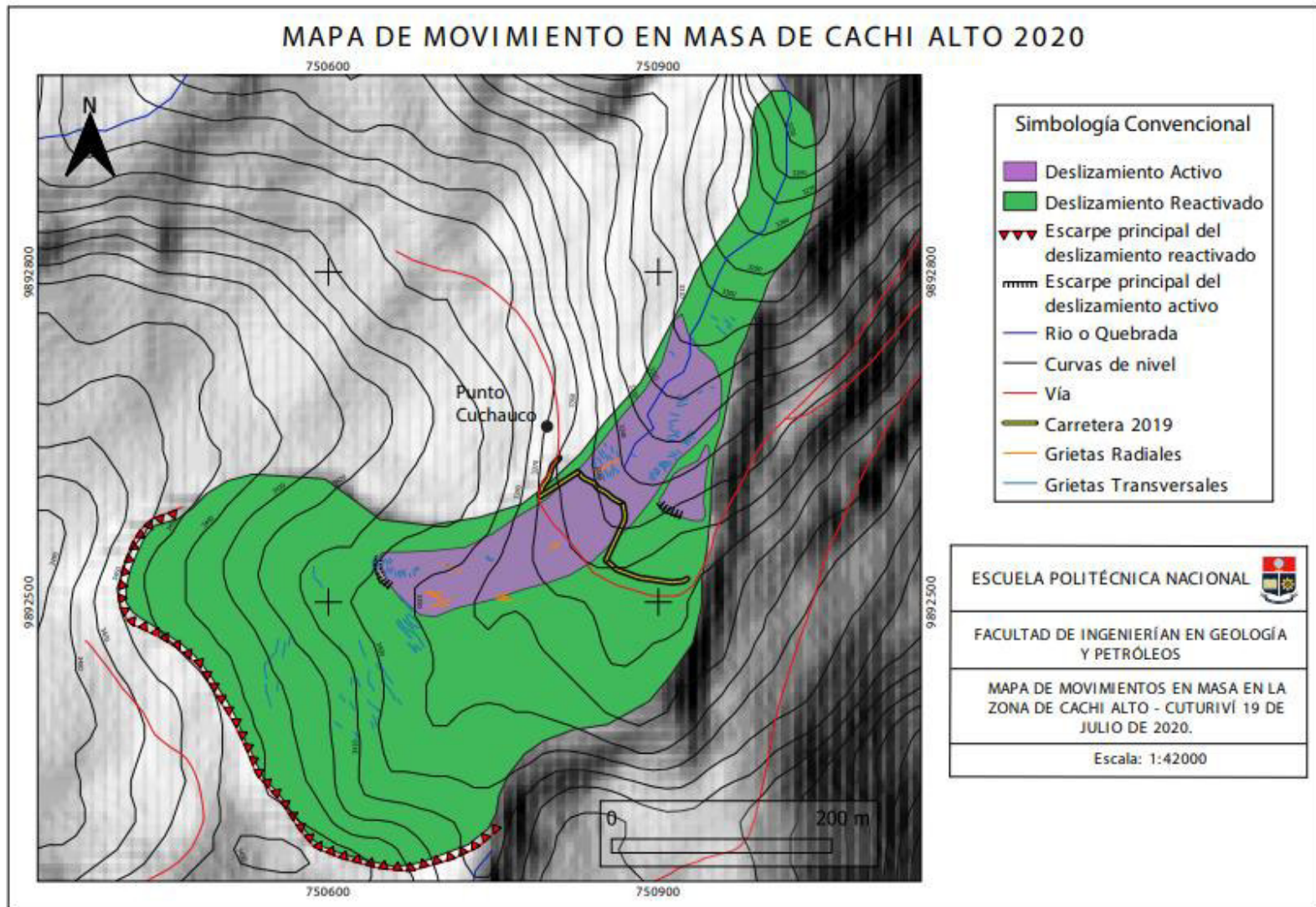




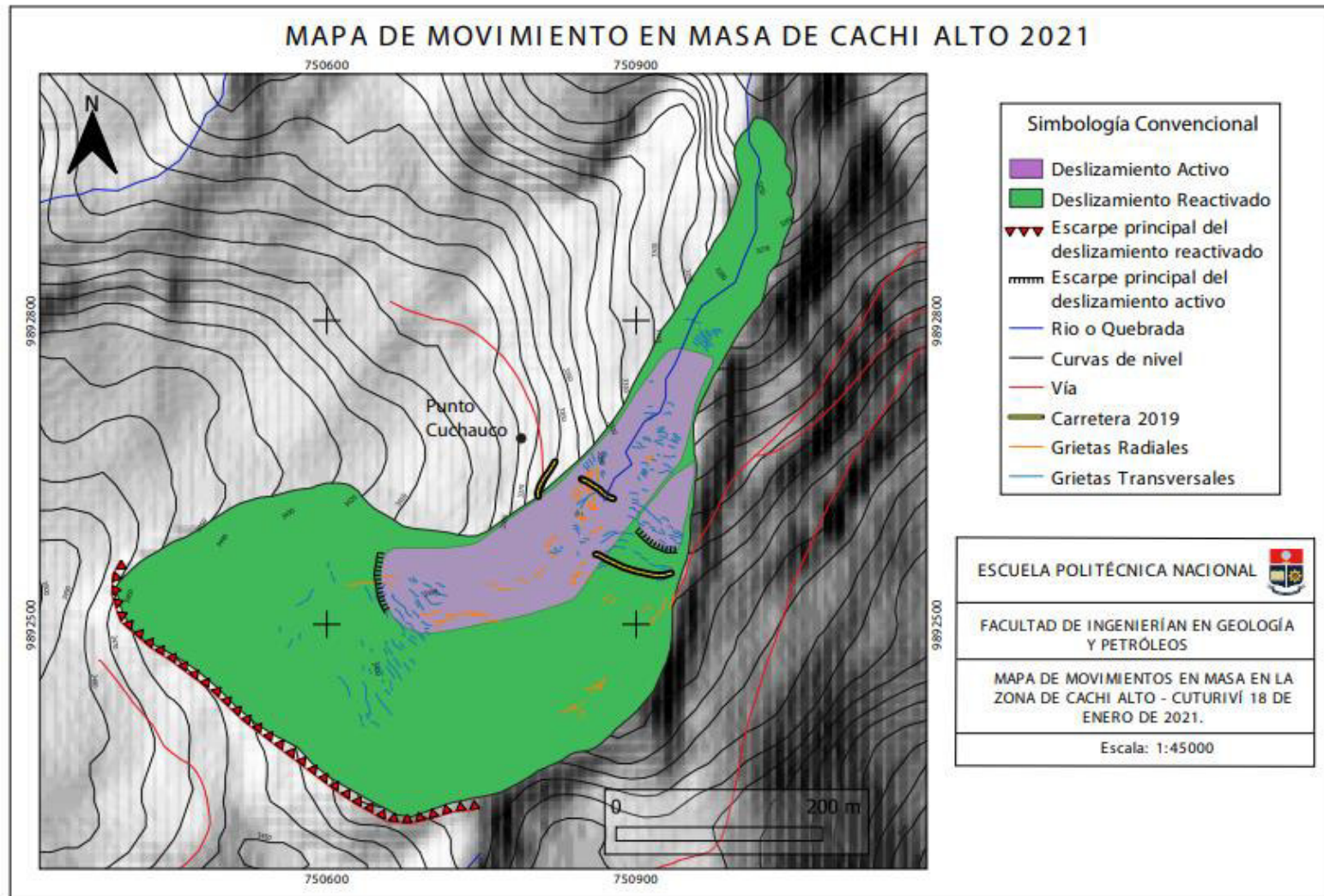
**Mapa 6** Movimiento en Masa del 22 de junio de 2018 donde se observa la formación del deslizamiento activo pequeño al este del deslizamiento activo, las grietas radiales de color naranja y transversales de color azul indican el movimiento en todo el deslizamiento activo mediano.



**Mapa 7** Movimiento en Masa del 17 de diciembre de 2019 donde se observa el deslizamiento activo pequeño, compuesto por su escarpe al este del deslizamiento activo. Las grietas radiales de color naranja y transversales de color azul indican el movimiento en todo el deslizamiento activo mediano. La carretera desplazada con dirección al noreste dentro de los mismos.



**Mapa 8** Movimiento en Masa del 19 de julio de 2020 donde se observa el escarpe del deslizamiento reactivado, el crecimiento en área del deslizamiento activo mediano y pequeño, compuestos por sus escarpes. Las grietas radiales de color naranja y transversales de color azul indican el movimiento en todo el deslizamiento activo mediano y un pronunciado movimiento en la parte superior del cuerpo del deslizamiento reactivado. La carretera desplazada con dirección al noreste dentro de los mismos.



**Mapa 9** Movimiento en Masa del 18 de enero de 2021 donde se observa el crecimiento en área del deslizamiento activo mediano y pequeño con sus escarpes. Las grietas radiales de color naranja y transversales de color azul indican el movimiento en todo el deslizamiento activo mediano y un pronunciado movimiento en la parte superior del cuerpo del deslizamiento reactivado. La carretera desplazada con dirección al noreste dentro de los mismos siendo afectada.

**Clasificación según el Método de Cruden y Varnes (1996).**

Los Movimientos en Masa son los fenómenos geomorfológicos más frecuentes y extensos en el mundo. Según la clasificación de (Cruden y Varnes de 1996), se tomaron datos para los tres MM que se observan en la Tabla 4, como es el tamaño; tipo; subtipo; humedad; plasticidad; origen del suelo, y tipo de material. De acuerdo a la velocidad y el área resultante para los dos deslizamientos el de tamaño grande y mediano que se observa en la Tabla 1 y Tabla 2 se propuso una escala de velocidad de los movimientos en masa con relación a su capacidad destructiva, por lo que se le asignó la velocidad tipo 1 clasificada como lento como se observa en la columna dos de la Tabla 4. Esto indica que el impacto que generó los tres deslizamientos fueron infraestructurales y que el impacto o amenaza a la vida de las personas fue muy leve.

<b>Clasificación según el Método de Varnes</b>			
<b>Tamaño</b>	<b>Grande</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pequeño</b>
<b>Deslizamiento</b>	Reactivado	Activo	Activo
<b>Clase de velocidad</b>	Lento tipo 1		-
<b>Tipo de Movimiento</b>	Deslizamiento		Flujo
<b>Subtipo de Movimiento</b>	Rotacional	Complejo	Flujo
<b>Humedad</b>	Muy Humedo		
<b>Plasticidad</b>	Media		
<b>Origen del Suelo</b>	Residual		
<b>Tipo de Material</b>	Roca - Lodo	Lodo	
<b>Velocidad</b>	Vmax: 0,87 m/mes Vmin: 0,08 m/mes	Vmax: 3,27 m/mes Vmin: 0,60 m/mes	-
<b>Impacto destructivo</b>	Estructuras dañadas que pueden repararse durante el movimiento		

**Tabla 5 Clasificación según Cruden y Varnes (1996)**

## **5.1.2 Resultados del reconocimiento de campo**

### **Regiones Morfogenéticas**

El ambiente morfogenético tiene relación con las condiciones químicas, físicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generan geformas. Los procesos geomorfológicos pueden ser de origen endógeno como exógeno y estos dan lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas. (E. Rodríguez et al., 2017) En el área de estudio se identificaron tres ambientes morfogenéticos: ambiente denudacional, ambiente estructural y ambiente fluvial.

#### **Unidad de origen Denudacional (D)**

Comprende procesos que son originados por procesos erosivos, hídricos y pluviales que provocan algún tipo de desgaste en la superficie terrestre como la acción erosiva y meteorización, las pérdidas o desgaste del suelo ocasionan fenómenos en forma Laminar, surcos y cárcavas. Bajo condiciones húmedas favorece la meteorización del subsuelo y los movimientos gravitatorios con los deslizamientos.

##### **• Sub Unidad de Área con Movimientos en Masa (MM)**

Sub unidades situadas en la zona de Cachi Alto y gran parte de la zona de Cachi Bajo, por ejemplo, al NW del Cerro Punteras (Fotografía 3), un escarpe en forma de herradura con una inclinación al N y al E, la elevación del escarpe es de aproximadamente 20m.

El relieve se caracteriza por zonas ligeramente a moderadamente inclinadas, que varían entre pendientes de 5° a 30° aproximadamente.

Litológicamente la unidad está constituida por depósitos de ceniza tipo cangahua y en algunos sitios como los taludes de los escarpes se encuentran lavas, areniscas, lutitas, limolitas y brechas conglomeráticas.



**Fotografía 3 Deslizamiento de tamaño pequeño se observa el escarpe de color negro y la dirección del movimiento de color amarillo UTM 750993 – 9892639 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

### **Unidad de Origen Estructural (S)**

Corresponde a zonas dominadas por bloques tectónicos; sus formas son originadas por la dinámica interna de la tierra a partir de la interacción entre los esfuerzos producidos a lo largo de las zonas de fallas y asociados a plegamientos, dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

#### **• Sub Unidad de Domos (S1)**

Sub unidad situada en la parte sureste de este trabajo. Cubre un área aproximada de 233.49 m<sup>2</sup>. El relieve se caracteriza por presentar una morfología redondeada y con una pendiente moderadamente inclinada que se aproxima entre los 10° y 20°. La topografía es moderada en la parte W del cerro con una elevación que oscilan entre 3500 a 3515 msnm. Litológicamente esta unidad se constituye un domo o intrusivo volcánico de composición dacítica que se encuentra

cubierto por una capa de Cangahua (Fotografía 3), y se encuentra afectada por un sistema de falla al N y NW del cerro.

### **Unidad de Origen Fluvial (F)**

Corresponde a la formación de sistemas fluviales primordialmente abanicos, llanuras aluviales y terrazas aluviales que se han generado por procesos de erosión – sedimentación originadas por corrientes de ríos, lagos, lagunas y arroyos.

#### **• Sub Unidad de Llanuras Aluviales (F1)**

El depósito aluvial se encuentra distribuido al N, a lo largo del Río Patoa, presenta pendientes ligeramente inclinadas entre 10° a 20°, con una elevación de aproximadamente 3110 msnm. (Fotografía 4). Litológicamente está constituido por clastos subredondeados de tamaño métricos a centimétricos con composición volcánica y subvolcánica que por sus características geológicas se clasifican en andesitas y dacitas con una matriz de limo y con material limitado de arena.



**Fotografía 4 Subunidad de aluviales a lo largo del Río Patoa (Foto: K. Arequipa - EPN).**



- **Sub Unidad de Llanuras Coluviales (F2)**

Existe un coluvial antiguo y un reciente, ambos se diferencian por sus características morfológicas. Esta sub unidad se encuentran expuestos al NW del Cerro Punteras, presentan un relieve ligeramente abrupto con pendientes de 15° a 30°, la topografía es casi inclinada y elevaciones que van desde los 3210 a 3430 msnm. El coluvial antiguo presenta líticos volcanosedimentarios con tamaño de aproximadamente 20-30 cm y forma angulosa a subangulosa y matriz arena – limo.–El coluvial reciente posee una litología similar al coluvial antiguo con diferencia que posee una mezcla en la parte superficial del coluvial antiguo y partes lenticulares alargadas de ceniza volcánica al SW.



**Fotografía 5 Subunidad de llanuras coluviales al sur en la zona de Cuturiví UTM 7498641 - 9891994 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

### **5.1.3 Unidad Geomorfológica**

Se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso de acumulación o erosión. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos. En el área de estudio se identificaron cuatro: Piedemonte, colinas moderadamente onduladas, lomas onduladas alargadas, lomas moderadamente escarpadas (Mapa N°13).

- **Piedemonte (Pm)**

El pie de monte se puede observar tanto en la parte oeste como al sur donde se encuentra asentada la comunidad de Cuturiví. En las ortofotos del año 2021 se puede observar el punto donde nacen elevaciones entre alturas de 3450 a 3480 msnm. El relieve de piedemonte ha sufrido procesos de erosión y acumulación de material transportado por diferentes procesos como torrentes o aluviones típicos en regiones frías como es el caso de Cachi Alto y Cuturiví.



**Fotografía 6** Pie de monte foto tomada en UTM 752177 – 9892154, desde la vía que dirige Cachi Alto – Cuturiví (Foto: K. Arequipa - EPN).

- **Colinas moderadamente onduladas (Cmo)**

Las colinas bordean alturas de 3100 hasta 3500 msnm. Esta colina se pudo haber formado por erosión, movimiento y depositación de sedimentos. La mayoría de las colinas están compuestas por una capa potente de cangahua. La morfología redondeada se debe a movimientos de difusión del suelo y a regolitos que cubren el cerro, en un proceso denominado reptación.



**Fotografía 7** Colina moderadamente ondulada foto tomada en UTM 753005 - 9892468, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa - EPN).

- **Lomas onduladas y alargadas (Loa)**

Las lomas onduladas y presentan una altura menos elevada que va desde 3000 hasta los 3100 msnm. Su morfología es redondeada en la parte este del área y alargada en la parte oeste del área. En cuanto a su composición está formado por una capa potente de Cangahua con características como la acumulación de material orgánico en las grietas que posibilita el aumento de plantas típicas adaptadas a la humedad temporal.



**Fotografía 8 Loma moderadamente alargada foto tomada en UTM 752447 - 9892519, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa - EPN).**

- **Laderas moderadamente escarpadas (Lme)**

Las laderas moderadamente escarpadas se encuentran ubicadas en la parte sureste del deslizamiento reactivado y también en la parte norte a lo largo del Río Patoa.-Las pendientes se caracterizan por ser pronunciadas mayores a  $45^\circ$  y los desniveles que se encuentran en sitios donde la zona es intransitable. La mayoría de estas laderas se encuentran cubiertas de vegetación típica de la zona.



**Fotografía 9 Ladera moderadamente escarpadas foto tomada en UTM 751264 - 9892821, desde la comunidad de Cuturiví (Foto: K. Arequipa - EPN).**

#### **5.1.4 Entorno Litológico**

El ambiente geológico ha sido el resultado de los procesos geodinámicos internos y externos los cuales han influenciado en la formación de estructuras que desde el periodo Cretácico han venido migrando provocando el vaciamiento, colapso y posteriormente formación de los sistemas de deslizamientos encontradas en el área de estudio. Durante este periodo fue posible la deposición de Cangahua que ha ido modelando el relieve del sitio exponiendo en la superficie. Las unidades

litológicas son las siguientes.

## **Unidades Ígneas**

- **Lavas Andesíticas**

Esta unidad concentra en la parte Noroeste, con un espesor de aproximadamente 2 metros y constituyen la parte basal de la secuencia estratigráfica (Fotografía 10). Esta unidad se encuentra subyaciendo a depósitos coluviales y una capa potente de ceniza volcánica considerada como Cangahua. Macroscópicamente posee minerales como plagioclasa, piroxenos con una textura subporfirítica y presenta colores de gris verdoso a gris claro; presenta de vetillas de calcita. (Fotografía 10). La roca es una Andesita basáltica.

Morfológicamente representada en el margen izquierdo del Río Patoa en la zona de la comunidad de Cachi Bajo (Fotografía 11). La unidad se encuentra con un grado de fracturación y deformación, debido a la fragmentación que poseía la roca, así como su color rojizo se la denomino como meteorización alta, dichas fracturas poseen un ancho de 1.5 a 2 cm y a su vez están rellenas de óxido de hierro.



**Fotografía 10 : Andesita basáltica con textura subporfirítica con presencia de minerales como plagioclasa, piroxenos. (Foto: K. Arequipa - EPN).**



**Fotografía 11 Afloramiento donde se observa en la parte basal subrayada con color naranja la unidad de Lavas andesíticas subyaciendo el aluvial y capas centimétricas de Cangahua, UTM 750977 – 9893561 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

En la zona Noreste intersección entre 2 carreteras de segundo orden que dirigen a Cachi Bajo se observa un afloramiento de roca constituida por minerales principales como: plagioclasas, piroxenos englobados en una matriz de plagioclasas y sílice granular a micro granular. Presenta minerales de alteración como clorita <1% y vetillas de calcita en toda la roca, presencia de pirita <0,01%. (Fotografía 12). La roca se clasificó como-Andesita Basáltica.



**Fotografía 12 Andesítica con presencia de sílice granular indicada en el círculo de color rojo (Foto: K. Arequipa - EPN).**

Al sur del área (Fotografía 13), en la comunidad de Cuturiví se caracteriza por las rocas de color gris verdoso con textura porfírica, los clastos son subangulares con tamaño de 2cm aproximadamente, presenta fenocristales de piroxeno (Fotografía 14). Estas rocas se encuentran cubierta por una capa de Cangahua. La roca se clasifica como andesita basáltica.



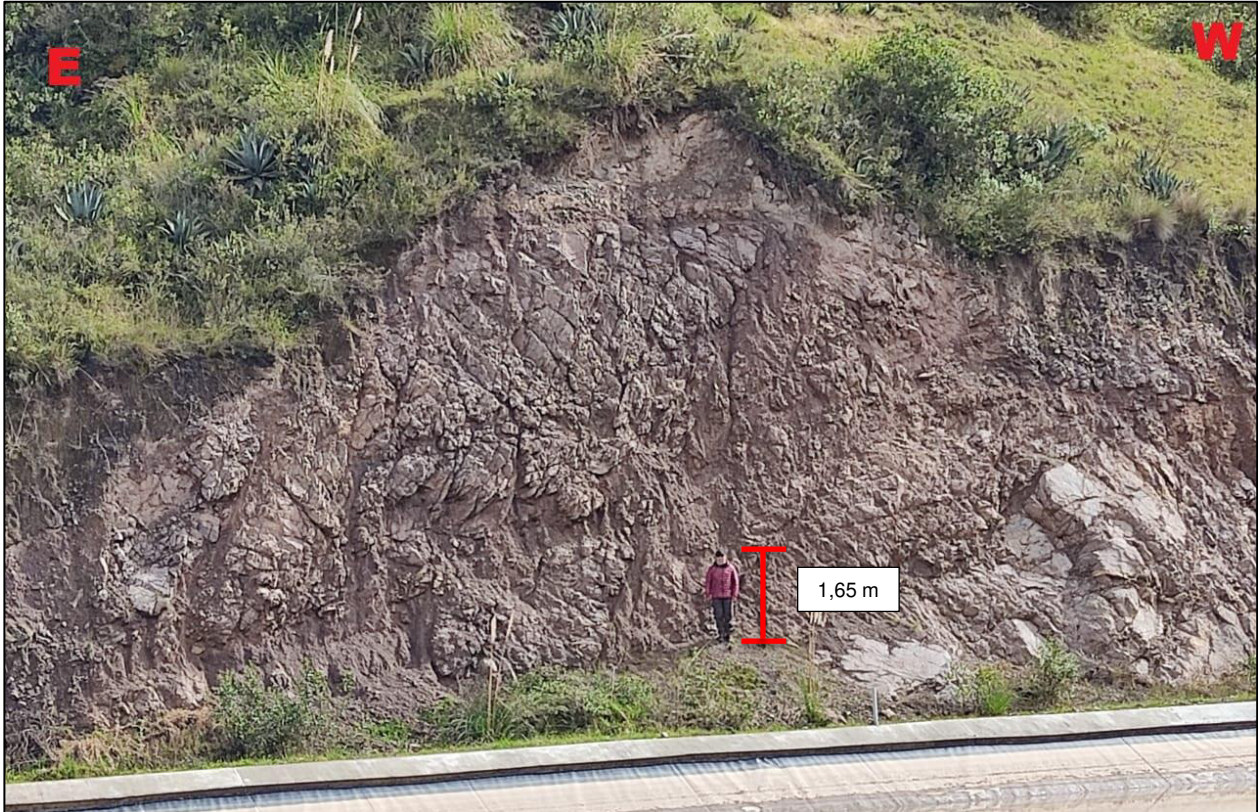
**Fotografía 13** Afloramiento de andesitas basálticas al sur de la comunidad de Cuturiví Grande, UTM 749784 – 9891966 (Foto: K. Arequipa - EPN).



**Fotografía 14** Andesita basáltica con presencia de piroxenos (Foto: K. Arequipa - EPN).

- **Dacita Porfírica**

Las rocas del intrusivo indiferenciado afloran al norte, en el margen derecho del Río Patoa. Este afloramiento de un espesor de aproximadamente 4 metros subyace a una capa potente de Cangahua (Fotografía 15). Según Burga (2019), este intrusivo se observa como una ventana erosional en el flanco norte del Cerro Punteras en las coordenadas UTM (751633- 9893218). Macroscópicamente la roca es de color gris rojizo, presenta texturas porfírica y matriz afanítica, fenocristales de plagioclasa y horblenda y presenta una moderada meteorización. La roca es una dacita porfírica.



**Fotografía 15 Dacita porfírica, que se interpreta como una ventana erosional en el flanco norte del Cerro Punteras, UTM 751908 – 9893073 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

## **Unidades Sedimentarias**

- **Brechas conglomeráticas.**

La Unidad se encuentra expuesta en la parte sureste del deslizamiento moderadamente activo o al suroeste en relación con el Cerro Punteras. Está subyaciendo a una capa potente de Cangahua. La roca macroscópicamente está formada por clastos subangulosos a subredondeados desde 0,5 cm hasta 2,5 cm de tamaño con origen volcánico de composición andesítica a dacítica de color gris claro, marrón y negro. (Fotografía 16). La roca se clasifica como brecha conglomerática.





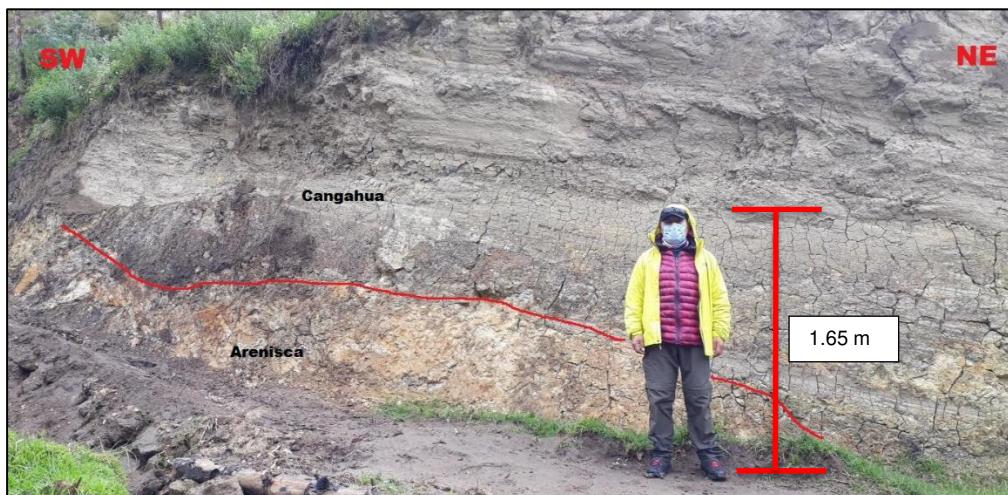
**Fotografía 16 Brecha conglomerática, círculo rojo indican los clastos volcánicos andesíticos y dacíticos. (Foto: K. Arequipa - EPN).**

- **Arenisca Tobácea**

En zona norte de Cachi Bajo lado izquierdo del Río Patoa cerca del puente que dirige a Cachi Bajo se encuentran rocas que macroscópicamente son de color grisáceo a café claro con presencia de grano fino a medio de cristales de plagioclasa y cuarzo (Fotografía 17). En la parte sureste del movimiento moderadamente activo de gran tamaño la arenisca se encuentra alterada y con estratificación moderada en la parte basal del afloramiento (Fotografía 18). La roca se clasifica como arenisca tobácea.



Fotografía 17 Arenisca tobácea de la zona norte de Cachi Bajo (Foto: K. Arequipa - EPN).



Fotografía 18 Arenisca alterada de la zona SE del deslizamiento moderadamente activo, UTM 750827 – 9892609 (Foto K. Arequipa - EPN).

- **Lutita Silicificada**

En la zona norte al margen izquierdo del río Patoa presenta rocas constituidas por minerales principales como: plagioclasas y presenta un lado del afloramiento molido (Fotografía 19). La roca es una Lutita silicificada.



**Fotografía 19 Lutita Silicificada con partes molidas al margen del río Patoa, UTM 750962 - 9893596. (Foto: K. Arequipa - EPN)**

- **Lutitas fisibles**

En la zona noreste de Cuturiví al sur del área de estudio (Fotografía 20 y 21), están presentes rocas sedimentarias. Macroscópicamente son de color gris oscuro, marrón a ocre presentan minerales arcillosos de grano fino, matriz constituida por arcillas y granos de cuarzo y biotita, minerales secundarios como limonita y pirolusita con alta meteorización, desde la perspectiva geomorfológica y el tipo de roca se asocian a las facies fluvio - lacustres. La roca está dispuesta en un depósito estratificado y se clasifica como Lutita.



**Fotografía 20** Afloramiento de lutita al NE de Cuturiví, UTM 750620 – 9892045 (Foto: K. Arequipa - EPN).



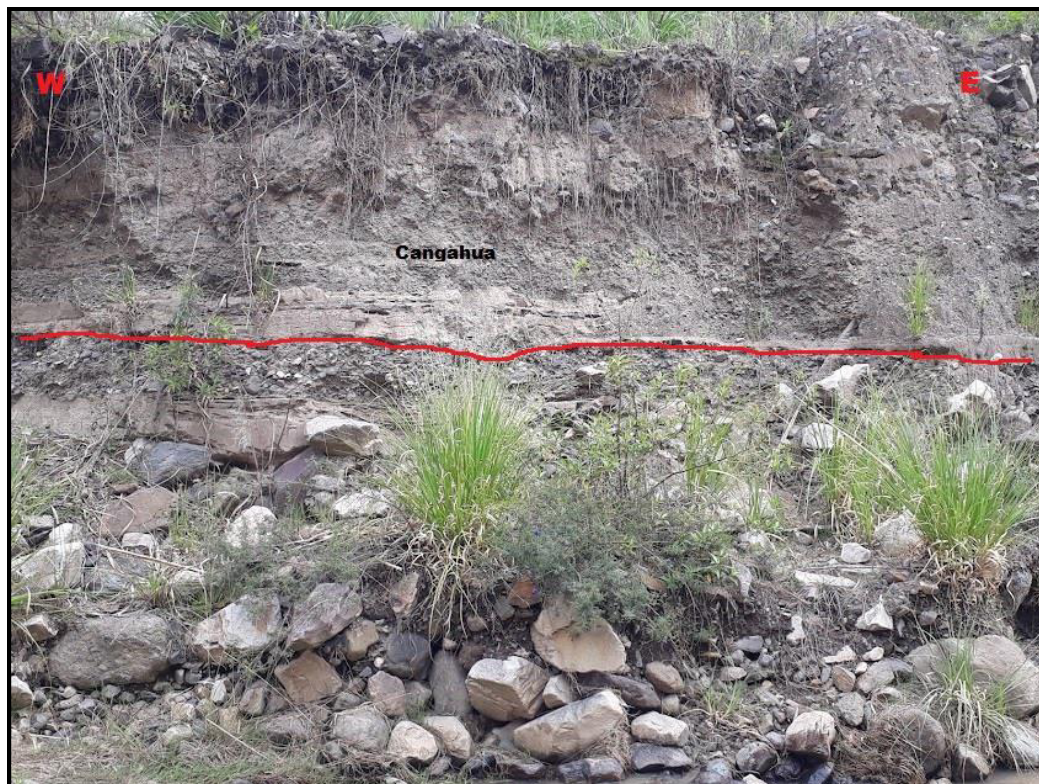
**Fotografía 21** Afloramiento de lutita al NE de Cuturiví, UTM 750105 – 9892078 (Foto: K. Arequipa - EPN).

### Depósitos Cuaternarios

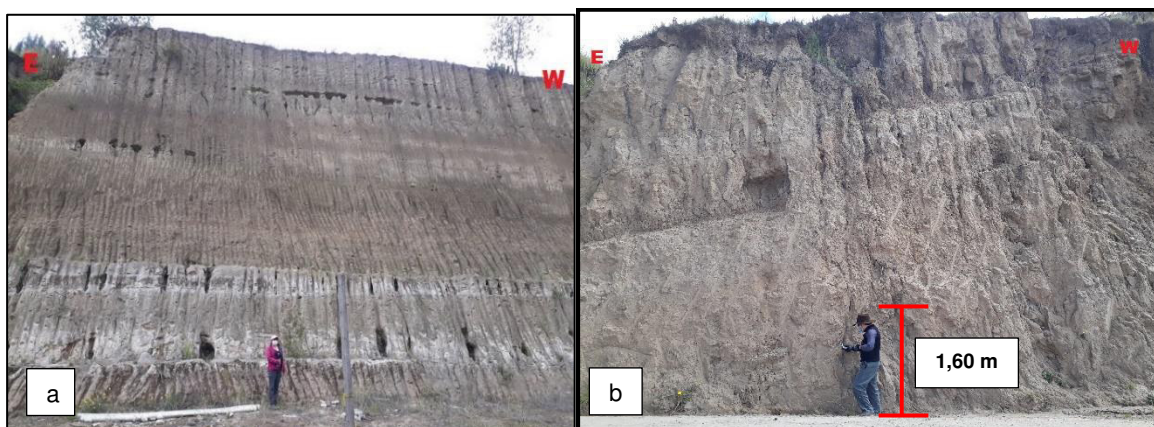
- **Cangahua**

Esta unidad de aproximadamente 4m de potencia aflorante, se encuentra en toda el área cubriendo parcialmente todas las secuencias más antiguas y expuesta en varios espesores en la parte sureste del deslizamiento reactivo de gran tamaño y partes altas del Río Patoa (Fotografía 22). En la parte del escarpe principal del deslizamiento reactivado de gran tamaño en la zona noreste partes bajas del Río Patoa el depósito tiene un espesor de hasta 30m (Fotografía 23). Constituidas por ceniza de

grano fino con tonalidades entre café y amarillo, presenta fragmentos de pómez. Las partes basales del afloramiento se encuentran muy consolidadas mientras que en la parte superior presentan menos consolidación por lo que presenta inestabilidad en sus capas lo que hace que se forme surcos o cárcavas de tamaño moderado (Fotografía 23b), también se puede observar capas centimétricas de lapilli con laminaciones de ceniza.



**Fotografía 22** Capa de Cangahua con lapilli subyaciendo aluviales aguas arriba del Río Patoa. UTM 7517899 – 9893225 (Foto: K. Arequipa - EPN).



**Fotografía 23** Capa potente de Cangahua con intercalación de laminación centimétrica de lapilli, toba y pómez a) aguas abajo del Río Patoa margen derecho, UTM 752080 - 9892903. b) escarpe principal del deslizamiento de gran tamaño, UTM 750381 – 9892543 (Foto: K. Arequipa – EPN).

## Depósito Superficial

- Coluvial

Al norte, en la microcuenca de una quebrada que confluye con el río Patoa y en la zona sur en el poblado de Cuturiví (Fotografía 24) presentan depósitos de pie de monte que forman pequeñas rampas de depositación provenientes de la erosión de los grupos de la Unidad Lutitas y la Cangahua. Los coluviales más antiguos se encuentran especialmente al NW del Cerro Punteras donde puede llegar a tener un espesor de 20 metros aproximadamente y es producto de la actividad del deslizamiento reactivo de gran tamaño (Fotografía 25). Presenta líticos volcanosedimentarios con tamaño grande y forma angulosa a subangulosa material semiconsolidado, clastos moderadamente clasificados y oxidados en matriz arena limosa presenta agrietamientos centimétricos a lo largo del depósito de aproximadamente 15cm (Fotografía 26). El más joven esta adherido al coluvial antiguo en la zona NW del Cerro Punteras su espesor tiene 5 metros aproximadamente con relieve irregular y pendiente abrupta, el producto de este coluvial es debido a la actividad reciente de un deslizamiento activo de pequeño tamaño (Fotografía 27). Presenta una litología similar al coluvial antiguo con diferencia que posee una mezcla homogénea en la parte superficial del coluvial antiguo y partes lenticulares alargadas de ceniza volcánica al SW.



Fotografía 24 Coluvial en la zona sur de la comunidad de Cuturiví, UTM 750066 - 9891636.  
(Foto: K. Arequipa - EPN).



Fotografía 25 Coluvial asociado al deslizamiento Reactivado, UTM 751159 – 9893304 (Foto: K. Arequipa - EPN).



Fotografía 26 a) agrietamiento en la carretera antigua Pujilí - Cachi Alto UTM 750944 - 9892559 b) Agrietamiento que se forma por el desplazamiento del deslizamiento reactivo con dirección NE-SW. UTM 750929 – 9892542 (Foto: K. Arequipa - EPN).



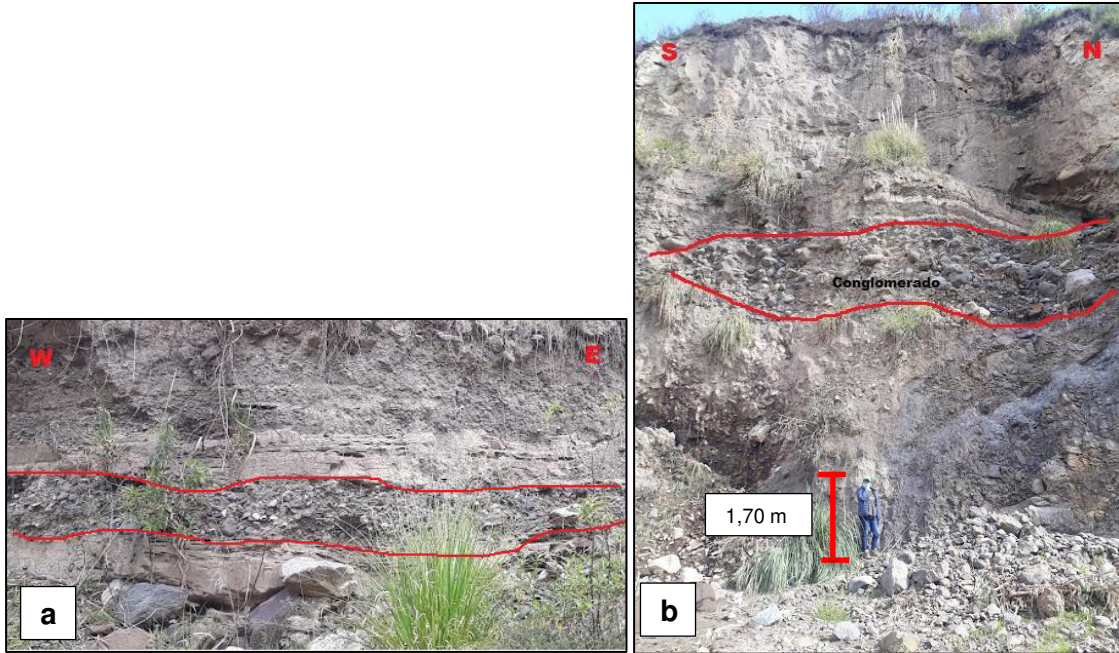
**Fotografía 27 Material caótico del coluvial reciente UTM 750868-9892667 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

- **Aluvial**

El depósito aluvial es originado por procesos de meteorización, erosión y transporte se ubica al N de la zona, a lo largo del Río Patoa y presenta un espesor de aproximadamente 10 metros, de edad Cuaternario. Debido a la topografía este ha sido arrastrado desde las partes altas y depositados en las partes bajas en donde se asienta el material (Fotografía 28), posiblemente por acción del agua y del viento. El aluvial está constituido por fragmentos de rocas subangulosas y subredondeados de tamaño métrico a centimétrico de composición volcánica (Fotografía 29), depositados en una matriz areno limosa de baja plasticidad de color gris claro a ocre con composición heterogénea.

Morfológicamente el aluvial está constituida por un río principal, en este caso el río Patoa y pequeñas Quebradas S/N como se observa en las comunidades de Cachi Alto, Cachi Bajo y Cuturiví.





**Fotografía 28** Aluvial margen del Rio Patoa a) clastos de menor tamaño centimétricos, UTM 751313 - 9893417 b) clastos de mayor tamaño centimétrico, UTM 751117 – 9893521 (Foto: K. Arequipa - EPN).



**Fotografía 29** Fragmentos de rocas subangulosas y subredondeados de tamaño métrico a centimétrico de composición volcánica UTM 751006 – 9893553 (Foto: K. Arequipa - EPN).

### 5.1.5 Entorno Estructural

Para la interpretación de la geología estructural, se utilizaron tres tipos de mapas: Mapa topográfico,

de pendientes y de modelo digital del terreno.

- **Mapa topográfico**

Para el Mapa topográfico se utilizó un Modelo de Elevación Digital con píxeles de 4 metros que cubre un área de aproximadamente 54000 km<sup>2</sup>. En el mapa topográfico se pudo observar que el área presenta un relieve accidentado con mayor predominio en la parte noroeste, así como también en la parte central representando zonas escarpadas en el área (Mapa N°10).

En cuanto a las curvas se observan dos tipos de relieve, uno bajo y suave que corresponde a zonas de drenaje con desembocadura hacia el río Patoa y una zona alta que cubre la mayor parte de la zona de estudio.

- **Mapa de pendiente**

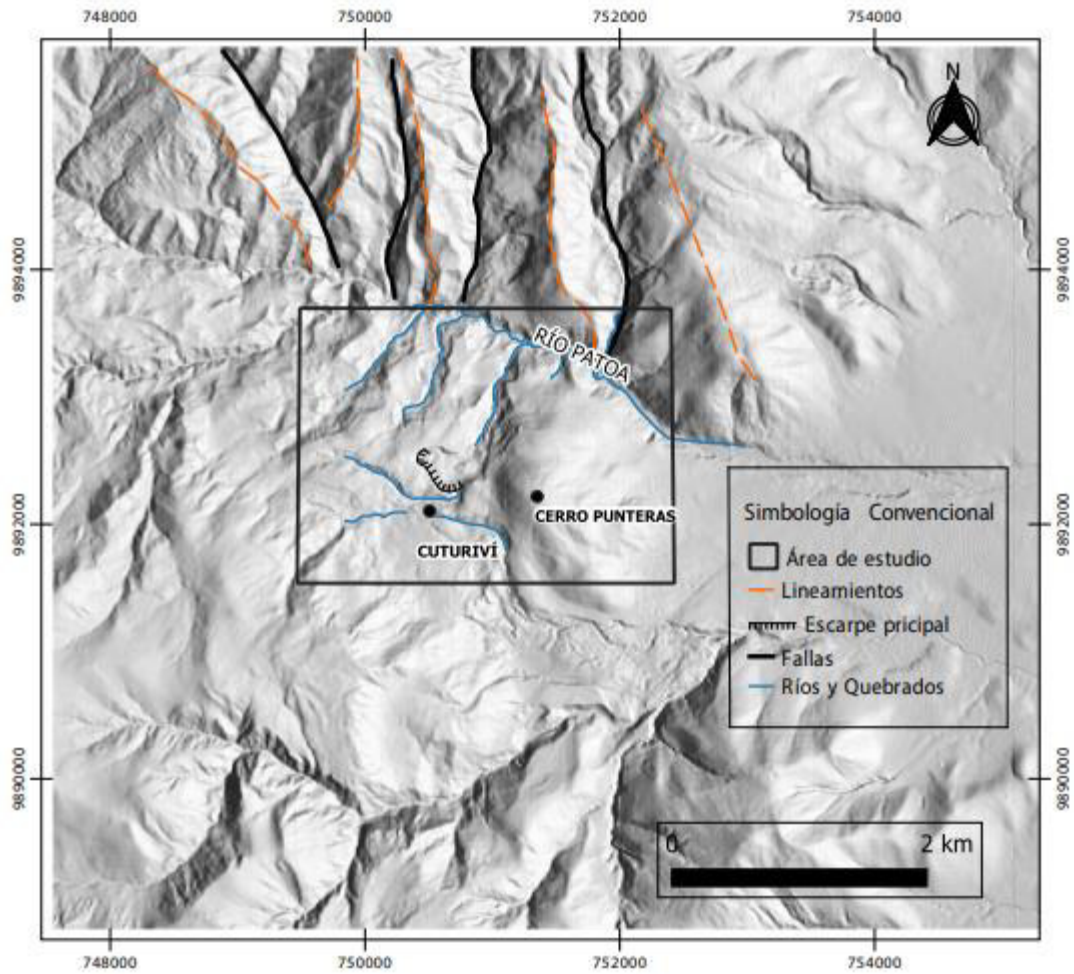
Para el Mapa de pendientes se empleó un Modelo de Elevación Digital del año 2021 con píxeles de 10 centímetros con un área de aproximadamente 4000 km<sup>2</sup>, para el mapa de pendientes se utilizó el área que cubre los tres deslizamientos tanto reactivado como activos-

El mapa de pendientes presenta cinco clases diferentes de patrones morfológicos (Mapa N°11) como: mesetas con clasificación de planicies representada en color verde oscuro, pendientes ligeramente inclinadas representada en color verde claro, laderas con valores moderadamente inclinadas representando en color amarillo y zonas escarpadas o pronunciadas con valores altos representados por color rojo.

- **Mapa del modelo digital de elevación del terreno**

Para este mapa se utilizó un Modelo de Elevación Digital con píxeles de 4 metros que cubre un área de aproximadamente 54000 km<sup>2</sup>. El mapa ayudó a observar el relieve de una forma tridimensional y fácil de apreciar de modo que las estructuras como fallas, cerros y lineamientos del área de estudio puedan tener una visión perceptible (Mapa N°12). El mapa de modelo de sombreado ayudó a verificar las fallas y lineamientos observados en fotografías aéreas (Figura 21).

Con el análisis de los diferentes mapas, los datos obtenidos y visualizados en campo, se identificó, varias fallas de tipo local con tendencias N-S (Fotografía 30) y otras con tendencia E-W con movimiento de tipo dextral. El área Occidental correspondiente a la parte Pujilí – Saquisilí comprende tres fallas descritas a detalle posteriormente. Estas presentan tendencia N-S asociadas paralelamente a un sistema de fallas mayor, las cuales evidencian deformaciones frágiles que afectan a los afloramientos de las Unidades Lutita, Lavas andesíticas y Cangahua, estas estructuras están consideradas como fallas gravitacionales, las cuales dejan en evidencia zonas de escarpes pronunciados acompañados de deslizamientos en la parte NE en el límite de la zona de estudio.



**Figura 21** Modelo de sombras donde se observa lineamientos y zonas de falla con tendencia N-S cerca del área de estudio y posibles estructuras que afecten al deslizamiento.



**Fotografía 30** Líneas negras continuas indican zonas de fallas con tendencia NS, líneas discontinuas de color tomate indican lineamientos NS, figuras de color café indican antiguas zonas de deslizamientos posiblemente asociadas al movimiento de fallas aledañas (Foto: K. Arequipa - EPN)

Por otra parte de acuerdo al Mapa de Falla y Pliegues Cuaternarios del Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes (Egüez et al., 2003) no se ha identificado fallas tectónicas que corten en superficie en el sector de Cachi Alto. Sin embargo, hacia el noreste y este de Pujilí se ha reconocido algunas estructuras de origen tectónico (Figura 23), con esfuerzos principales de acortamiento en dirección ~E-W confirmando la tectónica compresional en el Valle Interandino, lo que es coherente con la tectónica andina reconocida para el Ecuador.

### **Falla de Poaló**

La falla tiene una longitud de 22.6 km afecta sedimentos del Plioceno-Pleistoceno de la cuenca de Latacunga, presenta una dirección mayormente N-S y se la reconoce como una serie de colinas alargadas. Estas colinas presentan crestas alineadas las cuales responderían a un efecto de plegamiento abierto, produce una flexión asimétrica con una ligera vergencia hacia al oeste (Egüez et al., 2003).

### **Anticlinal Nacsiche**

Esta estructura tiene una longitud de eje de 25.3 km está formada por dos segmentos flexurales de tipo anticlinal, los cuales presentan una dirección N-S. El anticlinal se relaciona a fallas inversas ciegas que no afloran en superficie. Las estructuras forman el principal sistema de compresión y afectan a depósitos de la cuenca Latacunga-Ambato (Egüez et al., 2003).

### Anticlinal de Latacunga

El anticlinal presenta una longitud de eje de 14.1 km, tiene una dirección N-S es el resultado de movimientos inversos que no alcanzan la superficie y se los reconoce como unos escarpes flexurales alargados paralelos al río Cutuchi. El anticlinal está afectando depósitos laháricos del Plioceno. Adicionalmente, esta estructura controla la depositación de lahares (flujos de lodo) más recientes provenientes de la actividad eruptiva del volcán Cotopaxi (Egüez et al., 2003).

### Anticlinal Yanayacu

El anticlinal presenta una longitud de eje de 48.2 km, está relacionada a una falla ciega que presenta una inclinación hacia el este y que afecta sedimentos de la cuenca de la Latacunga. Superficialmente aparece como un pliegue monoclinal que se inclina hacia al oeste. Al norte se encuentran dos pliegues con mayor pronunciamiento (Egüez et al., 2003).

### Falla La Victoria

Esta falla no es reconocida dentro del catálogo de fallas y pliegues cuaternarios del Ecuador (Egüez, et al., 2003), sin embargo, es descrita por otros autores como (Ego, 1993, Lavenú et al., 1995) como una estructura de origen compresional que buza hacia el oeste y que limita el borde occidental del Valle Interandino en la zona de la cuenca Latacunga-Ambato.

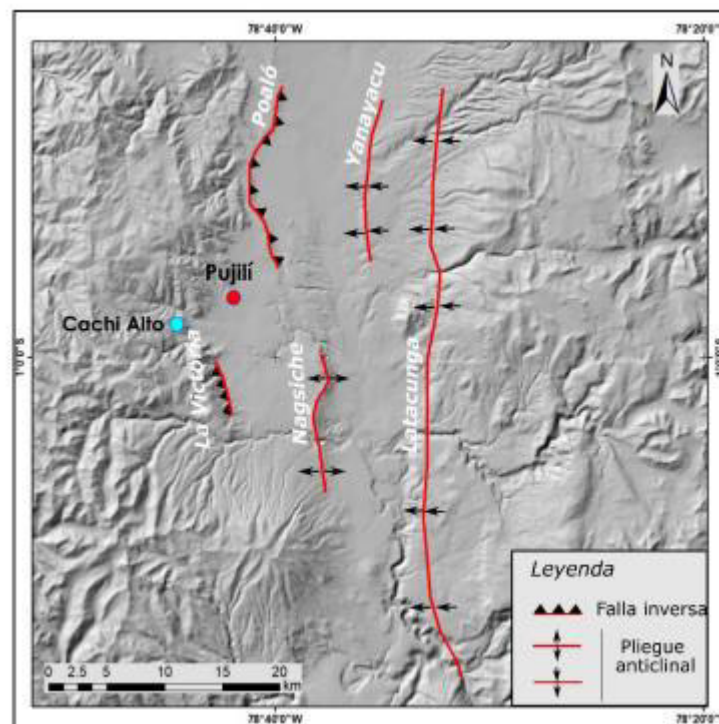


Figura 22 Mapa de fallas activas y pliegues alrededor de la Zona de Cachi Alto. (IG-EPN, 2021).

En el análisis de las ortofotos se observa la ocurrencia de geoformas como escarpes, contraescarpes, grietas, así como también estructuras fracturas y fallamientos al suroeste y a lo largo de toda el área de los deslizamientos reactivado y activos (Fotografía 30) los cuales se describirán acentuación.

En la nueva vía que dirige Cachi Alto - Santa Bárbara se observan escarpes en una zona de contrapendiente con dirección NE-SW y NW-SE; mientras que hacia el noreste se determinan escarpes de dirección NW-SE, asociados al deslizamiento reactivado (Fotografía 31).



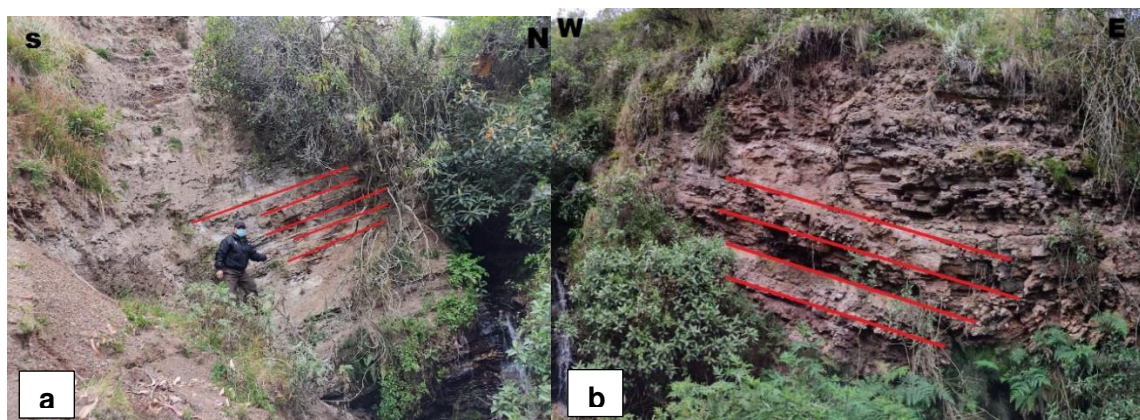
**Fotografía 31 En la corona del deslizamiento Cachi se observan estructuras marcadas de color negro UTM 759674 - 9892450 (Foto: K. Arequipa - EPN).**

Al sureste de las estructuras asociadas al deslizamiento reactivado se observa un escarpe de dirección E-W que se junta con el deslizamiento reactivado. Además, a lo largo de la vía nueva Cachi Alto - Santa Bárbara la ocurrencia de bloques de Cangahua buzando en contra pendiente y una posible falla NE-SW, sugieren el basculamiento de varios bloques limitados por fallas.

Al sur y suroeste del deslizamiento reactivado se observa una serie de escarpes discontinuos de dirección NE-SW y N-S, también grietas con dirección similar y otras con dirección E-W las cuales poseen espesores variables desde centímetros hasta metros con relleno de paleosuelo las cuales pueden estar asociadas a fallas gravitacionales

Se puede observar estructuras lineales con orientación EW y una suave inclinación al SE, dicha

estructura se encuentra afectando a las rocas sedimentarias clasificadas como lutitas. En este afloramiento se estudió indicadores cinemáticos como las fracturas relativamente planas con direcciones paralelas, a favor de la estratificación o laminación. Presentan un rumbo  $255^\circ$  y un buzamiento de  $30^\circ$  SE es decir que la estratificación de las capas de las lutitas es suavemente inclinada al SE (Fotografía 32), sin embargo, aunque existían indicadores estos no fueron suficientes para determinar el tipo de fallas, por ende, se establece como falla inferida.



**Fotografía 32 a) b) Lutita con deformación y fracturación presenta una falla que se alinea a un pequeño drenaje UTM 750105 – 9892078 (Foto: K. Arequipa-EPN).**

Localizada en la comunidad de Cuturiví Grande al suroeste del Cerro Punteras con una orientación EW, corresponde a una estructuras lineales paralelas que se forman en las rocas sedimentarias clasificadas como lutitas que afloran aproximadamente tres metros de espesor, es una zona amplia de deformación frágil, se observa un conjunto de fallas de rumbo NE-SW con los planos buzando  $60^\circ$ SW y  $70^\circ$ SE, sin embargo, aunque existían indicadores estos no fueron suficientes para determinar el tipo de fallas. (Fotografía 33).



**Fotografía 33 Lutitas que presentan deformación y fracturación en la parte superior se observan escarpes con dirección NE-SW UTM 750197 – 9892125 (Foto: K. Arequipa-EPN).**

Al oeste del Cerro Punteras está presente una estructura con orientación NNE – SSE, y cuya dirección del plano de falla es N220° y un buzamiento de 87° al SW.

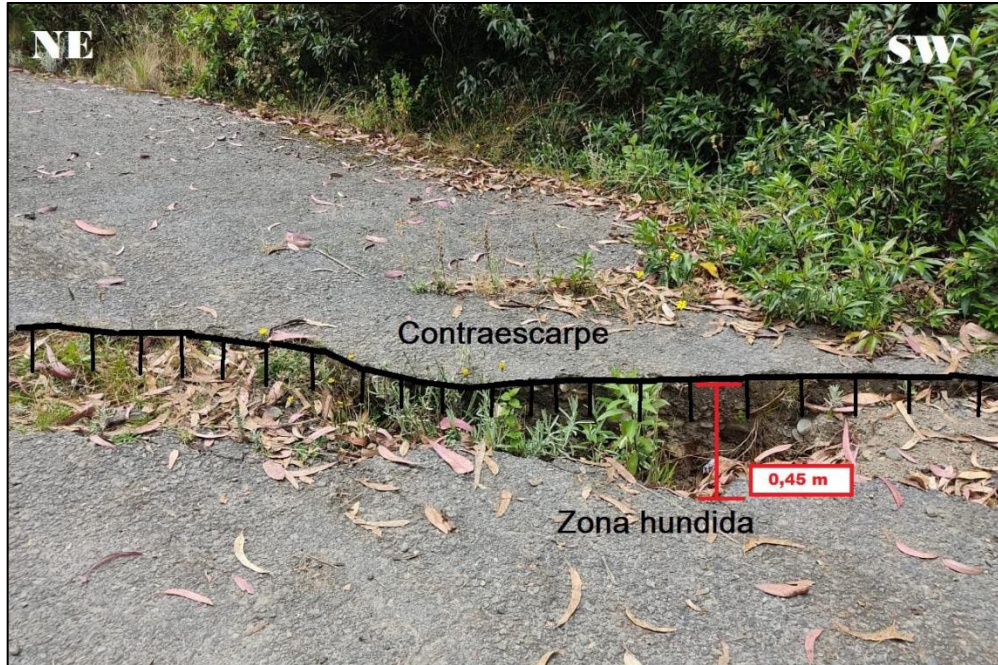
Morfológicamente está representada como la zona de escarpe que forma parte del deslizamiento reactivado de tipo rotacional, para entender su cinemática se estudiaron y determinaron varios indicadores como fracturas, paralelas, planos de estrías, esta estructura posee un desplazamiento de bloques que determina una falla de tipo normal, posiblemente gravitacional y se encuentra afectando a la unidad de Cangahua con aproximadamente seis metros de espesor (Fotografía 34).



**Fotografía 34 Estructura morfológica – fallamiento activo afectando a la Cangahua UTM 750381 – 9892543 (Foto: K. Arequipa-EPN)**

En el tramo de la vía antigua Pujilí - Cachi Alto presenta un escarpe y contraescarpe con dirección NE-SW (Fotografía 35) afectando a la vía. Así como también en la (Fotografía 36) se observa un desplazamiento de 0,25 metros en el transcurso del 01 de febrero de 2021 al 12 de septiembre de 2021 que se han generado un escarpe que pertenece al deslizamiento reactivado, estas estructuras han desencadenado hundimientos y levantamientos de bloques de terreno en el cuerpo del deslizamiento reactivo.



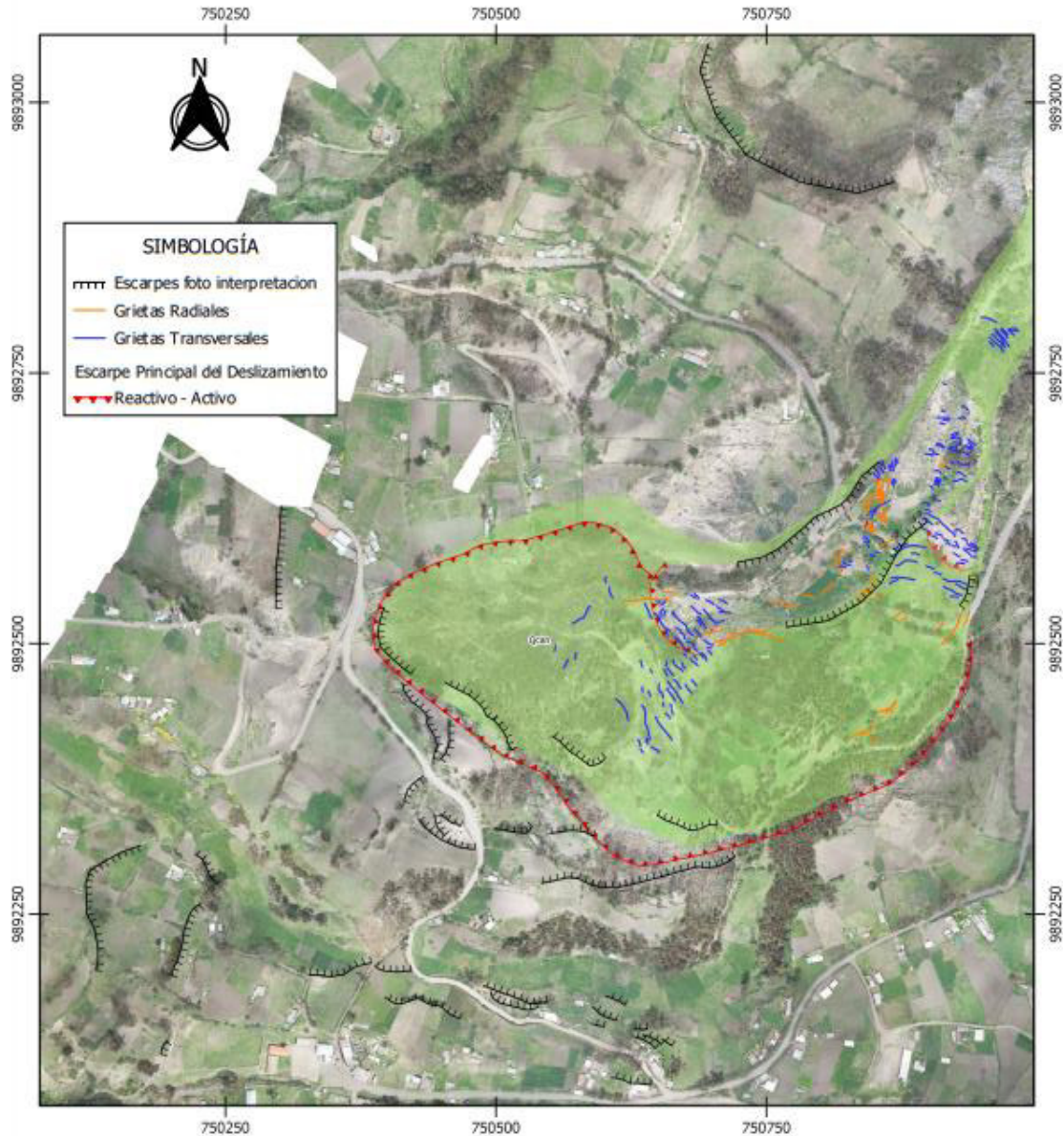


**Fotografía 35** Estructura morfológica en la vía antigua de Pujilí - Cachi Alto. El trazo de color negro representa el contraescarpe, las líneas discontinuas de color azul representan las grietas transversales. UTM 750929 – 9892517 (Foto: K. Arequipa-EPN).

-



**Fotografía 36** Estructura morfológica en la vía antigua de Pujilí - Cachi Alto. El trazo de color negro representa un escarpe, las líneas discontinuas de color tomate representa el escarpe del deslizamiento reactivado a) Foto tomada el 01 de febrero de 2021 b) Foto tomada el 12 de julio de 2021 (Foto: K. Arequipa-EPN)



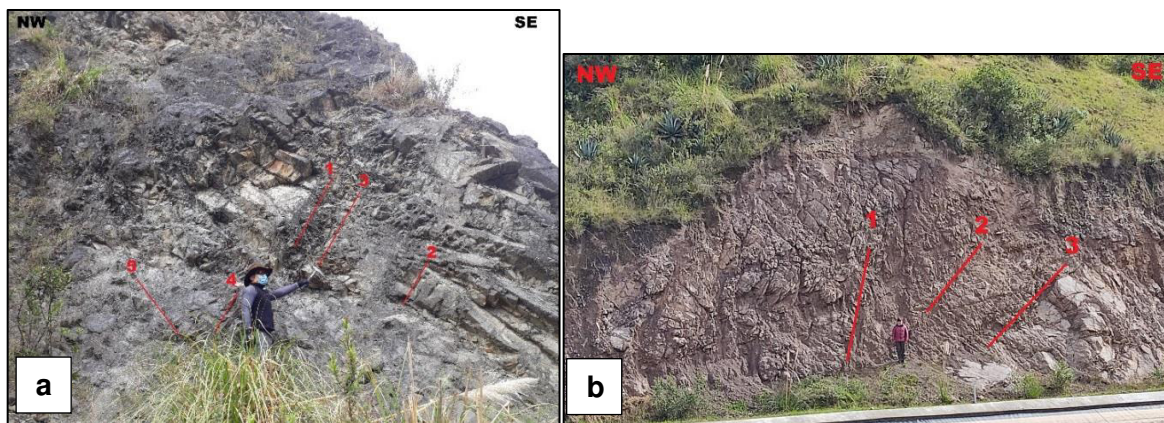
**Figura 23 Estructuras morfológicas foto interpretadas en las fotografías representan un acercamiento al área de estudio en el que se observa escarpes, varias grietas radiales y transversales en el cuerpo del deslizamiento.**

### **Estructuras de lavas andesíticas y dacíticas producto de tectonismo.**

Estas estructuras se evidenciaron en tres sitios la primera (Fotografía 37a) se localiza al NW del Cerro Punteras con orientación NE buzando al SE de composición andesítica; la segunda estructura (Fotografía 37b) se localiza al Noreste con una orientación EW prácticamente verticales buzando hacia NW de composición dacítica.

Estas estructuras se caracterizan por la ocurrencia de una muy amplia zona de deformación frágil. Las fracturas mayormente paralelas se encuentran deformando a la unidad lavas LvA, por lo que

las condiciones hacen que la zona norte dirección que se dirige los deslizamientos reactivos y activos sean susceptibles. Se observan indicadores cinemáticos como vetillas de calcita y estrías que indicarían posible fallamiento.



**Fotografía 37 a) Estructura de lava andesítica, UTM 751143 – 9893279 b) Estructura de lava dacítica, UTM 751908 – 9893073 (Foto: K. Arequipa-EPN).**

### **5.1.6 Mecanismos de falla Factores Condicionantes**

Dentro de los factores condicionantes que se pudieron identificar están los siguientes:

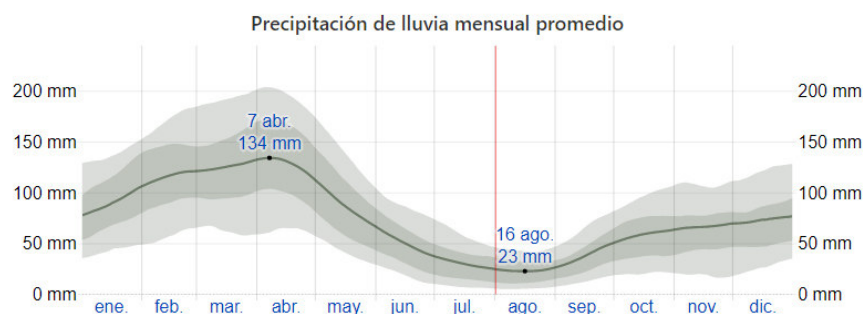
**La litología:** toda el área está comprendida mayormente por Cangahua según estudios de Burga (2019) la geomecánica de la Cangahua es buena. Presenta valores altos de cohesión 75,75 (KN/m<sup>2</sup>) lo que provoca la inestabilidad en el área por otra parte el área se encuentra comprendida en menor cantidad por rocas volcánicas que han sufrido proceso de meteorización, alteración y fracturación.

**Relieve:** Se identificó relieves como pendientes suaves ligeramente inclinadas. Las pendientes fueron reclasificadas en cinco rangos en la cual en el norte se ha evidenciado terrazas pequeñas a lo largo del Rio Patoa y al sur se caracterizó el rango de 0° y 8.5° que corresponde a una clasificación de pendientes muy baja. Además, también se puede evidenciar pendientes medianas que van desde los 16.7° y 26.6° principalmente a lo largo de los drenajes. Tanto los escarpes y flancos del deslizamiento reactivo de gran tamaño y activo de mediano tamaño en la zona denominada Punto Cuchauco presentan pendientes 26.6° a 45° y zonas específicas a lo largo de la corona de los deslizamientos en donde la pendiente es mayor a 45° clasificada como pendiente muy alta (Mapa 11).

**Estructura:** La zona de Cachi Alto, Cachi Bajo y Cuturiví no se encuentran dentro de una zona

con actividad tectónica según los datos obtenidos por la estación sísmica temporal instalada por el Instituto Geofísico de la EPN. Sin embargo, se puede evidenciar afloramientos de roca que presentan deformación debido a una posible compresión por proceso gravitacional lo que ha afectado a la Unidad de Lutitas al sur. También se puede evidenciar fracturas en las capas de Cangahua moderadamente competente, los planos de fracturas se caracterizan por presencia de indicadores de desplazamiento reciente con componente vertical y horizontal como espejos de falla y estrías de falla. Además, se pueden observar fracturas que están relacionadas con los escarpes provocados por el asentamiento o levantamiento de terreno.

**Climáticos:** La información de pluviosidad según datos de la Dirección General de Aviación del Ecuador (DAC) datan desde 1972 donde establece que la humedad promedio es de 73% teniendo pluviosidades que varían entre 30mm- 68mm, siendo promedio 45.74 mm (AIP, 2018). Datos de variación durante un mes indican que el mes donde la mayoría de lluvia cae es en el mes de abril, con una acumulación total promedio de 134 milímetros y la fecha de menor cantidad de lluvia es en el mes de agosto con una acumulación total promedio de 23 milímetros (Figura 24). (Weather, 2019)

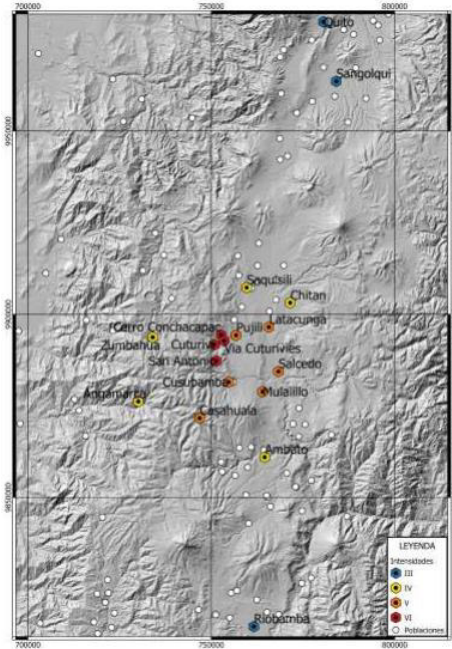


**Figura 24 La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días centrado en el día de cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. (Weather, 2019)**

### Factor Desencadenante

Dentro de los factores desencadenantes que se pudieron identificar durante el levantamiento de campo se encuentran los siguientes:

**Sismo:** El área de estudio se encuentra cerca de dos epicentros sísmicos generados el 16 y 17 de noviembre de 1962 (José, 1962) (Figura 25) así como en el 28 de marzo de 1996 siendo el sismo más fuerte denominado terremoto de Pujilí de magnitud 5.9 Mw (Egred, 1996) los cuales han provocado no solo daños infraestructurales si no también asentamientos de tierra en la comunidad de Cuturiví y agrietamientos y deslizamientos en las faldas de los cerros Casahuala, Cuturiví y Conchacapac debido a su alta intensidad (Castro, 2021). Según el nuevo modelo sísmico para el Ecuador la zona está caracterizada como zona de peligro alta (Beauval et al., 2018)

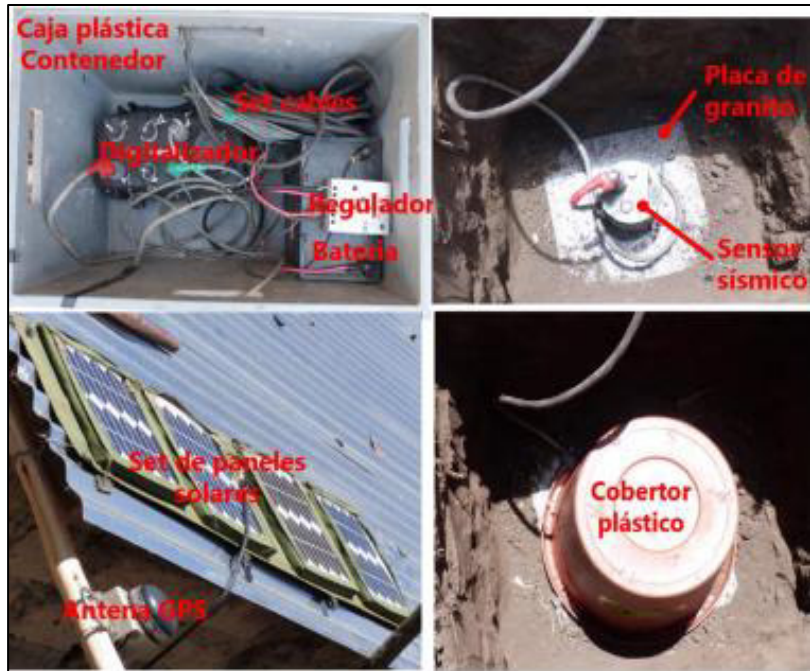


**Figura 25 Distribución espacial de intensidades del sismo de 1962. (Castro, 2021)**

### **Estudios sísmicos**

Existen varios eventos alrededor del mundo que indican que el potencial destructivo puede ser muy elevado e incluso catastrófico debido a los terremotos considerado como efecto secundario de un sismo. En Ecuador existen varios ejemplos, como el sismo ocurrido en 1987 con epicentro en el Reventador de 6.4 Mw el cual provocó que el impacto de los deslizamientos se incrementa progresivamente en las zonas cercanas al epicentro. Las pérdidas fueron altas respecto a las generadas por la sacudida directa del sismo como la rotura del oleoducto en varios tramos, destrucción de vías, el represamiento del río Coca, dando como resultado la pérdida de vidas humanas y económicas (miles de millones de dólares) principalmente por la imposibilidad de transporte de petróleo hacia Esmeraldas (Hall, 2000).

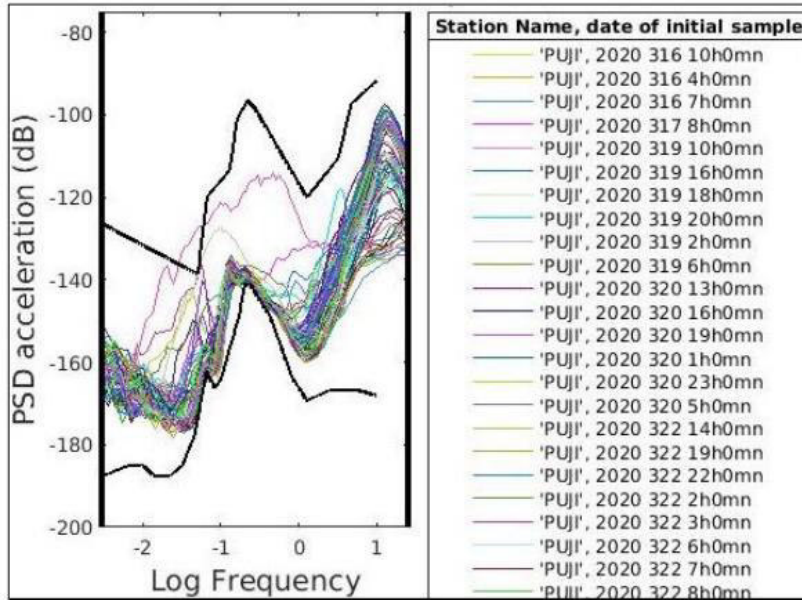
Debido a que se conoce que la actividad sísmica puede influir significativamente en la ocurrencia de deslizamientos y sobre todo en zonas donde se evidencia una marcada inestabilidad de terreno , como es el caso de lo observado en el sector de Cachi Alto, Cachi Bajo y Cuturiví, (Egred, 1996) El Instituto Geofísico realizó la instalación de una estación sísmica temporal instalada entre el 10 de noviembre de 2020 hasta el 17 de diciembre de 2020 bajo pedido del Municipio de Pujilí con la objetividad de ayudar a la identificación de sismicidad, especialmente de baja magnitud, con fuente en fallas cercanas a la zona de estudio y que, en un momento dado, puedan generar un sismo que acelere o dispare el deslizamiento de Cachi Alto (Fotografía 38).



Fotografía 38 Equipo instalado en el sitio de Cachi Alto. UTM 751043 – 9892259 (Vaca, 2021).

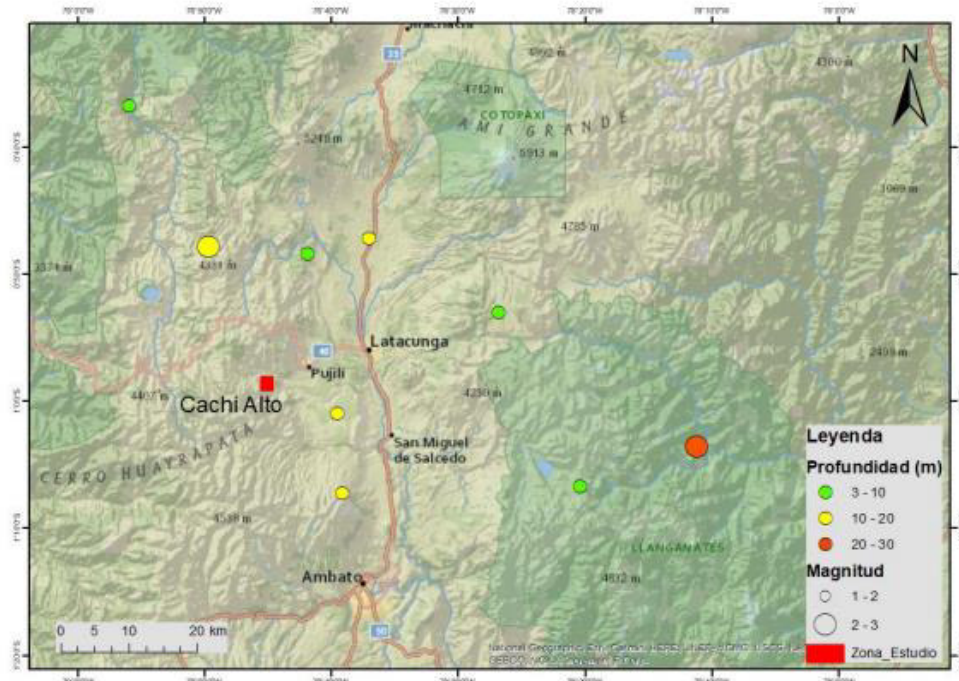
### **Análisis y resultados de la sismicidad registrada con la estación temporal**

En cuanto al análisis del nivel de ruido se tomó de una forma aleatoria 380 ventanas de señal con una hora de duración. El resultado del análisis de las ventanas tomadas se compara con un modelo definido por Peterson (1983) en donde los límites inferior y superior marcadas (Figura 26) sirven como estándares. Estos estándares indican que mientras los resultados tomados se acerquen al límite inferior el ruido sísmico en la estación será lo suficientemente óptimo y mejor será el nivel de detección de la estación ubicada en el sitio. Existen pocos resultados que indican niveles de ruido alto los cuales se encuentran cerca del límite superior y pueden estar asociados a la ocurrencia de sismos lejanos. Sin embargo, se encuentran por debajo del límite, por lo que el resultado de la detección para los sismos es adecuado.



**Figura 26** Líneas de colores indican los niveles de ruido calculado en el área de estudio.  
(Vaca, 2021)

Entre el 10 de noviembre al 17 de diciembre de 2020 se registraron 57 sismos de los cuales 48 presentan señales de muy baja amplitud los cuales se registraron en la estación temporal PUJI y 9 fueron lo suficientemente grandes y tuvieron registros en más de tres estaciones de la RENSIG para realizar una localización. Cabe notar que las magnitudes de los eventos localizados, están alrededor o sobre la magnitud de completitud de la sismicidad con epicentros dentro de un área de 50 km respecto al área de estudio el cual permite definir la mínima magnitud, sobre la cual todos los eventos son registrados por la red de monitoreo. (Figura 27).

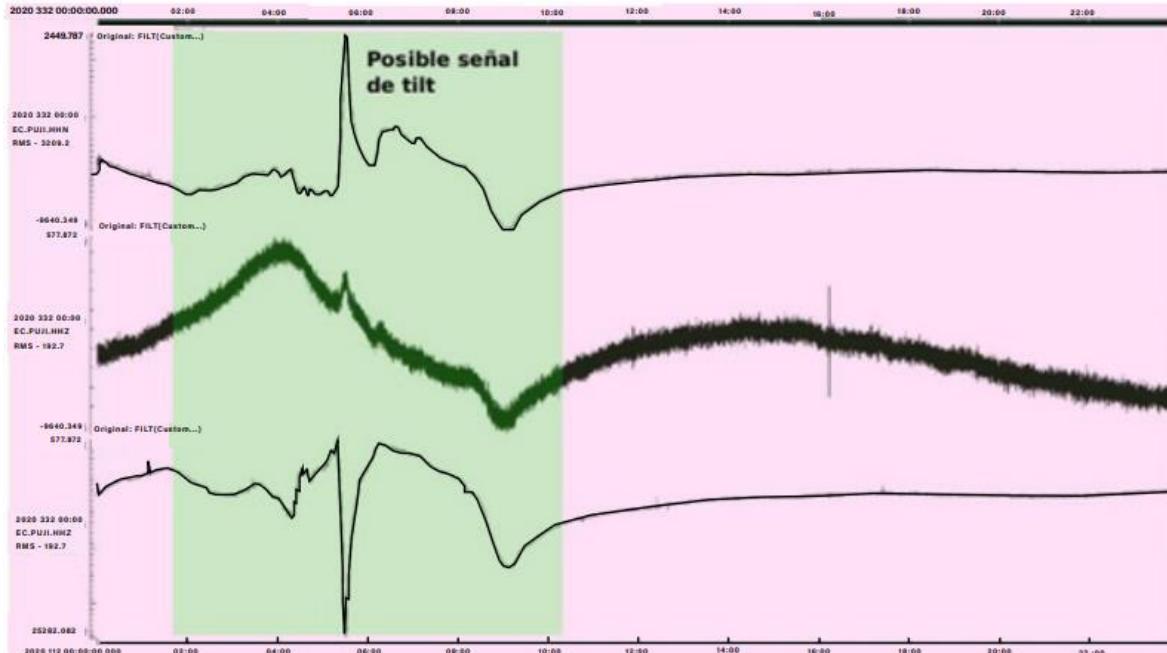


**Figura 27 Localización de sismos comunes registrados en la RENSIG y la estación temporal PUJI. (Vaca, 2021)**

### **Señales de posible tilt (inclinación).**

Los sismómetros de banda ancha, como el instalado en Cachi Alto son sensibles a inclinaciones por cambios importantes en la distribución de masa en las zonas cercanas. Durante la noche y madrugada del 27 de noviembre de 2020, se registró una señal con alta amplitud y muy baja frecuencia, la cual duró aproximadamente 7 horas (Figura 28). Esta señal podría estar relacionada a un pulso de activación o incremento de velocidad de movimiento del deslizamiento, ya que un cambio en la distribución de material podría haber motivado un aumento de presión (mayor peso) en unos sitios en detrimento de otros, desde donde el material se movilizó.(Vaca, 2021)





**Figura 28 Señal sísmica (3 componentes) de la estación temporal PUJI correspondiente al día 27 de noviembre de 2020, filtrada bajo una frecuencia de 1 Hz. La zona verde indica la duración de un tilt. (IG-EPN, 2020)**

De ser real la hipótesis previamente expuesta, el posible movimiento no estaría ligado a actividad sísmica (no hay incremento o eventos de importancia en este período). Si no la posible causa, podría deberse a un aumento del contenido de humedad del suelo, por un incremento de lluvias en la zona.

### **5.1.7 Caracterización de los Movimientos en Masa de Cachi Alto**

Para la caracterización de los Movimientos en Masa fue necesario la información obtenida en las fichas de identificación de deslizamiento. Este inventario se realizó para tres deslizamientos, constan de información como: código, tipo de deslizamiento, sitio, área (km<sup>2</sup>), coordenadas, litología, uso de suelo y que se describen a continuación.

#### **Deslizamiento Rotacional**

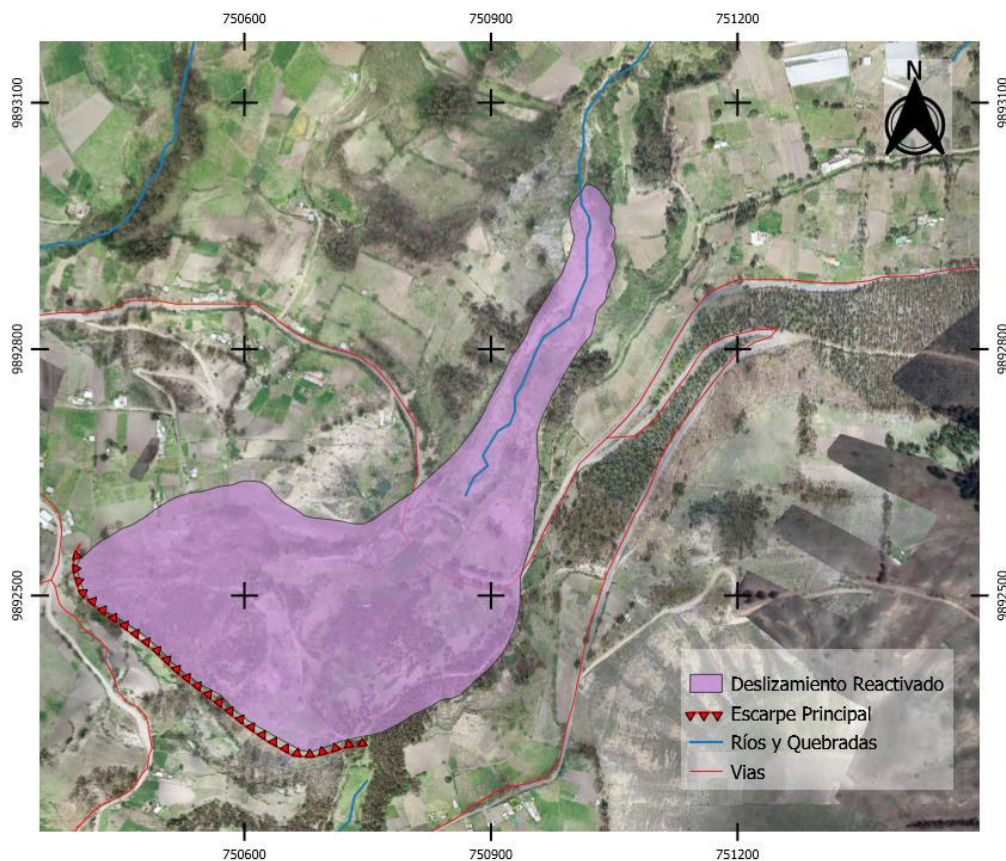
**Cantón: Pujilí**

**Sitio: Comunidad Cachi Alto**

**Coordenadas: 750527 E – 9892393 N**

El deslizamiento se encuentra al SW del Cerro Punteras en la zona denominada como Punto Cuchaucó. Se identificó el deslizamiento como tipo rotacional y clasificado como reactivado. Este deslizamiento es de gran tamaño, su área medida el 18 de enero de 2021 correspondía a 151 km<sup>2</sup>. Presenta un escarpe principal con altura aproximada de 20 metros y una longitud de 492 metros.

En cuanto a su morfometría es como herradura y su talud es inclinado al N y al E (Figura 29). El pie del deslizamiento es confluyente al Río Patoa con la Quebrada S/N, además presenta un depósito caótico de gravas mal sorteadas con matriz de arena y limo interpretado como flujo generado por el deslizamiento. Los daños causados por este deslizamiento han sido en un corral de aproximadamente 30 m<sup>2</sup> de área y en terrenos de cultivo ubicado en la zona de desprendimiento.



**Figura 29** Escarpe principal del deslizamiento moderadamente activo observado al suroeste en la comunidad de Cuturiví rodeando la carretera de segundo orden.

En esta área el deslizamiento forma terrenos homogéneos en donde se ha involucrado volúmenes altos de material los cuales han provocado cambios notables en la estructura del suelo, comprende depósitos de ceniza tipo cangahua y en la parte del talud del escarpe se observa lavas, areniscas, lutitas y brechas conglomeráticas.

### **Deslizamiento Complejo**

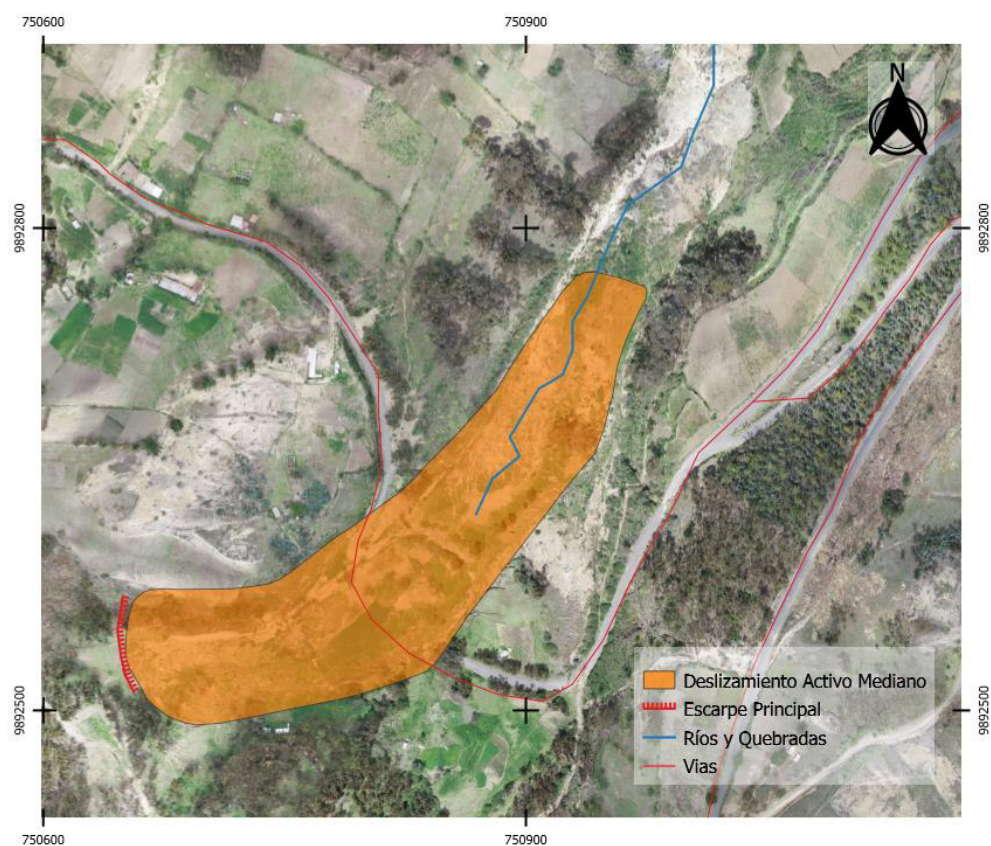
**Cantón: Pujilí**

**Sitio: Comunidad Cachi Alto**

**Coordenadas: 750667 E - 9892522 N**

El deslizamiento ubicado al SW del Cerro Punteras en la zona denominada como Punto Cuchauc dentro del deslizamiento reactivo de gran tamaño presenta un escarpe principal en forma de herradura, alcanza una altura medida el 18 de enero de 2021 de 3 metros aproximadamente y 108 metros de longitud (Figura 30). La morfología del deslizamiento es tipo ovalado con dirección NE SW y desde el escarpe principal hasta el pie del deslizamiento presenta una longitud de 348 metros, dentro del deslizamiento se encuentran grietas transversales y radiales que van desde los 5 centímetros hasta los 10 centímetros, a los costados del deslizamiento se puede observar estrías que indican el sentido del movimiento (Fotografía 39 y 40). EL deslizamiento es identificado y clasificado como tipo rotacional desde la corona hasta el cuerpo del deslizamiento y traslacional hasta el pie del mismo activo de mediano tamaño, por ende, se lo clasifica como Deslizamiento Complejo.

Litológicamente está formado por una potente capa de cangahua depósito coluvial con varios espesores a lo largo del deslizamiento. Los daños causados por el deslizamiento han sido el estancamiento de agua posiblemente vertiente (Fotografía 41) y estructurales como el daño de una casa y un corral de aproximadamente 420 m<sup>2</sup> de área y la deformación de la carretera antigua que conectaba al Cantón Pujilí con la comunidad de Cachi Alto.



**Figura 30 Deslizamiento traslacional activo de mediano tamaño afectando a la carretera antigua que dirigía Pujilí- Cachi Alto el cual se encuentra inmerso al deslizamiento reactivado de gran tamaño-**



**Fotografía 39** Estrías provocadas por el desplazamiento de terreno con orientación NE SW, UTM 750929 – 9892517 (Foto. K. Arequipa-EPN).



**Fotografía 40** Grietas formadas en la carretera vía antigua Pujilí - Cachi Alto. UTM 750942 – 9892535 (Foto: K. Arequipa-EPN).



**Fotografía 41** Presencia de vertientes de agua a lo largo del cuerpo del deslizamiento activo de mediano tamaño marcados de color azul (Foto: K. Arequipa-EPN).

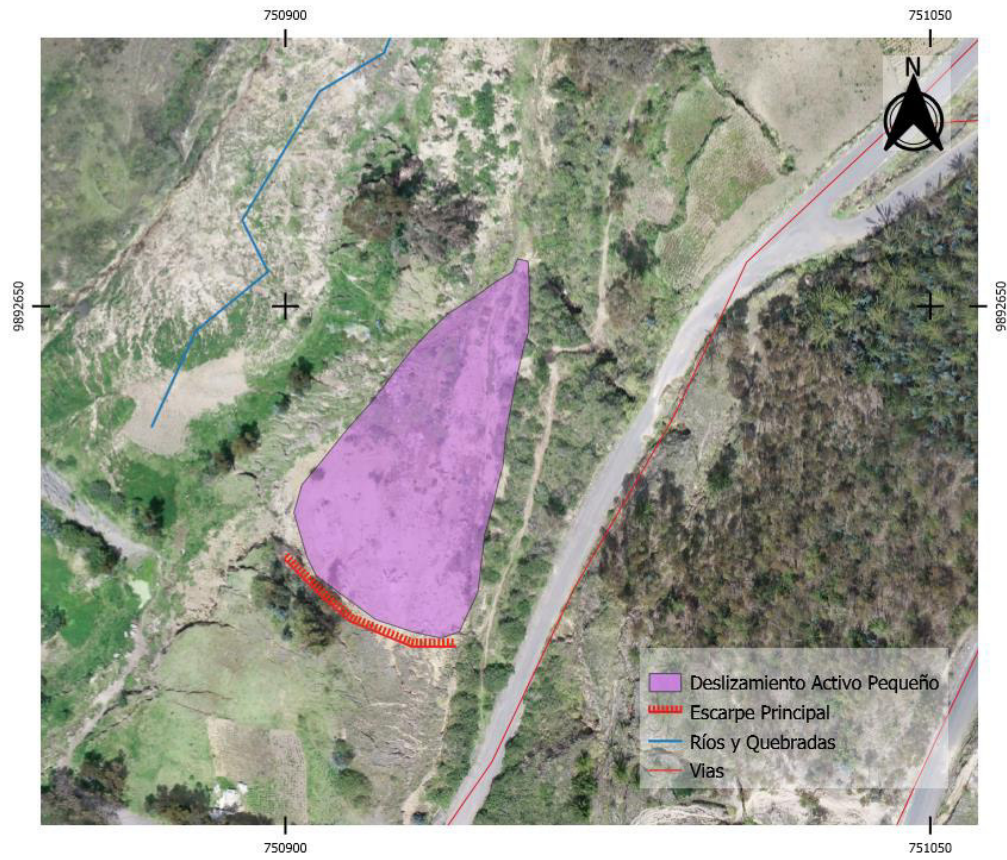
### **Flujo de detritos**

**Cantón:** Pujilí

**Sitio:** Comunidad Cachi Alto

**Coordenadas:** 750887 E – 9892530 N

El deslizamiento ubicado al E del deslizamiento activo de mediano tamaño en la zona denominada como Punto Cuchaucó. Este afecta a una colina con altura aproximada de 10 metros (Figura 31), la cual se ha generado por la posible acción del deslizamiento de mediano tamaño. Tiene una longitud de 110 metros desde el escarpe hasta el pie del deslizamiento. El deslizamiento presenta grietas transversales de 3 - 5 centímetros aproximadamente y en parte de la corona se observan grietas de tensión, lo que indica que la zona está en constante movimiento y es también inestable (Fotografía 42). El deslizamiento es clasificado en base al área que abarca como tipo de flujo activo de pequeño tamaño, litológicamente está formado por una potente capa de Cangahua y depósito coluvial. Los daños causados son en áreas de sembrío.



**Figura 31 Deslizamiento traslacional activo de pequeño tamaño se encuentra en la parte este del deslizamiento activo de mediano.**



**Fotografía 42 Deslizamiento pequeño activo las flechas amarillas indican la dirección del movimiento del coluvial, las líneas tomates indican las grietas transversales que indican el movimiento constante del deslizamiento, (Foto: K. Arequipa – EPN).**

## 6. DISCUSIÓN

La zona de estudio y su área de influencia se encuentran formando parte de la zona baja de las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental de los Andes, muy cerca de la Depresión Interandina, la región está constituida por rocas ultramáficas, volcánicas máficas, sedimentarias y rocas volcanoclásticas-volcanosedimentarias, además de pequeños cuerpos intrusivos.

La secuencia más antigua expuesta en la parte norte (Mapa N°15) se encuentra constituida por lavas porfiríticas de color gris verdoso a gris claro poseen minerales de plagioclasa, piroxenos y anfíboles con bordes alterados de bajo magnetismo. Presentan minerales de alteración como clorita, epidota diseminada y vetillas de calcita. Considerando las características petrográficas son andesitas basálticas. Según Longo et al. (1980), estas rocas en un inicio fueron interpretadas como parte de la Formación Macuchi ya que el estudio se realizó tomando muestras de la zona de Latacunga donde se consideró realizar una hoja Geológica de Latacunga a escala 1:100000 según los resultados obtenidos por el autor que posteriormente se escaló a darle el mismo criterio al resto de la zona no estudiada. Egüez (1986), la redefinió como Unidad Macuchi tomando en cuenta las diferencias entre las características geológicas. En el presente estudio las rocas reportadas por Hughes & Bermúdez (1997) se relacionan con las rocas expuestas a lo largo del Río Patoa, quienes las definen como andesitas basálticas e interpretan que estas rocas constituyen intrusiones locales sin relación con la Unidad Macuchi.

En el presente estudio se analiza los volcanoclastos y volcanosedimentos que subyacen a las andesitas basálticas, incluyen principalmente brechas conglomeráticas de color gris claro a marrón y negro. Está constituida por clastos subangulosos a subredondeados de origen volcánico de composición andesítica a dacítica. Además, areniscas tobáceas de color grisáceo a café claro con presencia de grano fino a medio de cristales de plagioclasa y cuarzo, limolitas tobáceas y lutitas con plegamiento. Capas suavemente inclinadas de color gris oscuro, marrón a ocre presentan minerales arcillosos de grano fino de cuarzo y feldespatos; dichas características petrográficas concuerdan con lo establecido por Hughes & Bermúdez (1997).

La parte superficial que se observó en el sitio de estudio y subyace a las unidades antes mencionadas compuestas de andesita basáltica, volcanoclastos y volcanosedimentos, presenta una potente capa de ceniza volcánica con fragmento de lapilli de forma periclinal, la cual posiblemente se correlaciona con la capa de ceniza volcánica expuesta más al este en el valle Interandino, incluida en la Formación Cangahua en los estudios realizados por Longo et al., (1980).

Con relación al contexto estructural de acuerdo al Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes descritas por (Egüez et al., 2003) y la Neotectónica y



Cinemática de la deformación continental del Ecuador evaluado por Alvarado (2013) no se ha identificado ninguna falla tectónica que afecte al área de estudio. Sin embargo, se observan estructuras de origen tectónico al nor-este de Pujilí. Por otra parte, la estación sísmica temporal instalada en el área de estudio registró resultados de las vibraciones inducidas al suelo, según el informe sísmico del Instituto Geofísico de un total de 57 eventos registrados, 9 fueron catalogados como lo suficientemente grandes y no se encuentran dentro del área de estudio. Los 48 eventos sísmicos restantes se registraron como vibraciones pequeñas, por lo que no se asocia a fallas tectónicas según el estudio realizado por Vaca (2021). Los resultados obtenidos difieren del análisis estructural realizado por Burga (2019), que interpreta que la zona está atravesada por tres sistemas, el primero de rumbo NNE-SSW de tipo inverso con el plano falla buzando al WNW, el siguiente de rumbo NE-SW de tipo inverso con el plano de falla buzando al SE y por último el sistema de rumbo E-W de tipo transcurrente dextral.

Las estructuras morfológicas fotointerpretadas, escarpes, contraescarpes y grietas, se distribuyen mayormente en la parte oriental de la ladera y al sur de Cachi Alto-Cuturiví con direcciones NE-SW, NS, NW-SE. Estas pueden estar asociadas a procesos de deformación gravitacional profunda de ladera, que corresponden a grandes deslizamientos que duran largos periodos según el estudio realizado por Cruden & Hu (1993), así como también, la presencia de vertientes superficiales en el cuerpo del deslizamiento activo de mediano tamaño, junto con el agua lluvia misma que es depositada en las grietas del deslizamiento provocando una inestabilidad.

Los vectores de desplazamiento analizados desde agosto de 2017 hasta enero del 2021 para 10 puntos de control indican un movimiento con tendencia NE y EW con diferentes desplazamientos, siendo el mínimo en el periodo de junio de 2017 a 17 de diciembre de 2019. El punto de control (PC2) correspondiente a una casa que se encuentra dentro del área del deslizamiento denominado como reactivado de gran tamaño con una tasa de movimiento de 0,08 m/mes. Un máximo desplazamiento generado en el mismo periodo de junio 2017 a 17 de diciembre de 2019 marcando de 3,27 m/mes ~~en~~ en el punto de control (PC5) ubicado en el desplazamiento denominado como activo de tamaño mediano en la carretera antigua que dirigía Pujilí – Cachi Alto.

Lo que respecta a los movimientos en masa se clasifican en tres: El Movimiento en Masa cuyos datos generados por un extensómetro ubicado en la parte occidental de la corona del deslizamiento determinan que presenta un movimiento de 0,59 cm/mes por lo que se le clasifica como reactivado de gran tamaño. Este deslizamiento afecta mayormente a la unidad formada por ceniza volcánica, y es considerada una zona inestable lo que contradice al estudio realizado por Analuisa (2019) quien interpreta esta zona como estable. El segundo y tercer Movimiento en Masa presentan grietas radiales y transversales provocadas por condiciones morfológicas y la pluviosidad lo que permite

interpretarlos como activos de tamaño mediano y pequeño los cuales se encuentran inmersos en el deslizamiento reactivado.

## 7. CONCLUSIONES

- La evaluación de las velocidades de los Movimientos en Masa indicó que el mayor desplazamiento generado es para el punto de control cinco pertenece a la carretera antigua Pujilí-Cachi Alto la cual ha tenido una mayor afectación con un movimiento de 3,27 m/mes en dirección NE-SW.
- El mayor desplazamiento de área corresponde al deslizamiento de mediana magnitud ~~cuya~~ con un área desplazada es de 5,12 km<sup>2</sup> medidos desde el 22 de agosto de 2018 al 17 de diciembre de 2019.
- El deslizamiento de tamaño grande reactivado presenta una velocidad de máxima de 0,87 m/mes. Mientras que el deslizamiento de tamaño mediano registra una velocidad máxima de 3,27 m/mes. Por tal razón estos deslizamientos se clasificaron según el método de Cruden y Varnes, 1996 en tipo de velocidad de clase tipo 1 clasificado como lento.
- La variación de relieve de terreno indica que los deslizamientos que se generan en la ladera Cachi Alto-Cuturiví ocurren en pendientes bajas de 8.5° a 16.7°.
- El basamento de esta zona comprende lavas dacíticas y andesíticas, macroscópicamente la roca es de color gris verdoso a claro. Presenta minerales como plagioclasa, piroxenos con una textura subporfirítica, composición es básica a intermedia con presencia de vetillas de calcita, esta unidad es nombradas como Unidad Lavas (LvA)
- Las rocas que subyacen son rocas de color café oscuro, macroscópicamente está formada por clastos subangulosos a subredondeados desde 0,5 cm hasta 2,5 cm de tamaño con origen volcánico de composición andesítica a dacítica de color gris claro, marrón y negro, esta unidad es nombradas como Unidad Brechas (BX)
- Las Rocas que subyacen a la Unidad Brechas son rocas sedimentarias estratificadas de color café, macroscópicamente son de color gris oscuro, marrón a ocre presentan minerales arcillosos de grano fino, cuarzo y feldespatos, esta unidad es nombradas como Unidad Lutita (LMz)
- La Unidad litológica más superficial constituye a la sucesión de cenizas con un moderado o alto grado de compactación en su base y en la parte superficial la formación de pequeños surcos y carcavas de espesor variable hasta 30 metros, esta unidad es nombrada como Cangahua (Qv).

- En la zona de estudio se identificó tres deslizamientos: el primer deslizamiento reactivo de tipo rotacional de gran tamaño, posee un área de 142.3 km<sup>2</sup>, el segundo deslizamiento activo de tipo rotacional y traslacional de mediano tamaño, posee un área de 26,21 km<sup>2</sup>; el tercer deslizamiento activo de pequeño tamaño, posee un área de 2,53 km<sup>2</sup>.
- La interpretación de las ortofotos determina estructuras de escarpes, grietas y fallas. Los escarpes de encuentran en la parte suroeste y noreste del área de estudio tienen tendencias NE-SW, NW-SE y N-S los cuales están asociadas asentamientos antiguos y a procesos de deformación actual respectivamente.
- Los resultados registrados en la estación sísmica temporal ubicada en el área de estudio se determinó que alrededor del área existen movimientos sumamente pequeños los cuales no están ligados a un sistema de fallamiento local.

## 8. RECOMENDACIONES

- Debido al aumento de viviendas en las comunidades se recomienda evaluar las características estructurales y si es posible la reubicación de las viviendas.
- Realizar estudios específicos de hidrología para entender la interacción de acuífero con el Movimiento en Masa.
- Hacer una planificación del uso del terreno de vivienda y de sembrío en base a las amenazas identificadas.
- Ubicar señalizaciones en carreteras principales y en cortes de caminos en donde se presentan procesos de deslizamientos, por ejemplo, el tramo de carretera antigua que dirige Pujilí – Cacghi Alto
- Establecer sistemas de alerta temprana (SAT), ante deslizamientos en el área de estudio.
- Efectuar estudio de estabilidad de taludes apoyado de estudios geofisioccos como sondeos eléctricos verticales, sísmica de reflexión.
- Se recomienda realizar campañas de monitoreo sísmico por un tiempo más alargado e incluso implementar otras estaciones cerca del deslizamiento para identificar sismos de pequeña magnitud que pueden ser afectados por los asentamientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad, K. (2006). Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja.
- Addati, G., & Pérez, G. (2014). Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso. 4.
- Alvarado, A. (2013). Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur. Université de Grenoble, 110-140.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovía, M., Rolandone, F., & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35. <https://doi.org/10.1002/2016TC004117>
- Amórtegui, A., Lapierre, H., Jaillard, É., Martelat, E., Bosch, D., Bussy, F., Demant, A., & Brunet, P. (2005). Accreted oceanic fragments below the Western Cordillera of Ecuador. 42-45.
- Arguello, C. (1996). Historia sociológica sísmica de la Provincia del Cotopaxi. 6.
- Beauval, C., Marinier, H., Yespes, H., Audin, L., Nocquet, J. M., Alvarado, A., Baize, S., Aguilar, J., Singaicho, J., & Jormard, H. (2018). A New Seismic Hazard Model for Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108, 1443-1464. <https://doi.org/10.1785/0120170259>
- Beauval, C., Yespes, H., Bakun, W., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the sierra of Ecuador (1587-1996). *Geophys. J.*, 1613-1633. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04569.x>.
- Beauval, C., Yespes, H., Palacios, P., Segovía, M., Alvarado, A., & Font, Y. (2013). An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 773-786. <https://doi.org/10.1785/0120120270>.

- Boland, M., Pilatasig, L., Ibadango, L., McCourt, W., Aspden, J., Hughes, R., & Beate, B. (2000). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0° and 1°N, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y geológica. CODIGEM-BGS.
- Burga, S. (2019). Caracterización Litológica – Estructural y Evaluación de los Deslizamientos en la zona de Cachi, Pujilí, Provincia de Cotopaxi. 88.
- Cardona, O. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica necesaria para la gestión. Universidad de los Andes.
- Castro, B. (2021). Evaluación Macrosísmica del terremoto de Pujilí de 1962. Universidad Central del Ecuador.
- CERESIS. (1985). Catálogo de terremotos para América del Sur, Datos de hipocentros e intensidades. 6.
- Corominas, J. (s. f.). Tipo de Rotura en Laderas y taludes.
- Cruden, D., & Hu, X. (1993). Exhaustion and steady-state models for predicting landslide hazards in the Canadian Rocky Mountains. *Geomorphology*. 279-285.
- Drobe, J., Holly, L., & Gaibor, J. (2020). Geology, Mineralization, and Geochronological Constraints of the Mirador Cu-Au Porphyry District, Southeast Ecuador. *Economic Geology*, 11-35.
- Ego, F. (1993). Risques sismiques et néotectonique en Équateur, *Pangea*. 19, 16-21.
- Egred, J. (1996). Terremoto en Pujilí. <https://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy>
- Egüez, A. (1986). Evolution cénozoïque de la Cordillère occidentale septentrionale d'Équateur (0° 15' S- 1° 10' S): Les minéralisations associées. Thèse 3e Cycle, Univ. Paris VI, PP 116.
- Egüez, A., Alvarado, A., Yespes, H., Machette, M., Costa, C., & Dart, R. (2003). Database and Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and its Offshore Regions. U.S. Geol. Survey, U.S. Geol. Survey, 1-77.
- Egüez, A., & Bourgois, J. (1986). La Formación Apagua, edad y posición estructural en la Cordillera Occidental del Ecuador. Cuarto Congreso Ecuatoriano de geología Minas y petróleo, 161-178.

- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). (2004, marzo 31).  
<https://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>
- Feininger, T., & Bristow, C. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of Coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69, 40-44.
- Gonzales, R., Ucán, J., Sánchez, I., Medina, R., Árcega, F., Zetina, C., & Casares, R. (2019). Drones. *Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias. Interciencia*, 44(6), 326-331.
- Grüntal, G. (2003). Escala Macrosísmica Europea 1998, Conseil de L'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. 21.
- Guéguen, P., Chatelain, J., Guillier, L., Yespes, H., & Egred, J. (1998). Site effect and damage distribution in Pujili (Ecuador) after the 28 March 1996 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 329-334.
- Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 168, 225-270.
- Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile (Boletín N° 59). Subdirección Nacional de Geología.
- Hughes, R., & Bermúdez, R. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0° and 1°S, Proyecto de Desarrollo y Control Ambiental , Programa de Información cartográfica y geológica. CODIGEM-BGS.
- Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador.
- Jaillard, É., Ordoñez, J., Suarez, J., Toro, J., Iza, D., & Lugo, W. (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous Paleogene deposits of the cordillera occidental of central Ecuador: Geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 49-58.



- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Barriga, R., & Lauria, E. (2003). The Nazca- South America Euler vector and its rate of change. *Journal South America Earth Sc* 16, 125- 131.
- Lavenu, A., Winkler, W., & Dávila, F. (1995). Pliocene-Quaternary compressional basin in the Inter-Andean Depression, Central Ecuador. *Geophysical Journal International*, 121, 279-300.
- Litherland, M., Aspend, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey (Vol 11)*, 147 pp.
- Longo, R., Sosa, H., Guevarra, S., & Unda, G. (1980). Hoja Geológica de Latacunga. Mapa Geológico del Ecuador. Escala 1:100000. Dirección General de Geología y Minas.
- McCourt, W., Aspden, J., & Brook, M. (1984). Newgeological and geochronological data from the Colombia Andes: Continental growth by multiple accretion. *Journal of the geological society os London*. 141, 831-845.
- McCourt, W., Duque, P., & Pilatasig, L. (1997). Geology of the Western Cordillera between 1°-2°, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y geológica. COGIGEM-BGS.
- Ordoñez, J. (2012). Depósitos volcánicos del Plesitoceno Tradío en la cuenca de Ambato: Caracterización, distribución y origen. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Naconal.
- Ormaza, W. (2017). Zonificación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el barrio Atacaba, Noroccidente de Quito.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas.
- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., & Mascle, G. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: Their place in the geodynamic evolution of northwestern South America.

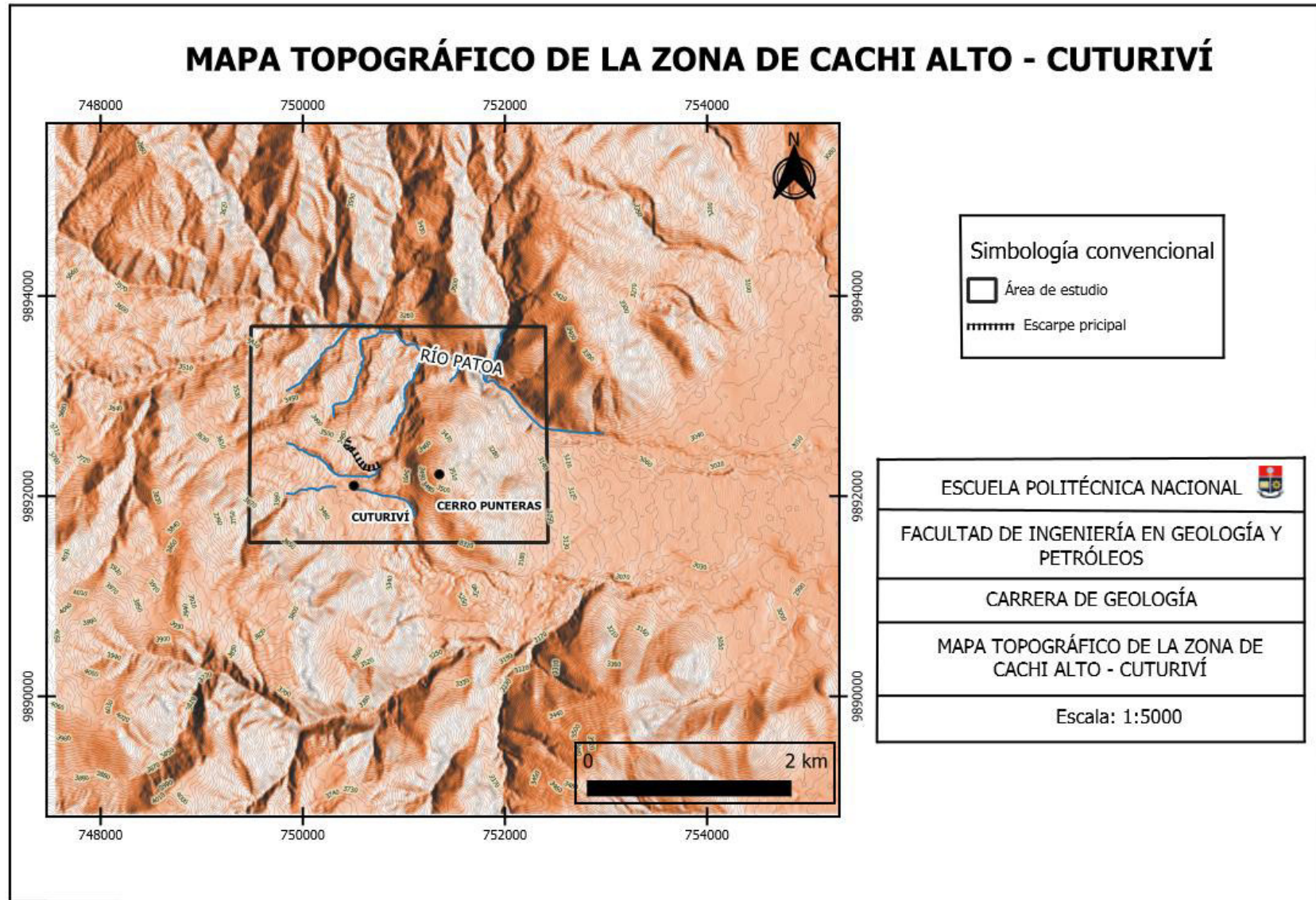
- Rivadeneira, F., Segovía, M., Alvarado, A., Egred, J., Vaca, S., & Yespes, H. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. En Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional-Corporación Editora Nacional.
- Rodríguez, E., Sandoval, J., Chaparro, J., Trejos, G., Medina, E., & Ibañez, D. (2017). Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por Movimiento en Masa Escala 1: 25.000.
- Rodríguez, M. (2012). Geología estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas. (pp. 14-15).
- Rodríguez, P. (2007). Escuela de Negocios. En Escuela de Negocios (pp. 10-14).
- Suaréz, J. (2009). Análisis de Estabilidad: Vol. II.
- Tibán, L. (2004). El sistema de representación y la participación política del pueblo Kicwa de Cotopaxi. 19.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., & Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal South Easth Science*, 157-171.
- USAID. (1993). Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado.
- Vaca, S. (2021). Análisis de la sismicidad alrededor de la comunidad de Cachi Alto, Cantón Pujilí con la instalación de una estación sísmica temporal.
- Vaca, S., Vallée, M., Nocquet, J. M., & Alvarado, A. (2019). Active deformation in Ecuador enlightened by a new waveform-based catalog of earthquake focal mechanisms. *Journal of South American Earth Sciences*. 449-461. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.017>.
- Vallejo, C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous Paleogene). Zürich, Switzerland, Institute of Geology, ETH Zürich.
- Vallejo, C., & Winkler, W. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *Sociedad geológica de América*.
- Varnes, D. (1978). Slope movements Types and processes.

Weather, S. (2019). Weather Spark, Clima promedio de Pujilí. Weather Spark.

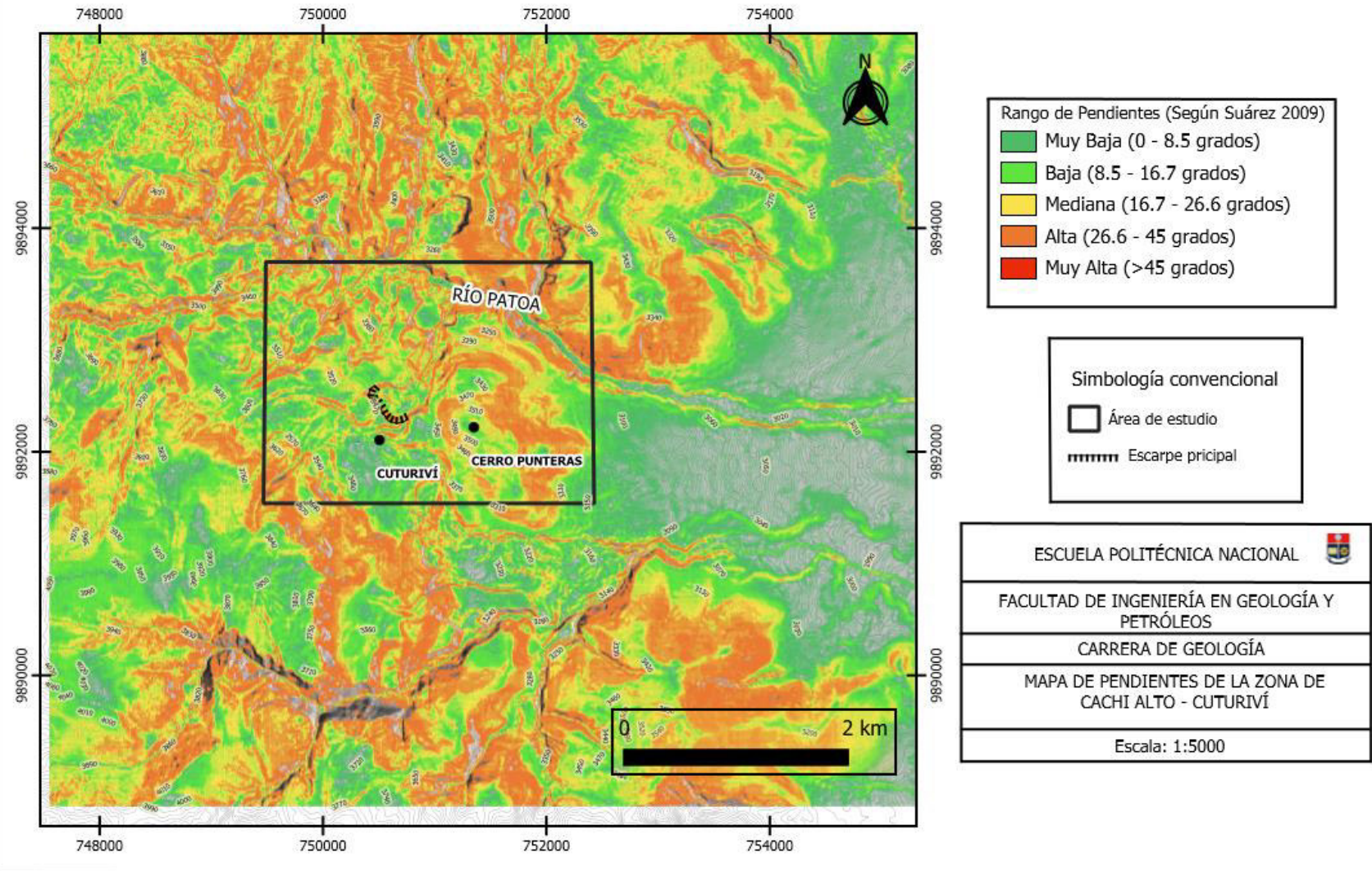
<https://es.weatherspark.com/y/20031/Clima-promedio-en-Pujil%C3%AD-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

# ANEXOS

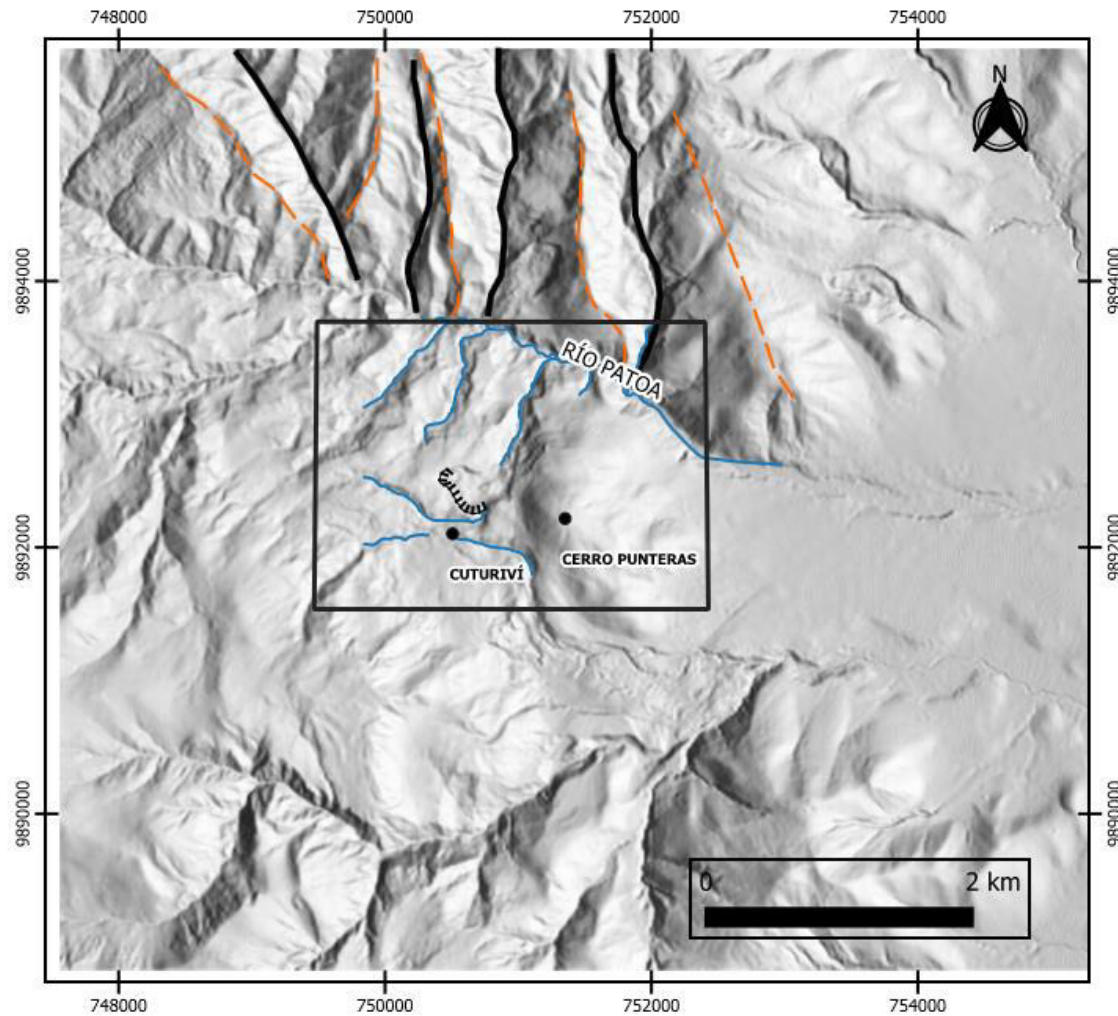
## MAPA 10



## MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ



# MAPA DE MODELO DE SOMBRAS DE LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ

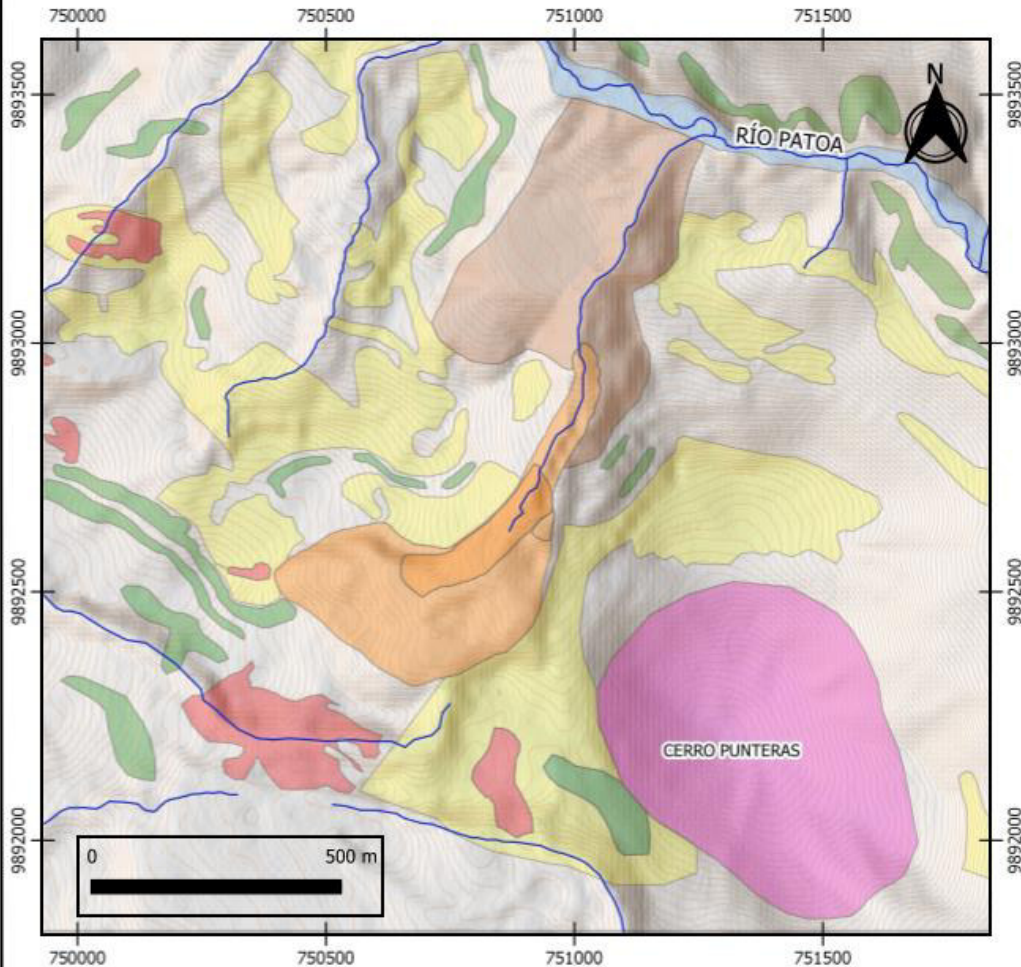


Simbología convencional

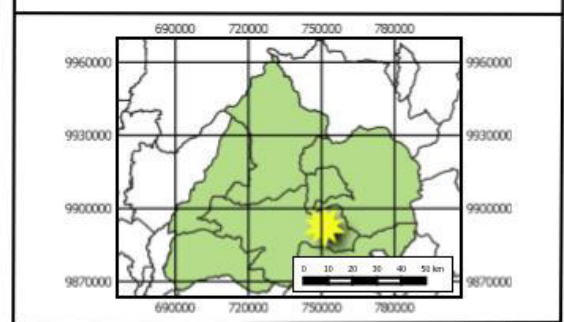
- Área de estudio
- Lineamientos
- Escarpe principal
- Fallas
- Ríos y Quebrados

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS
CARRERA DE GEOLOGÍA
MAPA DE MODELO DE SOMBRAS DE LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ
Escala: 1:5000

# MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO



## MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

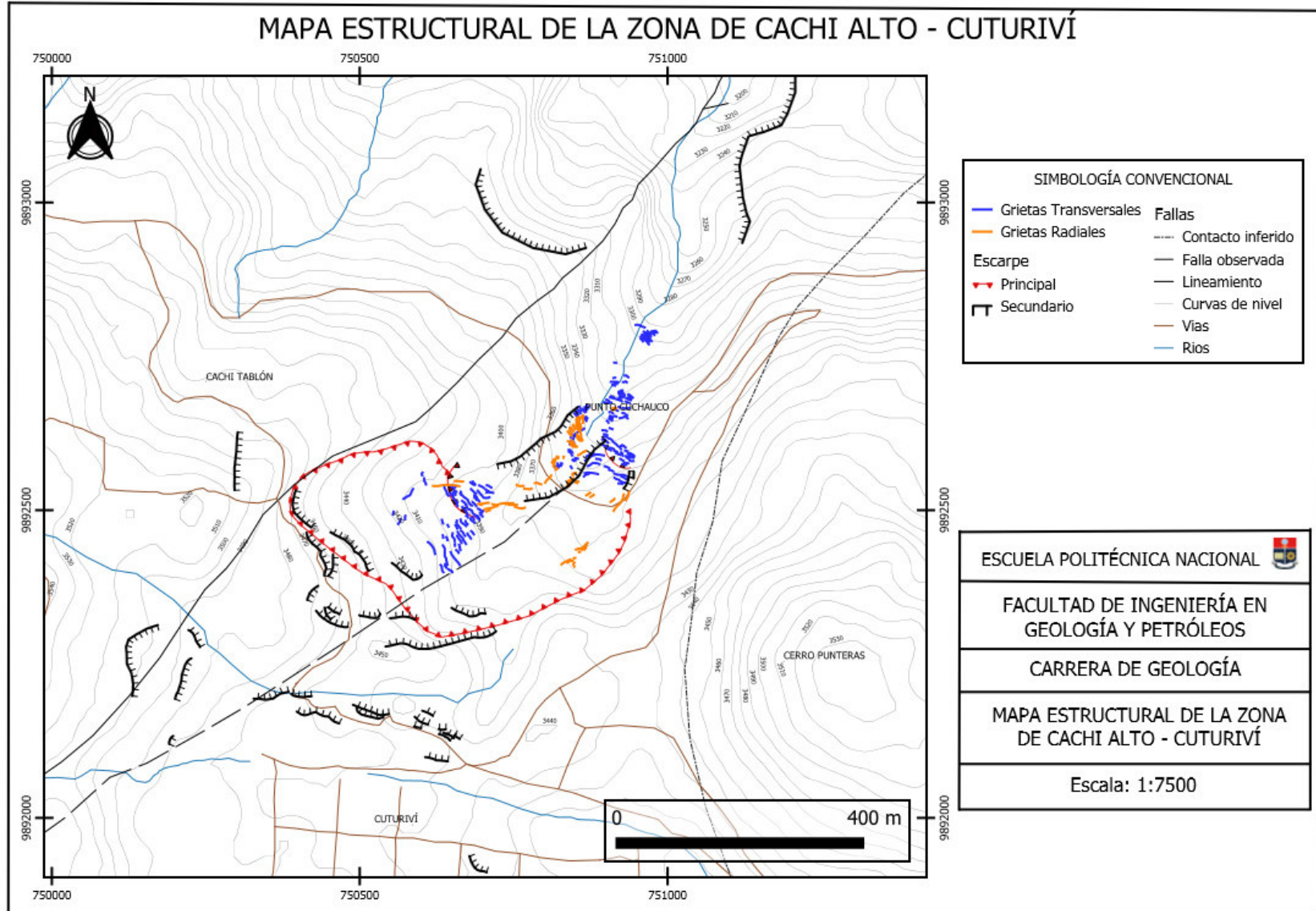


### SIMBOLOGÍA GEOMORFOLOGIA

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Aluvia - F1</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightbrown; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Coluvial - F2</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Movimiento en Masa - MM</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Domo - S1</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightcoral; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piedemonte - Pm</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Colinas moderadas onduladas - Cmo</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Laderas escarpadas - Lme</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightgrey; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Lomas onduladas alargadas - Loa</li> </ul> | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 2px solid blue; margin-right: 5px;"></span> Río</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Curva de nivel</li> </ul> </div> |
|---|--|

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS
CARRERA DE GEOLOGÍA
MAPA GEOMORFOLÓGICO EN LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURIVÍ
Escala: 1:12000

MAPA 14







ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Caracterización del Movimiento De Masa en la zona de Cachi Alto – Cuturivi, cantón Pujilí a través del estudio geológico de la deformación ocurrida entre los años 2017 A 2021.

IMPORTANCIA\*  
Alto  Medio  Bajo

DATOS DE REGISTRO																			
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*													
		DD	MM	AA	DD	MM	AA	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA											
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA																			
POR DIVISIÓN POLITICA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			REFERENTES GEOGRÁFICOS		PLANCHAS		DOCUMENTACIÓN										
Provincia* Cotopaxi		Sitio* Escarpe de Movimiento en Masa			Al NW del Cerro Punteras, vía antigua que conduce de Pujilí a Cachi.		SERIE	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor				
Cantón* Pujilí		Lat (GMS)* 9892543					J821	1971	1:25000	IGM									
Comunidad* Cachi Alto		Long (GMS)* 750381																	
		Altura* 3472 msnm																	
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				DESCRIPCIÓN				LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA											
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)							
< 1 año	<input type="checkbox"/> 21-30 años	<input type="checkbox"/> Activo	<input type="checkbox"/> Comoleio	<input type="checkbox"/> Retroresivo	El movimiento esta compuesto principalmente de depósitos de ceniza tipo cangahua. En la parte del talud se observa lavas, areniscas, lutitas, limolitas y brechas conglomeráticas los cuales pertenecen al Grupo Lavas LVA, Lutitas LMZ, Brechas BXZ. No se observa el pie del deslizamiento pero la confluencia del Rio Patoa con La Quebrada S/N ocurre depósitos cáoticos de grava mal sorteados con matriz arena limo. Nota: Incluir minimo origen de la roca,(I,M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos			DR		BZ		>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06			
1-5 años	<input type="checkbox"/> 31-40 años	<input type="checkbox"/> Reactivado	<input type="checkbox"/> Comuesto	<input type="checkbox"/> Avanzado				Estratificación		Foliación		Dielasas		Falla		Discordancia		Esquistosidad	
6-10 años	<input type="checkbox"/> 41-60 años	<input type="checkbox"/> Suspendido	<input type="checkbox"/> Múltiple	<input type="checkbox"/> Ensancho				Planos de		Dielasas		Falla		Discordancia		Esquistosidad			
11-15 años	<input type="checkbox"/> 61-80 años	<input type="checkbox"/> INACTIVO	<input type="checkbox"/> Sucesivo	<input type="checkbox"/> Confinado				Estratificación		Dielasas		Falla		Discordancia		Esquistosidad			
16-20 años	<input type="checkbox"/> > 80 años	<input type="checkbox"/> Abandonado	<input type="checkbox"/> Único	<input type="checkbox"/> Creciente				Estratificación		Dielasas		Falla		Discordancia		Esquistosidad			
		<input type="checkbox"/> Relicto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Decreciente				Estratificación		Dielasas		Falla		Discordancia		Esquistosidad			
								NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento											
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																			
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO				TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD									
Caida	<input type="checkbox"/>	Caida de roca	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional	<input type="checkbox"/>	Desliz. por flujo	<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>	Mojado	<input type="checkbox"/>	Alta	<input type="checkbox"/>						
Volcamiento	<input type="checkbox"/>	Caida de detritos	<input type="checkbox"/>	Desliz. en cuña	<input type="checkbox"/>	Avalancha de detritos	<input type="checkbox"/>	Detritos	<input type="checkbox"/>	Muy húmedo	<input type="checkbox"/>	Media	<input type="checkbox"/>						
Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Caida de tierras	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional en cuña	<input type="checkbox"/>	Flujo de tierra	<input type="checkbox"/>	Tierra	<input type="checkbox"/>	Húmedo	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>						
Flujo	<input type="checkbox"/>	Volcam. flexural de roca	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional planar	<input type="checkbox"/>	Crecedia de detritos	<input type="checkbox"/>	Lodos	<input type="checkbox"/>	Liger. húmedo	<input type="checkbox"/>	No plástico	<input type="checkbox"/>						
Proyección Lateral	<input type="checkbox"/>	Volcam. de roca	<input type="checkbox"/>	Avalancha de rocas	<input type="checkbox"/>	Flujo de turba	<input type="checkbox"/>	Turba	<input type="checkbox"/>	Seco	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>						
Rotación	<input type="checkbox"/>	Volcam. macizo rocoso	<input type="checkbox"/>	Flujo de detritos	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de arena	<input type="checkbox"/>	NOTA: 1: Primer movimiento, 2:											
Deform. Gravit. Profundas	<input type="checkbox"/>	Desliz. rotacional	<input type="checkbox"/>	Flujo de lodo	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de limo	<input type="checkbox"/>												
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)		VELOCIDAD				SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*											
Residual	<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Extr. rápido (>5 m/s)	<input type="checkbox"/>	Moderado (>13 m/mes)	<input type="checkbox"/>	Extr. Lento (<16 mm/año)	<input type="checkbox"/>	Hutchinson, 1988	<input type="checkbox"/>	Cruden y Varnes, 1996			
Sedimentario	<input type="checkbox"/>	Volcánico	<input type="checkbox"/>	Eolico	<input type="checkbox"/>	Marino	<input type="checkbox"/>	Muv rápido (>3 m/min)	<input type="checkbox"/>	Lento (>1.6 m/año)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Varnes, 1978	<input type="checkbox"/>	Huner et al., 2001			
				Glacial	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Rápido (>1.8 m/hr)	<input type="checkbox"/>	Muv lento (>16 mm/año)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>						
GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA											
Diferencia de altura corona a punta (m)	220	Ancho de la masa desplazada Wd (m)	366	Volumen inicial (m3)		MODO	Ambiente Denudacional, la superficie del terreno tiene una pendiente levemente inclinada con escarpes principales y una dirección EW, la logitud es alta de forma cóncava. En algunas zonas se puede observar procesos erosivos.												
Longitud horizontal corona a punta (m)	743	Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)	377	Volumen desplazado (m3)		Ondulación													
Fahrböschung (grados)	17	Longitud de la masa desplazada Ld (m)	467	Área inicial (Km2)	135	Escalonamiento													
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)	552	Área total afectada (Km2)	151	SEVERIDAD													
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)	15	Run up (m)		Leve													
Dirección del movimiento (grados)	NE	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)	20	Distancia de viaje (Km)	0,775	Media													
Azimet del talud (grados)	45	Longitud total L (m)	775			Severa													
CAUSAS DEL MOVIMIENTO																			
INHERENTES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES															
Material plástico débil	<input type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado	<input type="checkbox"/>	Movimiento tectónico	<input type="checkbox"/>	Desembalse rápido de presas	<input type="checkbox"/>	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje	<input type="checkbox"/>										
Material sensible	<input type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades	<input type="checkbox"/>	Sismo M ___ E ___ De ___ P ___	<input type="checkbox"/>	Erosión cata del talud oor elaciares	<input type="checkbox"/>	Escapes de aeua de tuberías	<input type="checkbox"/>										
Material colapsible	<input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales	<input type="checkbox"/>	Erupción volcánica	<input type="checkbox"/>	Socavación cata del talud oor corriente aeua	<input type="checkbox"/>	Deforestación o ausencia de vejetación	<input type="checkbox"/>										
Material meteor. físicamente	<input type="checkbox"/>	Contraste de ríidez de materiales	<input type="checkbox"/>	Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___	<input type="checkbox"/>	Socavación cata del talud oor oleaie	<input type="checkbox"/>	Mineria	<input type="checkbox"/>										
Material meteor. quimicamente	<input type="checkbox"/>	Meteoriz. oor descongelamiento/deshielo	<input type="checkbox"/>	Viento	<input type="checkbox"/>	Socavación de marenas de rios	<input type="checkbox"/>	Disoosición deficiente de estériles/escombros	<input type="checkbox"/>										
Material fallado oor corte	<input type="checkbox"/>	Meteoriz. oor expansión/contracción	<input type="checkbox"/>	Deshielo	<input type="checkbox"/>	Erosión Pluvial	<input type="checkbox"/>	Vibración artificial (trafico. explosiones. hincado pilotes)	<input type="checkbox"/>										
				Avance/Retroceso de elaciares	<input type="checkbox"/>	Cara en la corona del talud	<input type="checkbox"/>	Erosión Fluvial	<input type="checkbox"/>										
				Romimiento de laeos en crateres	<input type="checkbox"/>	Erosión subterranea (disolución. tubificación)	<input type="checkbox"/>	NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente	<input type="checkbox"/>										
				Rompimiento de presas	<input type="checkbox"/>	Irrigación	<input type="checkbox"/>	24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M:	<input type="checkbox"/>										

<b>TIPO DE EROSION</b>		<b>ESTADO</b>		<b>FLUVIAL</b>		<b>FOUCA</b>																																																																								
<b>SUPERFICIAL</b> Tierras malas <input type="checkbox"/> Surcos <input type="checkbox"/> Laminar <input type="checkbox"/> Carcavas <input type="checkbox"/> Hondonadas <input type="checkbox"/>		<b>SUBSUPERFICIAL</b> Cavernas <input type="checkbox"/> Tubificación <input type="checkbox"/>		<b>EDAD</b> Antigua <input type="checkbox"/> Reciente <input type="checkbox"/>		<b>ESTADO</b> Baja <input type="checkbox"/> Moderada <input checked="" type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		<b>FLUVIAL</b> Socav. fondo <input type="checkbox"/> Socav. lateral <input type="checkbox"/>		<b>FOUCA</b> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																																																				
<b>COBERTURA Y USO DEL SUELO</b>				<b>REFERENCIAS</b>																																																																										
<b>COBERTURA DEL SUELO</b> Veg. Herbácea <u>25</u> % Bosque/Selva <u>   </u> % Matorrales <u>35</u> % Cuerpo de agua <u>15</u> %		<b>USO DEL SUELO</b> Cultivos <u>10</u> % Construcciones <u>5</u> % Pastos <u>10</u> % Sin cobertura <u>   </u> %		<b>USO DEL SUELO</b> Ganadería <u>   </u> % Agrícola <u>20</u> % Recreación <u>   </u> % Vivienda <u>5</u> % Minería <u>   </u> %		<b>USO DEL SUELO</b> Área protegida <u>   </u> % Vías <u>5</u> % Zona arqueológica <u>   </u> % Zona Industrial <u>   </u> % Sin uso <u>70</u> %		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>AUTOR</th> <th>AÑO</th> <th>TÍTULO</th> <th>EDITOR</th> <th>CIUDAD</th> <th>PAGINAS</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>				AUTOR	AÑO	TÍTULO	EDITOR	CIUDAD	PAGINAS																																																													
AUTOR	AÑO	TÍTULO	EDITOR	CIUDAD	PAGINAS																																																																									
<b>EFECTOS SECUNDARIOS</b>																																																																														
<b>TIPO (Costa &amp; Schuster, 1988)</b>		<b>MORFOMETRIA DE LA PRESA</b>		<b>REPRESENTAMIENTO MORFOMETRIA DEL EMBALSE</b>		<b>CONDICIONES DE LA PRESA</b>		<b>OTROS EFECTOS</b>																																																																						
I <input type="checkbox"/>	IV <input type="checkbox"/>	Longitud (m) <u>   </u>	Volúmen (m <sup>3</sup> ) <u>   </u>	Longitud (m) <input type="checkbox"/>	Área cuenca (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial <input type="checkbox"/>	Moderadamente socavda <input type="checkbox"/>	Tsunami (ola) <input type="checkbox"/>	Inundación <input type="checkbox"/>																																																																					
II <input type="checkbox"/>	V <input type="checkbox"/>	Altura (m) <u>   </u>	Talud arriba (°) <u>   </u>	Área (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/>	Caudal entrada <input type="checkbox"/>	Erosión de la pata <input type="checkbox"/>	Fuertemente socavda <input type="checkbox"/>	Emoalizada <input type="checkbox"/>																																																																						
III <input type="checkbox"/>	VI <input type="checkbox"/>	Ancho (m) <u>   </u>	Talud abajo (°) <u>   </u>	Volúmen (m <sup>3</sup> ) <input type="checkbox"/>	Caudal salida <input type="checkbox"/>	Estabilización artificial <input type="checkbox"/>	Parcialmente fallada <input type="checkbox"/>	Sedimentación <input type="checkbox"/>																																																																						
<b>POBLACION AFECTADA</b>		<b>DANOS</b>																																																																												
Heridos <u>   </u> Vidas <u>   </u> Desaparecidos <u>   </u> Personas <u>   </u> Familias <u>   </u> Pertenecientes a los alrededores del Movimiento en Masa		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TIPO</th> <th style="text-align: center;">CANTIDAD</th> <th style="text-align: center;">UNIDAD</th> <th colspan="4" style="text-align: center;">TIPO DANO</th> <th style="text-align: center;">VALOR (US\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">Corrales</td> <td style="text-align: center;">0,004</td> <td style="text-align: center;">km2</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">500</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable</p>								TIPO		CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DANO				VALOR (US\$)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Corrales	0,004	km2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	500	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TIPO		CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DANO				VALOR (US\$)																																																																						
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Corrales	0,004	km2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	500																																																																					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																						
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																						
<b>NOTAS</b>		<b>APRECIACION DEL RIESGO</b>		<b>ANEXO FOTOGRAFICO</b>																																																																										
		Es movimiento reativado el cual continua con un movimiento latente pequeño afectando a la infraestructura. En la actualidad es considerado como moderado.		FECHA	FOTOGRAFIA	AUTOR/DERECHOS		OBSERVACIONES																																																																						
<b>ESQUEMA DEL MOVIMIENTO</b>																																																																														
<b>PLANTA</b>					<b>PERFIL</b>																																																																									
FECHA <u>   </u>					OBSERVACIONES <u>   </u>																																																																									

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (\*) SON OBLIGATORIOS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Caracterización del Movimiento De Masa en la zona de Cachi Alto - Cuturivi, cantón Pujilí a través del estudio geológico de la deformación ocurrida entre los años 2017 A 2020.

IMPORTANCIA\*  
Alta  Medio  Baja

DATOS DE REGISTRO																		
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*												
		DD 22	MM 06	AA 2018	DD 12	MM 06	AA 2021	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA										
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA				REFERENTES GEOGRÁFICOS			DOCUMENTACIÓN											
POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		REFERENTES GEOGRÁFICOS			PLANCHAS		FOTOGRAFÍAS AEREAS									
Provincia* Cotopaxi		Sitio* Cuerpo de Movimiento en Masa		Al NW del Cerro Punteras, vía antigua que conduce de Pujilí a Cachi. Dentro del deslizamiento antiguo			SERIE	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor			
Cantón* Pujilí		Lat (GMS)* 9892692					J821	1971	1:25000	IGM								
Comunidad* Cachi Alto		Long (GMS)* 750840																
		Altura* 3329 msnm																
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				DESCRIPCIÓN			LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA											
EDAD		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN			ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)			
< 1 año	<input type="checkbox"/>	21-30 años	<input type="checkbox"/>	Activo	<input checked="" type="checkbox"/>	Comoleio	<input type="checkbox"/>	Retroresivo	<input type="checkbox"/>	El movimiento en masa esta compuesto principalmente de depósitos de ceniza tipo cangahua de edad Cuaternaria. En sus borde se uede observar depoitos coluviales de un espesor de 6m aproximadamente	ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)			
1-5 años	<input type="checkbox"/>	31-40 años	<input type="checkbox"/>	Reactivado	<input type="checkbox"/>	Compuesto	<input type="checkbox"/>	Avanzado	<input type="checkbox"/>		Planos de	DR	BZ	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06
6-10 años	<input type="checkbox"/>	41-60 años	<input type="checkbox"/>	Suspendido	<input type="checkbox"/>	Múltiple	<input type="checkbox"/>	Ensanchado	<input type="checkbox"/>		Estratificación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11-15 años	<input type="checkbox"/>	61-80 años	<input type="checkbox"/>	INACTIVO	<input checked="" type="checkbox"/>	Sucesivo	<input type="checkbox"/>	Confinado	<input type="checkbox"/>		Foliación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16-20 años	<input type="checkbox"/>	> 80 años	<input type="checkbox"/>	Latente	<input type="checkbox"/>	Único	<input type="checkbox"/>	Crecente	<input type="checkbox"/>		Diaclasis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Abandonado	<input type="checkbox"/>			Decreciente	<input type="checkbox"/>		Falla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Estabilizado	<input type="checkbox"/>			Móvil	<input type="checkbox"/>	Discordancia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				Relicto	<input type="checkbox"/>					Esquistosidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nota: Incluir minimo origen de la roca,(I,M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos										NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento								
TIPO MOVIMIENTO										SUBTIPO MOVIMIENTO			TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD	
Caida	<input type="checkbox"/>	Caida de roca	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional	<input type="checkbox"/>	Desliz. por flujo	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación detritos	<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>	Mojado	<input type="checkbox"/>	Alta	<input type="checkbox"/>	Media	<input type="checkbox"/>	
Volcamiento	<input type="checkbox"/>	Caida de detritos	<input type="checkbox"/>	Desliz. en cuña	<input type="checkbox"/>	Avalancha de detritos	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación roca fracturada	<input type="checkbox"/>	Detritos	<input type="checkbox"/>	Muy Húmedo	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>			
Deslizamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Caida de tierras	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional en cuña	<input type="checkbox"/>	Flujo de tierra	<input type="checkbox"/>	Propag. lateral lenta	<input type="checkbox"/>	Tierra	<input type="checkbox"/>	Húmedo	<input type="checkbox"/>	No plástico	<input type="checkbox"/>			
Flujo	<input type="checkbox"/>	Volcam. flexural de roca	<input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional planar	<input type="checkbox"/>	Creceda de detritos	<input type="checkbox"/>	Propag. lateral licuación	<input type="checkbox"/>	Lodos	<input type="checkbox"/>	Liger. húmedo	<input type="checkbox"/>					
Proaeación Lateral	<input type="checkbox"/>	Volcam. de roca	<input type="checkbox"/>	Avalancha de rocas	<input type="checkbox"/>	Flujo de turba	<input type="checkbox"/>	Reotación de suelos	<input type="checkbox"/>	Turba	<input type="checkbox"/>	Seco	<input type="checkbox"/>					
Reotación	<input type="checkbox"/>	Volcam. macizo rocoso	<input type="checkbox"/>	Flujo de detritos	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de arena	<input type="checkbox"/>	Soliflucción	<input type="checkbox"/>									
Deform. Gravit. Profundas	<input type="checkbox"/>	Desliz. rotacional	<input type="checkbox"/>	Flujo de lodo	<input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de limo	<input type="checkbox"/>	Geliflucción (en permafrost)	<input type="checkbox"/>									
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)				VELOCIDAD				SISTEMA DE CLASIFICACION*								
Residual	<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Extr. rápido (>5 m/s)	<input type="checkbox"/>	Moderado (>13 m/mes)	<input type="checkbox"/>	Extr. Lento (<16 mm/año)	<input type="checkbox"/>	Hutchinson. 1988	<input type="checkbox"/>	Cruden v Varnes. 1996	<input type="checkbox"/>	
Sedimentario	<input type="checkbox"/>	Volcánico	<input type="checkbox"/>	Eolico	<input type="checkbox"/>	Marino	<input type="checkbox"/>	Muv rápido (>3 m/min)	<input type="checkbox"/>	Lento (>1.6 m/año)	<input type="checkbox"/>	Vmax	4.96 m/mes	Varnes. 1978	<input type="checkbox"/>	Huner et al. 2001	<input type="checkbox"/>	
				Glacial	<input type="checkbox"/>			Rápido (>1.8 m/hr)	<input type="checkbox"/>	Muv lento (>16 mm/año)	<input type="checkbox"/>	Vmin	0.40 m/mes					
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACION TERRENO				GEOFORMA						
Diferencia de altura corona a punta (m)	90			Ancho de la masa desplazada Wd (m)	75			Volumen inicial (m3)				Ambiente Denudacional, la superficie del terreno tiene una pendiente levemente inclinada escarpada con una dirección EW, la forma es alargada y presenta agrietamientos trasversales y radiales.						
Longitud horizontal corona a punta (m)	334			Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)	69			Volumen desplazado (m3)										
Fahrböschung (grados)	16			Longitud de la masa desplazada Ld (m)	223			Área inicial (Km2)	24,80									
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)				Longitud de superficie de ruptura Lr (m)	202			Área total afectada (Km2)	26,21									
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)				Espesor de la masa desplazada Dd (m)	15			Run up (m)										
Dirección del movimiento (grados)	N55E			Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)	10			Distancia de viaje (Km)	0,334									
Azimut del talud (grados)	55			Longitud total L (m)	8													
INHERENTES				CAUSAS DEL MOVIMIENTO				CONTRIBUYENTES - DETONANTES										
Material plástico débil	<input checked="" type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado	<input checked="" type="checkbox"/>	Movimiento tectónico	<input checked="" type="checkbox"/>	Desembalse rápido de presas	<input checked="" type="checkbox"/>	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje	<input checked="" type="checkbox"/>									
Material sensible	<input type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades	<input type="checkbox"/>	Sismo M ___ E ___ D ___ P ___	<input type="checkbox"/>	Erosión oata del talud oor elacrares	<input type="checkbox"/>	Escaopes de aea de tuberías	<input type="checkbox"/>									
Material colasible	<input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales	<input type="checkbox"/>	Erupción volcánica	<input type="checkbox"/>	Socavación oata del talud oor corriente aea	<input type="checkbox"/>	Deforestación o ausencia de veetación	<input type="checkbox"/>									
Material meteor. fisicamente	<input type="checkbox"/>	Contraste de riidez de materiales	<input type="checkbox"/>	Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___	<input type="checkbox"/>	Socavación oata del talud oor oleaie	<input type="checkbox"/>	Mineria	<input type="checkbox"/>									
Material meteor. quimicamente	<input type="checkbox"/>	Meteoriz. oor descongelamiento/deshielo	<input type="checkbox"/>	Viento	<input type="checkbox"/>	Socavación de marenes de rios	<input type="checkbox"/>	Disposición deficiente de estériles/escombros	<input type="checkbox"/>									
Material fallado por corte	<input type="checkbox"/>	Meteoriz. oor expansión/contracción	<input type="checkbox"/>	Deshielo	<input type="checkbox"/>	Erosión Pluvial	<input type="checkbox"/>	Vibración artificial (trafico. explosiones. hincado pilotes)	<input type="checkbox"/>									
				Avance/Retroceso de glaciales	<input type="checkbox"/>	Carga en la corona del talud	<input type="checkbox"/>	Erosión Fluvial	<input type="checkbox"/>									
				Romoiemento de laeos en crateres	<input type="checkbox"/>	Erosión subterranea (disolución. tubificación)	<input type="checkbox"/>	NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente	<input type="checkbox"/>									
				Rompimiento de presas	<input type="checkbox"/>	irrigación	<input type="checkbox"/>	24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: ___	<input type="checkbox"/>									

SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		TIPO DE EROSION		ESTADO		FLUVIAL		EOLICA					
Tierras malas	<input type="checkbox"/>	Surcos	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Antigua	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>	Socav. fondo	<input type="checkbox"/>				
Carcavas	<input checked="" type="checkbox"/>	Hondonadas	<input type="checkbox"/>	Cavernas	<input type="checkbox"/>	Reciente	<input checked="" type="checkbox"/>	Moderada	<input type="checkbox"/>	Socav. lateral	<input type="checkbox"/>				
COBERTURA DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR		AÑO		REFERENCIAS		EDITOR					
Veg. Herbácea	25 %	Cultivos	_____ %	Ganadería	_____ %	Área protegida	_____ %								
Bosque/Selva	_____ %	Construcciones	5 %	Agrícola	20 %	Vías	5 %								
Matorrales	35 %	Pastos	10 %	Recreación	_____ %	Zona arqueológica	_____ %								
Cuerpo de agua	15 %	Sin cobertura	10 %	Vivienda	5 %	Zona industrial	_____ %								
		Minería	_____ %	Sin uso	70 %										
EFECTOS SECUNDARIOS															
TIPO (Costa & Schuster 1988)		MORFOMETRÍA DE LA PRESA				REPRESENTACIÓN MORFOMETRÍA DEL EMBALSE				CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS			
I	<input type="checkbox"/>	Longitud (m)	_____	Volumen (m <sup>3</sup> )	_____	Longitud (m)	<input type="checkbox"/>	Área cuenca (m <sup>2</sup> )	<input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial	<input type="checkbox"/>	Moderadamente socavada	<input type="checkbox"/>	Tsunami (ola)	<input type="checkbox"/>
II	<input type="checkbox"/>	Altura (m)	_____	Talud arriba (°)	_____	Área (m <sup>2</sup> )	<input type="checkbox"/>	Caudal entrada	<input type="checkbox"/>	Erosión de la oata	<input type="checkbox"/>	Fuertemente socavada	<input type="checkbox"/>	Empalizada	<input type="checkbox"/>
III	<input type="checkbox"/>	Ancho (m)	_____	Talud abajo (°)	_____	Volumen (m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>	Caudal salida	<input type="checkbox"/>	Estabilización artificial	<input type="checkbox"/>	Parcialmente fallada	<input type="checkbox"/>	Sedimentación	<input type="checkbox"/>
IV	<input type="checkbox"/>					Nivel agua bajo corona (m)	<input type="checkbox"/>	Tasa de llenado	<input type="checkbox"/>	Ligeramente socavada	<input type="checkbox"/>	Fallada	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
POBLACION AFECTADA			DANOS												
Heridos _____			INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DANOS AMBIENTALES												
Vidas _____			TIPO		CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO		VALOR (US\$)						
Desaparecidos _____			IEA	Casa, viviendas y orrales	0,004	km <sup>2</sup>	DL	DM	DS	NC	20000				
Personas _____			IEA	Agricultura	0,002	km <sup>2</sup>	DL	DM	DT	NC					
Familias _____			IEA				DL	DM	DS	DT	NC				
Pertencientes a los alrededores del Movimiento en Masa _____			IEA				DL	DM	DS	DT	NC				
TIPO DE DAÑO: <u>Infraestructura</u> : edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. <u>Económicos</u> : agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. <u>Ambientales</u> : parques, bosques, planta tratamiento de agua.			NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable												
NOTAS			APRECIACION DEL RIESGO			ANEXO FOTOGRAFICO			OBSERVACIONES						
La afectación es alta a que si continua con su desplazamiento encausaría sus aguas hasta llegar la represa de agua de regadio "San Juan", afectando a toda la comunidad.			FECHA			FOTOGRAFIA			AUTOR/DERECHOS						
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO															
PLANTA						PERFIL									
FECHA						OBSERVACIONES									

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (\*) SON OBLIGATORIOS



SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		TIPO DE EROSION		ESTADO		FLUVIAL		EOLICA	
Tierras malas	<input type="checkbox"/>	Surcos	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Antigua	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>	Socav. fondo	<input type="checkbox"/>
Carcavas	<input checked="" type="checkbox"/>	Hondonadas	<input type="checkbox"/>	Cavernas	<input type="checkbox"/>	Reciente	<input checked="" type="checkbox"/>	Moderada	<input checked="" type="checkbox"/>	Socav. lateral	<input type="checkbox"/>
COBERTURA Y USO DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR		AÑO		REFERENCIAS		EDITOR CIUDAD PAGINAS	
Veg. Herbácea	15 %	Cultivos	___ %	Ganadería	___ %	Área protegida	___ %				
Bosque/Selva	___ %	Construcciones	5 %	Agrícola	___ %	Vías	___ %				
Matorrales	35 %	Pastos	10 %	Recreación	___ %	Zona arqueológica	___ %				
Cuerpo de agua	___ %	Sin cobertura	35 %	Vivienda	___ %	Zona Industrial	___ %				
		Minería	___ %	Sin uso	100 %						

TIPO (Costa & Schuster 1988)		MORFOMETRÍA DE LA PRESA		REPRESENTACIÓN MORFOMETRÍA DEL EMBALSE		CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS	
I	<input type="checkbox"/>	Longitud (m)	___	Longitud (m)	<input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial	<input type="checkbox"/>	Tsunami (ola)	<input type="checkbox"/>
II	<input type="checkbox"/>	Altura (m)	___	Área (m <sup>2</sup> )	<input type="checkbox"/>	Erosión de la data	<input type="checkbox"/>	Emoalizada	<input type="checkbox"/>
III	<input type="checkbox"/>	Ancho (m)	___	Volumen (m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>	Estabilización artificial	<input type="checkbox"/>	Sedimentación	<input type="checkbox"/>
IV	<input type="checkbox"/>	Volúmen (m <sup>3</sup> )	___	Nivel agua bajo corona (m)	<input type="checkbox"/>	Lieeramente socavada	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
V	<input type="checkbox"/>	Talud arriba (%)	___						
VI	<input type="checkbox"/>	Talud abajo (%)	___						

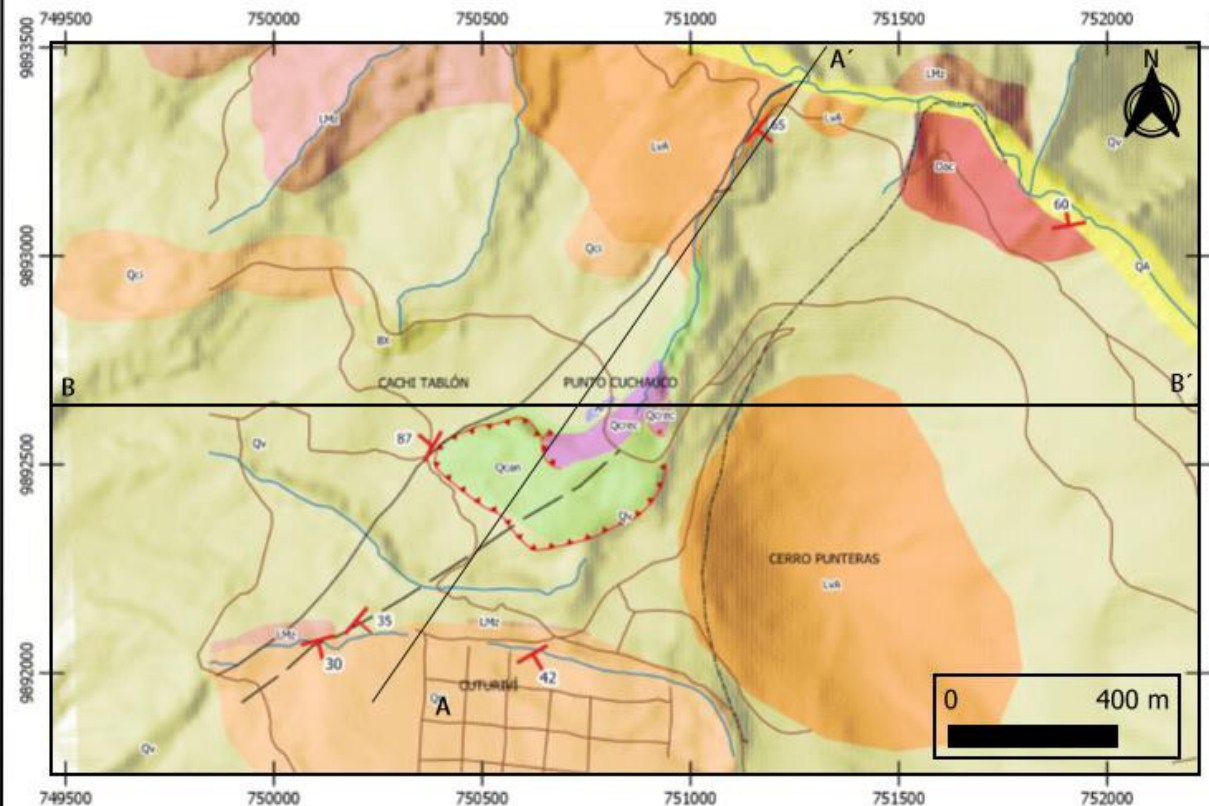
POBLACION AFECTADA		DANOS				
Heridos _____		INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DANOS AMBIENTALES				
Vidas _____		TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DANO	VALOR (US\$)
Desaparecidos _____		IEA	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Personas _____		IEA	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Familias _____		IEA	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Pertencientes a los alrededores del Movimiento en Masa _____		IEA	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
TIPO DE DAÑO: <u>Infraestructura</u> : edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. <u>Económicos</u> : agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. <u>Ambientales</u> : parques, bosques, planta tratamiento de agua.		NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable				

NOTAS		APRECIACION DEL RIESGO		ANEXO FOTOGRAFICO	
La afectación es alta bido a que es remanente del deslizamiento rotacional traslacional lo que causaría el envalse sus aguas hasta llegar la represa de agua de regadio "San Juan", afectando a toda la comunidad.		FECHA	FOTOGRAFIA	AUTOR/DERECHOS	OBSERVACIONES

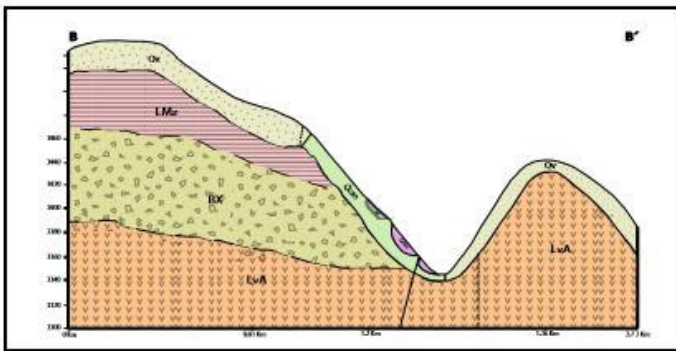
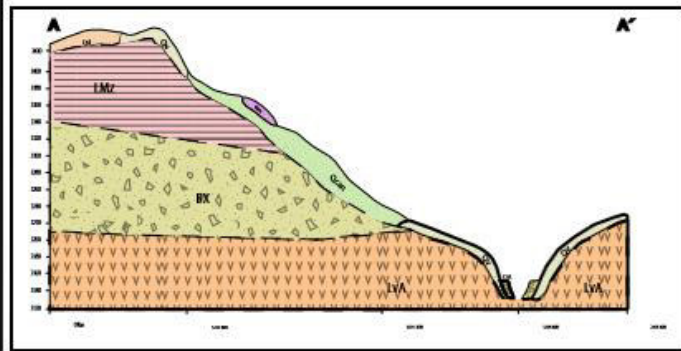
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO	
<p>PLANTA</p>	<p>PERFIL</p>
FECHA	OBSERVACIONES

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (\*) SON OBLIGATORIOS

# MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE CACHI ALTO - CUTURUVÍ



COLUMNA ESTRATIGRÁFICA					
Era	Período	Espesor	Litología	Descripción	
Cenozoico	Neógeno	20 m	[Pattern]	Sedimentos Aluviales	
		10 m	[Pattern]	Sedimento de Coluvial reciente	
		20 m	[Pattern]	Sedimento de Coluvial antiguo	
		25 m	[Pattern]	Sedimentos Coluvial indiferenciado	
		50 m	[Pattern]	Presencia de líticos volcansedimentarios en matriz arena limosa	
		5 m	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
		70 m	[Pattern]	Rocas sedimentarias de color gris oscuro a marrón asociada a facies flujo lacustres	
		100 m	[Pattern]	Clastos subangulosos a subredondeados de composición andesítica a dacítica	
		5 m	[Pattern]	Dacita porfítica de color gris rojizo con moderada meteorización	
		120 m	[Pattern]	Levas andesíticas de color verde a grisáceo con fragmentos meteorizados	



SIMBOLOGÍA CONVENCIONAL	
— Vías	Polygono de litología
— ríos	Aluvial - OA
— Curvas de nivel	Cangahua - Qv
Fallas	
--- Contacto inferido	Coluvial reciente - Qocrc
— Falta observada	Coluvial antiguo - Qcan
— Lineamiento	Coluvial indiferenciado - Qci
Escarpe	Brecha conglomerática - BX
— Principal	Lutita - LMz
	Lava andesítica - LVA
	Arenisca - Ar
	Dacita Porfítica - Dac

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETROLEOS

CARRERA DE GEOLOGÍA

Escala: 1:15000