

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA  
DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA  
QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO**

**PRESENTADO POR:**

Br. ELY MILDER CCORIMANYA CHALLCO

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

**ASESOR:**

Mgt. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO"

presentado por: Ely Milder Carimanya Chalco con DNI Nro.: 75992770 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO.

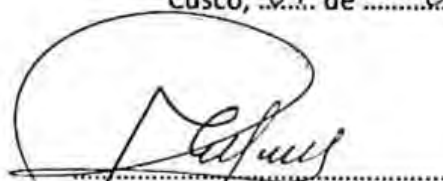
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 09 de octubre de 2024



Firma

Post firma EDISON SANTIAGO MATTOS OVEDA

Nro. de DNI 23.853.084

ORCID del Asesor 0000 - 0002 - 3236 - 025 X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259 :390529667 ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

Evaluación de las características geológicas para la determinación de la peligrosidad

AUTOR

Ccorimanya, Ely

RECuento DE PALABRAS

33627 Words

RECuento DE CARACTERES

189773 Characters

RECuento DE PÁGINAS

163 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.2MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 9, 2024 9:16 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 9, 2024 9:18 PM GMT-5

### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de trabajos entregados

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Bloques de texto excluidos manualmente

## DEDICATORIA

*El presente Trabajo de Tesis lo dedico a:  
Dios, por darme salud y la fuerza para  
poder lograr esta meta.*

*A mis padres, porque me impulsaron a ser  
mejor cada día, por sus consejos, su apoyo  
incondicional, por todo el amor y sacrificio  
que hicieron en mi formación como  
profesional, todo lo que soy es gracias a  
ellos.*

*A mis hermanos y sobrinos, por su apoyo  
incondicional.*

*Ely Milder Ccorimanya Challco*



## **AGRADECIMIENTO**

Al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET, en especial a la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos (DGAR) por el conocimiento y experiencias profesionales adquiridas.

Al Ing. Lucio Medina por sus enseñanzas, consejos y apoyo en el desarrollo de mi tesis.

Al Ing. Mauricio Nuñez por su apoyo constante, consejos, por compartir sus conocimientos, por las experiencias compartidas y por ser mi mejor amigo y compañero.

A los Ing. Luis Albinez, Segundo Nuñez, Norma Sosa, Dulio Gomez, Jose Luis Moreno, Karen Dueñas por las experiencias compartidas y por lo aprendido en experiencia de campo de cada uno de ellos.

A mis asesores de Tesis Ing. Jorge Cuenca, por las correcciones y apoyo en el proceso de elaboración de mi Tesis, y al Mgt. Edison Mattos por el apoyo como asesor

En especial a mis padres y hermanos por el esfuerzo, confianza, paciencia y todo el soporte que me han dado a lo largo de mi formación profesional.



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>i</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>3</b>
1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	3
1.2. ACCESIBILIDAD .....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
1.3.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	6
1.3.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS .....	6
1.4. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	6
1.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	7
1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
1.5.1. OBJETIVO GENERAL .....	7
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
1.6. HIPÓTESIS.....	7
1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	7
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	7
1.7. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION .....	8
1.8. METODOLOGÍA.....	8
1.8.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.8.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.9. MARCO TEÓRICO.....	9
1.9.1. ANTECEDENTES .....	9
1.9.2. BASES TEORICAS .....	11
1.9.3. MARCO CONCEPTUAL .....	25
1.10. MATERIALES Y EQUIPOS.....	26
1.11. CLIMA .....	27
<b>CAPITULO II: GEOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
2.1. GENERALIDADES .....	29
2.2. GEOLOGÍA REGIONAL .....	29
2.2.1. Formación Tiellas .....	29
2.2.2. Formación Sallalli .....	29
2.2.3. Formación Huanta .....	30
2.2.4. Formación Ayacucho.....	30
2.2.5. Formación Huari .....	30



2.2.6. Depósitos cuaternarios .....	31
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	33
2.3.1. Cronología de las estructuras .....	33
2.3.2. Fase Inca (Eoceno superior) .....	33
2.3.3. Fase Quechua (Mioceno Superior) .....	33
2.3.4. Fase Quechua 1 .....	34
2.3.5. Fase Quechua 2 .....	34
2.3.6. Fase Tectónica 3 .....	34
2.4. GEOLOGÍA LOCAL .....	36
2.4.1. Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Nm_ti) .....	36
2.4.2. Formación Ayacucho.....	37
o Formación Ayacucho – miembro inferior. (Nm-ayi) .....	37
o Formación Ayacucho – miembro inferior Toba 2 (Nm_ayi/tb2) .....	38
o Formación Ayacucho – miembro inferior Toba 3. (Nm_ayi/tb3) .....	39
o Formación Ayacucho – miembro superior (Nm-ay_s).....	40
2.4.3. Grupo Barroso - Formación Huari (Nm-hu) .....	41
2.4.4. Depósitos Cuaternarios .....	41
2.4.4.1. Depósito aluvial .....	41
2.4.4.2. Depósito residual .....	42
2.4.4.3. Depósito coluvial (Q-cl) .....	42
2.4.4.4. Depósito deluvial (Q- dl) .....	42
2.4.4.5. Depósito proluvial (Q-pl).....	43
2.4.4.6. Depósitos antropógenos (Q-an) .....	44
<b>CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>46</b>
3.1. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGÍA .....	46
3.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	46
3.2.1. Montañas en rocas sedimentarias (RM-rs).....	46
3.2.2. Montañas en rocas volcánicas (RM-rv).....	47
3.2.3. Montañas en rocas volcánico-sedimentarias (RM-rvs).....	47
3.2.4. Coladas o campo de lavas basalto-andesíticas (Ca-la) .....	47
3.2.5. Superficie con flujo piroclástico disectado (Sfp-d) .....	48
3.2.6. Terraza indiferenciada .....	48
3.2.7. Vertiente con depósito de deslizamiento .....	48
3.2.8. Vertiente coluvio-deluvial .....	49
3.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	51
GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO- DEGRADACIONAL Y DENUDACIONAL .....	51
3.3.1. UNIDAD DE MONTAÑAS.....	51
- Montaña en roca sedimentaria (RM_rs) .....	51
- Ladera en roca sedimentaria (L-rs).....	52



- Ladera en roca volcánica (L-rv).....	53
- Ladera disectada en roca sedimentaria (LD-rs).....	53
- Ladera disectada en roca volcánica (LD-rv).....	54
3.3.2. UNIDAD DE COLINAS.....	54
3.3.3. UNIDAD DE LOMADAS.....	55
- Lomada en roca sedimentaria (RL-rs).....	55
- Lomada en roca volcánica (RL-rv).....	56
3.3.4. UNIDAD DE ALTIPLANICIES.....	56
- Altiplanicie sedimentaria (AP-s).....	56
- Planicie residual (Pl-re).....	57
- Meseta volcánica lávica (M-vl).....	57
GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL.....	58
3.3.5. UNIDAD DE PIEDEMONTE.....	58
- Vertiente coluvial (V-c).....	58
- Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).....	58
- Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at).....	59
- Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd).....	59
3.3.6. GEOFORMAS PARTICULARES.....	60
- Depósito antrópico (Dan).....	60
3.4. FORMAS DE LADERAS.....	60
3.5. TIPOS DE EROSIÓN DE LADERAS.....	62
3.5.1. EROSIÓN.....	62
3.6. PERFIL CORTE ESTRATIGRÁFICO DE LA QUEBRADA PICOTA.....	65
3.7. PENDIENTE DE LOS TERRENOS.....	66
3.7.1. Terrenos llanos (<1°).....	67
3.7.2. Terrenos inclinados con pendiente suave (1° - 5°).....	67
3.7.3. Pendiente moderada (5° -15°).....	67
3.7.4. Pendiente fuerte (15° – 25°).....	68
3.7.5. Pendiente muy fuerte o escarpado (25° - 45°).....	68
3.7.6. Pendiente muy escarpado (> 45°).....	68
<b>CAPÍTULO IV: HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>70</b>
4.1. HIDROMORFOMETRÍA.....	70
4.2. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA.....	70
4.2.1 Área de la Cuenca (Ac).....	70
4.2.2. Perímetro de la Cuenca (Pc).....	70
4.2.3. Longitud del máximo recorrido (L).....	70
4.3. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA.....	71
4.3.1. Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (kc).....	71
4.3.2. Factor de Forma (kf).....	72



4.4.	PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA.....	72
4.4.1.	<i>Pendiente media de la cuenca</i> .....	72
4.4.2.	<i>Tiempo de concentración</i> .....	73
4.5.	PRECIPITACIONES PLUVIALES (LLUVIAS) .....	74
4.6.	HIDROGEOLOGÍA .....	77
4.6.1.	<i>GENERALIDADES</i> .....	77
4.6.2.	<i>Inventario y Clasificación de Manantiales</i> .....	77
4.6.2.1.	Clasificación de manantiales.....	78
4.6.3.	<i>Clasificación Hidrogeológica</i> .....	79
4.6.4.	<i>Ensayos de infiltración</i> .....	80
4.6.5.	<i>Caracterización Hidrogeológica</i> .....	82
4.6.5.1.	Acuíferos.....	83
4.6.5.2.	Acuitardos.....	83
<b>CAPITULO V: COBERTURA VEGETAL .....</b>		<b>86</b>
5.1.	GENERALIDADES .....	86
5.2.	UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL.....	86
5.2.1.	<i>Áreas de bosque denso (Abde)</i> .....	86
5.2.2.	<i>Áreas de bosque disperso (Abdi)</i> .....	87
5.2.3.	<i>Matorrales (Ma)</i> .....	88
5.2.4.	<i>Pastizales (Pa)</i> .....	88
5.2.5.	<i>Tierras de cultivos (Tcu)</i> .....	89
5.2.6.	<i>Suelo sin cobertura vegetal (Scv)</i> .....	89
5.2.7.	<i>Área urbana (Au)</i> .....	89
<b>CAPÍTULO VI: GEODINÁMICA .....</b>		<b>91</b>
6.1.	GENERALIDADES .....	91
6.2.	GEODINÁMICA INTERNA (SISMISIDAD) .....	91
6.2.1.	<i>Sismicidad</i> .....	91
6.3.	GEODINÁMICA EXTERNA.....	95
6.3.1.	<i>MOVIMIENTOS EN MASA</i> .....	95
6.3.2.	<i>CASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA</i> .....	96
6.3.2.1.	Caída (Fall) .....	97
6.3.2.1.1.	Derrumbe (landslide).....	98
6.3.2.2.	Deslizamiento (Slide).....	102
6.3.2.2.1.	Deslizamiento traslacional (Translational slide).....	103
6.3.2.2.2.	Deslizamiento rotacional (Rotational slide).....	103
6.3.2.3.	Flujo (Flow) .....	105
6.3.2.3.1.	Flujo de Lodo.....	105
6.3.3.	<i>OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS</i> .....	106
6.3.3.1.	Erosión .....	106
6.3.3.1.1.	Erosión de laderas.....	106





<b>CAPÍTULO VII: SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA .....</b>	<b>111</b>
7.1. GENERALIDADES .....	111
7.2. FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD Y DETERMINACIÓN DE LOS PESOS PONDERADOS.....	111
7.2.1. <i>Factores Condicionantes</i> .....	112
7.2.2. <i>Factor Desencadenantes</i> .....	124
7.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA .....	127
7.4. GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA .....	128
<b>CAPÍTULO VIII: DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD.....</b>	<b>131</b>
8.1. GENERALIDADES .....	131
8.2. PARÁMETRO DE EVALUACIÓN.....	131
8.3. MATRIZ DE DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO.....	134
8.4. ESTRATIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA 135	
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>141</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>144</b>



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Toba 2 (Nm_ayi/tb2) se muestra la toba poco consolidada con lítico de pomez.	38
Fotografía 2.	Depósito de flujos de lavas de la formación Huari (Nm-hu).....	41
Fotografía 3.	Depósito coluvial correspondiente a un derrumbe ubicado dentro de la quebrada Picota. ....	42
Fotografía 4.	Vista del depósito deluvial, donde se muestra el material fino movilizado por escorrentía. ....	43
Fotografía 5.	Vista de depósito proluvial correspondiente a detritos envueltos en una matriz limoarenosa, ubicada dentro del cauce de la quebrada Picota. ....	43
Fotografía 6.	Montaña en roca volcánica, corresponde al cerro Uma Orcco. ...	52
Fotografía 7.	Ladera disectada en rocas sedimentarias de tipo por erosión de laderas de tipo carcava .....	53
Fotografía 8.	Ladera disectada en rocas volcánicas de tipo tobas de la Formación Ayacucho Miembro inferior. ....	54
Fotografía 9.	Lomadas en rocas sedimentarias, ubicadas en la parte central del área de estudio.	55
Fotografía 10.	Altiplanicie sedimentaria, sobre esta subunidad se encuentra asentada el sector de Mollepata.....	57
Fotografía 11.	Piedemonte aluvial torrencial producto de los flujos de detritos y lodo por la remoción del material disponible en las laderas y cauce de la quebrada.	59
Fotografía 12.	Depósito antrópico producto de la acción humana, corresponde a depósitos de desmonte. ....	60
Fotografía 13.	Ensayo de permeabilidad en la Formación Ayacucho, miembro inferior.	82
Fotografía 14.	Ensayo de permeabilidad en la Formación Ayacucho, miembro superior.	82
Fotografía 15.	Áreas de bosque denso donde predominan los árboles de eucalipto.	87
Fotografía 16.	Áreas de bosque disperso, agrupación dispersa de árboles de eucalipto.	88
Fotografía 17.	Vista de derrumbe antiguo con actividad inactivo latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera.....	102
Fotografía 18.	Vista de derrumbe antiguo con actividad inactivo latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera.....	105
Fotografía 19.	Vista de la erosión de laderas de tipo carcavas, ubicado en la ladera este del cerro Buena Vista. ....	108
Fotografía 20.	Vista de erosión de laderas de tipo cárcavas que disecta la ladera este del cerro Buena Vista.....	109



- Fotografía 21.** Vista de erosión de laderas de tipo cárcava, ubicado en el sector de Mollepata. 109
- Fotografía 22.** Vía Ayacucho – Sector Mollepata, se observa el paso del cauce de la quebrada Picota colmatado por depósitos de flujos de lodos antiguos. .... 137
- Fotografía 23.** Viviendas asentadas dentro del cauce de la quebrada, invadiendo el cauce natural de la quebrada, considerado como zona con nivel de peligrosidad muy alto. 137
- Fotografía 24.** Vista del cauce principal de la quebrada Picota, observándose depósitos de desmonte en las laderas de ambos márgenes del cauce, zona con nivel de peligrosidad Muy Alto para a ocurrencia de derrumbes. .... 138
- Fotografía 25.** Vista de viviendas asentadas en laderas que presentan erosión de laderas de tipo cárcavas, zona considerada con nivel de peligrosidad muy alta. .... 138
- Fotografía 26.** Vista de viviendas asentadas en las laderas con pendientes fuertes, donde realizan cortes de talud y sostenimiento del terreno con neumáticos viejos, zona considerado con nivel de peligrosidad alta, ubicada en la ladera de la margen derecha de la quebrada. .... 139
- Fotografía 27.** Vivienda asentada sobre material de depósito, producto del corte de talud, se encuentra asentada en la ladera izquierda del cauce de la quebrada, zona considerado con nivel de peligrosidad alta. .... 139



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la zona de estudio.....	5
Figura 2.	Clasificación de Peligros. <i>Fuente: CENEPRED (2014).</i> .....	13
Figura 3.	Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales. <i>Fuente: CENEPRED (2014).</i> .....	14
Figura 4.	Esquema de las partes de un deslizamiento rotacional. Varnes (1978).17	
Figura 5.	Factores condicionantes del peligro. <i>Fuente: CENEPRED (2014).</i> .....	18
Figura 6.	Factores desencadenantes del peligro. <i>Fuente: CENEPRED (2014).</i> ..	19
Figura 7.	Valores asignados según categorización de nivel de importancia .....	20
Figura 8.	Clasificación de los niveles de la susceptibilidad del territorio asociado a un peligro natural.....	24
Figura 9.	Cálculo de los niveles del peligro asociado a un peligro natural. <i>Fuente (CENEPRED, 2019)</i> .....	24
Figura 10.	Clasificación de los niveles del peligro. <i>Fuente: (CENEPRED, 2019)</i>	25
Figura 11.	Promedio de temperatura normal y precipitaciones pluviales (lluvias) para la ciudad de Ayacucho .....	28
Figura 12.	Columna estratigráfica del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ), tomada de la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (INGEMMET).....	32
Figura 13.	Columna litológica de la Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Np_ti)	36
Figura 14.	Columna litológica de la Formación Ayacucho, miembro inferior (Nm_ayi)	37
Figura 15.	Columna litológica del miembro inferior- Toba 2 (Nm_ayi/tb2).....	38
Figura 16.	Columna litológica del nivel de tobas 3 (Nm_ayi/tb3) .....	39
Figura 17.	Columna litológica de la Formación Ayacucho – miembro superior (Nm_ay_s)	40
Figura 18.	Imagen de Google Earth. Vista de las montañas en rocas sedimentarias (RM-rs), al oeste de la ciudad de Ayacucho.....	47
Figura 19.	Imagen de Google Earth. Vista de la superficie con flujo piroclástico (Spf-d), en la ciudad de Ayacucho.....	48
Figura 20.	Muestra los perfiles de ladera simulados para varios tipos de precipitaciones anuales, con una evolución de 100.000 años. (Kirkby, 1976).....	61
Figura 21.	Nueve posibles formas de unidades de ladera. (Basado en Ruhe, 1975; clasificadas por Parsons, 1988).....	61
Figura 22.	Cortes de secciones A-A` y B-B` ubicados en la parte central de la quebrada Picota con sirección SW-NE.....	65
Figura 23.	Corte sección A-A`, donde muestra las unidades morfológicas presents en a zona de estudio.....	65
Figura 24.	Corte estratigráfico B-B`, correspondiente a la parte central de la quebrada Picota sobre el Miembro superior de la Formación Ayacucho, donde se visualiza la geomorfología asociada a la sedimentología.....	66



<b>Figura 25.</b>	<b>Precipitaciones máximas en 24 horas (Pmax 24h) multianuales de la estación Huamanga.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 26.</b>	<b>Prueba de datos dudosos de Crow (1994) para la estación Huamanga</b>	<b>76</b>
<b>Figura 27.</b>	<b>Hietograma de precipitación de diseño para Tr= 100 años. ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 28.</b>	<b>Inventario de fuentes de agua en la zona de estudio.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 29.</b>	<b>Leyenda del Mapa sísmico del Perú, clasificado según la profundidad y magnitud. ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 30.</b>	<b>Mapa Sísmico de Ayacucho (IGP), periodo 2011 – 2022, Fuente: IGP93</b>	
<b>Figura 31.</b>	<b>Esquema de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993). Fuente: Figura tomada de PMA (2007). ....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 32.</b>	<b>Derrumbe en la margen izquierda de la quebrada Picota, provocado por el corte de talud para la construcción de una vivienda. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 33.</b>	<b>Vista de derrumbes antiguos con actividad inactivo latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 34.</b>	<b>Vista de derrumbes distribuidos en ambas márgenes del cauce principal de la quebrada picota.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 35.</b>	<b>A) Ejemplos de deslizamientos traslacionales en roca, a través del plano de estratificación; B) Esquema de un deslizamiento en cuña. ....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 36.</b>	<b>Partes de un deslizamiento rotacional. (Modificado de Cruden y Varnes, 1996), donde se muestra los rasgos morfológicos y perfil del deslizamiento..</b>	<b>104</b>





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Rutas de acceso .....	3
Tabla 2.	Tipos de movimientos en masa .....	15
Tabla 3.	Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).....	16
Tabla 4.	Cuadro de resumen de procesos de erosión hídrica y su contribución a la inestabilidad .....	63
Tabla 5.	Rango de pendientes usados .....	67
Tabla 6.	Índice de Gravelius para el análisis de la forma.....	71
Tabla 7.	Rangos de pendientes y tipo de terreno .....	73
Tabla 8.	Resumen de parámetros de la Quebrada Picota.....	73
Tabla 9.	Precipitaciones mensuales máximos en 24 horas de la estación Huamanga. 74	
Tabla 10.	Resumen de fuentes de agua subterránea. ....	77
Tabla 11.	Clasificación de la descarga, según Meinzer (1923). ....	79
Tabla 12.	Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963) .....	80
Tabla 13.	Valores calculados de permeabilidad para diferentes ensayos de infiltración realizadas en la zona de estudio, Ayacucho.....	80
Tabla 14.	Unidades de cobertura vegetal .....	86
Tabla 15.	Catálogo de sismos sentido en la ciudad de Ayacucho (Años 2021 – 2024) 93	
Tabla 16.	Tipos de movimientos en masa.....	96
Tabla 17.	Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).....	97
Tabla 18.	Inventario de caídas de tipo Derrumbes en la quebrada Picota. ....	98
Tabla 19.	Inventario de deslizamientos dentro del área de estudio. ....	104
Tabla 20.	Inventario de erosión de laderas dentro del área de estudio. ....	107
Tabla 21.	Parámetros considerados para la evaluación de la susceptibilidad..	112
Tabla 22.	Matriz de comparación de pares de los factores condicionantes .....	112
Tabla 23.	Matriz de normalización de pares de la litología.....	113
Tabla 24.	Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....	113
Tabla 25.	Matriz de comparación de pares de tipo de litología. ....	114
Tabla 26.	Matriz de normalización de pares de la litología.....	115
Tabla 27.	Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....	115
Tabla 28.	Matriz de comparación de pares de tipo de grado de pendientes. ....	116
Tabla 29.	Matriz de normalización de pares de grado de pendientes. ....	117
Tabla 30.	Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....	117
Tabla 31.	Matriz de comparación de pares de unidades geomorfológicas.....	118
Tabla 32.	Matriz de normalización de pares de unidades geomorfológicas.....	119
Tabla 33.	Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....	119
Tabla 34.	Matriz de comparación de pares de cobertura vegetal.....	120
Tabla 35.	Matriz de normalización de pares de cobertura vegetal.....	121
Tabla 36.	Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....	121
Tabla 37.	Matriz de comparación de pares de unidades hidrogeológicas.....	123
Tabla 38.	Matriz de normalización de pares de unidades hidrogeológicas.....	123



<b>Tabla 39.</b>	<b>Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 40.</b>	<b>Matriz de comparación de pares de la intensidad de precipitación..</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 41.</b>	<b>Matriz de normalización de pares de la intensidad de precipitación.</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 42.</b>	<b>Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....</b>	<b>127</b>
<b>Tabla 43.</b>	<b>Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa. ....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 44.</b>	<b>Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla 45.</b>	<b>Matriz de comparación de pares de la velocidad del movimiento. ...</b>	<b>132</b>
<b>Tabla 46.</b>	<b>Matriz de normalización de pares.....</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 47.</b>	<b>Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia. ....</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 48.</b>	<b>Matriz de determinación de los parámetros condicionantes. ....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 49.</b>	<b>Matriz de determinación del parámetro desencadenante.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 50.</b>	<b>Matriz de determinación del valor de peligro, resultado de la susceptibilidad y parámetro de evaluación. ....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 51.</b>	<b>Matriz de determinación del nivel de peligro.....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 52.</b>	<b>Estratificación del nivel de peligro.....</b>	<b>136</b>



## RESUMEN

El área de estudio “Quebrada Picota” abarca un área de 1787.04 hectáreas, se encuentra entre los distritos de Ayacucho y Jesús Nazareno en la ciudad de Ayacucho. Se sitúa en la zona sur central del Perú, sobre los 2750 m.s.n.m., Morfoestructuralmente, se ubica en el altiplano disectado por ríos y quebradas que divide la cordillera occidental de la cordillera oriental; afluente del Río Alameda. La actividad geodinámica externa en esta quebrada hace necesario realizar la determinación de los niveles de peligrosidad, este trabajo servirá como herramienta de planificación territorial.

De acuerdo con su geomorfología local se caracteriza por la presencia de laderas disectadas en rocas sedimentarias, volcánicas, vertientes coluviales y coluvio-deluviales, Altiplanicies sedimentarias, a su vez la quebrada Picota se encuentra constituida principalmente por las Formaciones Ayacucho-Miembro inferior y Miembro superior, Formación Huari y depósitos recientes. Se analizaron también las condiciones hidrogeológicas haciendo la diferencia de las unidades litológicas que presentan características de acuíferos y acuitardos, por otro lado, se diferenciaron las características de la cobertura vegetal siendo esta variable a lo largo del área de estudio, predominando suelos sin cobertura vegetal en las laderas próximas al cauce de la quebrada. En torno a la geodinámica externa se identificaron predominantemente derrumbes y erosión de laderas de tipo cárcavas.

Considerando como factores condicionantes la geología, geomorfología, pendientes del terreno, hidrogeología y cobertura vegetal, como factor desencadenante las precipitaciones pluviales y como parámetro de evaluación las velocidades del movimiento de masa, utilizando la metodología de Saaty. se asignó pesos utilizando el método “Multicriterio” de Tomas L. Saaty, el cual realiza un proceso Analítico Jerárquico de cada descriptor obteniendo pesos mediante la comparación de a pares, en cada nivel de la jerarquía, se realiza una comparación de a pares tomando en cuenta la contribución de cada descriptor respecto a cada uno de los otros descriptores. La comparación de a pares se realiza en términos de importancia con el fenómeno que se está analizando.

Como resultado de este análisis jerárquico se obtiene el mapa final de peligrosidad con cuatro niveles: Bajo, Medio, Alto y Muy Alto.

**Palabras clave:** Peligrosidad, susceptibilidad, movimientos en masa, peligro, Quebrada Picota.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación titulado Evaluación de las Características Geológicas para la Determinación de la Peligrosidad por Movimientos en Masa en la Quebrada Picota, Ciudad de Ayacucho, permitirá analizar el impacto de los fenómenos geológicos sobre la zona de estudio, sobre el cual se asienta parte de la población de los distritos de Ayacucho y Jesús Nazareno.

Para el desarrollo de esta investigación se apoyó en diferentes materiales de investigaciones tales como boletines, artículos y estudios de dominio público correspondiente a instituciones como Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Centro Nacional de Estimación y Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), Instituto de Defensa Civil (INDECI) y Libros de consulta.

Para la identificación de los peligros por geodinámica externa en la quebrada Picota de la ciudad de Ayacucho, se realizó un inventario de los peligros geológicos basado en trabajos de campo e interpretación de imágenes satelitales, La metodología aplicada en este trabajo para obtener el mapa de Nivel de Peligrosidad por movimientos en masa, se evalúa los factores condicionantes, factores desencadenantes, parámetro de evaluación donde cada uno de los parámetros contendrá 5 descriptores, los cuales estarán representados por pesos donde cada uno de estos pesos serán calculados empleando el proceso de Análisis Jerárquico de Saaty.



## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la Quebrada Picota que se encuentra entre los distritos de Ayacucho y Jesús Nazareno en la ciudad de Ayacucho, ocupando un área total de 1787.04 hectareas, (Figura 1). Se sitúa en la zona sur central del Perú, sobre los 2750 m.s.n.m., Morfoestructuralmente, se ubica en el altiplano disectado por ríos y quebradas que divide la cordillera occidental de la cordillera oriental; afluente del Río Alameda.

A continuación, se muestra la ubicación política del área de estudio:

- Departamento: Ayacucho
- Provincia: Huamanga
- Distrito: Ayacucho y Jesús Nazareno

Geográficamente, el área de estudio se encuentra en las siguientes coordenadas UTM, Zona 18 Sur:

Coordenada UTM Norte: De 8'522,000 a 8'538,000 m.

Coordenada UTM Este: De 170,000 a 186,000 m.

### 1.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la ciudad de Ayacucho desde Cusco se realiza por vía aérea y terrestre. Por vía terrestre, se accede por la carretera Cusco-Abancay-Ayacucho, un viaje de 9 10 horas. Por vía aérea, existe ruta directa desde Cusco. El acceso a la quebrada Picota es por vía terrestre, a través de la vía asfaltada “Carretera Ayacucho- Huanta” (Tabla 1).

Tabla 1. Rutas de acceso

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco - Abancay	Asfaltada	194	4 hora 30 minutos
Abancay - Ayacucho	Asfaltada	386	8 horas 30 minutos
Plaza de armas de Ayacucho - Quebrada Picota	Asfaltada	4.4	13 minutos
	<b>TOTAL</b>	<b>584.4</b>	<b>13 horas 13 minutos</b>
<b>Cusco - Ayacucho</b>	<b>Aérea</b>		<b>hora y 5 minutos</b>





**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO”**

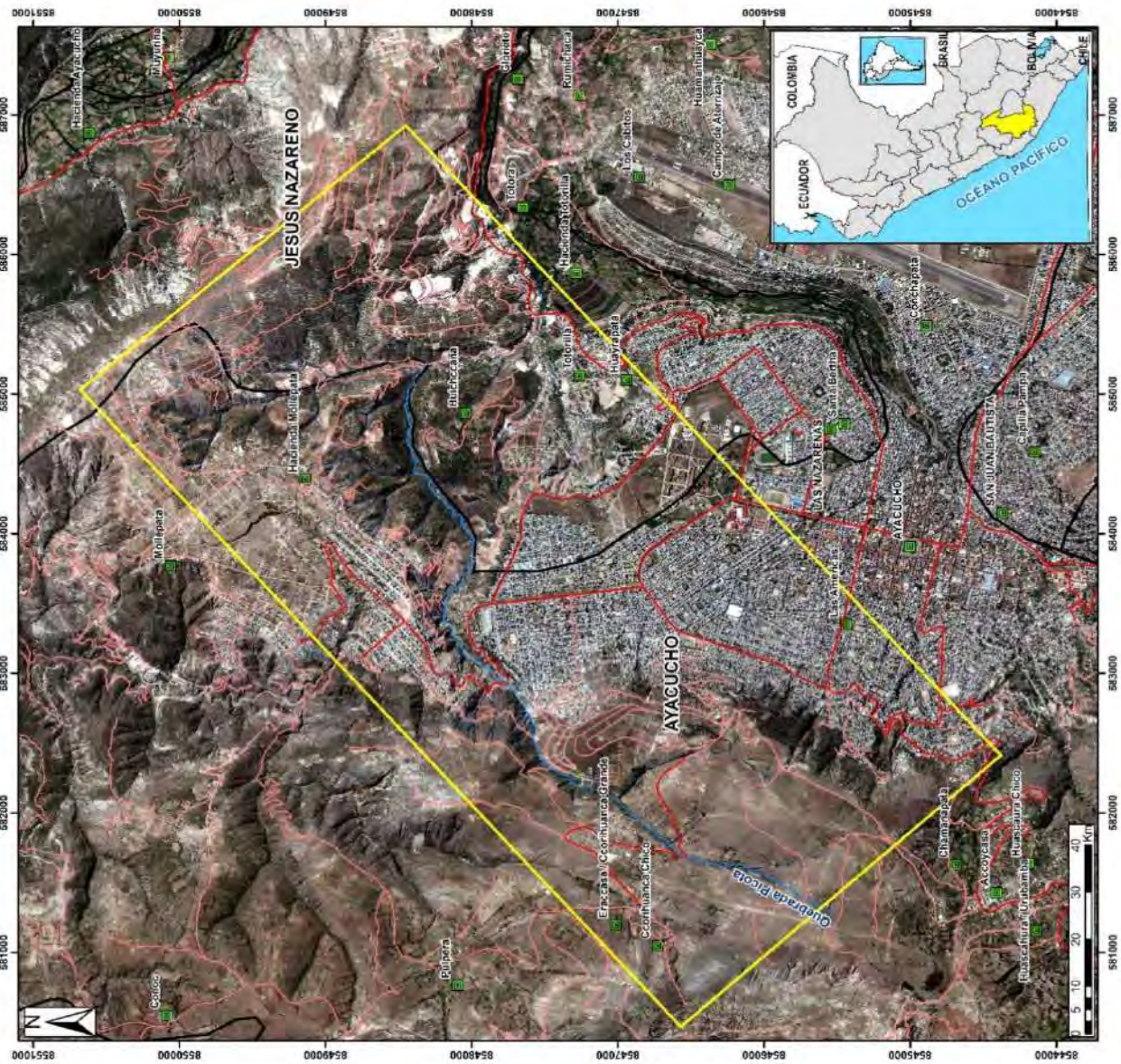
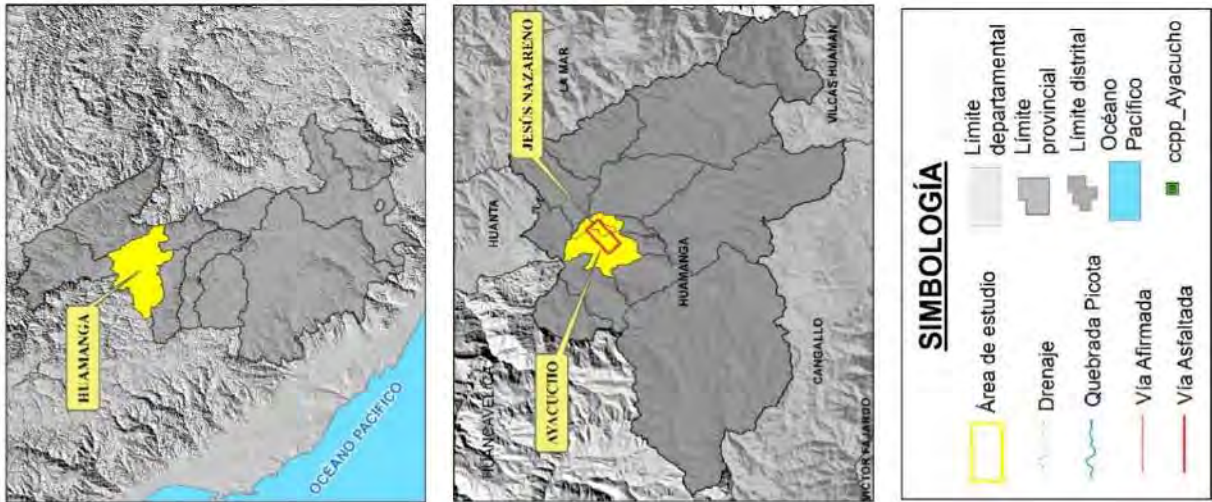






Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### ***1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA***

En los últimos años por el crecimiento económico, social y por la necesidad, muchas de las zonas urbanas en especial en las ciudades capitales de los diferentes departamentos de nuestro país crecen inmesuradamente sin un buen plan de ordenamiento territorial y ocupan zonas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

La Quebrada Picota debido a su ubicación geográfica, presenta una geomorfología muy accidentada, donde la combinación de las características geológicas, geomorfológicas, uso del suelo, propiedades hidrogeológicas y el asentamiento de población dentro del cauce de la quebrada y alrededores esto pone en riesgo muchas zonas que son vulnerables ante la ocurrencia de los peligros por movimientos en masa.

La Quebrada Picota de la ciudad de Ayacucho, presenta problemas de geodinámica externa (movimientos en masa) como la presencia de flujos de lodo, derrumbe que ponen en riesgo a los habitantes de la zona de invasión de las laderas de los Forestales ubicado en la margen derecha de la quebrada picota, la infraestructura vial, de la misma manera repercute en la seguridad física de los sectores de Mollepata, huichccana, totorilla, huayrapata y varios asentamientos humanos, por lo que es importante tener inventariado estos peligros geológicos y conocer el nivel de peligrosidad que presenta la zona.. Dentro del cauce de la quebrada Picota se evidencia asentamientos humanos sin control urbanístico los cuales fueron afectados años atrás durante los periodos de lluvias, sin embargo, aún continúan habitando la zona incrementando la vulnerabilidad en el área de estudio. Asimismo, la tendencia de expansión urbana generalmente se da por la procedencia de la migración rural hacia la ciudad, han traído consigo asentamientos no legales (invasiones, ocupación en laderas o zonas de relleno).

La litología presente en el área de estudio corresponde a la Formación Ayacucho miembro inferior y superior compuesto por limolitas, arenas y arcillitas se encuentran fuertemente disectadas por cárcavas y forman sistemas de drenaje dendrítico por aguas superficiales no estacionarias (Medina et al. 2021).

Respecto a la subunidad geomorfológica presente en el la quebrada Picota corresponde a una ladera disectada en roca sedimentaria, estas laderas al encontrarse disectadas por erosión en



cárcavas muestran una mayor susceptibilidad a ocurrencia de movimientos en masa por el tipo de material erosionable.

Por su parte, Medina et al. (2021) en el distrito de Ayacucho identificaron 66 ocurrencias de erosión en cárcavas distribuidas en las vertientes del río Alameda, quebradas Picota, Ccanganahuaycco y cerro Buena Vista (Picota); 14 derrumbes ubicados principalmente en la quebrada Picota y quebradas afluentes al río Alameda.

Por otra parte, Medina et al. (2021) menciona que ambos laterales de la quebrada Picota, se encuentra afectada por derrumbes, erosión en cárcavas y caídas de rocas, los cuales son condicionados principalmente por la actividad antrópica al realizar cortes en el talud para la construcción de viviendas. (p. 103)

### **1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿En qué medida las características geológicas se relacionan para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho?

#### **1.3.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS**

- ¿En qué medida las características litológicos, pendientes, geomorfológicos e hidrogeológicos influyen en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho?
- ¿Cómo influye la geodinámica externa en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho y cuál es el factor desencadenante considerado para la determinación de la peligrosidad?
- ¿Cómo influyen los grados de susceptibilidad por movimientos en masa para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho?
- ¿Cuáles son los niveles de peligrosidad en la Quebrada Picota, Ciudad de Ayacucho?

### **1.4. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Evaluación de las características Geológicas



#### **1.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Peligrosidad por movimientos en masa

### **1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las características geológicas para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho.

#### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Establecer el grado de influencia de las características litológicas, pendientes, geomorfológicas e hidrogeológicas en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho
- ❖ Identificar los peligros geológicos producto de la geodinámica externa y establecer el factor desencadenante considerado para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho.
- ❖ Estimar los grados de susceptibilidad para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho
- ❖ Calcular e identificar los niveles de Peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho

### **1.6. HIPÓTESIS**

#### **1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Las características geológicas condicionan directamente en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho.

#### **1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Las características litológicas, pendientes, geomorfológicas e hidrogeológicas influyen significativamente en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho.
- Los peligros geológicos de mayor ocurrencia son los derrumbes y el factor desencadenante considerado son las precipitaciones pluviales para la determinación de la



peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho

- Los grados de susceptibilidad influyen significativamente en la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho.
- Los niveles de Peligrosidad en la Quebrada Picota, ciudad de Ayacucho en su mayor porcentaje presenta niveles de peligrosidad de alto a muy alto.

## 1.7. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La problemática de la zona de estudio, es la presencia de diferentes tipos de peligros por movimientos en masa que afectan las laderas y el cauce de la quebrada Picota; debido a esto la importancia de este trabajo radica en los planes de prevención que se pueden implementar ante la ocurrencia de estos peligros, teniendo este estudio como objetivo principal, Evaluar las características geológicas para la determinación de la peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota, ciudad de Ayacucho; el problema se acrecentó por el crecimiento urbano discriminado en la zona, por lo que este proyecto es un trabajo de gran importancia que contribuirá en el desarrollo sostenible y la planificación urbana de la población en general que se encuentran habitando esta zona, siendo ellos los directos beneficiados, de esta manera se espera contribuir a un mejor plan de acondicionamiento territorial en la ciudad de Ayacucho.

## 1.8. METODOLOGÍA

### 1.8.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación en el presente estudio es **aplicada**. Según Cívicos y Hernández (2007), “la investigación aplicada o práctica se caracteriza por la forma en que analiza la realidad social y aplica sus descubrimientos en la mejora de estrategias y actuaciones concretas, en el desarrollo y mejoramiento de éstas, lo que, además, permite desarrollar la creatividad e innovar” (p. 25).

El diseño de investigación en el presente estudio es **No experimental**. Según Fernández, Hernández y Baptista (2016) son los “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de las variables de estudio y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (p. 2).





### **1.8.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la elaboración del estudio se realizó en tres etapas, detalladas líneas abajo:

#### **○ Etapa 1: TRABAJOS DE PRE-CAMPO O GABINETE 1**

Para la realización del presente estudio se ha recopilado la información bibliográfica existente de la zona relacionada al objetivo del estudio, tales como: “Estudios de Peligros Geológicos en la Región de Ayacucho”, “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho” y otros.

#### **○ Etapa 2: TRABAJO DE CAMPO**

Se realizó la caracterización y cartografiado litológico, geomorfológico y cobertura vegetal de la zona de estudio, de tal forma la caracterización hidrogeológica, mediante el reconocimiento de las formaciones geológicas sobre las cuales se realizaron ensayos de infiltración puntual, con la finalidad de calcular su permeabilidad.

Así como también se realizaron la identificación e inventariado de los diferentes procesos geológicos por movimientos en masa en el área de estudio.

#### **○ Etapa 3: TRABAJO DE GABINETE 2**

El trabajo de gabinete consiste en el procesamiento de los datos tanto de la recopilación bibliográfica como de los trabajos de campo, el análisis de los datos numéricos obtenidos de la información meteorológica, la elaboración de mapas usando el sistema de información geográfica “ArcGIS versión 10.5” a escala 1:25 000.

## **1.9. MARCO TEÓRICO**

### **1.9.1. ANTECEDENTES**

Existen trabajos previos que dentro del área de estudio se encuentra la Quebrada Picota de la ciudad de Ayacucho, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, en la que destacan las publicaciones hechas por INGEMMET:



**Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1979)** – Estudio Geotécnico para la seguridad física de la ciudad de Ayacucho, Tomo 1. Indica que la ciudad de Ayacucho se asienta al pie de una elevación comúnmente conocida como “Cerro Picota” y que está constituido por lavas basálticas, tobas y un material de cobertura altamente meteorizable, indica también que la ubicación de una serie de quebradas con dirección Oeste-Este, que drenan directamente sobre la ciudad, agravan la situación de ésta, al servir de fácil canalización de sedimentos y huaicos.

Se realizó también mecánica de suelos, en la cual se describe 02 calicatas en la Formación Ayacucho, miembro inferior, cuyo resultado indica que el 100% del área superficial está conformada por suelos de grano grueso (SP), con una potencia de 2.10 m., estos suelos granulares son susceptibles a erosión y filtración.

**Morche, et al. (1995).** Geología del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ). Boletín INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, donde se describe la geología a escala 1:100000 a nivel regional de la zona de estudio como son: Formación Ayacucho, miembro inferior, el cual consta de secuencias de tobas intercalados con conglomerados, limo arcillitas y la Formación Huari, afloran derrames de lavas oscuras.

**Rodriguez y Chacaltana (2003)** – Memoria Descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ). INGEMMET, Escala 1:100 000; En la que realizaron un cartografiado detallado de la Formación Ayacucho en los miembros inferior y superior, resaltando los niveles de tobas; definición de la Formación Chaupi Orcoco, antes considerado como Formación Ayacucho 2.

**Instituto Nacional De Defensa Civil - INDECI (2003).** Mapa de Peligros de la ciudad de Ayacucho. Estudios de Ciudades Sostenibles: Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051. 114 p. Se muestra en el Mapa de peligros múltiples (Mapa 15), la zona de estudio presenta zonas peligrosas y zonas altamente peligrosas.

**Vilchez y Ochoa (2014)**- En el informe técnico de Zonas críticas por peligros geológicos en la región Ayacucho, mencionan que en la quebrada Picota se evidencian múltiples derrumbes en las vertientes de la quebrada, que aportan material suelto hacia la quebrada, los cuales son posteriormente acarreados formando huaicos en periodos de precipitaciones pluviales.

**Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003)** - Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Se determina en el Mapa de áreas sujetas a erosión de laderas, la zona de estudio se encuentra en una zona de peligro alto



(Lámina N° 13), de tal forma se muestra en el Mapa de Peligros Geológicos Múltiples, la zona de estudio se encuentra en un grado de peligro alto a muy alto (Lámina 15). En el Mapa de áreas sujetas a deslizamientos, movimientos complejos y hundimientos (Lámina 11), la zona de estudio se encuentra en un nivel de riesgo muy alto. Todos los Mapas elaborados a escala 1:750 000.

**Villacorta, Fidel y Zavala (2012)**- Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa. Plataforma integral GEOCATMIN. Este mapa muestra que la ciudad de Ayacucho se localiza en una zona de susceptibilidad de muy baja hasta susceptibilidad alta.

**Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2016)**- Informe técnico Evaluación Técnica de peligros geológicos en la quebrada Chaquihuayco y el cerro la Picota. Indican que en las márgenes y en los cauces de las quebradas en las faldas del cerro La Picota, se asientan viviendas sin ningún control urbanístico. Cabe mencionar que realizan un cartografiado de peligros en el cerro La Picota identificando múltiples erosiones de laderas de tipo cárcavas que disectan las laderas.

**Medina et al. (2021)**- Boletín Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Ayacucho, este estudio tuvo como objetivo elaborar un estudio detallado de peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos (inundaciones fluviales) para la ciudad de Ayacucho. (p.11)

En este estudio determinaron la susceptibilidad a movimientos en masa en la ciudad de Ayacucho, donde la quebrada Picota se encuentra delimitado principalmente desde moderado a muy alta susceptibilidad e identificaron 9 áreas críticas en la quebrada Picota ante la ocurrencia de movimientos en masa.

### **1.9.2. BASES TEORICAS**

#### **- Movimientos en masa**

Se considera a desplazamientos del terreno causados por la gravedad, influenciados por factores como el agua, sucesos sísmicos, sobrecargas en el terreno, el socavamiento antrópico y natural y la apertura de vías. Estos movimientos provocan cambios visibles en el terreno, como agrietamientos, hundimientos y desprendimientos de suelo o roca. (CENEPRED,2014).

Los procesos denudativos modelan el relieve de la tierra e incluyen movimientos en masa. La fuente de este fenómeno es el resultado de una amplia gama de eventos geológicos,



hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que ocurren en la corteza terrestre y en la zona intermedia entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Por lo tanto, mientras que el levantamiento tectónico crea montañas, las laderas son desestabilizadas por la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción humana) que actúan sobre ellas para cambiar el relieve a una condición más plana. (PMA: GCA, 2007)

#### - **Peligrosidad**

hace referencia a la frecuencia y el lugar en que ocurre un proceso. La probabilidad de que un proceso de un nivel de intensidad o severidad específico ocurra dentro de un periodo de tiempo específico y en un área específica (Vames, 1984). Para su evaluación se debe conocer: Dónde y cuándo ocurrieron los procesos geológicos en el pasado, también la intensidad y magnitud que tuvieron, así se podrá conocer las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.

#### - **Mapas de Peligrosidad**

Los mapas constituyen el método más efectivo de presentar la información referente a la peligrosidad de una zona o región, y deben ser usados por planificadores, encargados de las labores de emergencia.

Los trabajos de cartografía tienen como objetivo dividir el territorio en zonas con diferente grado de peligro.

Para preparar un mapa de peligrosidad se necesita un mapa de susceptibilidad, donde la susceptibilidad puede definirse como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los elementos que controlan o condicionan los procesos, que pueden ser intrínsecos a los materiales geológicos o externos.

Es posible crear mapas de susceptibilidad basados en:

Mapas de inventario: las áreas que están experimentando problemas o han experimentado procesos pueden volver a experimentarlos.

Mapas de factores: Las áreas donde se combinan ciertos factores que influyen en los procesos en una región o zona específica, incluso si estos factores no se han presentado aún, pueden tener un impacto en el futuro.

En este último caso, la metodología se basa en la creación de mapas temáticos de los factores condicionantes y su superposición. El grado de susceptibilidad se determina en función



del peso asignado a cada uno de los factores. Estos mapas se suelen crear utilizando técnicas SIG, que permiten el análisis automático de datos y el establecimiento de bases de datos asociados a capas.

### - Peligro

El estudio de los mecanismos generadores de un fenómeno (factores condicionantes), el seguimiento del sistema perturbador y/o el registro de eventos en un período de tiempo y área geográfica específica se utilizan para estimar la ocurrencia de un fenómeno o peligro.

### - Clasificación de peligros originados por fenómenos de origen natural

Según su origen pueden ser generados por fenómenos de origen natural, tales como el entorno geológico, geomorfológico, relieve; y, los inducidos por la acción humana, los cuales consta del cambio del entorno natural, como por cortes de talud, cargas de material en el talud y modificaciones del terreno (CENEPRED, 2014) (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Clasificación de Peligros. Fuente: CENEPRED (2014).

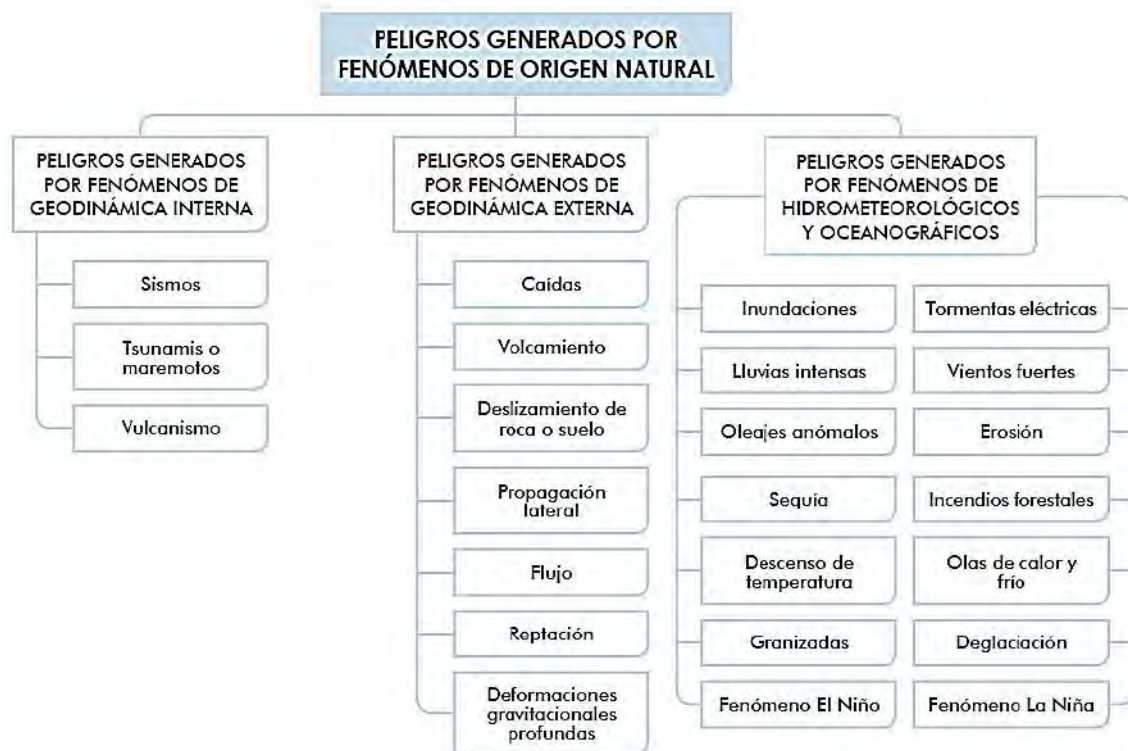


Figura 3. Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales. Fuente: CENEPRED (2014).

#### - **Movimientos de ladera**

El relieve y la morfología de las laderas son creados por procesos geológicos y climáticos que afectan la superficie terrestre. Esta morfología cambia con el tiempo para adaptarse a nuevas condiciones geológicas o climáticas. Por lo general, las laderas tienen pendientes naturales que están cerca del equilibrio; cuando las circunstancias cambian, su morfología cambia para volver a encontrar el equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera se pueden definir como ajustes del terreno para mantener el equilibrio ante cambios de condiciones. (Gonzales de Vallejo, 2002).

#### - **Tipos de movimientos en masa**

La clasificación de los movimientos en masa suele referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales, suelo o roca, considerando también otros aspectos, así como el contenido de agua en el terreno y la velocidad y magnitud del movimiento.





Los diferentes tipos de movimientos en masa: Caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones (Tabla 2)

Tabla 2. Tipos de movimientos en masa

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

Fuente: Tomado de PMA: GCA(2007).

Se describe el rango de velocidades de cada uno de estos movimientos en masa, un parámetro importante porque se relaciona con la intensidad de estos movimientos y la amenaza que pueden representar. Se muestra la relación entre el intervalo de velocidades típicas y la escala de velocidades sugerida por Cruden y Varnes (1996), la cual se presenta en la tabla 3.





Tabla 3. Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996)

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido		
		$5 \times 10^3$	5 m/s
6	Muy rápido		
		$5 \times 10^1$	3 m/min
5	Rápido		
		$5 \times 10^{-1}$	1,8 m/h
4	Moderada		
		$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes
3	Lenta		
		$5 \times 10^{-5}$	1,6 m/año
2	Muy lenta		
		$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año
1	Extremadamente lenta		

Fuente: Región Andina: Guía para la Evaluación de Amenazas (2007).

Según la clasificación de peligros originados por fenómenos naturales tenemos:

- **Derrumbes**

Se pueden encontrar en áreas rocosas fracturadas y depósitos inconsolidados, generando "zonas de arranque" con formas irregulares y circulares, con medidas que van desde pocos metros hasta decenas de metros, aunque algunos son de gran tamaño.

- **Deslizamiento**

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca que se desplaza principalmente a lo largo de una superficie de falla o de una zona delgada donde se produce una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales (denominados planares o cuña) y rotacionales, (Figura 4). Sin embargo, las superficies de rotura de los deslizamientos compuestos pueden presentar varios segmentos planares y curvos (Hutchinson, 1988).

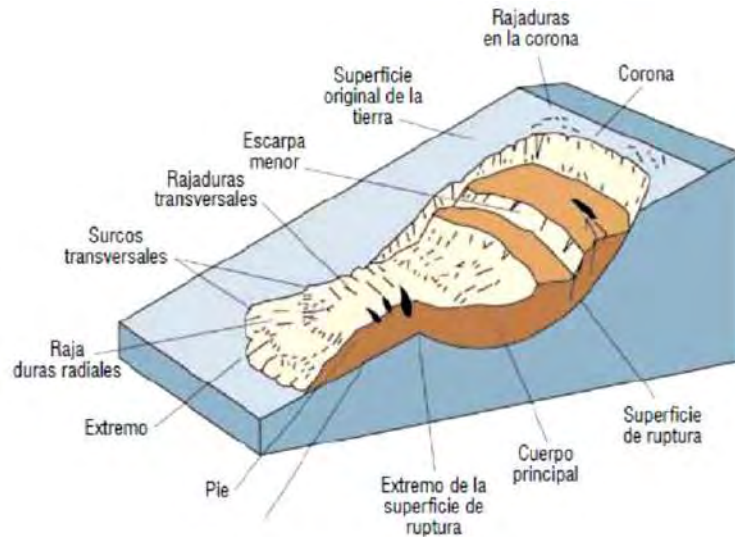


Figura 4. Esquema de las partes de un deslizamiento rotacional. Varnes (1978).

- **Criterios recomendados para determinar el grado del peligro por movimientos en masa en laderas.**

Determinación del nivel de peligrosidad por movimientos en masa en escaleras: Según lo siguiente, la inestabilidad de una ladera es el resultado de la interacción de varios factores condicionantes y el impacto de factores externos o desencadenantes. Estos factores están relacionados con una cierta probabilidad e intensidad de ocurrencia.

La inestabilidad es el grado de peligrosidad por movimiento en masa en laderas, el cual está relacionado con una probabilidad de ocurrencia e intensidad.

Por lo tanto, durante el trabajo de campo se debe recopilar la información necesaria para identificar las diferencias entre zonas y determinar su frecuencia.

Por lo tanto, los parámetros mencionados se deben estimar o calcular para determinar el Nivel de Peligrosidad por movimiento en masa en ladera (INDECI, 2011).

- **Escala de los mapas, precisión**

De acuerdo con los criterios establecidos por la UNESCO en 1976 para la clasificación de la escala de los mapas. Los mapas a escala de 1:50 000 se consideran de escala media, mientras



que los mapas a escala de 1:10 000 se consideran de escala grande. Los mapas de planificación municipal de 1:10.000 a 1:50.000 son suficientes; Sin embargo, es preferible que los mapas de planificación urbana sean de escalas más grandes, menores de 1:10,000.

Las amenazas cartografiadas en mapas a escala 1:50,000 no pueden analizar sitios o áreas muy específicas a fondo, por lo que se recomienda realizar estudios de detalle.

### - Susceptibilidad

Se conoce como susceptibilidad a la mayor o menor probabilidad de que un evento ocurra u ocurra en un área geográfica dada por los factores condicionantes y los factores desencadenantes del fenómeno o proceso geológico.

### - Factores condicionantes:

Los factores condicionantes para tener en cuenta según el Manual de evaluación de riesgos V2 del CENEPRED se muestra en la siguiente figura 5, y deben ser considerados según se requiera. Estos son parámetros propios del ámbito geográfico de la zona de estudio y pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el desarrollo del fenómeno o proceso de origen natural.

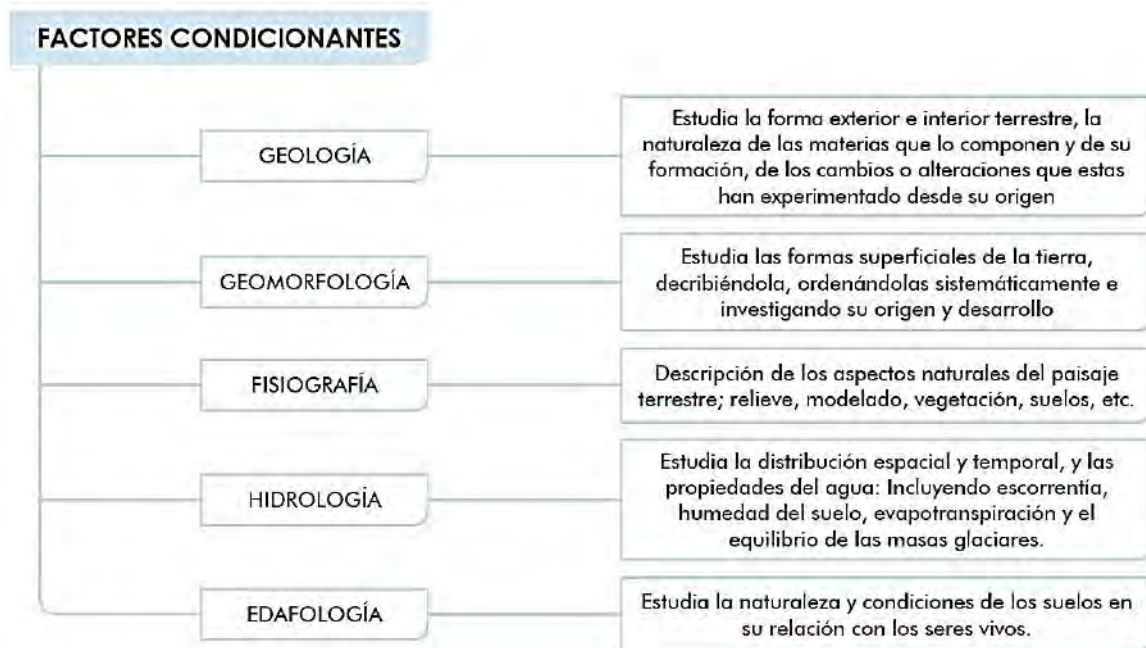


Figura 5. Factores condicionantes del peligro. Fuente: CENEPRED (2014).



- **Factores desencadenantes o detonantes:**

Las lluvias, que pueden causar movimientos en masa, y los sismos, que también pueden causar movimientos en masa, son los factores desencadenantes naturales considerados por el CENEPRED que causan peligros geológicos en un ámbito o área geográfica específica.

Ver la figura 6, el cual es considerado como factores desencadenantes por parte de CENEPRED, descrito en el manual de evaluación de riesgos v2.



Figura 6. Factores desencadenantes del peligro. Fuente: CENEPRED (2014).

- **Proceso de análisis jerárquico de Saaty**

Este método se usa para determinar del valor de priorización de un conjunto de elementos, debido a su ámbito de aplicación, este método de análisis fue desarrollado a finales de los años 60 por Thomas Saaty, este método nos permite evaluar varias alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios, en este proceso se utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices, a través de elementos del álgebra matricial para establecer prioridad entre los elementos.

Como ejemplo, se muestra el proceso de análisis jerárquico utilizando una matriz de 3 elementos en comparación:

- Los elementos en comparación serán denominados “P1”, “P2” y “P3”. Para generar la matriz de comparación de pares estos se colocan como cabeceras en la fila y columna de la matriz, manteniendo el mismo orden.

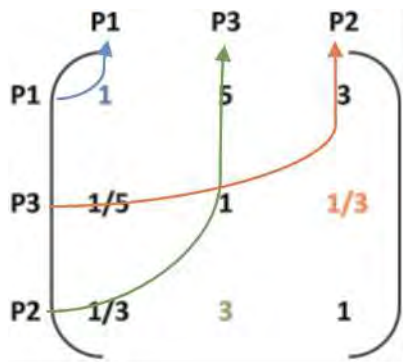


- En la figura 7 se muestra los valores que serán asignados están categorizados de la siguiente manera:

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que ....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
1	Igual .....	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que .....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Figura 7. Valores asignados según categorización de nivel de importancia

- Para asignar los valores en la matriz, se realiza la comparación entre un elemento de la fila con otro elemento de la columna. Esta comparación se realiza permutando con todos los elementos manteniendo la relación “fila/columna” hasta completar toda la matriz.



- P1 es igual de importante que P1 = 1
- P3 es menos importante que P1 = 1/5
- P2 es ligeramente menos importante que P1 = 1/3
- P1 es más importante que P3 = 5
- P3 es igual de importante que P3 = 1
- P2 es ligeramente más importante que P3 = 3
- P1 es ligeramente más importante que P2 = 3
- P3 es ligeramente menos importante que P2 = 1/3
- P2 es igual de importante que P2 = 1

Posteriormente, se encuentra la inversa de la sumatoria de cada columna de la matriz.





La sumatoria inversa con cada elemento de su columna correspondiente se multiplica para obtener la matriz de normalización.

	P1	P3	P2
P1	0.65	0.56	0.69
P3	0.13	0.11	0.08
P2	0.22	0.33	0.23
Suma	1	1	1

←

	P1	P3	P2
P1	1	5	3
P3	1/5	1	1/3
P2	1/3	3	1
Sumatoria	1.53	9.00	4.33
1/Sumatoria	0.65	0.11	0.23

Después de obtener la matriz de normalización, se determina el vector de priorización. Se calcula el promedio de cada fila de la matriz para obtener este dato.

	P1	P3	P2
P1	0.65	0.56	0.69
P3	0.13	0.11	0.08
P2	0.22	0.33	0.23
Suma	1		

←

0.63	
0.11	
0.26	
Suma	1

Los valores del vector de priorización corresponden a los valores de los pesos ponderados de cada elemento analizado en el orden en que se trabajaron.

Se debe calcular la relación de consistencia (RC), que debe ser menor al 10% (RC < 0.1), para determinar que los criterios utilizados para la comparación de pares de indicadores son los más adecuados, para lo cual se debe multiplicar la matriz. de comparación de pares con el vector de priorización. Este cálculo confirma que el método se ha aplicado correctamente.



$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.63 \\ 0.11 \\ 0.26 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.63 & 0.53 & 0.78 \\ 0.13 & 0.11 & 0.09 \\ 0.21 & 0.32 & 0.26 \end{pmatrix}$$

Después, se debe encontrar el vector suma ponderado. Esto se logra sumando los elementos de cada fila. Después de esto, cada elemento del vector suma ponderado se divide con cada elemento del vector de priorización, creando un nuevo vector con tres elementos.

$$\begin{pmatrix} 0.63 & 0.53 & 0.78 \\ 0.13 & 0.11 & 0.09 \\ 0.21 & 0.32 & 0.26 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 1.95 \\ 0.32 \\ 0.79 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0.63 \\ 0.11 \\ 0.26 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.07 \\ 3.01 \\ 3.03 \end{pmatrix}$$

Para obtener el índice de consistencia (IC), se calcula el promedio de los elementos que contienen el vector con 3 elementos, se le resta el número de elementos que contiene el vector (n) y se divide con el mismo número de elementos disminuido es 1(n-1).

Finalmente, el IR se divide con el Índice Aleatorio (IA) para calcular la relación de consistencia. Se utilizó la tabla creada por Aguarón y Moreno (2011), donde "n" es el número de elementos del vector de priorización, para conocer la IA.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

$$RC = \frac{0.019}{0.525}$$

$$RC = 0.037 < 0.10$$





Para esto, el valor de la relación de consistencia (RC) debe ser inferior a 0,10. Se debe volver a examinar los criterios en la matriz de comparación de pares si el coeficiente es superior a 0,10.

#### - **Parámetro de evaluación**

A través del parámetro de evaluación, podemos definir y caracterizar el peligro. Este parámetro se representa como la ocurrencia del peligro sobre el área de estudio o evaluación, donde representa la intensidad de este proceso para un período de retorno y/o frecuencia específica. La magnitud del factor desencadenante o detonante determinará la intensidad del evento, por lo que es crucial identificar la característica del factor que provoca este proceso o peligro geológico.

La capa del parámetro de evaluación tendrá cinco descriptores, cada uno de los cuales estará representado por valores numéricos (pesos ponderados), y para calcularlos se utilizará el proceso de análisis jerárquico de Saaty.

#### - **Análisis de la Susceptibilidad**

Para este análisis, se debe determinar la exposición o predisposición del terreno a la ocurrencia o impacto de un peligro geológico. Los factores condicionantes, que incluyen las características propias del terreno (geología, pendiente, geomorfología, hidrogeología y cobertura vegetal), se relacionan para determinar la susceptibilidad de un territorio a un peligro natural específico. Estos factores pueden o no contribuir a la ocurrencia de un peligro geológico.

Cada uno de los factores condicionantes que se consideran en el estudio debe tener cinco descriptores, y estos pesos ponderados se calcularán utilizando el método de análisis jerárquico de Saaty.

A continuación, se utilizan estos cuatro rangos de valores de susceptibilidad para clasificar en cuatro niveles: "Muy alta", "Alta", "Media" y "Baja", como se muestra en la figura 8.



Valores de los rangos de la susceptibilidad	Niveles de la susceptibilidad
$n_2 < S \leq n_1$	MUY ALTA
$n_3 < S \leq n_2$	ALTA
$n_4 < S \leq n_3$	MEDIA
$n_5 \leq S \leq n_4$	BAJA

Figura 8. Clasificación de los niveles de la susceptibilidad del territorio asociado a un peligro natural.

- **Definición de los niveles del peligro**

Para determinar los niveles de peligrosidad, debemos sumar las capas de parámetro de evaluación y susceptibilidad y luego multiplicarlas por sus respectivos pesos. En una situación en la que los pesos de ambas capas se dividen en función de su importancia, los pesos de ambas capas deben sumarse para formar la unidad (1). (Ver la figura 9)

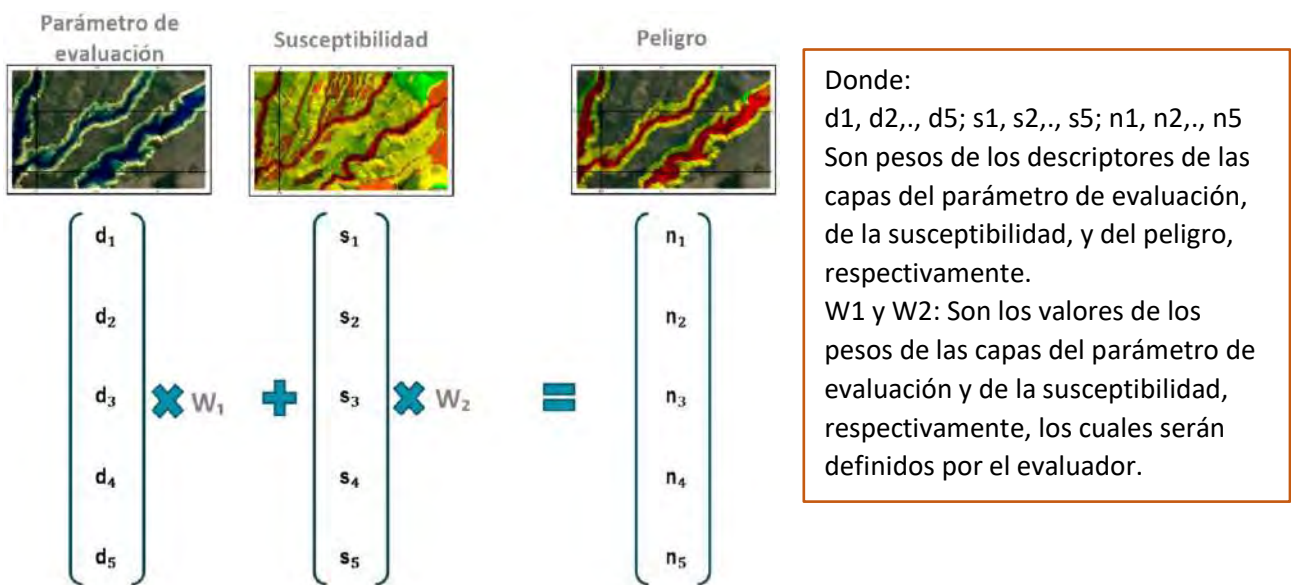


Figura 9. Cálculo de los niveles del peligro asociado a un peligro natural. Fuente (CENEPRED, 2019)

A continuación, se describen los cuatro niveles, donde los valores utilizados son los resultados del cálculo del valor del peligro, de donde se establece o determina cuatro rangos que determinarán los cuatro niveles de peligro, como se muestra en la figura 10.



Valores de los rangos del Peligro	Niveles del Peligro
$n_2 < P \leq n_1$	MUY ALTO
$n_3 < P \leq n_2$	ALTO
$n_4 < P \leq n_3$	MEDIO
$n_5 \leq P \leq n_4$	BAJO

Donde:

$n_1, n_2, \dots, n_5$ : Son los valores de los rangos del Peligro.

“P”: Representa el valor del Peligro.

Figura 10. Clasificación de los niveles del peligro. Fuente: (CENEPRED, 2019)

### 1.9.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Quebrada:** Una quebrada es una forma topográfica de pequeña extensión creada por agentes geológicos como el viento o la fuerza de la precipitación y la escorrentía en un terreno erosionable (Castillo, 2006).

- **Movimientos en masa:** Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. La fuente de este fenómeno es el resultado de una amplia gama de eventos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que ocurren en la corteza terrestre y en la zona intermedia entre ésta, la hidrósfera y la atmósfera. Por lo tanto, mientras que el levantamiento tectónico crea montañas, las laderas son desestabilizadas por la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción humana) que actúan sobre ellas para cambiar el relieve a una condición más plana (PMA: GCA, 2007)

El término "movimientos en masa" se refiere a todos los movimientos de ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierra causados por la gravedad. (Cruden, 1991)

- **Erosión de laderas:** La erosión de ladera, es un proceso normal, inevitable y universal, que consiste en el desgaste y remodelado del paisaje terrestre original; puede ser laminar, surco o en cárcava (Villota, 2005).

- **Erosión en cárcavas:** Proceso de erosión hídrica intensa provocada por escurrimiento superficial concentrado que puede remover material del suelo hasta profundidades significativas. La cantidad de agua de escurrimiento y la velocidad de esta están estrechamente relacionadas con la intensidad y la amplitud de la formación de cárcavas. Además, las características del suelo (permeabilidad y cohesión), el relieve, el clima y la cobertura vegetal protectora los regulan. Las cárcavas pueden aumentar en profundidad, amplitud y longitud mediante una variedad de procesos que pueden ocurrir aislada o simultáneamente. El perfil



transversal de las cárcavas puede ser en V o en U, todo depende del tipo de material existente (Villota, 2005).

- **Derrumbes:** Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas en superficies irregulares de desplome como uno solo, que van desde unos pocos metros hasta decenas y centenas de metros. (Vílchez et al., 2010).
- **Flujo de lodo:** se refiere a flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2007).
- **Peligro:** El peligro es la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente un lugar específico, con una intensidad y un período de tiempo y frecuencia definidos

(Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos Naturales, CENEPRED, Lima 2014, Pag.16).

- **Desastre:** Una interrupción significativa en el funcionamiento de una comunidad que causa pérdidas significativas a nivel humano, material o ambiental, suficientes para que la comunidad afectada no pueda sobrevivir por sí sola y requiera ayuda externa. Los desastres se clasifican según su origen (natural o provocado por la acción humana). (INDECI, 2011)
- **Precipitación:** Según esta definición, la precipitación es cualquier tipo de humedad que se desprende de las nubes y llega a la superficie terrestre. Por lo tanto, las lluvias, granizadas, garuas y nevadas son formas diferentes del fenómeno de la precipitación. (Villón, 2002)

## 1.10. MATERIALES Y EQUIPOS

### - MATERIALES DE TRABAJO

#### **Materiales de campo:**

- Cartas nacionales geológicas
- Mapa topográfico, Imágenes Satelitales
- Libreta de Campo, Protactor, tableros, Colores, Lápiz.

#### **Materiales de gabinete:**



- Información bibliográfica recopilada (afiches, artículos, informes pdf, etc.)

- papel bond A3, A4.

### - EQUIPOS DE TRABAJO

#### **Instrumentos de campo:**

- Brújula, Gps Picota, Flexómetro, Cinta Métrica

- Libreta de Campo

- Cámara Fotográfica

- Tubo de 2” de Diámetro.

- Comba, Sincel

#### **Instrumentos de gabinete:**

- Computadora y/o laptop

- impresora, plotter, hojas bond, escáner, fotocopiadora.

#### - PROCESAMIENTO DE DATOS:

Para esta investigación se usará software como:

- o ArcGis 10.5,
- o AQT SOLV
- o Microsoft 2016,
- o Google Earth PRO,
- o SasPlanet 16.07.

Cuya aplicación de estas será:

- o Generación de mapas temáticos para una mejor comprensión, y su posterior integración para la obtención de los resultados finales.

## **1.11. CLIMA**

La ciudad de Ayacucho presenta un clima seco, se caracteriza por tener dos temporadas en todo el año; la temporada seca y temporada lluviosa.

El mes que llega a alcanzar temperaturas altas corresponde al mes de noviembre con 25.5°C y la temperatura más baja corresponde a 6.6°C que se da en el mes de julio (figura 11).



Respecto a la lluvia siendo los meses de mayores precipitaciones entre diciembre hasta abril, el mes de mayor intensidad de lluvia corresponde al mes de enero (117.1 mm/mes). En la zona de estudio las precipitaciones pluviales o lluvias son el principal factor desencadenante para la ocurrencia de movimientos en masa de tipo flujos o huaicos, derrumbes e influye también en los procesos de erosión de laderas de tipo cárcavas.

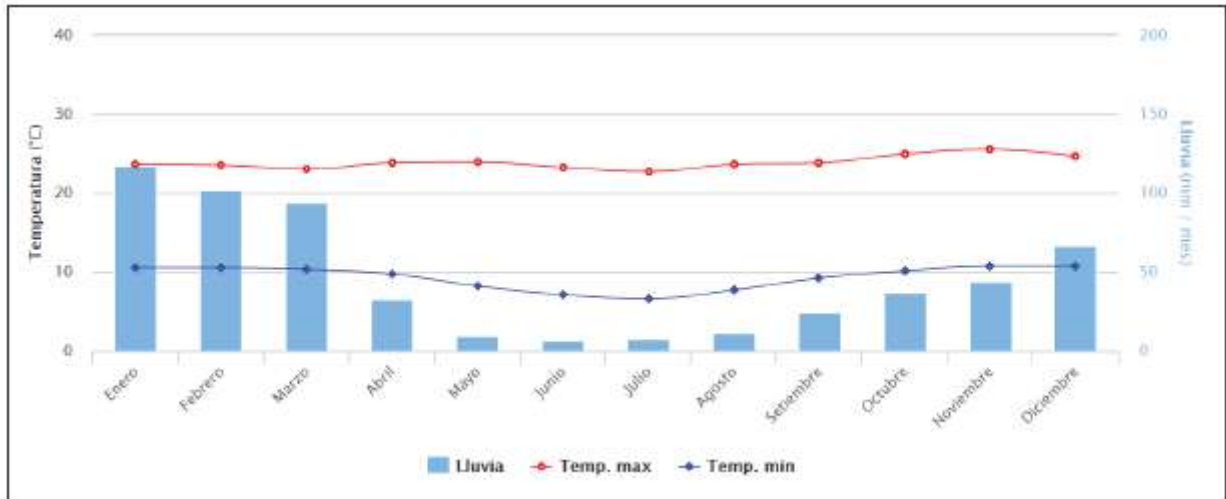


Figura 11. Promedio de temperatura normal y precipitaciones pluviales (lluvias) para la ciudad de Ayacucho



## CAPITULO II: GEOLOGÍA

### 2.1. GENERALIDADES

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del cuadrángulo de Ayacucho hoja 27-ñ, a escala 1:100 000, cuyo estudio fue realizado por Rodríguez Mejía Rildo y Chacaltana Budiel César, para el INGEMMET el año 2003, donde las unidades aflorantes corresponden al cenozoico desde el paleógeno hasta el plioceno (Figura 12).

### 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

En el área de estudio afloran la formación Ayacucho que a su vez se encuentra dividida por miembro inferior y miembro superior cuya edad asignada es del Mioceno superior, Formación Huari del Grupo Barroso con edad Plioceno y depósitos aluviales (Rodríguez., R y Chacaltana., C (2003)) (Mapa 01).

#### 2.2.1. *Formación Ticllas*

Esta formación fue denominada por MEGARD et al., (1984), corresponde a una secuencia de capas rojas, por otro lado, MORCHE et al., (1995) lo denomina Formación Socos, Estos afloramientos de la Formación Ticllas se encuentran en el sector oriental del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ) se encuentra en relación discordante sobre el Grupo Mitu y bajo la Formación Sallalli y Formación Huanta.

La Formación Ticllas corresponde a una secuencia granodecreciente, teniendo en la base 50 m de conglomerados intercalados con areniscas rojas en matriz calcárea conteniendo esporádicos niveles de yeso. Presenta 800 m de areniscasy limolitas en la parte superior y finalmente en las partes más superiores forman intercalaciones de hasta 100 m de limoitas y areniscas con coloraciones verdes y rojos.

#### 2.2.2. *Formación Sallalli*

Ingemmet (1981) denominó Formación Sallalli a una serie volcano sedimentaria el cual se encuentra conformada por conglomerados, tobas y lavas, años después Mégard et al., (1984) lo denominó con el nombre de Volcánico Larampuquio y Morche et a., (1995), lo denominó Formación Sallalli por el hecho de que en el lugar se encuentra la mejor secuencia de esta unidad.





De acuerdo con Rodríguez y Chacaltana (2003), la mejor secuencia de esta Formación se encuentra en la vía Los Libertadores, a lo largo del tramo de Arizona y cercanías del poblado de Socos, compuesto por secuencias conglomerádicas de abanicos aluviales intercalado con niveles de tobas, llegando a sobrepasar 100 m de espesor.

### **2.2.3. Formación Huanta**

Fue estudiada por INGEMMET (1981), seguidamente por Megard et al (1984), MORCHE et al., (1995) y LOPEZ et al., (1996) donde existen diferencias en los cartografiados y en cuanto a la división litoestratigráficas. Esta Formación se encuentra en contacto discordante sobre la Formación Ticlas y el Grupo Mitu e infrayace a la Formación Ayacucho.

Dentro del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ) el Miembro Mayoc, compuesto por areniscas arcósicas intercalado con calizas, respecto al Miembro Tigrayoc, está compuesto por una secuencia de conglomerados intercalados con areniscas en algunos casos imolitas. La Formación Huanta corresponde al Mioceno medio-superior.

### **2.2.4. Formación Ayacucho**

La formación Ayacucho fue estudiada por MÉGARD Y PAREDES (1972, inédito; en MORCHE et al., 1995), la formación Ayacucho fue dividida en dos secuencias.

- La secuencia inferior se encuentra conformada por conglomerados con clastos de material volcánico erosionados del grupo Mitu y fragmentos de intrusivos erosionados del complejo granítico de Querobamba. También se tienen clastos volcánicos provenientes del aparato volcánico de Chaupiorcco (MEGARD et al., 1984 y MORCHE et al., 1995).

Por otro lado, Rodríguez y Chacaltana (2003) en esta secuencia diferenciaron 3 niveles de tobas (Nm. ay-tb1, Nm. ay-tb2 y Nm. ay-tb3), con líticos y pómez envueltas en una matriz de ceniza.

- La secuencia superior está compuesta por limolitas, areniscas y algunas arcillitas con intercalaciones de ceniza volcánica y niveles de diatomitas (Rodríguez y Chacaltana, 2003).

### **2.2.5. Formación Huari**

Esta unidad corresponde a parte del Grupo Barroso, La formación Huari está conformada por pequeños conos de escoria, los cuales se encuentran divididos en dos sectores: el primero se



ubica sobre el lineamiento estructural Ayacucho, de dirección NO-SE, esto abarca las localidades de la ciudad preinca de Huari, Acocro e incluso en la misma ciudad de Ayacucho.

Litológicamente compuesto por lavas oscuras afaníticas, depositadas sobre algunos eventos freatomagmáticos (Rodríguez y Chacaltana, 2003).

#### **2.2.6. Depósitos cuaternarios**

Los depósitos cuaternarios en el cuadrángulo (27-ñ), corresponden a depósitos sedimentarios de tipo coluviales, eluviales y aluviales, en este caso el depósito aluvial se encuentra depositados principalmente en ambas márgenes del río Alameda.

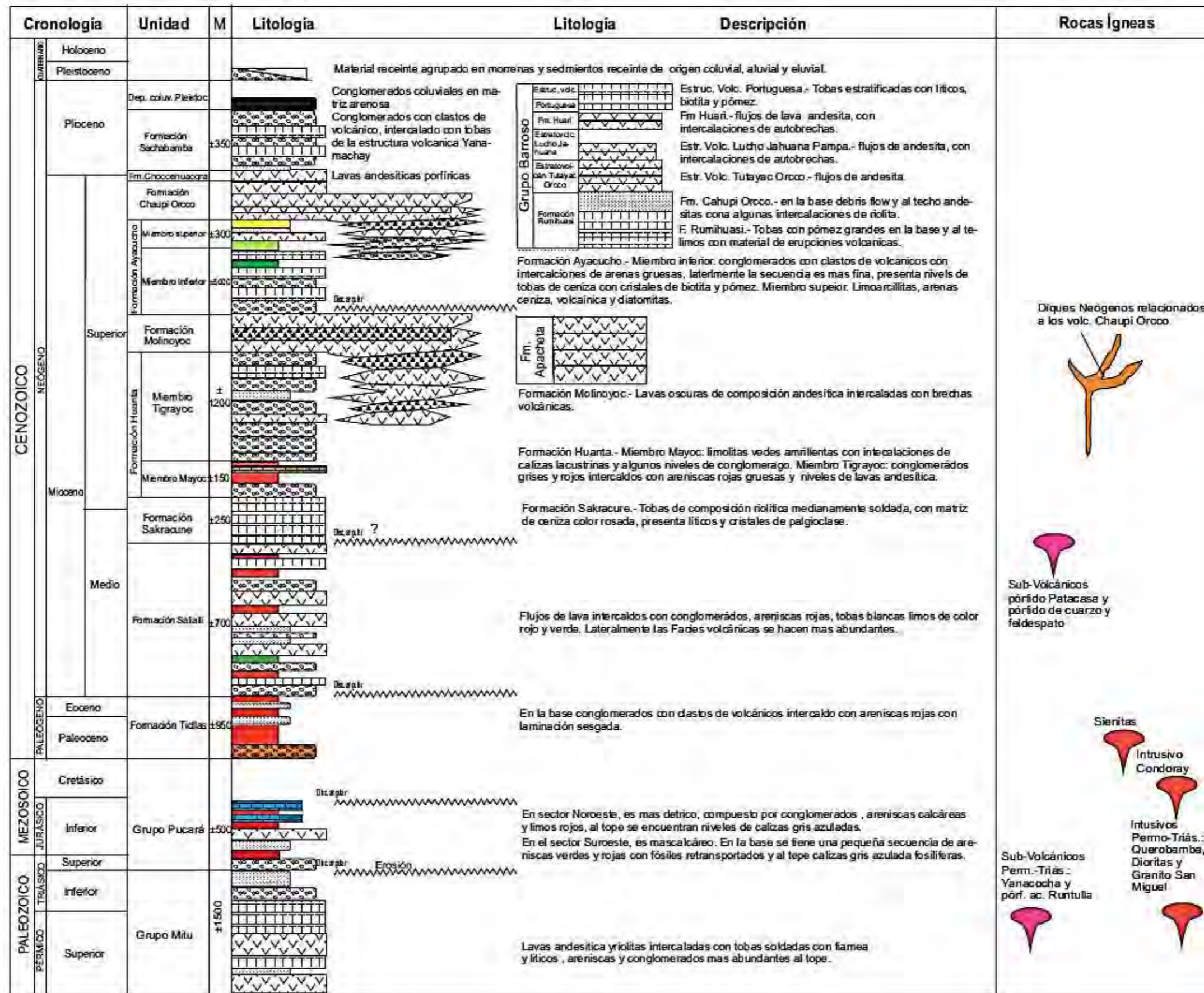


Figura 12. Columna estratigráfica del cuadrángulo de Ayacucho (27-n), tomada de la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (INGEMMET).





## **2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

### **2.3.1. *Cronología de las estructuras***

Las rocas antiguas plutónicas y volcánicas que constituyen el basamento paleozóico fueron afectadas por la Tectónica Hercínica, el cual produjo plegamientos y fallamiento en bloques (Morche et al., (1995))

La cuenca de Ayacucho se formó por efectos de subsidencia en la margen Oeste de la Cordillera Oriental, esto quiere decir al costado de la zona axial de la cadena Hercínica (Cuenca estructura Inter cordillerana). Después de la Fase Incaica (Eoceno Superior), la zona comenzó a desarrollarse con un fallamiento en bloques, resultando así una faja de subsidencia que más tarde constituiría la Cuenca de Ayacucho, que limita hacia el Este con el macizo de Razhuillca y al Oeste con el pilar tectónico denominado macizo de Vinchos.

Es importante señalar que el desarrollo de la cuenca de Ayacucho se inició por un fallamiento distensional, el mismo que siguió a la Fase Incaica en el Eoceno Superior, luego siguieron varias fases de compresión tectónico en el Mioceno-Plioceno (fases quechua 1-3) y con subsidencias intermitentes, sincrónicas y un vigoroso relleno volcánico-clástico, esto dio lugar a las formaciones Huanta y Ayacucho.

Las rocas paleógeno-neógenas afectadas por la Tectónica Andina están plegadas y falladas por fases tectónicas sucesivas ocurridas en el Terciario (Fase Quechua) (Morche et al., (1995)).

### **2.3.2. *Fase Inca (Eoceno superior)***

En el Eoceno Superior, se produjo una reactivación tectónica denominada: Fase Inca, evidenciada por haber deformado a la Formación Ticllas, estos esfuerzos compresivos E-O, originaron pliegues, fallas e inestabilidad en los afloramientos de la Formación Ticllas (Rodríguez, R. y Chacaltana, C., (2003).

### **2.3.3. *Fase Quechua (Mioceno Superior)***

En el Mioceno superior la zona de estudio estuvo sometida a esfuerzos probablemente de rumbo sinistral en origen por la reactivación de fallas longitudinales, corresponde al lineamiento Ayacucho (Rodríguez, R. y Chacaltana, C., (2003).



#### **2.3.4. Fase Quechua 1**

La Fase Quechua 1, se encuentra evidenciada por las discordancias entre la Formación Ticllas y Sallalli (Morche et al., (1995). Las fallas longitudinales interpretadas en la zona de estudio son paralelas al lineamiento Ayacucho con dirección NO-SE (Rodríguez, R. y Chacaltana, C., (2003).

#### **2.3.5. Fase Quechua 2**

Posterior a la Fase Quechua 1, una reactivación de las fallas longitudinales provocó el plegamiento de las Formaciones Sallalli, Huanta y las otras unidades inferiores. Los pliegues en la Formación Huanta presentan rumbo NO-SE y en el lineamiento Ayacucho están desplazados, evidenciando un movimiento de rumbo sinistral.

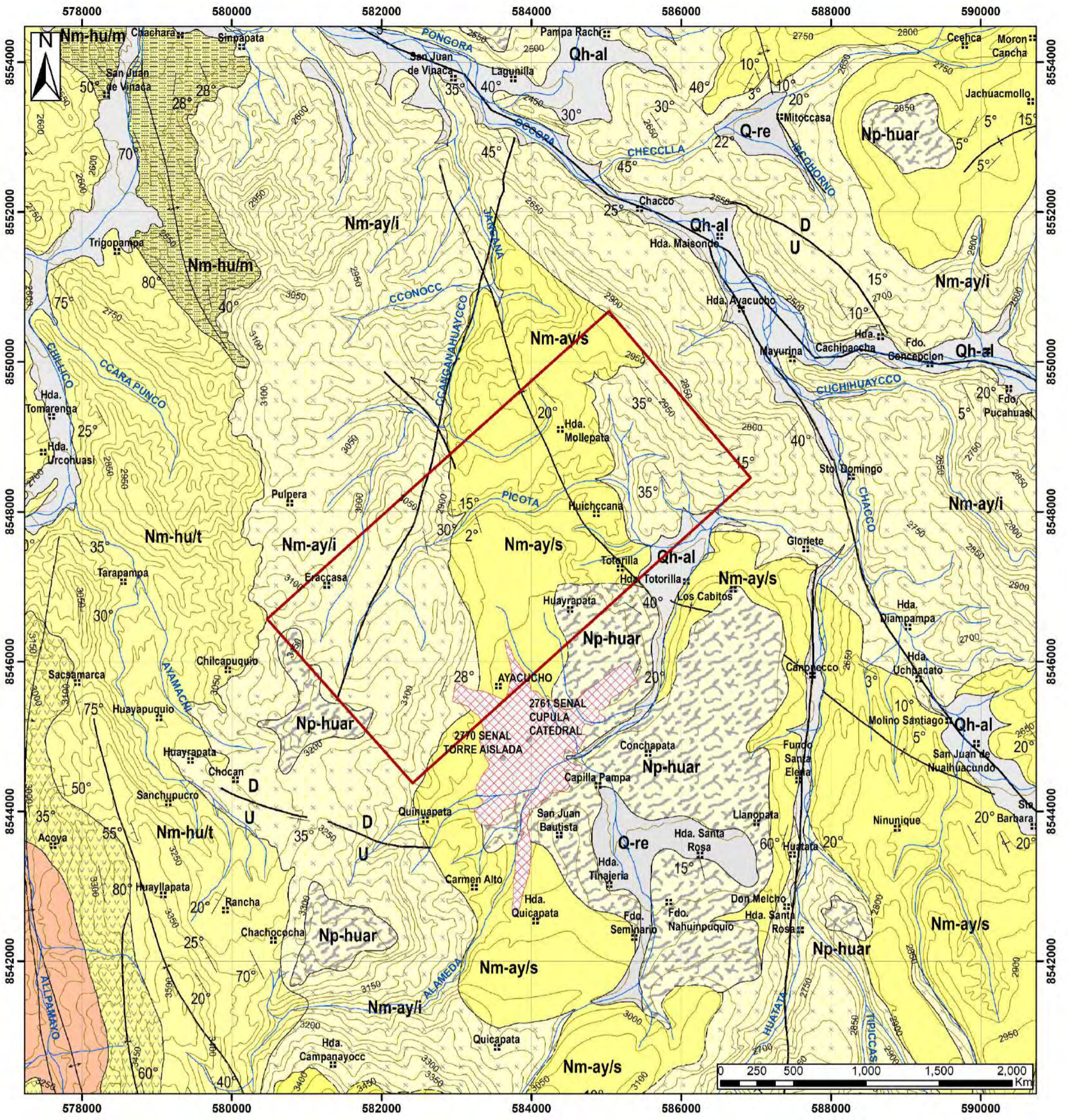
Como consecuencia de la actividad tectónica, la Cuenca Ayacucho alcanza su mayor amplitud, en donde se depositó la Formación Ayacucho en discordancia angular sobre la Formación Huanta (Rodríguez, R. y Chacaltana, C., (2003).

#### **2.3.6. Fase Tectónica 3**

En esta Fase Tectónica, los movimientos sinestrales han provocado movimientos en trastensión por el cual salieron las explosiones piroclásticas de la Formación Ayacucho (Megard et al., 1984)

Los fallamientos normales hicieron que se emplace pequeños cráteres de escorias que corresponden a la Formación Huari (Rodríguez, R. y Chacaltana, C., (2003).





LEYENDA					
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	TRAMA	DESCRIPCIÓN
CENozoico	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito aluvial	Qh-al	Gravas de río y material de corriente con contenido de bloques envueltos en una matriz areno limosa
		PLIOCENO	Formación Huari	Np-huar	Lavas grises oscuras asociadas a conos de escoria, con cristales horblenda
			Formación Ayacucho Miembro Superior	Np-ay/s	Tobas retransportadas intercaladas con limolitas y areniscas con presencia de diatomitas y niveles de conglomerados.
		MIOCENO SUPERIOR	Formación Ayacucho Miembro Inferior	Np-ay/i	Areniscas y limolitas amarillentas, resultantes de erosión de tobas con intercalación de conglomerados y castos volcánicos.
	Formación Huanta-Miembro Tigrayoc		Nm-hu/t	Conglomerados grises y rojos intercalados con areniscas rojas gruesas y niveles de lavas andesíticas	
	Formación Huanta-Miembro Mayoc		Nm-hu/m	Limolitas verdes amarillentas con intercalaciones de calizas lacustrinas y algunos niveles de conglomerado	
	MIOCENO MEDIO	Formación Sallali	Nm-sall	Flujo de lava intercalados con conglomerados, areniscas rojas, tobas blancas, imos de color rojo y verde.	
PALEOGENO	EOCENO	Formación Tiellas	Ppe-t	En la base conglomerados con clastos de volcánicos intercalado con areniscas rojas con laminación sesgada.	
	PALEOCENO				

### SIMBOLOGÍA

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 2px solid red; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Área de estudio</li> <li><span style="border: 1px solid red; width: 10px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></span> Ciudad</li> <li>= Localidad</li> <li>• Capital de distrito</li> <li>— Falla normal</li> <li>— Falla de rumbo sinistral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Lineamiento</li> <li>— Rumbo y buzamiento de estratos</li> <li>— Eje de sinclinal</li> <li>— Drenaje</li> <li>— Quebrada Picota</li> <li>— Río</li> </ul>
---	--

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".

#### MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		01
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM) Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur. Fuente: INGENMET	ESCALA: 1/50 000 Fecha de elaboración: 2023	





## 2.4. GEOLOGÍA LOCAL

Dentro del área de estudio a escala 1:25000 se pudo identificar las siguientes unidades litoestratigráficas descritas líneas abajo e ilustrada en el Mapa 02.

### 2.4.1. *Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Np<sub>ti</sub>)*

La formación de Huanta, miembro Tigrayoc (Nm-ti): fue investigada por Mégard et al. (1984), López et al. (1996) y actualizada por Rodríguez & Chacaltana (2003). Se dividió en dos miembros, Mayoc y Tigrayoc, siendo este último el único que aflora al sur oeste del área de estudio.

La estructura está compuesta por una serie de conglomerados de tono gris verdoso a rojizo, con forma subangular a sub redondeada y un diámetro superior a 0.50 cm y menor a 3 cm. Estas rocas están muy meteorizadas y están entrelazadas en capas de areniscas de color gris rojizo y bloques de roca volcánica de diámetro superior a 1 metro y menor de 20 cm (Figura 13). Por encontrarse muy meteorizadas corresponde a un material poco compacta y afectada por erosión física muy susceptible a las incisiones de cárcavas o surcos.

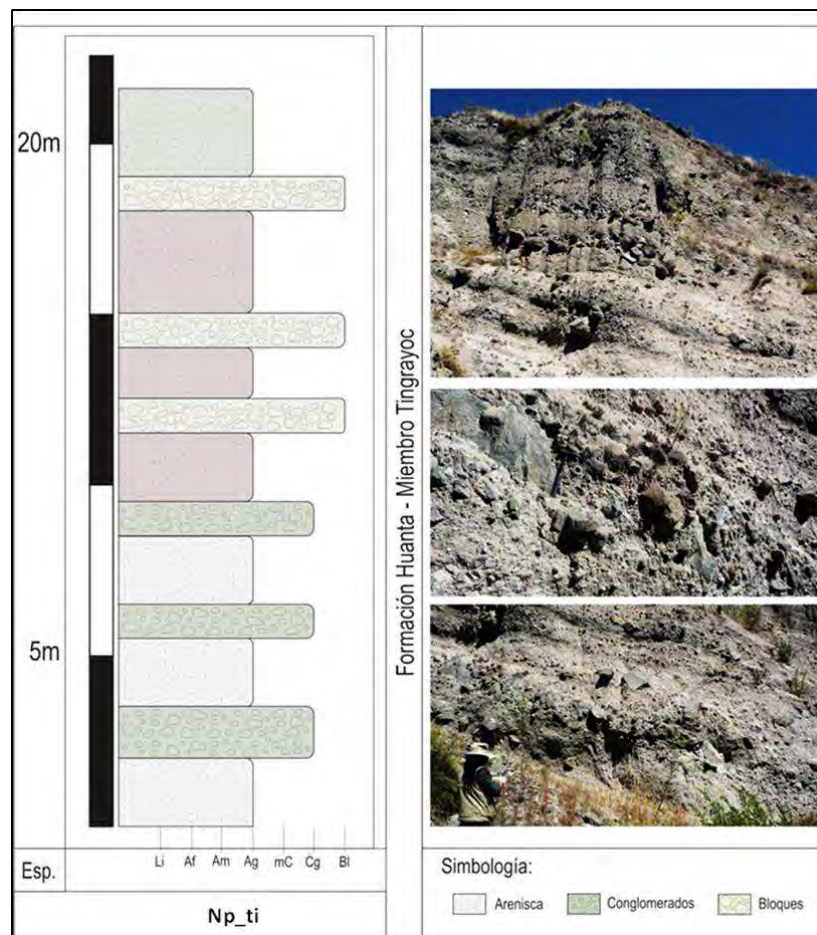


Figura 13. Columna litológica de la Formación Huanta – Miembro Tigrayoc (Np<sub>ti</sub>)



### 2.4.2. Formación Ayacucho

#### ○ Formación Ayacucho – miembro inferior. (Nm-ayi)

La secuencia sedimentaria presenta un tono amarillento. Se compone principalmente de conglomerados con clastos redondeados a sub angulosos, provenientes de material volcánico erosionado del Grupo Mitu y fragmentos de intrusivos erosionados del complejo granítico de Querobamba (Rodríguez & Chacaltana, 2003), arenas y limos. En ocasiones, se intercalan tobas de ceniza de color rosado blanquecino y fragmentos líticos de pómez (Figura 14) se disponen en capas subhorizontales. Esta subunidad litológica se encuentra en dos extremos de la zona de estudio. Aflora en el cerro Uma Orcco al este y en el cerro Buena Vista al oeste. Su composición Litológica lo hace susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa por la matriz fina como la ceniza que son fácilmente removidos por la acción del agua.

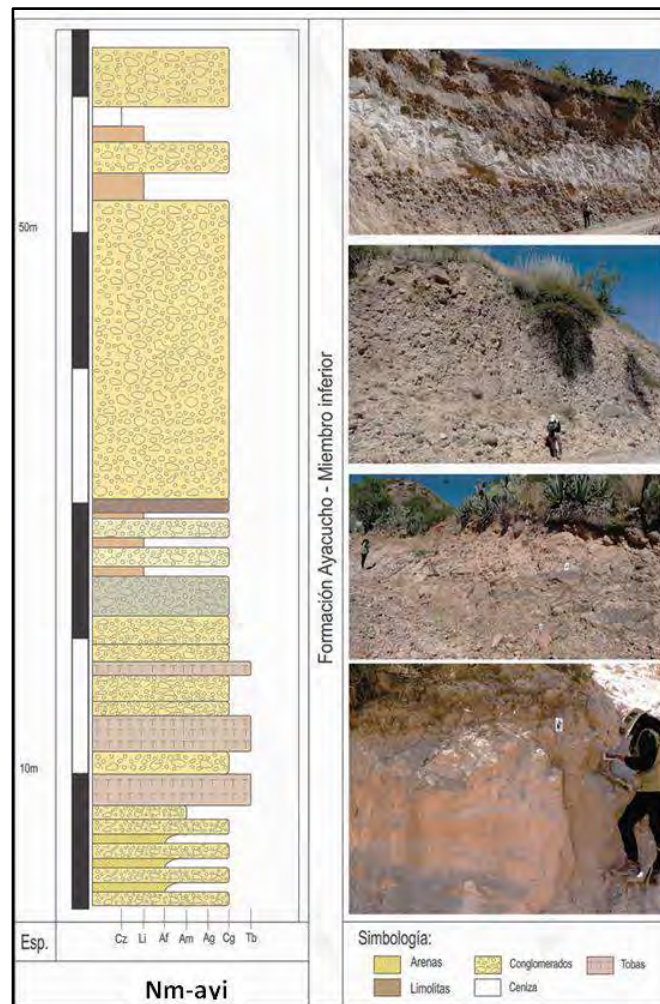


Figura 14. Columna litológica de la Formación Ayacucho, miembro inferior (Nm-ayi)



○ **Formación Ayacucho – miembro inferior Toba 2 (Nm\_ayi/tb2)**

Estas tobas se encuentran retrabajadas y poco consolidadas, con líticos de pómez y clastos de material volcánico poco visibles (Figura 15). La matriz de ceniza es de color blanquecino y se encuentran bastante oxidadas debido a la meteorización pluvial (Fotografía 1). Debido a su composición tienden a absorber agua en temporada de lluvia, aumentando el peso en el material para posteriormente generar derrumbes. En la zona de estudio, este nivel de toba se encuentra al Este en la cima del cerro Uma Orcco y al Oeste en la ladera del cerro Buena Vista.



Fotografía 1. Toba 2 (Nm\_ayi/tb2) se muestra la toba poco consolidada con lítico de pomez.

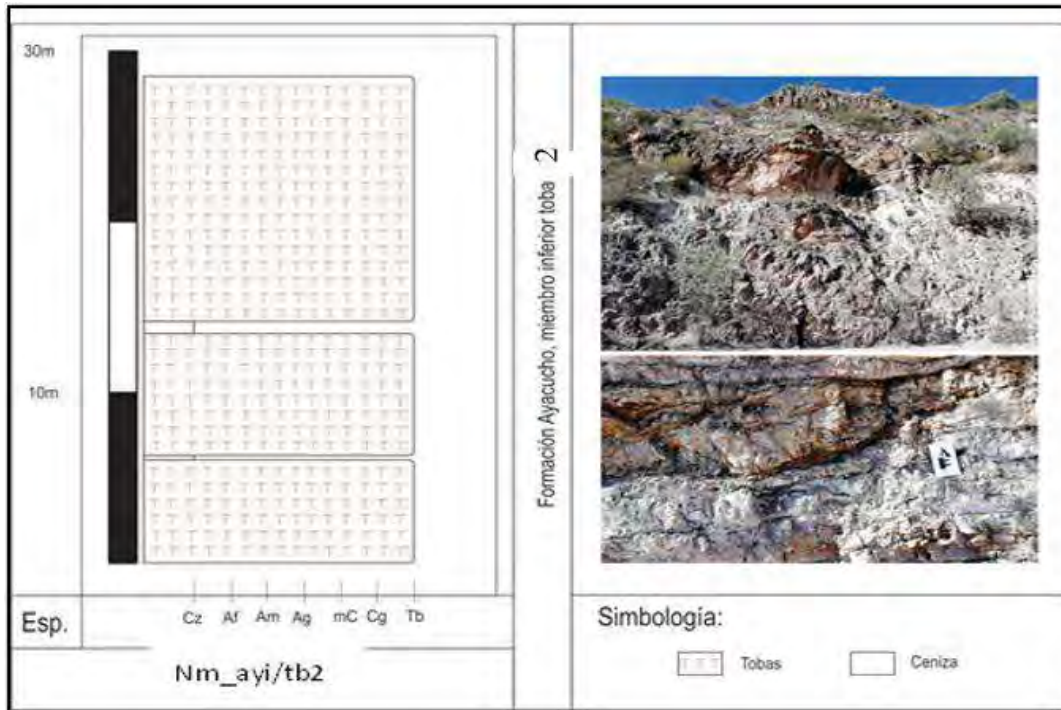


Figura 15. Columna litológica del miembro inferior- Toba 2 (Nm\_ayi/tb2)





○ **Formación Ayacucho – miembro inferior Toba 3. (Nm\_ayi/tb3)**

Se trata de tobas retrabajadas que se presentan en capas de menor espesor y tienen una matriz de ceniza rosada que incluye líticos de pómez, lapillis y andesita. Se encuentran combinadas con capas de microconglomerados de origen volcánico y matriz de arena, este material por su composición en la zona de estudio se encuentra erosionada y disectada por los flujos de aguas provocada por las lluvias, esto los hace muy susceptibles a la ocurrencia de procesos geológicos (Figura 16). Tal como, la toba 2 esta litología tiende a absorber agua de las precipitaciones pluviales, lo cual provoca incremento en el peso del material y la pérdida de estabilidad en las zonas de mayor pendiente, en la zona de estudio este nivel de toba se encuentra en la parte Este en la ladera del cerro Uma Orcco, donde se encuentra la APV, El Comité auto Defensa - VRAE II, y en la parte Oeste en la zona de estudio se encuentra en la ladera del cerro Buena Vista.

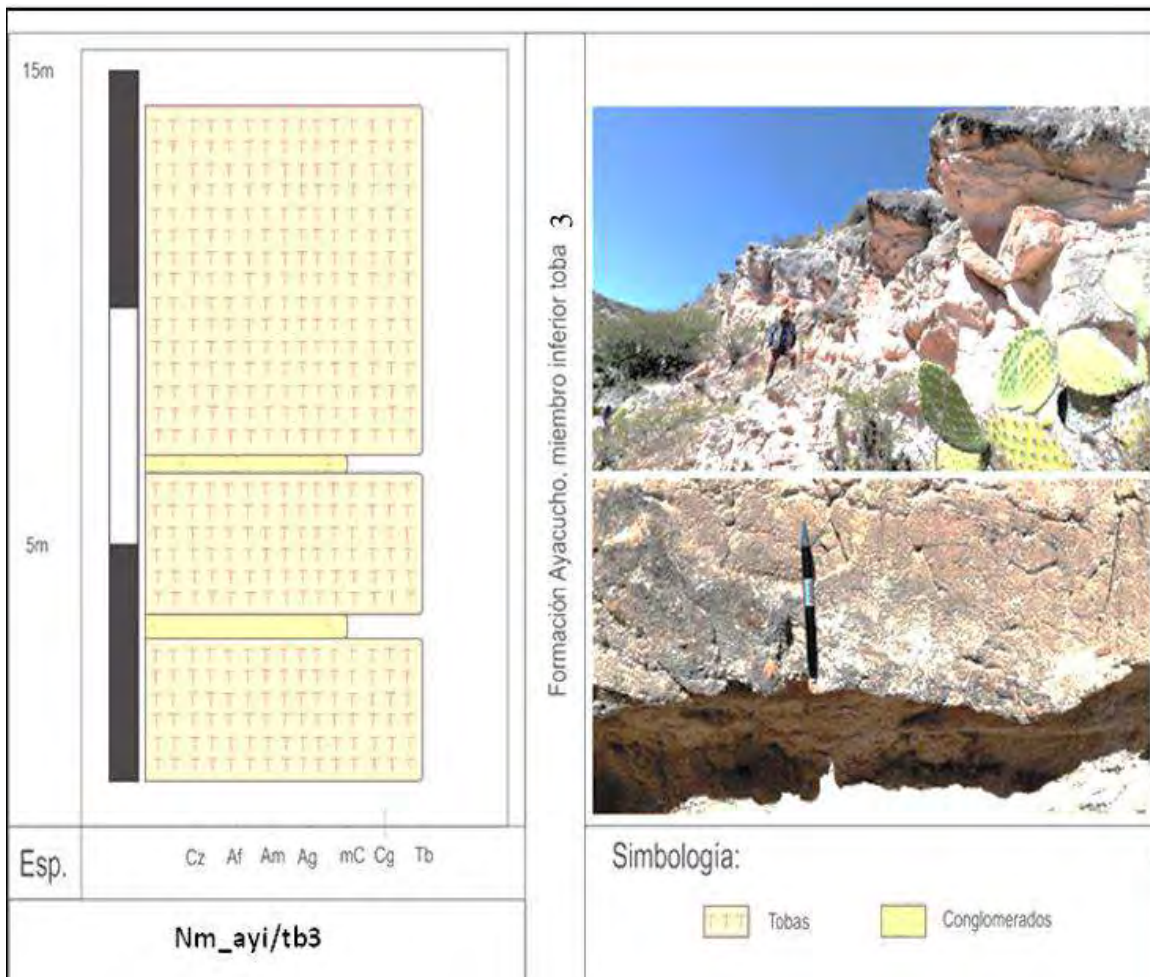


Figura 16. Columna litológica del nivel de tobas 3 (Nm\_ayi/tb3)



○ **Formación Ayacucho – miembro superior (Nm-ay\_s)**

El miembro Superior de la Formación Ayacucho presenta intercalaciones ínfimas de microconglomerados, limolitas de color gris amarillento, arenas de granulometría gruesa a fina y arcillitas de color gris y a veces rosado (Figura 17), estos niveles de arcillitas actúan como capas impermeables, provocando así la sobresaturación del agua en los niveles superiores (arenas, microconglomerados y limolitas) y además la composición de estos materiales los hace propensos a la erosión provocada por el agua, siendo así muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. La subunidad litológica se ubica principalmente en el centro del área de estudio, sobre el cual se asienta la ciudad de Ayacucho presentando una estratificación subhorizontal en disposición concordante.

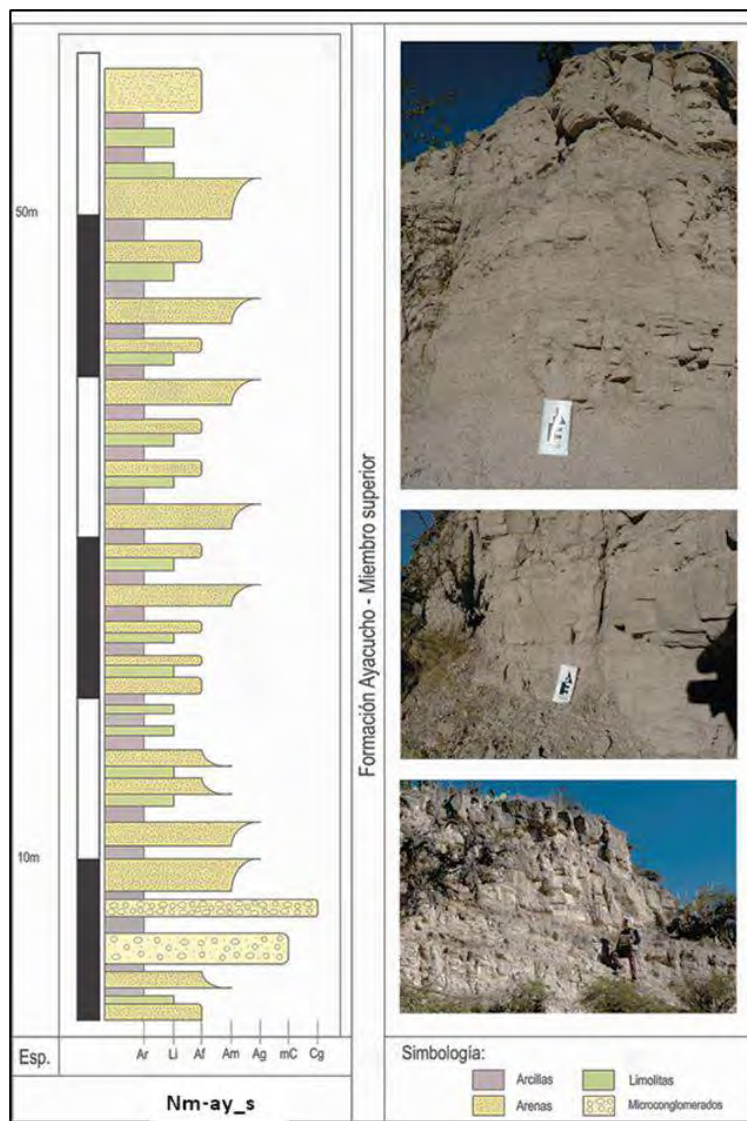


Figura 17. Columna litológica de la Formación Ayacucho – miembro superior (Nm-ay\_s)



### **2.4.3. Grupo Barroso - Formación Huari (Nm-hu)**

Esta Formación está compuesta por flujos de lava con una textura afanítica y un tono negro a gris oscuro, con cristales de hornblenda envueltos en una matriz vítrea y depositados sobre ciertos eventos freatomagmáticos (Rodríguez y Chacaltana). En el área de estudio estos flujos de lava se encuentran sobreyaciendo a la Formación Ayacucho. Estos depósitos de lava afloran al suroeste del centro poblado Huayrapata, donde se encuentra la ciudad de Ayacucho, y otro aflora en la cima del cerro Buena Vista. Las fracturas son una característica de este flujo de lavas lo que podría provocar caída de rocas en zonas de mayor pendiente, lo cual no ocurre en nuestra zona de estudio por que afloran en zonas con pendientes llanos a suaves (fotografía 2).



Fotografía 2. Depósito de flujos de lavas de la formación Huari (Nm-hu)

### **2.4.4. Depósitos Cuaternarios**

#### **2.4.4.1. Depósito aluvial**

Las llanuras aluviales antiguas que rodean el cauce principal del río Alameda. La corriente actual ha erosionado estos depósitos poco consolidados. Compuesto por una variedad de bolones, gravas y arenas con formas redondeadas a subredondeadas, limos y arcillas, presenta una buena selección y estratos variados que demuestran la actividad dinámica de los ríos. Además, aunque la susceptibilidad a los procesos de movimiento en masa es muy baja, la erosión fluvial puede tener un impacto.





#### **2.4.4.2. Depósito residual**

Este depósito se da debido a la descomposición física y química de la roca in situ durante los procesos de meteorización intensa, que no ha sido transportada desde su ubicación original y, en parte, mantiene la estructura de la roca original.

#### **2.4.4.3. Depósito coluvial (Q-cl)**

Los depósitos coluviales se distinguen por su forma y se atribuyen a depósitos de movimientos en masa como, caída de rocas, derrumbes entre otros, corresponden a depósitos poco consolidados, con una fuente de origen cercana. Esos están compuestos de materiales gruesos homogéneos y heterométricos que se mezclan en menor proporción con materiales finos como arena, limo y arcilla. Tal como se muestra en la fotografía 3, en la zona de estudio este tipo de depósitos se encuentran adosados y depositados al pie de talud de ambas márgenes de la quebrada, por ser poco consolidados tienden a ser susceptibles a ocurrir nuevos movimientos en masa.



Fotografía 3. Depósito coluvial correspondiente a un derrumbe ubicado dentro de la quebrada Picota.

#### **2.4.4.4. Depósito deluvial (Q-dl)**

Los depósitos deluviales son acumulaciones de material fino y detrítico que se acumulan lentamente en las laderas a través de la escorrentía superficial. Estos depósitos están compuestos por depósitos no consolidados, que son depositados como resultado de la erosión del suelo de ladera removidos por agua de lluvia. (fotografía 4).



Fotografía 4. Vista del depósito deluvial, donde se muestra el material fino movilizado por escorrentía.

#### 2.4.4.5. Depósito proluvial (Q-pl)

Este depósito se encuentra en el fondo de los valles compuesto por fragmentos de roca heterométrica (cantos, bolos, bloques, etc.) con una matriz de limo-arenosa (fotografía 5) y conos deyectivos en la confluencia de los ríos. Los depósitos son mal clasificados, con clastos de rocas subangulosos a subredondeados en una matriz fina; generalmente, se confunden con las terrazas aluviales, este tipo de depósito se refiere netamente a los depósitos provocado por los flujos (huaicos).



Fotografía 5. Vista de depósito proluvial correspondiente a detritos envueltas en una matriz



limoarenosa, ubicada dentro del cauce de la quebrada Picota.

#### **2.4.4.6. Depósitos antropógenos (Q-an)**

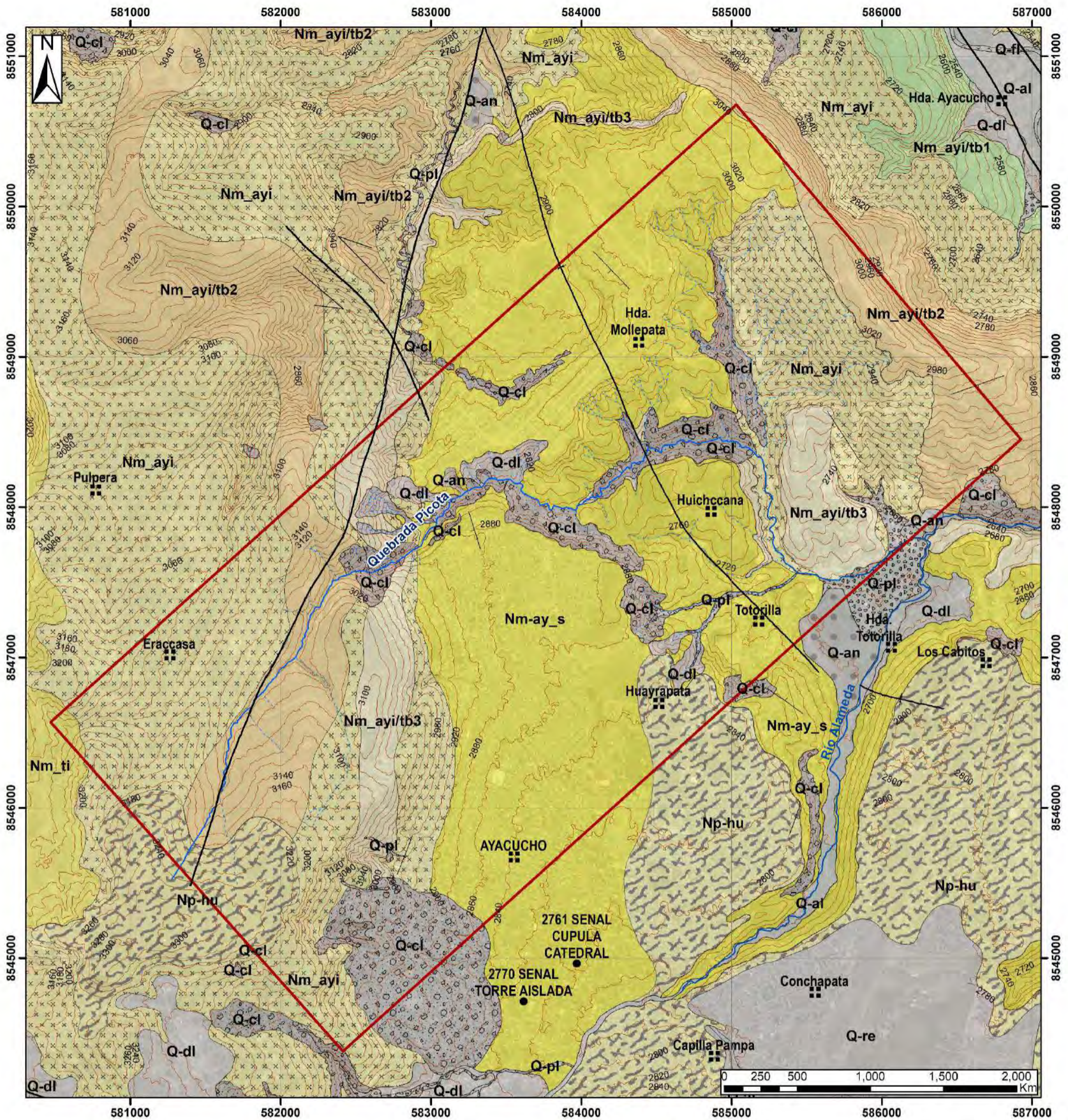
El término "antropógeno", también conocido como "antrópico", proviene del griego y se refiere a todo lo que está relacionado de algún modo con el ser humano. En geotecnia, se refiere a un terreno que ha sido alterado por el ser humano. Para el caso del estudio, está relacionado con los lugares donde se realizaron cambios en el terreno como depósitos de relleno y desmontes, donde se construyeron proyectos para plantas de tratamiento de aguas servidas e incluso viviendas.

La cuenca Ayacucho se encuentra conformado por formaciones que van desde la edad Paleoceno hasta el Plioceno conformado por secuencias volcano-sedimentarias y volcánicos de las Formaciones Ticllas, Sallali, Huanta y Ayacucho, como también el ascenso de las magmas que ocurrieron en el Mio-Plioceno. Las lavas de la Formación Huari corresponden a fase volcánica efusivos y las tobas del miembro inferior de la Formación Ayacucho corresponde a la fase volcánico explosivos.

La cuenca limita al este con el Macizo de Razuhuilca el cual está conformado por rocas volcánicas del grupo Mitu y al Oeste con el Macizo de Vinchos que corresponde al complejo granítico de Querobamba (Pre-Mitu).

Posteriormente por, el levantamiento paralelo de las Cordilleras Oriental y Occidental, estos macizos Razuhuilca y Vinchos aportaron activamente material por erosión para el relleno de la cuenca y después de varias fases de compresión tectónica en el Mioceno-Plioceno y las fases fluviales que se dio, fue esta combinación lo que dio lugar a las Formaciones Huanta y Ayacucho de composición volcano-sedimentaria.





LEYENDA							
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS	TRAMA	DESCRIPCIÓN		
CENozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito antropogénico	Q-an	Depósito generado por el hombre, mediante procesos de transformación industrial.		
			Depósito fluvial	Q-fl	Gravas redondeadas, con matriz de arena depositado en el cauce del río.		
			Depósito proluvial	Q-pl	Gravas angulosas a subangulosas, con matriz limo-arenosa.		
			Depósito deluvial	Q-dl	Material detrítico que sufrió poco transporte		
			Depósito coluvial	Q-cl	Gravas subangulosas, caóticas en matriz arcillo-limosa		
			Depósito residual	Q-re	Material detrítico por meteorización in-situ		
			Depósito aluvial	Q-al	Gravas de río y material de corriente con contenido de bloques envueltos en una matriz areno limosa		
Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Grupo Barroso	Formación Huari	Np-hu	Lavas grises oscuras asociadas a conos de escoria, con cristales horblenda.	
				Miembro Superior	Nm-ay_s	Intercalaciones de microconglomerados, limolitas de color gris amarillento, arenas gruesas a finas y arcillitas de color gris.	
		Mioceno	Formación Ayacucho		Miembro Inferior	Nm_ayi/tb3	Nivel de toba retrabajada con matriz de ceniza color rosado con líticos de pomez, lapillis y andesta.
						Nm_ayi/tb2	Tobas retrabajadas, poco consolidadas, con líticos de pomez y clastos de material volcánico poco visible con matriz de ceniza.
						Nm_ayi/tb1	Nivel de toba de ceniza color blanquecina presenta bastante oxidación por meteorización.
	Formación Huanta	Miembro Tigrayoc	Np_ti	Areniscas y limolitas amarillentas, resultantes de erosión de tobas con intercalación de conglomerados y castos volcánicos. conglomerados de tonos gris verdoso a rojizo, forma subangular a subredondeada con diámetros mayores a 0.50 cm y menores a 3 cm, se encuentran muy meteorizadas.			

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Localidad
	Capital de distrito
	Falla de rumbo sinistral
	Lineamiento
	Curvas de nivel
	Rumbo y buzamiento de estratos
	Eje de sinclinal
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA GEOLÓGICO LOCAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	<b>02</b>
Sistema: WGS84	Fecha de elaboración: 2023	
Zona: 18L Sur.		





## CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA

### 3.1. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA

La geomorfología, pasó de ser una disciplina académica a una ciencia con aplicación pragmática en las últimas décadas; sirve para resolver problemas de riesgos originados por los peligros de origen natural, potencialidad de aguas subterráneas, caracterización del sustrato para la construcción de obras de infraestructura, etc. Además, sirve como apoyo en la toma de decisiones relacionadas con la planificación del territorio y el mejoramiento de la calidad de vida del hombre sin el deterioro del medio ambiente (Villota, 2005).

El análisis de susceptibilidad depende del reconocimiento y caracterización de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio. Además, el mapa geomorfológico es útil para los planes de ordenamiento territorial y gestión del riesgo de desastres.

### 3.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio Quebrada Picota y alrededores de acuerdo con el mapa geomorfológico publicado en la plataforma GEOCATMIN a escala 1:250 000 (realizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET), se emplaza en las unidades geomorfológicas: Montaña, Terraza, Vertiente y Geformas antropogénicas (Mapa 03), descritas a continuación.

#### 3.2.1. *Montañas en rocas sedimentarias (RM-rs)*

Dentro de esta subunidad geomorfológica se encuentran las elevaciones de terreno que forman parte de las cordilleras. Son levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia escorrentía, los glaciares y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. El plegamiento de las rocas superficiales en estas montañas no conserva características distintivas de sus estructuras originales; Sin embargo, pueden presentar laderas controladas localmente por la estratificación de rocas sedimentarias, sin llegar a constituir cadenas montañosas. (Vílchez et al., 2019) (Figura 18).

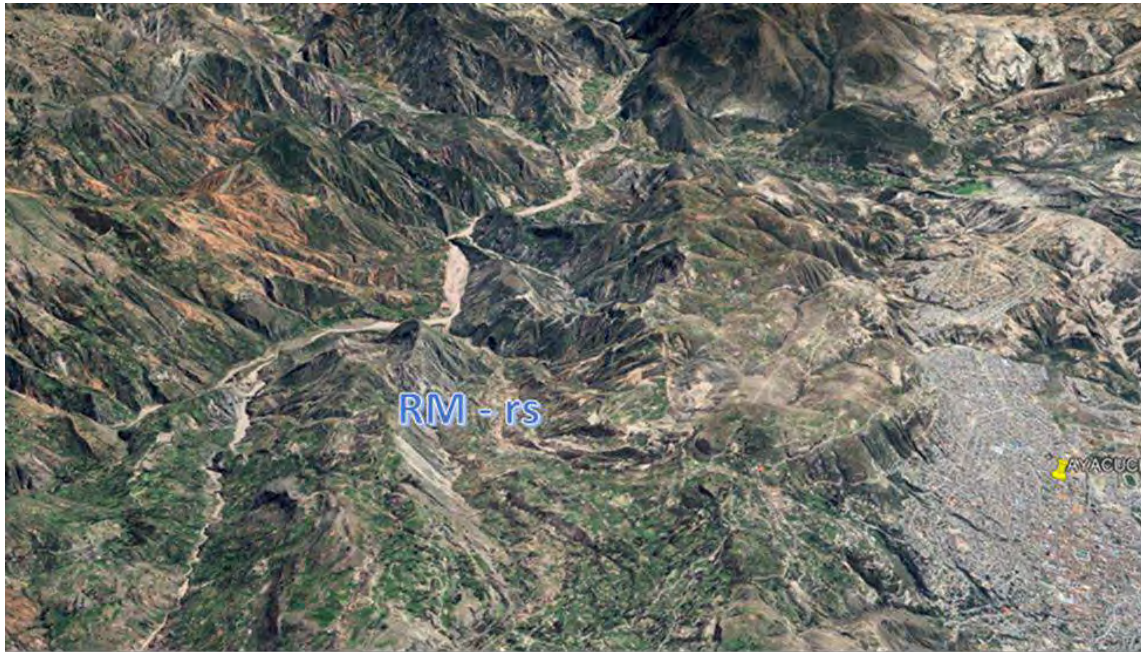


Figura 18. Imagen de Google Earth. Vista de las montañas en rocas sedimentarias (RM-rs), al oeste de la ciudad de Ayacucho.

### **3.2.2. Montañas en rocas volcánicas (RM-rv)**

Esta subunidad configura afloramientos de rocas volcánicas de tipo piroclásticas producto de emisiones por centros volcánicos que se encuentran en la región, estos productos fueron depositados por la actividad volcánica del paleógeno o neógeno (Vílchez et al., 2019).

### **3.2.3. Montañas en rocas volcánico-sedimentarias (RM-rvs)**

Se consideran a los afloramientos de asociaciones de rocas volcánico-sedimentarias tobas y lavas dacíticas que se encuentran intercaladas con areniscas y lutitas y conglomerados, este tipo de secuencias presentan efectos de procesos fluvio-erosionales.

### **3.2.4. Coladas o campo de lavas basalto-andesíticas (Ca-la)**

Esta subunidad configura paisajes de forma de lenguas alargadas, relativamente estrechas y delgadas, con varios lóbulos frontales empinados (frentes de lava). La viscosidad y el volumen de la lava determinan su altura. (Vílchez et al., 2019).





### 3.2.5. *Superficie con flujo piroclástico disectado (Sfp-d)*

Subunidad con flujos piroclásticos. Ha sufrido los efectos de la denudación y se ha encontrado con un alto grado de disección, cortado por cursos de quebradas y torrenteras que configuran un drenaje paralelo a subparalelo. Esta subunidad se encuentra distribuida en la Cordillera Occidental. (Vílchez et al., 2019)

Según el mapa geomorfológico regional sobre esta subunidad se encuentra asentada la ciudad de Ayacucho (Figura 19).



Figura 19. Imagen de Google Earth. Vista de la superficie con flujo piroclástico (Sfp-d), en la ciudad de Ayacucho.

### 3.2.6. *Terraza indiferenciada*

Este tipo de geformas corresponde a superficies con pendientes llanos o pendientes con inclinación suave, regionalmente es considerado una terraza indiferenciada cuando no tiene un tipo de material definido en la composición de esta, esta subunidad se encuentra a lo largo de los ríos Occopa y Alameda.

### 3.2.7. *Vertiente con depósito de deslizamiento*



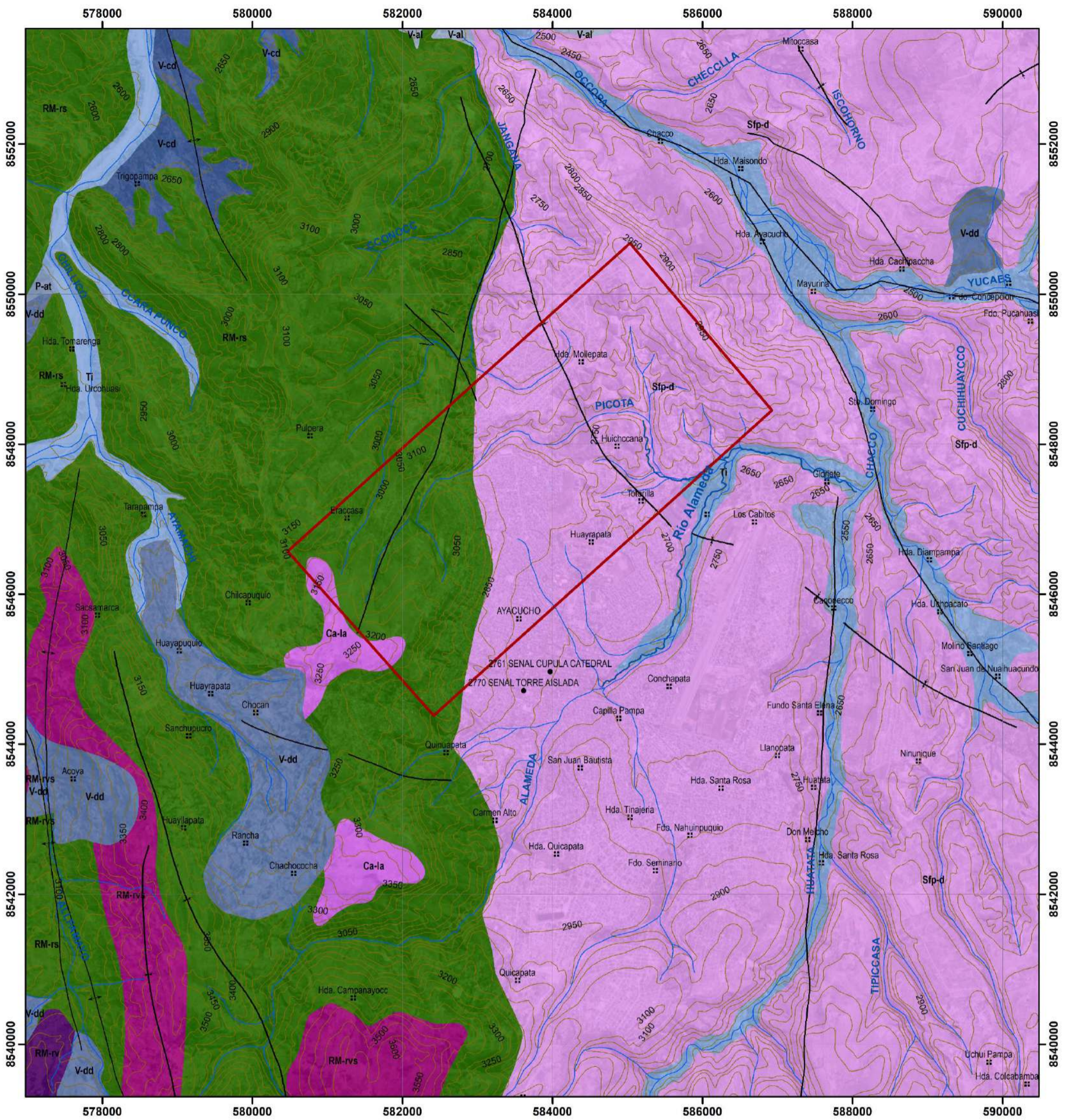
Esta unidad geomorfológica corresponde a los depósitos o acumulaciones que se generan producto de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamientos, avalanchas de rocas u otros movimientos complejos, ya sean ocurrencias antiguas o recientes, generalmente su composición es homogénea y el depósito corresponde a materiales inconsolidados a poco consolidados.

Su geomorfología de este tipo de terrenos es convexa y disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o desprendimiento del movimiento en masa.

### **3.2.8. *Vertiente coluvio-deluvial***

Esta subunidad se encuentra formada por la acumulación intercalada de materiaes de origen coluvial y deluvial, estos depósitos se encuentran interestratificada por lo cual no es posible separarlas como unidades individuales, generalmente se encuentran acumuladas al pide de las laderas de montañas.





LEYENDA			
UNIDAD	SUBUNIDAD	ETIQUETA	COLOR
Montaña	Montaña en roca sedimentaria	RM-rs	
	Montaña en roca volcánica	RM-rv	
	Montaña en roca volcano-sedimentario	RM-rvs	
Geoforma antropogénica	Coladas o campo de lavas basalto-andesíticas	Ca-la	
Geoforma antropogénica	Superficie de flujo piroclástico disectado o erosionado	Sfp-d	
Terraza	Terraza indiferenciada	Ti	
Vertiente	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd	
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd	

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Lineamiento
	Rumbo y buzamiento de estratos
	Localidad
	Capital de distrito
	Falla normal
	Falla de rumbo sinestral
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
Título de Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		<b>03</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/50 000	
Sistema: WGS84	Fecha de elaboración: 2023	
Zona: 18L Sur		
Fuente: INGEMMET		





### 3.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El área de estudio Quebrada Picota se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas, las cuales se describen agrupadas según su origen; además se detalla su ubicación y distribución geográfica en el Mapa 04.

#### **GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO- DEGRADACIONAL Y DENUDACIONAL**

Estos son el resultado del impacto gradual de los procesos morfodinámicos gradacionales en los relieves originales creados por la tectónica o en algunos paisajes creados por procesos exógenos agradacionales. Estos procesos cambian parcial o completamente estos a lo largo del tiempo geológico y en función de los cambios climáticos. (Villota, 2005).

En la actualidad, la mayoría de los paisajes geomorfológicos que están experimentando procesos de denudación forman parte de cadenas montañosas, colinas, lomadas y altiplanicies.

Así en el área de estudio se tienen:

#### **3.3.1. UNIDAD DE MONTAÑAS**

Se consideran dentro de esta unidad a las geoformas de diverso origen con alturas mayores a los 300 metros respecto al nivel de base local, cuya cima puede ser aguda, subaguda, redondeada, subredondeada (Villota, 2005, p.63)

##### **- Montaña en roca sedimentaria (RM\_rs)**

Subunidad geomorfológica modelada sobre roca sedimentaria correspondientes a las Formaciones Ayacucho y Huanta, miembro Tigrayoc, localmente conformado por laderas con pendientes que van de moderados hasta pendientes muy fuertes (5° - 45°).

Esta subunidad geomorfológica se ubica al suroeste y al noreste del área de estudio correspondiente a los cerros Buena Vista y Uma Orcco respectivamente.

##### **- Montaña en roca volcánica (RM\_rv)**

Subunidad geomorfológica modelada sobre afloramientos de rocas volcánicas de tipo Tobas correspondientes al miembro inferior de la Formación Ayacucho, localmente las laderas



presentan pendientes fuertes a muy fuertes ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ) y en la cima presentan pendientes moderadas ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ), en algunos sectores específicos como es el flanco noreste presenta pendientes muy escarpado ( $> 45^{\circ}$ ).

En la zona de estudio se encuentran localizados en el cerro Uma Orcco ubicado al noreste del área de estudio (Fotografía 6).



Fotografía 6. Montaña en roca volcánica, corresponde al cerro Uma Orcco.

#### - **Ladera en roca sedimentaria (L-rs).**

Subunidad geomorfológica modelada sobre roca sedimentaria de la Formación Ayacucho- miembro inferior; está compuesto por conglomerados con clastos de material volcánico, arenas y limos.

La pendiente típica de estas laderas oscila entre  $5^{\circ}$  y  $45^{\circ}$ , lo que significa una pendiente moderada a muy fuerte o escarpada. Esta subunidad corresponde a las laderas ubicadas en los sectores Villa San Cristobal, Las Nazarenas ubicados al este de la zona de estudio.



- **Ladera en roca volcánica (L-rv).**

Subunidad geomorfológica modelada sobre roca volcánicas, compuesta por tobas de la Formación Ayacucho – miembro inferior. Corresponde a relieves conformado por el declive de montañas y mesetas con pendientes fuertes a muy fuertes que varía entre  $15^{\circ}$  y  $45^{\circ}$ .

Una de las mejores expresiones se localiza al noroeste del sector Mollepata.

- **Ladera disectada en roca sedimentaria (LD-rs)**

Subunidad generalmente con pendientes fuertes a muy fuertes ( $15^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ), están modeladas en roca sedimentaria como limolitas, arenas y arcillitas de la Formación Ayacucho miembro superior. Se encuentran fuertemente disectadas por cárcavas, formando sistemas de drenaje dendrítico por aguas superficiales no estacionarias.

En el área de estudio se localiza en los sectores de Mollepata, La Picota (Fotografía 7), específicamente en las zona de invasion las laderas de los forestales, zona de invasion las laderas de mollepata.



Fotografía 7. Ladera disectada en rocas sedimentarias de tipo por erosión de laderas de tipo carcava





- **Ladera disectada en roca volcánica (LD-rv)**

Corresponde a relieves notablemente disectados por múltiples cárcavas resultado de procesos de erosión, estas superficies presentan pendientes fuertes a muy fuertes ( $15^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ), modelados sobre rocas de origen volcánico de tipo tobas de la Formación Ayacucho – miembro inferior (Fotografía 8).

Dentro del área de estudio esta subunidad se localiza en el APV del comité de auto defensa – VRAE II.



Fotografía 8. Ladera disectada en rocas volcánicas de tipo tobas de la Formación Ayacucho Miembro inferior.

**3.3.2. UNIDAD DE COLINAS**

Esta unidad se trata de elevaciones naturales del terreno, de menor desnivel a comparación de una montaña (menor a 300 metros desde el nivel base local), presentan una cima relativamente estrecha (Villota, 2005), esta unidad geomorfológica generalmente se encuentra próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas.

- **Colina en roca sedimentaria (RC-rs)**

Subunidad geomorfológica modelado sobre secuencias sedimentarias de conglomerados, arenas y limos correspondientes a la Formación Ayacucho – miembro inferior. Esta subunidad



presenta ladera con pendientes suave a moderado ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ), esta geoforma se encuentra situada en el sector de Chacco.

- **Colina en roca volcánica (RC-rv)**

Subunidad geomorfológica modelada sobre rocas de origen volcánico de tipo tobas de la Formación Ayacucho – miembro inferior, presenta laderas con pendientes moderado a muy fuertes ( $5^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ), esta subunidad se sitúa al noreste de la zona de estudio en el sector de Chacco.

### 3.3.3. **UNIDAD DE LOMADAS**

Esta unidad corresponde a elevaciones de similar altura que las colinas, pero la diferencia con esta es que presenta cimas más amplias, redondeadas y alargadas (Villota, 2005)

- **Lomada en roca sedimentaria (RL-rs)**

Subunidad que presenta superficies subredondeadas con pendientes moderadas a fuerte ( $5^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ) y la cima de las lomadas pendiente llanos inclinados a moderados ( $<1^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ), ubicados principalmente en los sectores de Mollepata (Fotografía 9), Rumichaca, Totorilla. Litológicamente están conformados por una secuencia sedimentaria de limolitas, areniscas y arcillita, la Formación Ayacucho, miembro superior.



Fotografía 9. Lomadas en rocas sedimentarias, ubicadas en la parte central del área de estudio.



- **Lomada en roca volcánica (RL-rv)**

Corresponde a una superficie modelada sobre rocas volcánicas que corresponden a las tobas de la formación Ayacucho – miembro inferior. Sus cimas son redondeadas y con pendientes fuertes a muy fuertes que varían principalmente entre 15° y 45°. Se ubica al este del área de estudio, por presentar una pendiente suave y cima con pendientes casi llanos se asienta la APV. Del Comité Auto Defensa – VRAE II.

### **3.3.4. UNIDAD DE ALTIPLANICIES**

Unidad genética de relieve que comprende todo tipo de antiguas llanuras agradacionales solevantadas (marina, fluvio-marina, lacustre, aluvial, diluvial, diluvio-aluvial, hidrovulcánica, fluvio-vulcánica, glaciaria, glaci-fluvial, ignimbrítica, basáltica, etc), localizadas a diferentes altitud (Villota, 2005)

- **Altiplanicie sedimentaria (AP-s)**

Subunidad caracterizada por presentar un relieve predominantemente llano a ondulado, donde los procesos de agradación superan a los de degradación (erosión).

En el área de estudio presentan ligera inclinación, con pendientes suaves a moderadas (<1° a 15°), y están conformados por una secuencia de rocas sedimentarias, como limolitas, arenas y arcillitas correspondientes a la Formación Ayacucho – miembro superior. Se reconocieron en los sectores de Mollepata y parte de la zona urbana de la ciudad de Ayacucho (fotografía 10).



Fotografía 10. Altiplanicie sedimentaria, sobre esta subunidad se encuentra asentada el sector de Mollepata.

- **Planicie residual (Pl-re)**

Subunidad geomorfológica caracterizada por presentar relieve o superficie suave a llano con pendientes menores a 5°, en el área de estudio estas superficies se caracterizan por encontrarse cubiertas por depósitos residuales, derivado de la descomposición física y química de materiales volcánicos lávicos de la Formación Huari del Grupo Barroso.

Esta subunidad se identificó al sureste del área de estudio entre los distritos de Ayacucho y San Juan Bautista.

- **Meseta volcánica lávica (M-vl)**

Subunidad geomorfológica conformado por estructuras y depósitos de origen volcánico que evidencián su actividad en el pasado.

Tiene una superficie elevada con un relieve predominantemente suave a llano, aunque también tiene algunos lugares ligeros con pendientes menores a 5°. Está conformado por una secuencia de rocas volcánicas lávicas afáníticas, de la Formación Huari del Grupo Barroso, y fue reconocida en la parte urbana de la ciudad de Ayacucho y sobre esta meseta se encuentra el Aeropuerto Coronel FAP Alfredo Mendivil Duarte de la ciudad de ayacucho.





## GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Estas geoformas son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles, como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de relieves más elevados (Villota, 2005). En el área de estudio se diferenciaron las siguientes unidades y subunidades.

### 3.3.5. UNIDAD DE PIEDEMONTE

#### - **Vertiente coluvial (V-c)**

Los paisajes creados por estos procesos gravitacionales van desde pequeños a grandes dimensiones, y suelen ser desencadenados por lluvias extraordinarias o eventos sísmicos significativos.

Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de ladera que se originan cuando el movimiento gravitacional de los detritos de material de suelo y rocoso se detienen por la reducción de pendiente. Generalmente, se componen de depósitos inconsolidados a ligeramente consolidado; muestran una composición litológica homogénea, tratándose de depósitos con corto a mediano recorrido, relacionados a laderas superiores adyacentes, se observa principalmente a lo largo de la quebrada Picota.

#### - **Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)**

Esta subunidad geomorfológica corresponde a aquellas acumulaciones generalmente en laderas originadas netamente por movimientos de masas antiguas o recientes de tipo deslizamientos, cuya composición litológica es heterogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados con depósitos de corto a largo recorrido.

En el área de estudio, esta subunidad geomorfológica fue identificada al pie del Cerro Uma Orcco, en el sector Huaschahura, ubicado al suroeste de la zona de estudio y al este de la ciudad de Ayacucho.



- **Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)**

Conforman planicies inclinadas a ligeramente inclinadas, generalmente ubicadas al pie de estribaciones andinas o sistemas montañosos, formado por la agrupación de conos proluviales. Están formados por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional, relacionadas a lluvias extraordinarias o muy excepcionales que se presentan en la zona. La pendiente de estos depósitos es suave a moderados ( $1^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). Se observa principalmente en los sectores de Totorilla.

Esta subunidad es susceptible a remoción por flujo de detritos y por erosión fluvial en las márgenes de las quebradas, estos materiales son acarreados transportados por las corrientes de ríos principales (Fotografía 11)



Fotografía 11. Piedemonte aluvio torrencial producto de los flujos de detritos y lodo por la remoción del material disponible en las laderas y cauce de la quebrada.

- **Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)**

Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de material fino y detrítico movilizado por escorrentía superficial, los que se acumulan lentamente en las laderas, se componen de depósitos no consolidados a ligeramente consolidados, que corresponden a depósito de ladera removidos por agua de lluvia, tales como erosión de suelos. Esta subunidad está formada por



acumulaciones intercaladas de material de origen coluvial y deluvial, se encuentran acumuladas al pie de laderas de montañas o acantilados de valles, en la zona de estudio se observa en las laderas del cauce de la quebrada Picota, Huascahura.

### 3.3.6. *GEOFORMAS PARTICULARES*

#### - **Depósito antrópico (Dan)**

Estas geoformas, son el resultado de un conjunto de procesos generados por el hombre, mediante procesos de transformación industrial (construcciones civiles). Se observa principalmente en el sector de Totora (planta de tratamiento de aguas residuales) y en partes de la laderas del cauce de la quebrada Picota por el exceso depósito de material de desmonte por parte de los pobladores de la ciudad de Ayacucho.



Fotografía 12. Depósito antrópico producto de la acción humana, corresponde a depósitos de desmonte.

### 3.4. **FORMAS DE LADERAS**

La forma de las laderas, debido a su asociación con la pendiente del terreno, ha sido considerada generalmente como el perfil de la ladera (Douglas, 1977), pues se menciona que en un corte perpendicular de esta misma se pueden medir los ángulos y distancia de la ladera, donde generalmente se puede observar una serie de concavidades y convexidades, estas obedecen principalmente a la litología del substrato y a los diferentes procesos externos que inciden en la





morfología de la ladera, donde especialmente el ambiente morfoclimático juega un papel muy importante (Figura 20) (Kirkby, 1976; Toy, 1977).

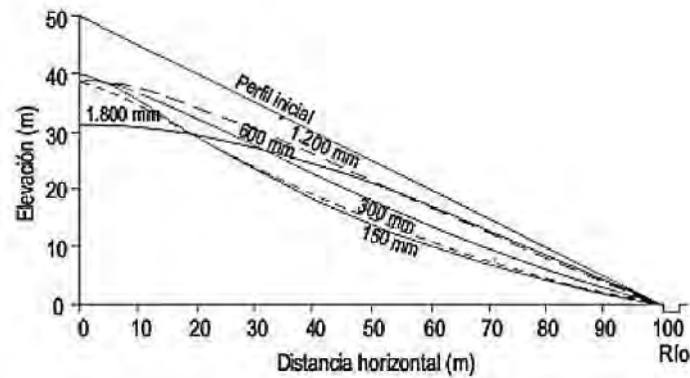


Figura 20. Muestra los perfiles de ladera simulados para varios tipos de precipitaciones anuales, con una evolución de 100.000 años. (Kirkby, 1976).

Otra clasificación es la propuesta por Dalrymple et al., (1068), que divide la ladera en nueve unidades, basados en la forma y los procesos edafogénicos, las medidas realizadas en las laderas nos permiten diferenciar nueve posibles formas de unidades de ladera (Figura 21) (Ruhe, 1975).

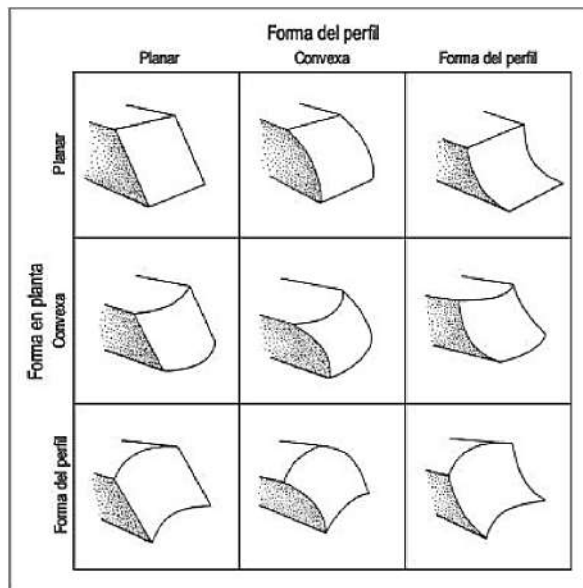


Figura 21. Nueve posibles formas de unidades de ladera. (Basado en Ruhe, 1975; clasificadas por Parsons, 1988).

Los mapas más utilizados en cartografía geomorfológica son los mapas genéticos geomorfológicos, donde las formas se indican según su posible origen y teniendo en cuenta los procesos actuales y relictos, este mapa proporciona información precisa de los depósitos superficiales y las formas del terreno, cuya leyenda se basa en el mapeo geológico.



### 3.5. TIPOS DE EROSIÓN DE LADERAS

#### 3.5.1. EROSIÓN

a) **Erosión Hídrica:** Este tipo de erosión ocurre en las laderas y es el resultado del arranque, transporte y el depósito de los suelos o rocas producto de la escorrentía de las aguas pluviales.

b) **Erosión Pluvial:** Consiste en la erosión provocada por el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo, es el mecanismo de erosión por impacto de la gota de lluvia, cuando la lluvia golpea el suelo expuesto en taludes o terrenos inclinados, puede causar desplazamientos descendentes de pequeñas porciones de suelo. Cuando el suelo se seca, queda una costra dura lo cual dificulta la repoblación de la cobertura vegetal y prolonga la exposición del suelo al intemperismo.

c) **Escurrimiento Superficial Difuso:** En los suelos desprovistos de vegetación en pendientes donde ha actuado la saltación pluvial, el agua escurre con régimen laminar un trayecto muy corto, removiendo las partículas de suelo y material.

d) **Erosión en surcos:** son erosiones en forma de canales pequeños definidos, relativamente paralelo o anastomasado, presentando en la zona o ladera erosiones en surcos que afectan estas superficies, en comparación con la erosión laminar este tipo de erosión en surco son poco más profundos.

e) **Erosión en Cárcavas:** Corresponde a canales más profundos en comparación a la erosión en surco, por medio de estas superficies acanaladas circula el agua acumulado posterior a las lluvias, generalmente se desarrolla en laderas con pendientes altas con poca o casi nula vegetación y en materiales erosibles.

Con el avance de la erosión, se profundiza ensancha progresivamente, con esto incrementa su capacidad de concentración de flujo y en épocas de lluvia por el torrente esta superficie se va profundizando más y ensanchándose más.

En la zona de estudio el incremento del carcavamiento genera gran aporte de sólidos, material que se incorporan a los flujos de detritos, cabe mencionar que la erosión profundizando la cárcava puede provocar otros movimientos en masa principalmente en el contorno de las laderas afectadas por cárcavas.



f) **Erosión Fluvial:** Este tipo de erosión se da producto del desgaste en el curso del río o quebradas, consta del acarreo, transporte y depósito del material que se encuentran en el lecho de un cauce.

g) **Erosión Eólica:** Este tipo de erosión es resultado por la acción del viento que modela el terreno, donde el viento arranca, transporta y deposita los suelos generalmente finos que se encuentran cubiertas sin vegetación.

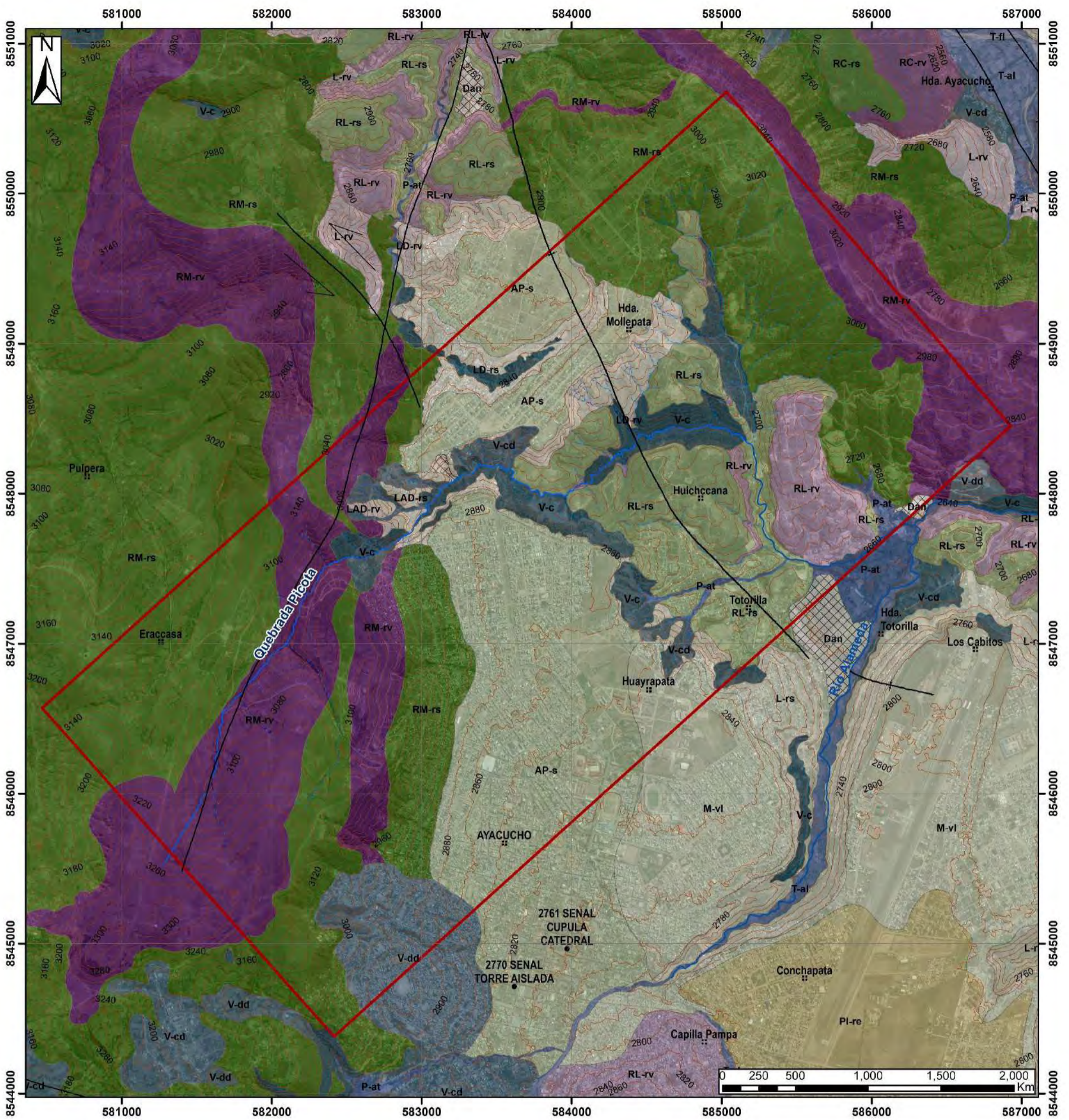
h) **Erosión química:** Son los cambios y la descomposición en la estructura de las rocas debido a las alteraciones que se dan en el agua, en el oxígeno o en el dióxido de carbono

Tabla 4. Cuadro de resumen de procesos de erosión hídrica y su contribución a la inestabilidad

TIPO	ACCIÓN	EFEECTO
<b>EROSIÓN HÍDRICA:</b> Acción de las aguas de lluvias y de escorrentía son más intensas en laderas sin vegetación.	<b>Erosión Pluvial</b> Las gotas de lluvia dispersan partículas del suelo. Los suelos se arrastran en suspensión, lo que provoca una erosión diferente.	El impacto de las lluvias sobre el suelo disminuye la porosidad por compactación, reduciendo su capacidad de infiltración. Este proceso desencadena el resto de los procesos de erosión.
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO</b>	
	<b>Erosión Laminar.</b> Este tipo de proceso consta del arrastre uniforme de capas delgadas de suelo a distancias muy cortas debido al escurrimiento difuso que ocurre.	Una fuente importante de sedimentos es el escurrimiento y arrastre de suelos limosos y limoarenosos en taludes viales y laderas.
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO</b>	
	<b>Erosión en surcos.</b> El tipo de escurrimiento concentrado hace que se forme pequeños canales más o menos paralelos, independientes.	Este tipo de erosión es más incisiva en comparación a la erosión laminar, debido a la energía que adquiere el agua que se concentra en los canales.
<b>Erosión en cárcavas.</b> Este tipo de erosión consta de zanjas profundas de gran tamaño, formada por la concentración de aguas, este proceso se ensancha y profundiza gracias a la profundización del fondo y los procesos remontantes.	Este proceso se inicia generalmente por vertimiento no controlado de aguas de escorrentía o de filtros. Incrementan el relieve dando origen a otras formas más graves de inestabilidad y son una fuente importante de sedimentos.	

Fuente: Escobar y Duque (2017)





LEYENDA			
UNIDAD	SUBUNIDAD	ETIQUETA	COLOR
Montaña	Montaña en roca sedimentaria	RM-rs	[Color]
	Montaña en roca volcánica	RM-rv	[Color]
Colina	Colina en roca sedimentaria	RC-rs	[Color]
	Colina en roca volcánica	RC-rv	[Color]
Lomada	Lomada en roca sedimentaria	RL-rs	[Color]
	Lomada en roca volcánica	RL-rv	[Color]
Planicie rocosa	Altiplanicie sedimentaria	AP-s	[Color]
Meseta	Meseta volcánica lávica	M-vl	[Color]
Ladera	Ladera en roca sedimentaria	L-rs	[Color]
	Ladera en roca volcánica	L-rv	[Color]
Ladera disectada	Ladera disectada en roca sedimentaria	LD-rs	[Color]
	Ladera disectada en roca volcánica	LD-rv	[Color]
Planicie	Planicie residual	PI-re	[Color]
Vertiente	Vertiente coluvial	V-c	[Color]
	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd	[Color]
Vertiente o piedemonte	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	P-at	[Color]
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd	[Color]
Terraza	Terraza aluvial	T-al	[Color]
	Terraza fluvial	T-fl	[Color]
Geomorfología antropogénica	Depósito antropogénico	Dan	[Color]

SIMBOLOGÍA	
[Red outline]	Área de estudio
[Dotted line]	Curvas de nivel
[Double colon]	Localidad
[Line with cross]	Eje de sinclinal
[Black dot]	Capital de distrito
[Dashed line]	Drenaje
[Thick black line]	Falla de rumbo sinistral
[Blue wavy line]	Quebrada Picota
[Thin black line]	Lineamiento
[Blue wavy line]	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Título de Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".	
<b>MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Challo		
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM) Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	ESCALA: 1/25 000 Fecha de elaboración: 2023	<b>04</b>





### 3.6. PERFIL CORTE ESTRATIGRÁFICO DE LA QUEBRADA PICOTA

A continuación se muestra dos cortes de sección A-A` y B-B` que cortan con dirección SW – NE a la quebrada Picota (figura 22), ubicados en la parte central del área de estudio, donde podemos observar que la quebrada Picota corresponde a una inscisión fluvial que corta la Formación Ayacucho.

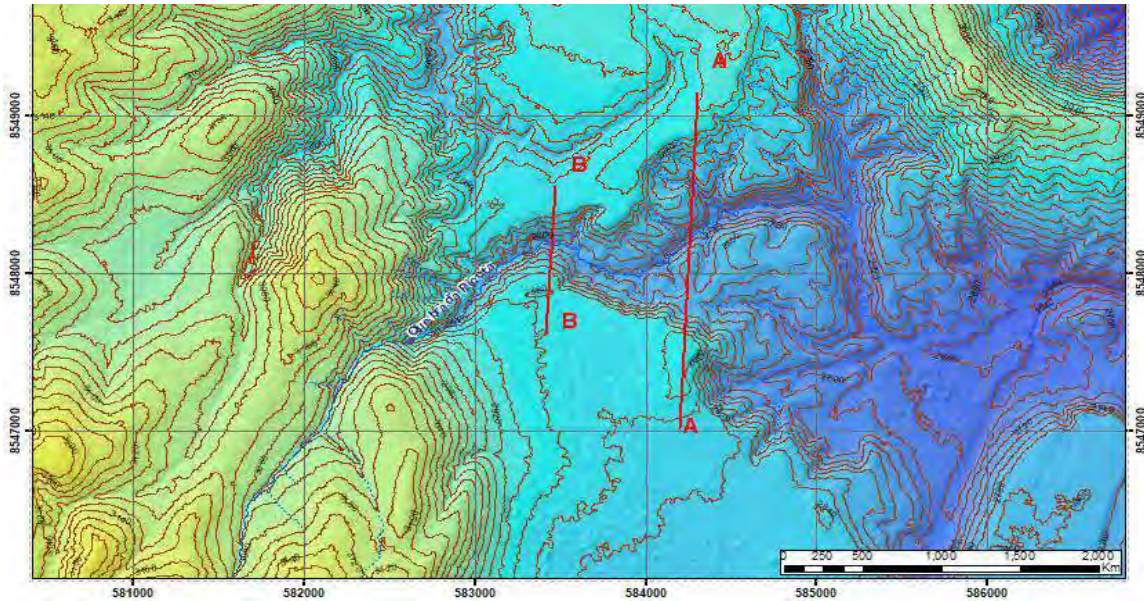


Figura 22. Cortes de secciones A-A` y B-B` ubicados en la parte central de la quebrada Picota con sirection SW-NE.

En la figura 23 se muestra el corte A-A` que va de SW al NE, donde podemos observar las unidades morfológicas que contempla esta zona, donde por la erosión física y la tectónica por gravedad que ocurre en la zona se moldearon lomadas, vertientes coluviales formando así altiplanicies en ambos extremos de la quebrada Picota, donde se asientan la zona urbana de la ciudad de Ayacucho.

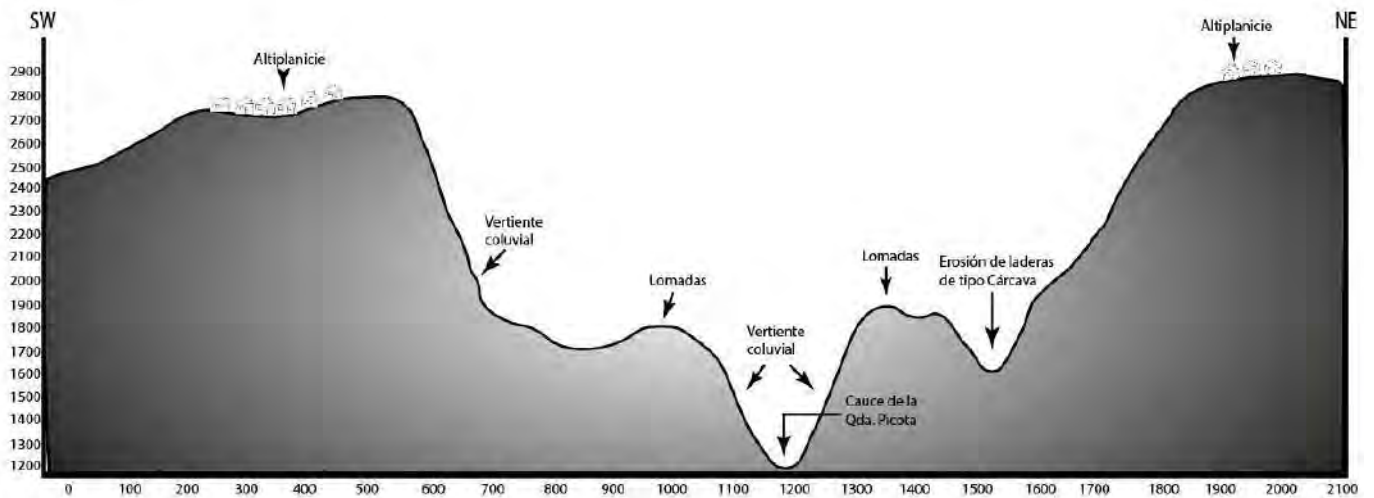


Figura 23. Corte sección A-A`, donde muestra las unidades morfológicas presents en a zona de estudio.



La figura 24 corresponde al corte B-B` con dirección SW-NE, donde muestra el corte estratigráfico correspondiente al Miembro Superior de la Formación Ayacucho que se dispone con estratificación subhorizontal compuesta por intercalaciones de niveles de arenas, limolitas, lutitas y algunos niveles de microconglomerados que se encuentran cortadas por la incisión fluvial que corresponde al cauce principal de la quebrada picota, donde se pueden ver de mejor forma la geomorfología asociado a la sedimentología.

Por la pendiente que presenta las laderas resultado de la erosión fluvial física y la tectónica por gravedad donde se producen derrumbes por la inestabilidad de los suelos en ambas márgenes del cauce principal de la quebrada, corresponde a una zona susceptible a la ocurrencia a procesos de movimientos en masa.

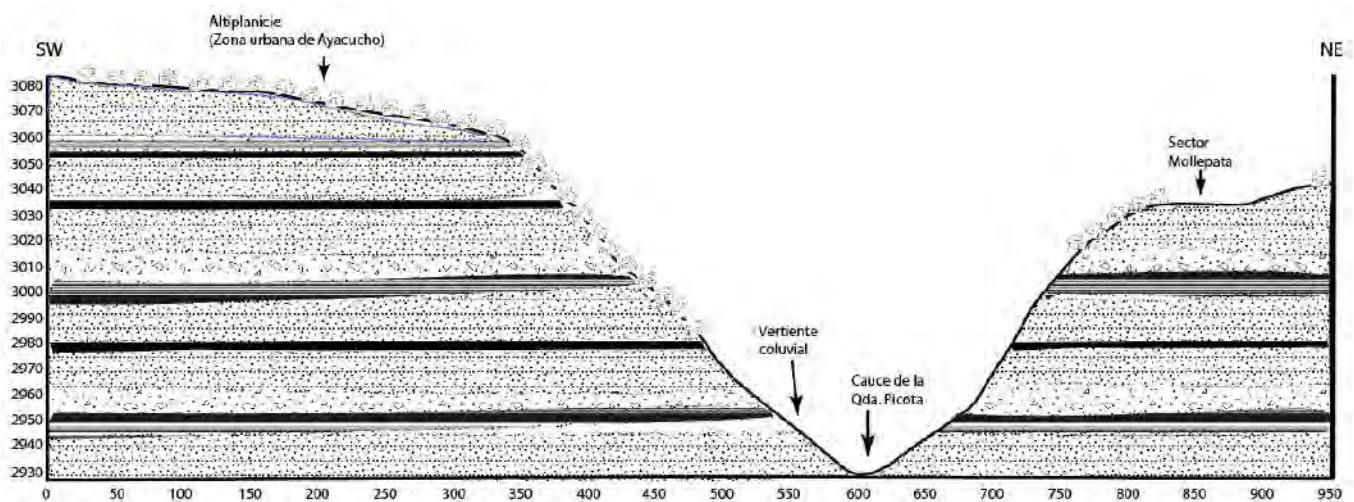


Figura 24. Corte estratigráfico B-B`, correspondiente a la parte central de la quebrada Picota sobre el Miembro superior de la Formación Ayacucho, donde se visualiza la geomorfología asociada a la sedimentología.

### 3.7. PENDIENTE DE LOS TERRENOS

Uno de los factores dinámicos más importantes en la ocurrencia de movimientos en masa es la pendiente, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Vilchez et al., 2013). Los procesos de movimiento en masa son un factor clave en el análisis de la susceptibilidad y un factor importante en la evaluación del peligro geológico. Además del relieve, la inclinación del terreno es considerada un factor crucial para la clasificación de las unidades geomorfológicas.





Se utilizaron imágenes satelitales SPOT proporcionadas por CNOIS-CONIDA y procesadas por INGEMMET para generar un modelo de elevación digital (DEM) de 10 m de píxeles. Después, se utilizó el software ArcGis para procesar el mapa de pendientes del terreno (Mapa 05).

Tabla 5. Rango de pendientes usados

PENDIENTE (°)	DESCRIPCIÓN
< 1°	Terrenos llanos
1° - 5°	Terrenos inclinados con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpado
>45°	Pendiente muy escarpada

Para la categorización de la pendiente, se adaptó la propuesta realizada por Martín-Serrano et al., (2004.) estas se describen a continuación:

### 3.7.1. *Terrenos llanos (<1°)*

Comprende al 1.54% de área de estudio. Son terrenos llanos cubiertos por depósitos antropogénicos que se distribuyen principalmente en el área urbana, también se encuentran en la cima de lomadas y depósito antropógeno; se encuentran asociados a unidades como altiplanicies y mesetas.

### 3.7.2. *Terrenos inclinados con pendiente suave (1° - 5°)*

Los terrenos son planos y tienen una pequeña inclinación y se encuentran en los fondos de valles y altiplanicies volcánico-sedimentarias donde se encuentra la ciudad de Ayacucho, incluyendo el centro poblado de Mollepata y otras asociaciones de viviendas. Además de las cimas de lomadas, ocupa el 12.61% del área.

### 3.7.3. *Pendiente moderada (5° -15°)*

Los terrenos con una inclinación moderada se encuentran principalmente en las laderas de las montañas, altiplanicies y lomadas presentes en el área de estudio, lo que contribuye a la erosión de las laderas en las vertientes.



Abarca aproximadamente el 33.09% del área total, lo que lo convierte en la extensión más grande del área de estudio.

#### **3.7.4. *Pendiente fuerte (15° – 25°)***

Los terrenos con pendientes fuerte abarcan el 29.38 % del área de estudio, siendo este el segundo más grande en el área de estudio. Estos terrenos se encuentran distribuidos de manera equitativa en las laderas de las montañas, las altiplanicies y las lomadas.

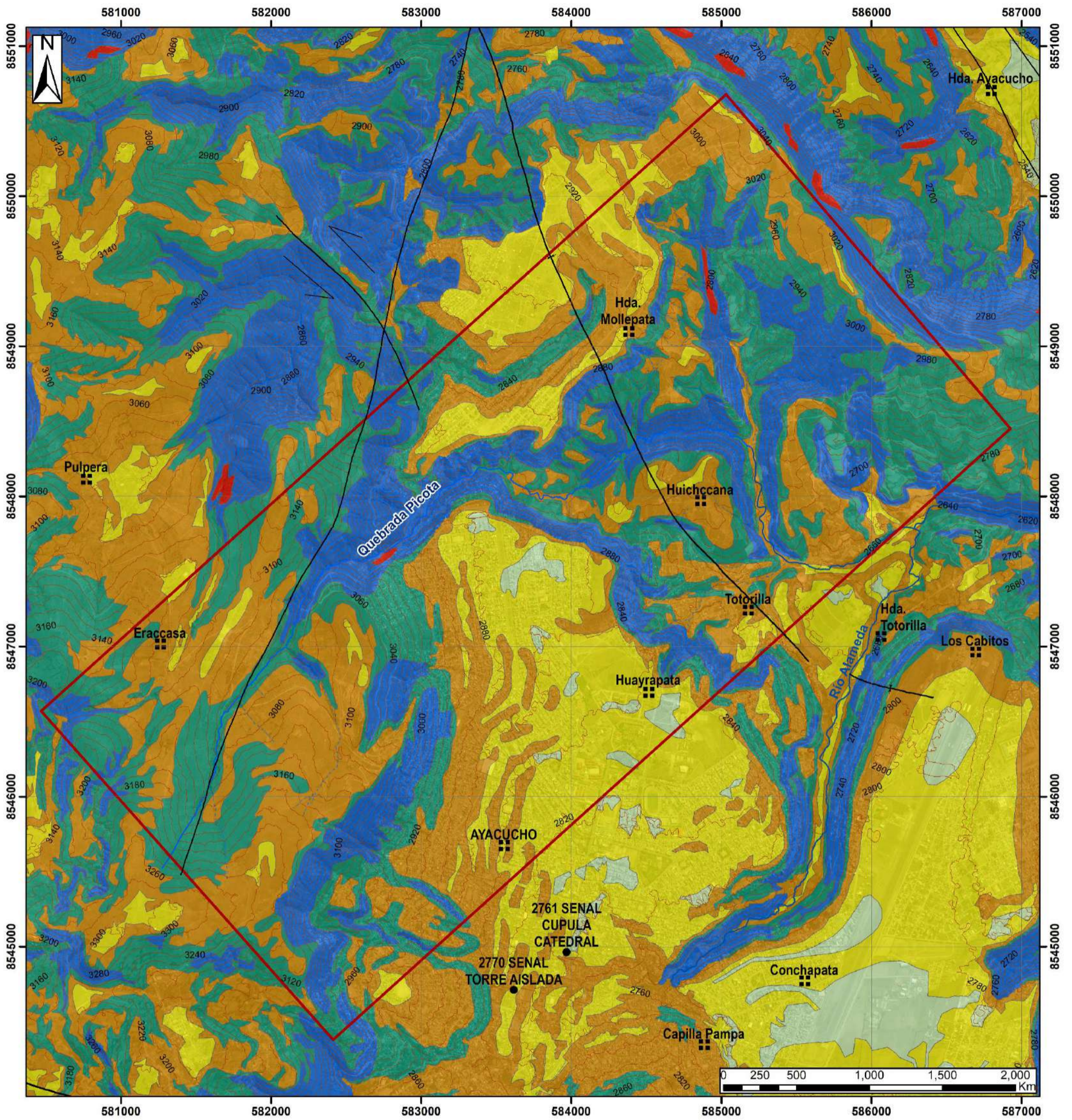
#### **3.7.5. *Pendiente muy fuerte o escarpado (25° - 45°)***

Los terrenos con pendientes pronunciadas muy fuerte ocupan el 22,85 % del área del estudio y se ubican en laderas de montañas, lomadas y altiplanicies. En el área de estudio dentro de este rango de pendientes ocurre derrumbes y erosión de laderas de tipo cárcava, presentándose así generalmente en las laderas disectadas.

#### **3.7.6. *Pendiente muy escarpado (> 45°)***

Está pendiente muy escarpada se encuentran en zonas de laderas de montañas y quebradas con erosión en cárcava, lo que representa el 0.54% del área total.





LEYENDA		
TRAMA	RANGO	PENDIENTE
	0° a 1°	Llano
	1° a 5°	Inclinado con pendiente suave
	5° a 15°	Moderado
	15° a 25°	Fuerte
	25° a 45°	Muy fuerte
	> 45°	Muy escarpado

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Localidad
	Capital de distrito
	Falla de rumbo sinestral
	Lineamiento
	Curvas de nivel
	Eje de sinclinal
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA DE PENDIENTES LOCAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ceorimanya Chalco		<b>05</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	
Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	Fecha de elaboración: 2023	





## CAPÍTULO IV: HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

### 4.1. HIDROMORFOMETRÍA

Con el fin de realizar los cálculos hidrológicos en el área de estudio (Quebrada Picota), se realizó la delimitación de la microcuenca, definiendo sus parámetros hidromorfométricos del área delimitada.

El análisis morfométrico es el estudio de una serie de variables lineales, de superficie, de relieve y de drenaje. Permite conocer las características físicas de una cuenca, lo que permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda en la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de estrategias para la formulación de su manejo. (Gaspari, 2012).

Para el cálculo de los parámetros físicos de la cuenca de estudio se hizo uso del software Arcgis, estos parámetros se describen a continuación:

### 4.2. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA

#### 4.2.1 *Área de la Cuenca (Ac)*

La delimitación de la cuenca hidrográfica se realiza a partir de las divisorias de aguas que pasa por los puntos más altos, esta delimitación comienza desde el punto de concentración.

La cuenca delimitada para el estudio tiene un área total de 9.067870887 km<sup>2</sup>

#### 4.2.2. *Perímetro de la Cuenca (Pc)*

El perímetro de la cuenca o llamada también longitud de la línea divisoria de la cuenca es uno de los parámetros importantes, el cual a comparación del área de la cuenca el perímetro nos da la forma de la cuenca.

La cuenca delimitada para el estudio tiene un perímetro de 20.96523497 km

#### 4.2.3. *Longitud del máximo recorrido (L)*

Se define así a la distancia horizontal del cauce principal, corresponde a la distancia entre el punto de desfogue y el punto más lejano de la cuenca.

La cuenca delimitada para el estudio tiene una longitud de máximo recorrido de 7.78363 km.



### 4.3. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA

Estos parámetros nos dan una forma geométrica de la cuenca (Fierro & Jimenez, 2011), al analizar el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca mediante índices o coeficientes.

#### 4.3.1. *Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (kc)*

Está relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico y es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left( \frac{A_{cuenca}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Este valor independientemente del área de estudio tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular, estos valores de kc no deberán ser inferiores a 1. Mientras más cerca tenga el valor a la unidad mostrará una tendencia a concentrar cantidades mayores de agua de escurrimiento, esto indica que, con el kc más bajo, la concentración de agua aumentará.

Existe tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro (Tabla 69).

Tabla 6. Índice de Gravelius para el análisis de la forma.

Rango	Descripción
1 a 1,25	Forma casi redonda a oval – redonda
1,25 a 1,5	Forma oval - redonda a oval – alargada
1,5 a 1,75	Forma oval – alargada a alargada

*Fuente: Ortiz (2004).*

El índice de Gravelius de la cuenca de nuestro estudio es: kc= 1.949418583



#### 4.3.2. *Factor de Forma (kf)*

Es la proporción que existe entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del recorrido máximo (L). Este parámetro evalúa la tendencia que tiene la cuenca hacia crecidas constantes, rápidas, muy intensas o lentas.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

El factor de forma para la cuenca de estudio es de 0.149672138

#### 4.4. **PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA**

Estos parámetros de relieve tienen más atribución sobre la respuesta hidrológica que su forma; es decir a mayor pendiente la generación de caudal se produce en lapsos de tiempos cortos (Ibañez Asensio, et al., 2008)

##### 4.4.1. *Pendiente media de la cuenca*

Este valor es la media ponderada de todas las pendientes de las superficies elementales en las que se considera constante la máxima pendiente (Beltrán, 2010), tiene relación con la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía, en lugares de alta pendiente son más ocurrentes los problemas de erosión (Villón, 2002), por lo que es un parámetro importante para definir cómo se comporta el terreno con la ocurrencia de movimientos en masa.

Para la determinación de la pendiente media se utilizó el método de Alvord, determinada por la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{L \cdot D}{A}$$

Donde:

S<sub>m</sub>= Pendiente media de la cuenca (%)

L= Longitud total de las curvas de nivel

D= Diferencia entre curvas de nivel

A= Área de la cuenca





Tabla 7. Rangos de pendientes y tipo de terreno

Rango de pendiente (%)	Tipo de terreno
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Heras (1972)

Para la cuenca de estudio se tiene una pendiente media **Sm= 23.648 %**, por lo tanto, la cuenca de estudio Picota, se clasifica como una cuenca con pendiente Fuertemente accidentado.

#### 4.4.2. Tiempo de concentración

Se denomina así al tiempo que tarda en recorrer una gota de lluvia desde la cabecera de la cuenca hasta el punto de desfogue de la cuenca.

Para el cálculo de este parámetro se usó el Método de Kirpich, donde se calcula el tiempo de concentración  $T_c$  en horas según la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S_0}} \right) \wedge 0.77$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal

S = Diferencia entre las cotas extremas, dividida por L (pendiente promedio del recorrido principal)

Para la cuenca de estudio el Tiempo de concentración es  **$T_c = 1.436$  Horas**

✓ Con los parámetros hidro morfométricos obtenidos a continuación se muestra un cuadro de resumen:

Tabla 8. Resumen de parámetros de la Quebrada Picota.

PARÁMETRO	UNIDAD
Área de la cuenca	9.067870887 km <sup>2</sup>
Perímetro de la cuenca	20.96523497 km
Longitud del máximo recorrido (L)	7.78363 km



Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius	1.949418583
Factor de forma	0.149672138
Pendiente media de la cuenca	23.648 %
Tiempo de concentración	1.436 horas

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5. PRECIPITACIONES PLUVIALES (LLUVIAS)

El área de estudio presenta precipitaciones pluviales intensas en los meses de diciembre a abril siendo estos meses en el centro del País los más críticos que desencadenan movimientos en masa, por lo que se consideró en este trabajo como el factor principal desencadenante a las precipitaciones pluviales (lluvias).

Se recopiló datos de precipitaciones de la estación Huamanga, considerando la precipitación máxima de 24 horas, corresponde a la estación más cercana a la zona de estudio, los datos registrados están comprendidos desde el año 1970 al año 2008 (Tabla 9 y Figura 25).

Tabla 9. Precipitaciones mensuales máximos en 24 horas de la estación Huamanga.

REGISTRO HISTÓRICO													
ESTACIÓN HUAMANGA													
<b>Estación :</b>	Huamanga					<b>Longitud :</b>	-74.236944	"W"			<b>Dpto.</b>	Ayacucho	
<b>Parámetro :</b>	Precipitación máxima 24h.					<b>Latitud :</b>	-13.15	"S"			<b>Prov.</b>	Huamanga	
						<b>Altitud :</b>	2761	m.s.n.m.			<b>Dist.</b>	Ayacucho	
<b>AÑO</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAY.</b>	<b>JUN.</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>MÁXIMO</b>
1970	s/d	s/d	0	19.8	6.5	1	9.2	0	15	5.5	13.6	29	29.0
1971	28	46.6	19.2	13.5	0.6	5.3	0.7	9.8	9.2	8	16	16	46.6
1972	20.2	7.6	13	12.2	0	0	15	5	10.3	10	7.5	11.2	20.2
1973	20.3	16.5	32	26	0	2.2	3.8	13	9.8	9.5	21	25	32.0
1974	15.5	26	21	6.2	1	9.7	0	10	7	7	2.6	4	26.0
1975	23	15.5	15.2	7	6	2	0.8	2	7.2	13	15	12	23.0
1976	24	24	30.5	18.5	8	8	2.3	1	9.5	8.5	4	8	30.5
1977	11.5	20	7.2	9.8	6	0	4.5	2.5	4.2	1.5	26	7.5	26.0
1978	12	0	0	0	0	0	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	12.0
1979	s/d	s/d	16	s/d	3	0	7.8	11.2	5.7	8	6.5	6.5	16.0
1981	s/d	s/d	s/d	s/d	0	3.4	s/d	15.8	13	15.2	19.5	s/d	19.5
1982	s/d	44.5	12.6	11	1.3	11.6	0	8	7	14.5	26	10.4	44.5
1983	16.4	10.2	18.7	9.9	1.4	4.4	5.2	6.4	14.2	24.4	6.4	11.7	24.4



<b>1984</b>	48	16.8	s/d	s/d	s/d	11.4	2.4	2.5	1.4	8.9	20.2	16.4	48.0
<b>1985</b>	18	8.5	8.8	10.5	0	1.5	1.6	0	6.9	3.2	7.8	25.8	25.8
<b>1986</b>	11.5	14.6	30	16.5	4.5	0	2.5	6	6	7.2	15.7	13.5	30.0
<b>1987</b>	24.2	6.4	11.1	6.7	8.2	7.6	8.7	3	6	14.1	8.4	9.8	24.2
<b>1988</b>	19.3	22.4	15.3	23	4	2.5	0	0	11	5	17	17.7	23.0
<b>1989</b>	16.1	15.3	18	1.6	11	1	0	1.5	26	11	9.6	19.5	26.0
<b>1990</b>	23	0.7	1.5	8	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	20	30.05	30.1
<b>1994</b>	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	2.8	6.8	18.3	17.5	18.3
<b>1995</b>	7.32	36.4	4.92	6.44	6.6	6.1	6.18	8.11	7.53	16.2	7.8	12	36.4
<b>1998</b>	24.5	s/d	s/d	s/d	s/d	2.7	0	1.5	16.8	12.3	10.7	14.4	24.5
<b>1999</b>	20.8	20.1	11.2	6.8	1.4	0.4	3.2	s/d	13	4.6	24.8	16.8	24.8
<b>2000</b>	24.4	35.2	14	2.4	10.4	6	18.7	7.5	4.4	22.4	8.7	18.1	35.2
<b>2001</b>	25.5	39	20	8.4	10.9	3.1	9.4	3	6.9	14.3	12.8	14.4	39.0
<b>2002</b>	27.6	16.9	19.2	4.4	7.4	3.2	7	5.1	29.1	4.7	11.8	22.5	29.1
<b>2003</b>	16.7	30	20.6	27.4	11.2	0	0	9.5	4.9	8.9	11.8	22.5	30.0
<b>2007</b>	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	11.2	14.2	17.5	17.5
<b>2008</b>	18	15.2	14.8	7.6	7	8	0	0	31.5	5	20.8	17	31.5
<b>PROMEDIO</b>	20.7	20.4	15.0	11.0	4.5	3.7	4.2	5.1	10.6	10.0	13.9	16.0	28.1
<b>DESV. EST.</b>	8.0	12.8	8.6	7.4	4.0	3.6	4.9	4.5	7.6	5.4	6.6	6.6	8.6
<b>MÁXIMO</b>	48.0	46.6	32.0	27.4	11.2	11.6	18.7	15.8	31.5	24.4	26.0	30.1	48.0
<b>MÍNIMO</b>	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.5	2.6	4.0	12.0
<b>Nº Datos</b>	24	24	25	24	26	27	26	26	27	28	29	28	30

s/d Sin dato

Fuente. ANA

### HISTOGRAMA DEL REGISTRO HITÓRICO ESTACIÓN HUAMANGA

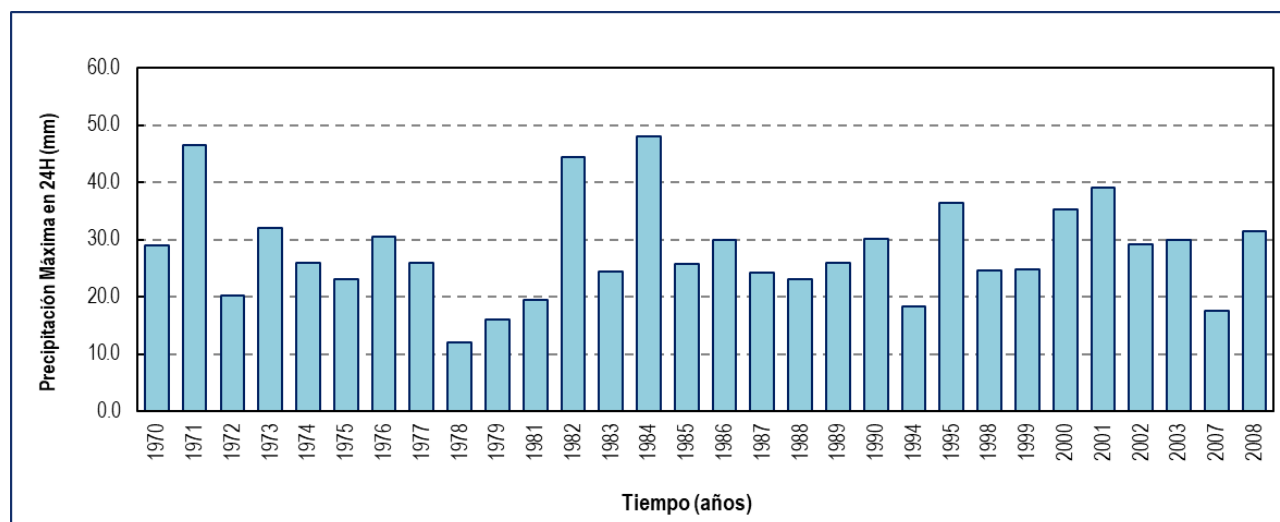






Figura 25. Precipitaciones máximas en 24 horas (Pmax 24h) multianuales de la estación Huamanga.

**4.5.1. Análisis de datos dudosos para las precipitaciones máximas anuales**

Para el análisis de los datos dudosos se aplicó la metodología propuesta por Chow (1994), consta en el cálculo de los umbrales altos y bajos como precipitaciones máxima y mínima aceptada. Estos valores son los que nos permiten verificar si dentro del rango existe algún tipo de dato dudoso.

En la Figura 26, se muestra que todos los valores de Pmax 24h, están dentro de los límites aceptados, por lo que podemos concluir que no existen datos dudosos.

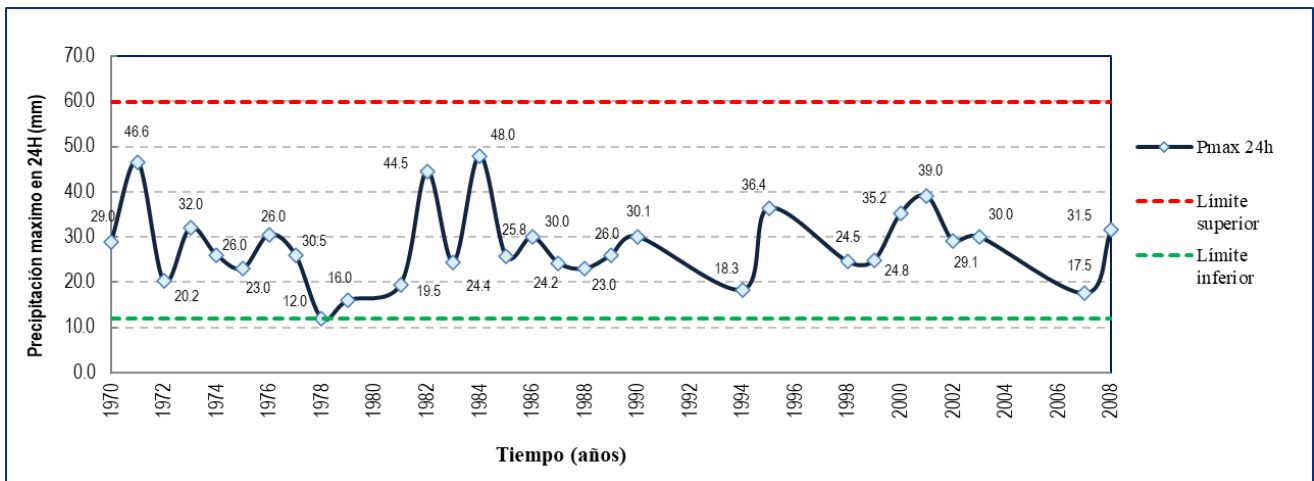


Figura 26. Prueba de datos dudosos de Crow (1994) para la estación Huamanga

En la figura 27, se muestra el hietograma de Lluvia estimada para un periodo de retorno de 100 años en la zona de estudio.

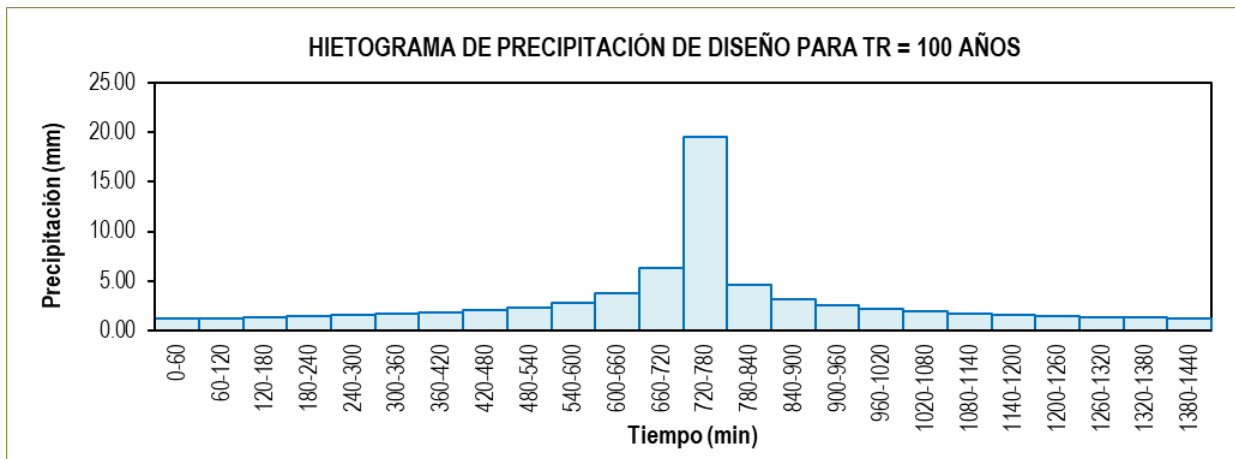


Figura 27. Hietograma de precipitación de diseño para Tr= 100 años.



## 4.6. HIDROGEOLOGÍA

### 4.6.1. GENERALIDADES

El agua subterránea es uno de los factores condicionantes para la ocurrencia de peligros geológicos, principalmente los peligros geológicos por movimientos en masa.

Por otra parte, el crecimiento urbano, sin planificación urbana, hacia las quebradas y laderas en la ciudad de Ayacucho es muy alarmante, debido a su tendencia a ocupar las zonas de inminente peligro.

Se desarrollo un inventario detallado de fuentes de agua subterránea, el cartografiado hidrogeológico y el desarrollo de pruebas hidráulicas para determinar parámetros hidrogeológicos de las rocas.

El mapa hidrogeológico tiene por finalidad mostrar la distribución espacial de las rocas más permeables caracterizados como acuíferos, las zonas de surgencias de aguas subterráneas que podrían estar relacionados a los peligros geológicos y las zonas impermeables que tienden a saturarse de agua y aumentan el peso de los materiales, caracterizados como acuitardos.

### 4.6.2. *Inventario y Clasificación de Manantiales*

El inventario de fuentes permitió encontrar las principales zonas de descarga hídrica que tienen los acuíferos, conocer su ubicación, control estructural, controlar sus parámetros físicos y químicos in situ con el análisis de aguas, recogidas en fichas de campo.

Se inventarió un total de 03 fuentes, de agua de las cuales 2 corresponden a manantiales y 1 punto de registro. De las fuentes inventariadas se hizo la toma de muestras (Tabla 10).

Tabla 10. Resumen de fuentes de agua subterránea.

Nº	Norte	Este	Cota	Sector	Descripción	Aforo (L/s)
1_Aya_01	8547645	585302	2636	Totorilla 1	Manantial	0.12
2_Aya_02	8547716	585289	2634	Totorilla 2	Punto de registro	
3_Aya_03	8547318	585320	2654	Totorilla 3	Manantial	0.5

Fuente: *Elaboración propia.*



Para visualizar espacialmente las fuentes de aguas subterráneas en la zona de estudio, estas se han clasificado por tipo de fuente (Figura 28).

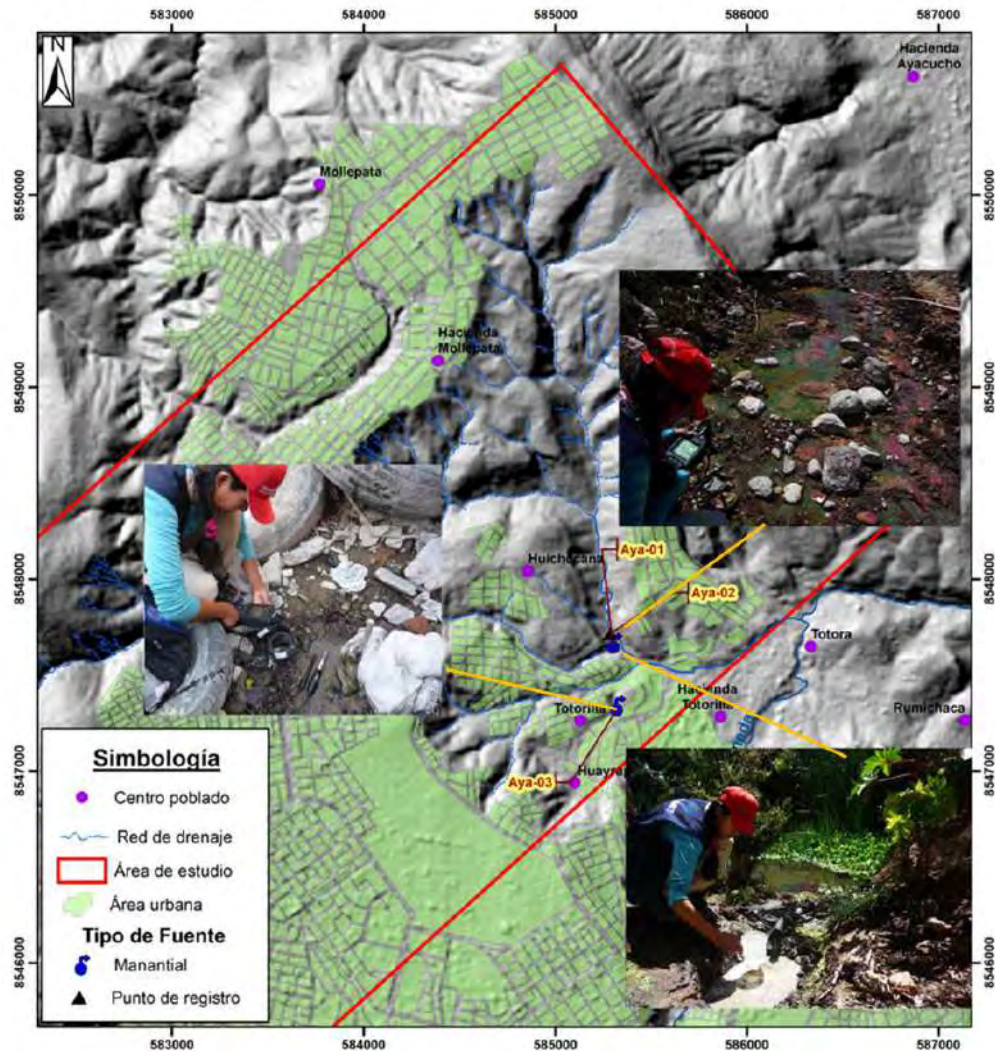


Figura 28. Inventario de fuentes de agua en la zona de estudio.

#### 4.6.2.1. Clasificación de manantiales

Teniendo en cuenta las variables que condicionan la descarga y utilizando el sistema propuesto por Meinzer (Tabla 11), se han clasificado los manantiales de acuerdo con su volumen de descarga. Es importante mencionar que los caudales medidos corresponden a la época de estiaje.





Tabla 11. Clasificación de la descarga, según Meinzer (1923).

Categoría	Unidades (L/s)	Cantidad de fuentes
		Inventario fuentes
Primera	>2830	-
Segunda	283 - 2830	-
Tercera	28.3 - 283.0	-
Cuarta	10.0 - 28.3	-
Quinta	3.0 - 10.0	-
Sexta	1.0 - 3.0	-
Séptima	< 1.0	2

De la Tabla 11 podemos mencionar que:

Las fuentes que corresponden a los manantiales Totorilla1 (AYA-01), y Totorilla3 (AYA-03), corresponden a la séptima categoría, con caudales de 0.12 y 0.5 L/s respectivamente.

Cabe resaltar que todas las fuentes han sido aforadas en épocas de estiaje, lo cual corresponde al caudal base de estos manantiales, donde según testimonios de los propios pobladores de la zona mencionan que los caudales aumentan en época de avenidas.

#### 4.6.3. Clasificación Hidrogeológica

En el mapa hidrogeológico de la zona de estudio a escala 1/25000, se ha zonificado los afloramientos rocosos clasificados según su capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas. Evidentemente, las rocas que en superficie permiten la infiltración del agua, son las que formarán acuíferos en profundidad, en contraste con las rocas impermeables que son generalmente acuitardos.

Para conocer cuáles son las formaciones geológicas que tienen características permeables en nuestra área de estudio, se ha considerado la permeabilidad vertical, para ello se desarrollaron ensayos de infiltración puntual, que mide la conductividad hidráulica en las rocas y suelos.

Para este cálculo, en el área de estudio, se realizó 07 ensayos de infiltración mediante el método de Lefranc a carga constante, estos resultados comparados con la tabla convencional de



permeabilidades (Benítez 1963 y Custodio 1996, Tabla 12), obtienen una correspondencia hidrogeológica a través de la conductividad hidráulica.

Tabla 12. Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación del Acuífero	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla Limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

#### 4.6.4. Ensayos de infiltración

El ensayo Lefranc busca crear una infiltración temporal de agua en el subsuelo bajo una carga específica mediante la introducción de un tubo de diámetro fijo (permeámetro) en las rocas. (fractura) o en suelo (poros) que se pretenden medir, se vierte un volumen de agua en el permeámetro, la misma que será infiltrada en el subsuelo generando un descenso, en función de la carga (caudal) y del tiempo.

Los ensayos de infiltración puntual realizados en la zona de estudio se hicieron por el método del permeámetro de carga constante. Este método toma en cuenta los descensos de agua durante un período de tiempo específico de cinco minutos. El permeámetro tuvo una longitud de 60 cm.

Para este trabajo se ejecutaron 07 ensayos de infiltración para estimar la permeabilidad de las unidades lito estratigráficas, cuyos cálculos se describen a continuación. (Tabla 13)).

Tabla 13. Valores calculados de permeabilidad para diferentes ensayos de infiltración realizadas en la zona de estudio, Ayacucho.

Nº	CÓDIGO	COORDENADAS			K (m/día)	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	
		E	N	Z			
1	EP-01- AYA	581846	8545812	3196	0.262	Algo permeable a permeable	Acuífero pobre a bueno



2	EP-02- AYA	582335	8546144	3120	0.292	Permeable	Acuífero
3	EP-03- AYA	582128	8546579	3100	0.150	Algo permeable	Acuífero pobre
4	EP-04- AYA	584814	8546690	2833	0.169	Algo permeable a permeable	Acuífero pobre a bueno
5	EP-05- AYA	583798	8548253	2721	0.298	Poco permeable a algo permeable	Acuitardo a acuífero pobre
6	EP-06- AYA	585681	8549634	3030	0.325	Algo permeable	Acuitardo a acuífero pobre
7	EP-07- AYA	585814	8548742	2845	0.424	Muy permeable	Acuífero

*Fuente: Elaboración propia, 2019*

Para calcular los valores de conductividad hidráulica se realizaron dos (02) ensayos en material volcánico de la Formación Huari, dos (02) ensayos en materiales sedimentario de la Formación Ayacucho miembro inferior, dos (02) ensayos en material volcánico correspondiente a la Toba 2 de la Formación Ayacucho miembro inferior y un (01) ensayo en material sedimentario de la Formación Ayacucho miembro superior, los que se describen a continuación:

- Para el cálculo de la permeabilidad de la Formación Huari del Grupo Barroso, se realizaron dos ensayos de infiltración (EP-01-AYA, EP-04-AYA), cuyo valor calculado se encuentra entre 0.169 y 0.262 m/día. Los materiales de esta formación que corresponden a secuencia lávica afaníticas son considerados como materiales que forman acuífero pobre a bueno.
- Para el cálculo de la permeabilidad de la parte sedimentaria de la Formación Ayacucho, miembro inferior se realizaron dos ensayos de infiltración (EP-02-AYA, EP-07-AYA) ; cuyo valor calculado se encuentra entre 0.292 y 0.424 m/día. Los materiales de esta Formación corresponden a conglomerados y arenas, las cuales se encuentran fracturadas, por lo que la calificación hidrogeológica es un acuífero fisurado.
- Para el cálculo de la permeabilidad de las rocas piroclásticas que corresponden a la Formación Ayacucho, miembro inferior se realizaron dos ensayos de infiltración (EP-03-AYA, EP-06-AYA), (Fotografía 13) cuyo valor calculado se encuentra entre 0.150 y 0.325 m/día. Los materiales de esta Formación que corresponden a tobas con clastos líticos de pómez son clasificados como materiales poco permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de acuitardo.





Fotografía 13. Ensayo de permeabilidad en la Formación Ayacucho, miembro inferior.

- Para el cálculo de la permeabilidad de la Formación Ayacucho, miembro superior se realizó un ensayo de infiltración (EP-05-AYA), (Fotografía 14), cuyo valor calculado es 0.298 m/día. Los materiales de esta formación que corresponden a limolitas, arenas de granulometría grueso a fino y arcillitas, clasificando a estos materiales como poco permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de acuitardo.



Fotografía 14. Ensayo de permeabilidad en la Formación Ayacucho, miembro superior.

#### 4.6.5. *Caracterización Hidrogeológica*

Los materiales geológicos han sido clasificados de acuerdo con sus parámetros hidrogeológicos de porosidad y permeabilidad y de acuerdo con su capacidad para almacenar y



transmitir aguas subterráneas en tres grupos: porosos no consolidados; a los acuitardos se les ha agrupado en: sedimentarios, volcánico y volcánico sedimentario; y a los acuíferos fisurados en: volcánico y sedimentario.

#### 4.6.5.1. Acuíferos

##### **Acuíferos fisurados.**

Se presenta en rocas consolidadas con gran contenido de fracturas, donde la permeabilidad varía de acuerdo con la densidad, tamaño y abertura de las fracturas. La conexión hidráulica entre las fracturas es un factor determinante para el flujo de aguas subterráneas. En el área de estudio se clasificaron de la siguiente forma:

##### **a) Acuífero fisurado sedimentario Ayacucho inferior.**

Esta distribuido al Noreste y al Suroeste del área de estudio, está constituido principalmente por conglomerados con clastos de material volcánico, arenas y limos, que hacen que esta unidad se encuentre fracturada, y presente buena permeabilidad y transmite agua a niveles inferiores.

##### **b) Acuífero fisurado volcánico Huari.**

Corresponde a los acuíferos que forman el complejo volcánico del Grupo Barroso, litológicamente formado por flujos de lava de textura afanítica que se encuentran fracturados. Desde el punto de vista hidrogeológico el acuífero volcánico Huari es importante como zona de recarga y por la ubicación que se encuentran aforando en la cima del cerro Buena Vista, por eso es considerado como buena formación que recarga el agua a niveles de formaciones que se encuentran por debajo de este.

#### 4.6.5.2. Acuitardos.

Son formaciones geológicas que tiene la capacidad de almacenar aguas subterráneas, pero la transmiten muy lentamente, en estas unidades es en donde se evidencian mayor cantidad de movimientos en masa, debido a que no transmiten el agua que está en su interior, aumentando su



peso, y cuando están muy saturados pueden llegar a desencadenar deslizamientos, derrumbes, reptaciones (movimientos en masa), donde va a depender mucho del pendiente de los terrenos. En el área de estudio se clasificaron de la siguiente forma:

**a) Acuitardos volcánicos.**

Se encuentran distribuidos en la zona de estudio, esto corresponde a las tobas<sup>2</sup> y tobas<sup>3</sup> de la Formación Ayacucho miembro inferior. Estos acuitardos almacenan agua, pero la transmiten muy lentamente, por lo que los materiales se saturan y pueden desencadenar movimientos en masa por el incremento en el peso de la masa y efectos de la gravedad.

**b) Acuitardos sedimentarios.**

Corresponde a los depósitos proluviales, coluviales y al miembro superior de la Formación Ayacucho y la Formación Tigrayoc donde predominan, conglomerados, gravas, arenas, limolitas, arcillitas y ceniza volcánica, con matrices limo-arenoso. Están distribuidos en la parte central del área de estudio, tienen escasa producción e interés hidrogeológico.

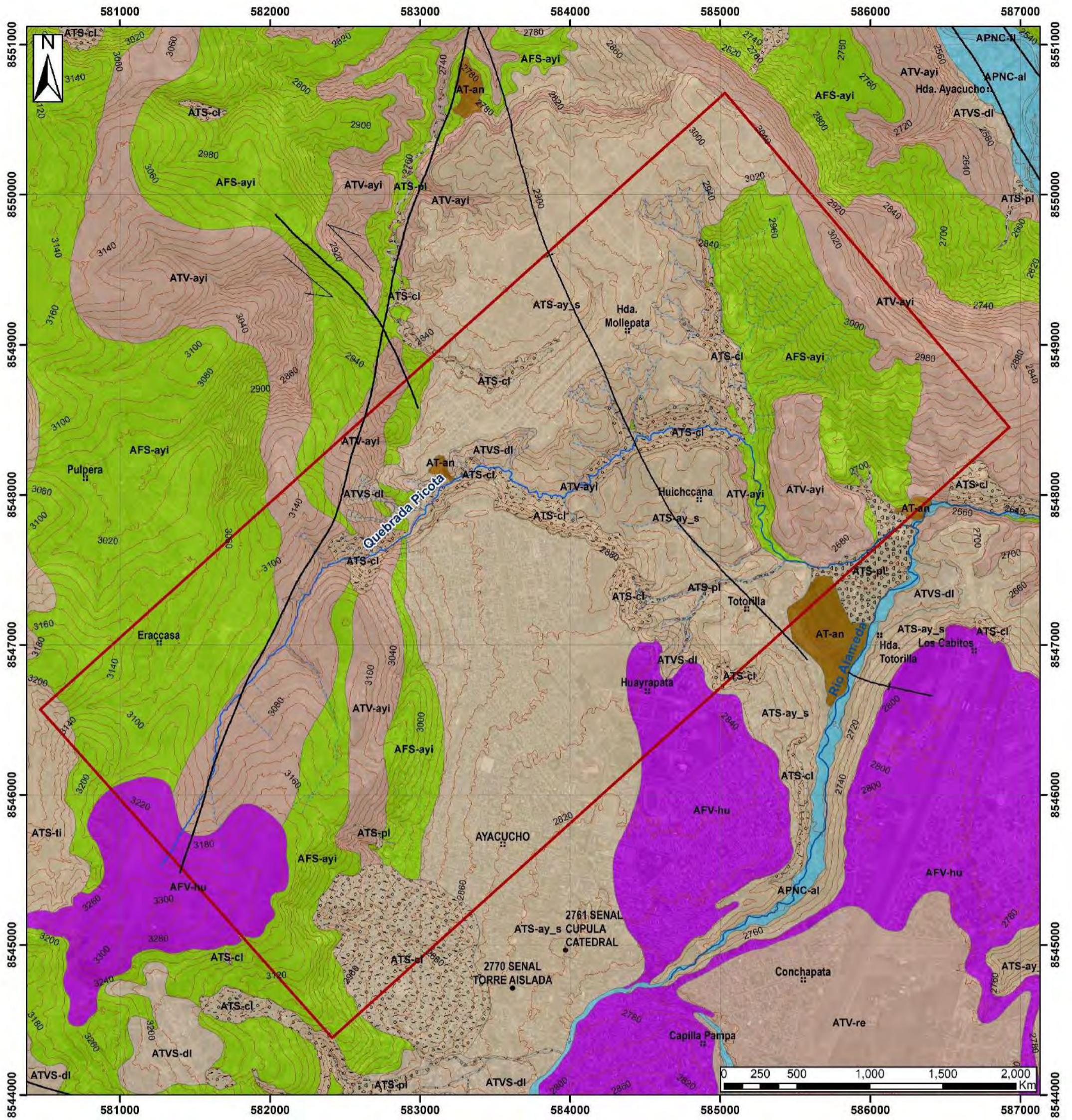
**c) Acuitardos volcánico-sedimentarios**

Corresponde al depósito deluvial, constituido por la depositación lenta de la erosión de combinación entre conglomerados, y niveles de lavas andesíticas, de poca permeabilidad, las lavas pueden almacenar agua, pero como se encuentra en niveles intercalados con tobas y cenizas se consideran como un acuitardos.

**d) Acuitardo antropógeno.**

Corresponde al depósito antropógeno, el cual corresponde al depósito generado por el hombre mediante procesos de transformación industrial (construcciones civiles y depósitos de desmontes). Con escasa permeabilidad e interés hidrogeológico.





LEYENDA			
CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA		DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA	
ACUÍFERO	POROSO NO CONSOLIDADO	APNC-fl	Fluvial
		APNC-al	Aluvial
	FISURADO VOLCÁNICO	AFV-hu	Huari
	FISURADO SEDIMENTARIO	AFS-ayi	Ayacucho inferior
ACUITARDO	SEDIMENTARIO	AT-an	Antropógeno
		ATS-pl	Proluvial
		ATS-cl	Coluvial
		ATS-ay_s	Ayacucho superior
		ATS-ti	Tigrayoc
	VOLCÁNICO	ATV-re	Residual
ATV-ayi		Ayacucho inferior	
ATVS-dl		Deluvial	

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Localidad
	Capital de distrito
	Falla de rumbo sinistral
	Lineamiento
	Curvas de nivel
	Eje de sinclinal
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA HIDROGEOLÓGICO LOCAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ceorimanya Chalco		<b>06</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	
Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	Fecha de elaboración: 2023	





## CAPITULO V: COBERTURA VEGETAL

### 5.1. GENERALIDADES

La caracterización de las unidades de cobertura vegetal del área de estudio para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa se desarrolló en base a la interpretación visual de las imágenes satelitales disponibles en SAS.Planet e “Imágenes Satelitales SPOT proporcionados por el CNOIS-CONIDA y procesadas por el INGEMMET”.

En el área de estudio, se identificó ocho unidades de cobertura vegetal (Tabla 14); los cuales son: áreas de bosque denso, áreas de bosque disperso, matorrales, pastizales, tierras de cultivos, suelo sin cobertura vegetal, área urbana y cuerpos de agua (Mapa 07).

**Tabla 14.** Unidades de cobertura vegetal

Nº	Descripción	Símbolo	Área (Ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Área %
1	Áreas de bosque denso	Abde	52.517	525172.326	1.116
2	Áreas de bosque disperso	Abdi	35.883	358831.048	0.762
3	Matorrales	Ma	1123.068	11230686	23.864
4	Pastizales	Pa	782.951	7829507.29	16.629
5	Tierras de cultivo	Tcu	50.84	508430.02	1.080
6	Suelo sin cobertura vegetal	Scv	791.973	7919730.53	16.829
7	Área urbana	Au	1868.799	18687992.8	39.710
8	Cuerpos de agua	Ca	0.062	625.9069	0.001
<b>TOTAL</b>					<b>100%</b>

### 5.2. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

La caracterización de las unidades de cobertura vegetal del área de estudio para el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa, se describen a continuación:

#### 5.2.1. Áreas de bosque denso (*Abde*)

Estas áreas ocupan un área menor, distribuidos principalmente en la cima del cerro Buena Vista, con predominio de especies arbóreas, en áreas cubiertas por bosques nativos de la zona de



manera muy concentrada y densa (Fotografía 15). Los árboles son principalmente de Eucalipto, Ciprés, y Molle; llegan a medir de 3 a 10 metros. Las pequeñas agrupaciones de bosques densos se encuentran localizados en los sectores como: Totora, laderas y cima del cerro Buena Vista, representando el 1.116 % de la superficie total del área de estudio.



Fotografía 15. Áreas de bosque denso donde predominan los árboles de eucalipto.

### **5.2.2. Áreas de bosque disperso (*Abdi*)**

Corresponde a áreas cubiertas por bosques nativos de la zona que se disponen en forma dispersa. Los árboles son principalmente de eucalipto y Pino, llegan a medir de 3 a 10 metros. En el área de estudio se observa en la ladera del cerro Buena Vista (Fotografía 16). Representan un área del 0.762 % de la superficie total del área de estudio.





Fotografía 16. Áreas de bosque disperso, agrupación dispersa de árboles de eucalipto.

### **5.2.3. Matorrales (Ma)**

Los matorrales constituyen áreas caracterizados por una vegetación dominada principalmente por especies arbustivas de menos de 3 metros de altura, cuyas ramas se van ramificando desde la base, en la zona de estudio se encuentra en la parte central, abarcando la quebrada Picota. Entre los nombres comunes de especies arbustivas se encuentran las Cactáceas, Maguey, Tuna, y una escasa población de Retama.

Se encuentran principalmente en sectores como: Mollepata, Huichccana. Se extienden sobre una superficie de 1123.068 hectáreas, que representan el 23.864 % de la superficie total del área de estudio.

### **5.2.4. Pastizales (Pa)**

Los pastizales representan un tipo de cobertura vegetal conformado por herbazales, predominado por una diversidad de pastos o gramíneas que cubre el suelo de manera abundante. Se observaron en sectores como la ladera del cerro Buena Vista, sector Huayrapata, entre otros. Los pastizales se extienden sobre una superficie de 782.951 hectáreas, que equivalen al 16.629 % de la superficie total del área de estudio.



### **5.2.5. Tierras de cultivos (Tcu)**

Estas áreas se caracterizan porque en él se desarrollan actividades agrícolas de cultivo, actualmente activas y de riego generalmente riego por inundación. El uso que se le da al suelo sirve para la siembra de arvejas, trigo, cebada, repollo, lechuga, alfalfa, maíz, habas, entre otros. En la zona de estudio, se han observado en sectores como: Totorá, en el cerro Buena Vista. Las áreas de cultivo se extienden sobre una superficie de 50.84 hectáreas equivalentes al 1.080 % de la superficie total del área de estudio.

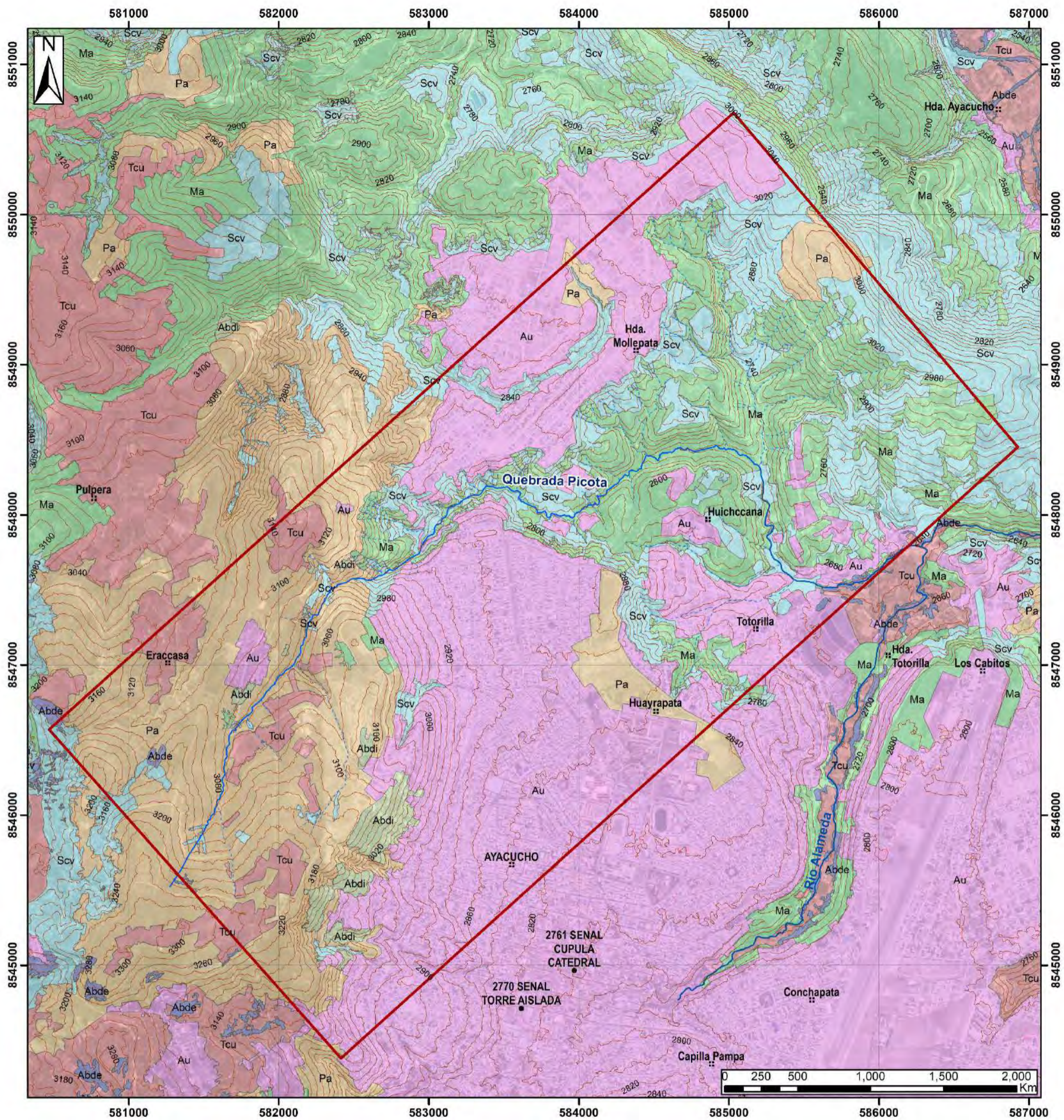
### **5.2.6. Suelo sin cobertura vegetal (Scv)**

Son caracterizadas por ser áreas en las cuales la cobertura vegetal es muy escasa o no existe, así como también corresponden a áreas producto de la deforestación, erosión, movimientos en masa o afloramientos rocosos. Se extiende sobre una superficie de 791.973 hectáreas que representan el 16.829 % de la superficie total del área de estudio.

### **5.2.7. Área urbana (Au)**

El área urbana es aquella donde se encuentra establecida la ciudad del Ayacucho, conformada por un conjunto de viviendas delimitadas por calles y avenidas, y en general cuenta con los servicios básicos (luz eléctrica, sistema de alcantarillado, etc.), mencionar también que en el sector de Mollepata en las zonas de expansión urbana sin control no cuentan con los servicios de alcantarilla por lo que la población vierte sus aguas servidas hacia las laderas. Ocupa una superficie de 1868.799 hectáreas, equivalentes al 39.710 % de la superficie total del área de estudio.





LEYENDA		
DESCRIPCIÓN	ETIQUETA	COLOR
Áreas de bosque denso	Abde	[Color: Blue]
Áreas de bosque disperso	Abdi	[Color: Light Green]
Matorrales	Ma	[Color: Green]
Pastizales	Pa	[Color: Yellow]
Tierras de cultivo	Tcu	[Color: Red]
Suelo sin cobertura vegetal	Scv	[Color: Cyan]
Área urbana	Au	[Color: Purple]
Cuerpo de agua	Ca	[Color: Light Blue]

SIMBOLOGÍA	
[Red Polygon]	Área de estudio
[Double Colon]	Localidad
[Black Dot]	Capital de distrito
[Brown Line]	Curvas de nivel
[Blue Dashed Line]	Drenaje
[Blue Wavy Line]	Quebrada Picota
[Blue Solid Line]	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA DE COBERTURA VEGETAL LOCAL</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		<b>07</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	
Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	Fecha de elaboración: 2023	





## CAPÍTULO VI: GEODINÁMICA

### 6.1. GENERALIDADES

El Perú por la ubicación geográfica frente a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Sudamericana que es causante de la actividad sísmica y volcánica, lo cual desencadena la ocurrencia de procesos geodinámicos como deslizamientos, derrumbes, huaycos, aluviones, sismos e incluso actividad volcánica. La geodinámica estudia los agentes o las fuerzas que intervienen en los procesos dinámicos de la tierra, se divide en Geodinámica interna (llamados también como procesos endógenos) y la geodinámica externa o llamados también como procesos exógenos de la superficie terrestre.

### 6.2. GEODINÁMICA INTERNA (SISMISIDAD)

Las deformaciones cuaternarias en los andes son el resultado de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa de Sudamérica (PMA, 2009), la geodinámica interna hace referencia a la actividad sísmica tales como terremotos o temblores ocurridos en el territorio.

#### 6.2.1. *Sismicidad*

El Perú es un país altamente sísmico debido a que está ubicado dentro del cinturón de Fuego del Pacífico. En esta región ocurren constantemente sismos. La sismicidad en el Perú tiene su origen en la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana y en los reajustes producidos en continente a consecuencia de dicho proceso, la segunda fuente de origen de sismos la constituyen las fallas geológicas, formadas como efecto secundario de la colisión de placas que producen fracturas y plegamientos en la corteza terrestre (Tavera, H., et al. 2014)

#### a) **Características de la sismicidad en el Perú.**

Los sismos en el Perú se clasifican en tres tipos según IGP: sismos con foco a profundidad superficial ( $h \leq 60$  km), a profundidad intermedia ( $61 < h < 300$  km) y foco profundo ( $h \geq 301$  km) (figura 25).



## La sismicidad con foco superficial

La profundidad del foco no excede los 60 km ( $h \leq 60$  km), estos sismos están asociados a los procesos de subducción y se distribuyen a lo largo de la fosa peruana-chilena y sobre toda la costa, desde el departamento de Tumbes al departamento de Tacna. En el interior también se registraron sismos con foco superficial debido a la deformación cortical (Tavera et al., 2014).

## Los sismos con foco a profundidad intermedio

Estos sismos tienen una profundidad de 61 km a 300 km ( $61 < h < 300$  km) y se encuentran distribuidos en la parte continental (Tavera et al., 2014).

## La actividad sísmica con foco profundo

Sismos con profundidades superiores a los 301 km ( $h \geq 301$  km), estos sismos se han registrado en el departamento de Madre de Dios y Ucayali, en la frontera con Brasil (Tavera et al., 2014).

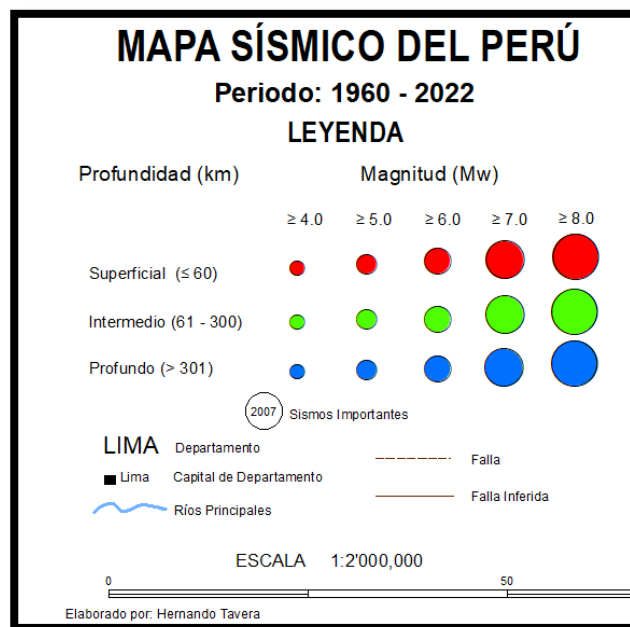


Figura 29. Leyenda del Mapa sísmico del Perú, clasificado según la profundidad y magnitud.

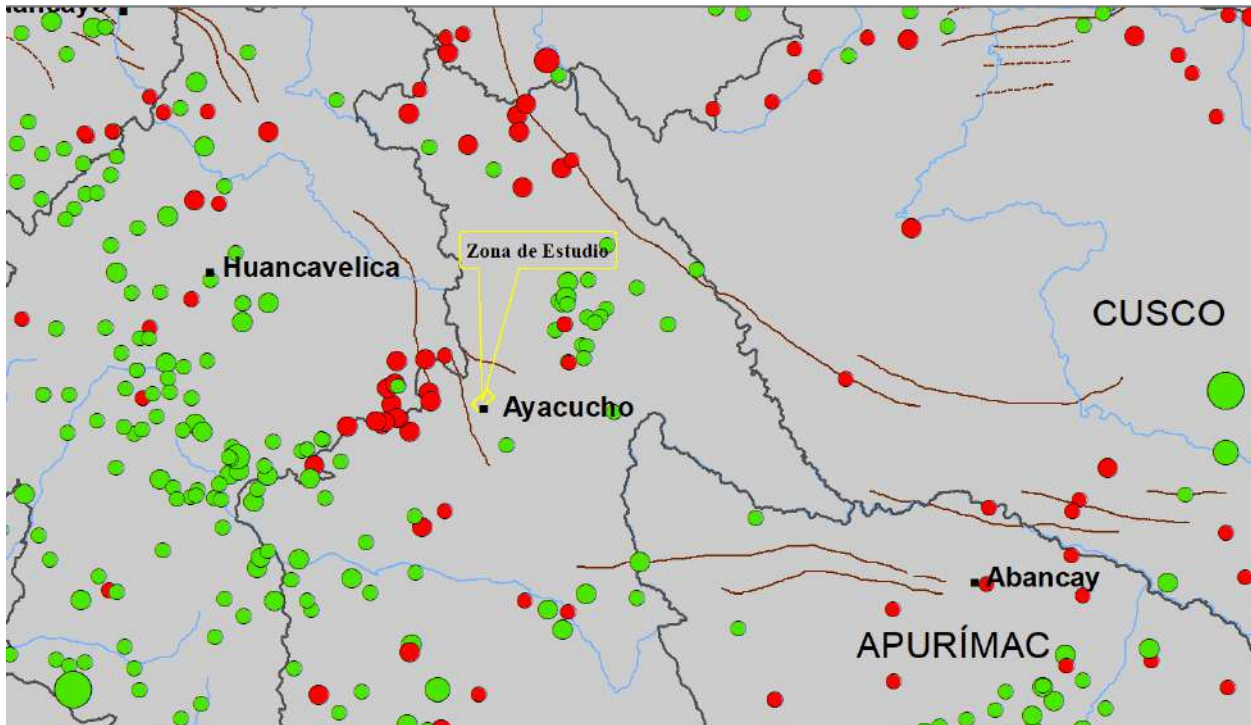


Figura 30. Mapa Sísmico de Ayacucho (IGP), periodo 2011 – 2022, Fuente: IGP

Tabla 15. Catálogo de sismos sentido en la ciudad de Ayacucho (Años 2021 – 2024)

REPORTE SISMICO	REFERENCIA	FECHA / HORA	MAGNITUD	LATITUD Y LONGITUD (°):	PROFUNDIDAD	FUENTE
IGP/CENSIS/RS 2021-0223	40 km al Oeste-SO de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	27/04/2021 06:18:58	4.4	-13.6856, -74.7097	115 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0223">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0223</a>
IGP/CENSIS/RS 2021-0326	32 km al O-SO de Huanca Sancos, Sancos - Ayacucho	31/05/2021 22:56:20	4.1	-13.9933, -74.6214	10 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0326">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0326</a>
IGP/CENSIS/RS 2021-0365	27 km al O de Ayacucho, Huamanga - Ayacucho	23/06/2021 02:05:21	3.8	-13.11, -74.46	14 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0365">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0365</a>
IGP/CENSIS/RS 2021-0409	18 km al N de San Miguel, La Mar - Ayacucho	9/7/2021 11:07:01	5.0	-12.8546, -73.9939	87 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0409">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2021-0409</a>
IGP/CENSIS/RS 2022-0004	32 km al N de Anco, La Mar - Ayacucho	2/1/2022 20:51:38	4.3	-12.7803, -73.6406	97 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0004">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0004</a>
IGP/CENSIS/RS 2022-0419	22 km al O de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	11/7/2022 15:59:32	4.0	-13.55, -74.55	86 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0419">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0419</a>





“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD  
POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO”



IGP/CENSIS/RS 2022-0614	27 km al N de San Miguel, La Mar - Ayacucho	11/10/2022 00:41:48	4.1	-12.77, -73.96	45 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0614">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0614</a>
IGP/CENSIS/RS 2022-0772	14 km al N de San Miguel, La Mar - Ayacucho	14/12/2022 04:30:15	4.7	-12.88, -73.99	75 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0772">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0772</a>
IGP/CENSIS/RS 2022-0773	17 km al N de San Miguel, La Mar - Ayacucho	14/12/2022 08:15:46	4.0	-12.86, -73.96	73 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0773">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2022-0773</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0020	10 km al O de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	14/01/2023 03:59:52	4.5	-13.61, -74.44	20 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0020">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0020</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0152	32 km al SO de Huanca Sancos, Sancos - Ayacucho	29/03/2023 01:38:57	4.8	-14.06, -74.59	116 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0152">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0152</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0242	39 km al O de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	24/05/2023 13:38:38	4.9	-13.46, -74.69	113 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0242">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0242</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0330	49 km al O de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	15/06/2023 15:39:41	4.5	-13.56, -74.8	83 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0330">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0330</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0538	11 km al SE de Huanta, Huanta - Ayacucho	17/09/2023 01:32:34	3.5	-13.03, -74.21	19 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0538">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0538</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0559	12 km al N de Ayacucho, Huamanga - Ayacucho	24/09/2023 09:47:39	4.2	-13.05, -74.21	15 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0559">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0559</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0560	12 km al N de Ayacucho, Huamanga - Ayacucho	24/09/2023 22:39:47	3.7	-13.05, -74.2	18 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0560">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0560</a>
IGP/CENSIS/RS 2023-0677	47 km al O de Huanca Sancos, Sancos - Ayacucho	27/11/2023 17:11:19	4.9	-13.89, -74.76	95 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0677">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2023-0677</a>
IGP/CENSIS/RS 2024-0019	16 km al NE de Huanca Sancos, Sancos - Ayacuch	9/1/2024 09:16:09	4.1	-13.81, -74.23	93 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0019">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0019</a>
IGP/CENSIS/RS 2024-0034	39 km al NO de Chuschi, Cangallo - Ayacucho	16/01/2024 09:43:48	4.0	-13.36, -74.63	101 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0034">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0034</a>
IGP/CENSIS/RS 2024-0170	33 km al O de Sancos, Huanca	19/03/2024 21:11:37	4.0	-14.02, -74.62	117 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0170">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0170</a>



	Sancos - Ayacucho					
IGP/CENSIS/RS 2024-0333	12 km al NO de Pampamarca, Parinacochas - Ayacucho	20/05/2024 12:23:43	4.6	-14.48, -73.63	95 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0333">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0333</a>
IGP/CENSIS/RS 2024-0347	22 km al SO de Ayacucho, Huamanga - Ayacucho	1/6/2024 9:16:45	4.0	-13.24, -74.41	23 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0347">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0347</a>
IGP/CENSIS/RS 2024-0562	11 km al O de Cangallo, Cangallo - Ayacucho	31/08/2024 15:58:52	4.0	-13.63, -74.24	18 Km	<a href="https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0562">https://ultimosismo.igp.gob.pe/evento/2024-0562</a>

*Fuente: IGP*

### **6.3. GEODINÁMICA EXTERNA**

La geodinámica externa analiza los agentes atmosféricos externos, como el viento, las aguas continentales, los mares, los océanos, los hielos, los glaciares y la gravedad, afectan la capa superficial de la Tierra y causan la destrucción y modelación gradual del paisaje rocoso. y del relieve. Durante esta actividad, se desprenden materiales que luego se depositan y forman rocas sedimentarias. La geomorfología también estudia los efectos que tienen sobre las formas del relieve, la evolución y el proceso de modelado. (Guevara, M., 2018)

Dentro de este capítulo se describe los procesos que presentan actividad geodinámica, en el fondo del cauce de la quebrada, en las márgenes de la quebrada y zonas adyacentes del área de estudio se identificaron peligros geológicos por movimientos en masa como: deslizamientos rotacionales, derrumbes y flujos de lodo y otros peligros geológicos tales como erosión de laderas (Mapa 08).

La metodología empleada para la caracterización y clasificación geodinámica utilizada en el presente trabajo se basa en el documento del PMA (2007), donde se contempla una serie de parámetros útiles para describir, analizar y evaluar los procesos de geodinámica externa.

#### **6.3.1. MOVIMIENTOS EN MASA**

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra, los movimientos en masa en laderas son procesos de movilización lenta o rápida que



involucran suelo, roca o ambos, causados por exceso de agua en el terreno y/o por efecto de la fuerza de gravedad (CENEPRED, 2014)

### 6.3.2. CASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

En la literatura científica existen diversas clasificaciones de movimientos en masa. Una de las clasificaciones de inestabilidad de laderas que ha dado origen a la clasificación de movimientos en masa desarrollado por el Proyecto Multinacional Andino: GCA (2007), se basa esencialmente en la clasificación de Varnes (1978) y modificada por Cruden y Varnes (1996).

Los movimientos en masa en laderas son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos y donde la fuerza de gravedad actúa constantemente y más aún cuando un agente erosivo como el agua arrastra materiales pendientes hacia abajo. (Indeci, 2011).

La clasificación de Movimientos en Masa de laderas según el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas (2007), la misma que es asumida por el INGEMMET, es la modificada de Varnes (Tabla 16).

Tabla 16. Tipos de movimientos en masa.

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

Fuente: PMA: GCA(2007)





De acuerdo con esta clasificación para cada tipo de movimiento en masa, se describe también el rango de velocidades, este es un parámetro importante porque esta se relaciona con la intensidad de cada uno de los tipos de movimientos en masa y la amenaza que puedan representar cada uno de ellos.

A continuación, se muestra los intervalos de velocidades típicas con la escala de velocidades propuestas por Cruden y Varnes (1996), (Ver Tabla 17)

Tabla 17. Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996)

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

Fuente: PMA:GCA(2007).

A continuación, se desarrolla conceptos de los tipos de movimientos en masa, donde se describen brevemente los procesos observados en la quebrada Picota.

### 6.3.2.1. Caída (Fall)

La caída es un tipo de movimiento en masa en el que uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera sin que haya desplazamiento cortante significativo a lo largo de la superficie. El material cae después de ser desprendido desplazándose principalmente por el aire, realizando golpes, rebotes y rodamientos. (Varnes D. J., 1978) (Figura 31).

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo de flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento (PMA, 2007).

Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados, en suelos de pendientes altas, los factores que los provocan son la erosión y pérdida de apoyo, la forma de



superficie inicial de rotura puede ser planar, en cuña, escalonado o vertical (Flageollet y Weber, 1996). Así se menciona que uno de los factores desencadenantes de la ocurrencia de este tipo de procesos son las lluvias intensas, otro factor muy frecuente es la socavación de la ladera producida por erosión fluvial.

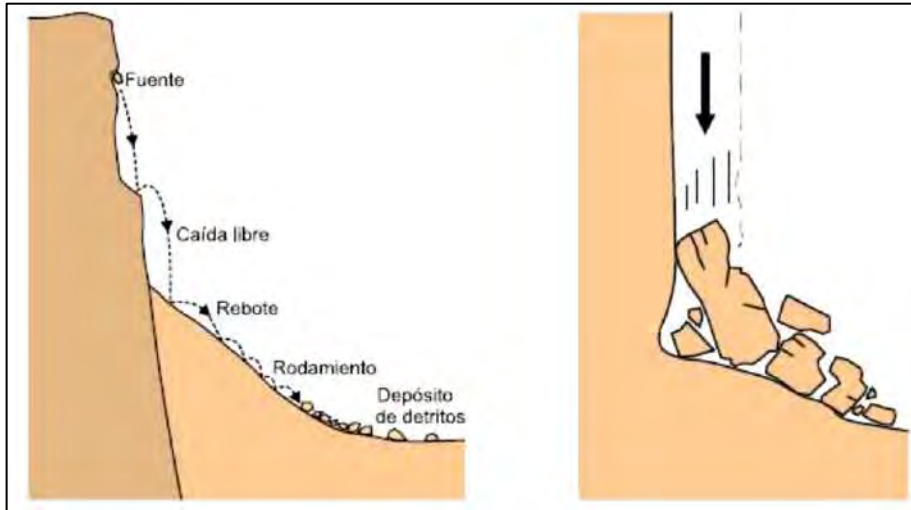


Figura 31. Esquema de caída de roca fragmentada (Evans, S.G., y Hungr, O., 1993). Fuente: Figura tomada de PMA (2007).

### 6.3.2.1.1. Derrumbe (landslide)

En el proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, 2007, este término es usado para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída.

Es un fenómeno natural donde una masa de tierra o roca se mueve ladera abajo por efecto de la gravedad por pérdida de estabilidad, Los derrumbes generalmente se repiten en lugares donde ocurrieron previamente. Para este trabajo se consideró como derrumbe a la caída de suelos y rocas (materiales mixtos o combinados).

En la quebrada Picota, las zonas de caída de tipo derrumbes se observan principalmente en laderas en ambas márgenes del cauce principal (Tabla 18).

Tabla 18. Inventario de caídas de tipo Derrumbes en la quebrada Picota.

Código	Subtipo	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )
		X	Y	
DER_01	Derrumbe de suelo y roca	585091	8546774	42939.17



DER_02	Derrumbe de suelo y roca	584408	8547352	84984.7
DER_03	Derrumbe de suelo y roca	583878	8547895	178266.71
DER_04	Derrumbe de suelo y roca	583272	8548071	38540.94
DER_05	Derrumbe de suelo y roca	583113	8547854	8667.78
DER_06	Derrumbe de suelo y roca	582637	8547489	46701.19
DER_07	Derrumbe de suelo y roca	582571	8547663	61701.05
DER_08	Derrumbe de suelo y roca	582908	8547829	6885.65
DER_09	Derrumbe de suelo y roca	582938	8547977	3483.07
DER_10	Derrumbe de suelo y roca	583046	8547970	40875.59
DER_11	Derrumbe de suelo y roca	583268	8548151	5376.53
DER_12	Derrumbe de suelo y roca	583347	8548209	6668.92
DER_13	Derrumbe de suelo y roca	584597	8548368	99597.68
DER_14	Derrumbe de suelo y roca	584159	8548180	14866.68
DER_15	Derrumbe de suelo y roca	584370	8548393	24761.81
DER_16	Derrumbe de suelo y roca	584328	8548547	3257.01
DER_17	Derrumbe de suelo y roca	584697	8548496	115554.71
DER_18	Derrumbe de suelo y roca	585072	8548809	88020.83
DER_19	Derrumbe de suelo y roca	584961	8549243	35746.72
DER_20	Derrumbe de suelo y roca	584920	8549530	14022.93

Fuente: Elaboración propia.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA				FOTOGRAFÍA /FIGURA
ESTE	NORTE	COTA	ZONA	
583842.13	8547889.16	2735	18	
REGIÓN/DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LUGAR	
Ayacucho	Huamanga	Jesús Nazareno	Margen derecha de la quebrada y parte baja ambas márgenes de la quebrada Picota	
TIPOLOGÍA				
TIPO DE PELIGRO		NOMBRE ESPECÍFICO		
Caída		Derrumbe		
DESCRIPCIÓN				
Presenta un substrato de mala calidad compuesto por sedimentarios de tipo arenas gruesas a finas, arcillitas, con intercalaciones de microconglomerados y limolitas de la Formación Ayacucho-Miembro Superior, con pendientes fuerte a muy fuertes (15° - 45°) y presenta matorrales y en algunos casos ausencia de vegetación.				
ESTADO DE LA ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO			EVIDENCIAS VISUALES DEL MOVIMIENTO EN MASA	
Inactivo -latente			El derrumbe tiene como zona de arranque roca de tipo sedimentaria arenas gruesas a finas, arcillitas, con intercalaciones de microconglomerados y limolitas, presentando una forma irregular continua, las características del depósito presenta arbustos por ser derrumbes antiguos, pero podrían ser reactivados con las precipitaciones pluviales o por acción humana.	





UBICACIÓN GEOGRÁFICA				FOTOGRAFÍA /FIGURA
ESTE	NORTE	COTA	ZONA	
582854.73	8547879.01	2808	18	
REGIÓN/DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LUGAR	
Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	Margen izquierda de la quebrada Picota	
TIPOLOGÍA				
TIPO DE PELIGRO		NOMBRE ESPECÍFICO		
Caída		Derrumbe		
DESCRIPCIÓN				
Presenta un substrato de mala calidad compuesto por sedimentarios de tipo arenas y limolitas de la Formación Ayacucho-Miembro Inferior, con pendientes muy fuertes (25° - 45°) y presenta ausencia de vegetación, ocurre en un corte de talud para la construcción de viviendas.				
ESTADO DE LA ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				EVIDENCIAS VISUALES DEL MOVIMIENTO EN MASA
Reactivado				El derrumbe tiene como zona de arranque roca de tipo sedimentaria arenas y limolitas, presentando una forma irregular continua, las características del depósito presenta bloques aislado desde 20 cm hasta 50 cm . Tiene una longitud de arranque 12 m, ancho 15.26 m, Área: 274.18 m2

UBICACIÓN GEOGRÁFICA				FOTOGRAFÍA /FIGURA
ESTE	NORTE	COTA	ZONA	
582896.57	8547744.81	2803	18	
REGIÓN/DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LUGAR	
Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	Margen izquierda de la quebrada Picota	
TIPOLOGÍA				
TIPO DE PELIGRO		NOMBRE ESPECÍFICO		
Caída		Derrumbe		
DESCRIPCIÓN				
Presenta un substrato de mala calidad compuesto por tobas con matriz de ceniza meteorizada, intercalada con niveles de arenas y limolitas de la Formación Ayacucho .Miembro Inferior, con pendientes fuertes a muy fuertes (15° - 45°) y presenta ausencia de vegetación, ocurre en un corte de talud y ladera natural.				
ESTADO DE LA ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				EVIDENCIAS VISUALES DEL MOVIMIENTO EN MASA
Reactivado				El derrumbe tiene como zona de arranque roca de tipo toba, presentando una forma irregular continua, las características del depósito presenta bloques aislado desde 0.40 m hasta 1.30 m . DER_21: Tiene una longitud de arranque 12 m, ancho 15 m, Área: 320 m2 DER_22: Tiene una longitud de arranque 38 m, ancho 58 m, Área: 1757 m2

Estos depósitos producto de los derrumbes a lo largo de ambas márgenes de la quebrada Picota, generalmente se encuentran cubierto por vegetación disperso de tipo matorrales. Estos procesos generalmente ocurren en laderas con pendientes fuerte a muy fuerte (15° - 45°), formando depósitos coluviales con clastos que van desde 10 cm a 25 cm de diámetro, siendo de origen sedimentario, volcánico.

En la zona de estudio estos procesos tienen como factor desencadenante las precipitaciones pluviales, la erosión fluvial en la base del talud y por factor antrópico (cortes de talud, saturación del terreno por aguas residuales vertidas directamente a las laderas) (Figura 32).



Figura 32. Derrumbe en la margen izquierda de la quebrada Picota, provocado por el corte de talud para la construcción de una vivienda.

Derrumbes antiguos que presentan una actividad inactiva-latente se pueden observar distribuidos a lo largo de la quebrada Picota en ambas márgenes del cauce principal de la quebrada, lo cual podría atribuir como factor desencadenante a la erosión fluvial en periodos de lluvias (Figuras 33y 34).



Figura 33. Vista de derrumbes antiguos con actividad inactivo latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera.





Figura 34. Vista de derrumbes distribuidos en ambas márgenes del cauce principal de la quebrada picota.



Fotografía 17. Vista de derrumbe antiguo con actividad inactivo latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera.

### 6.3.2.2.Deslizamiento (Slide)

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





Varnes (1978) clasifica los deslizamientos de acuerdo con su superficie de falla por el cual se desplaza el material, estos son: deslizamientos traslacional y rotacional, los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña.

#### 6.3.2.2.1. *Deslizamiento traslacional (Translational slide)*

Es un tipo de deslizamiento en el que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana o ya sea ondulada. Estos movimientos suelen ser más superficiales que los deslizamientos rotacionales, en cuanto al desplazamiento ocurre frecuentemente a lo largo de discontinuidades ya sean fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre rocas y el suelo residual (Cruden y Varnes, 1996) (Figura 35).

En el caso en la que el movimiento traslacional se realiza a través de un solo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981), en cuanto si el movimiento está delimitado por dos planos de discontinuidades los cuales se intersectan entre sí e intersecta la cara de la ladera o el talud, donde el cuerpo del material se desplaza en dirección de la línea de intersección de ambos planos, estos movimientos se denominan deslizamiento en cuña.

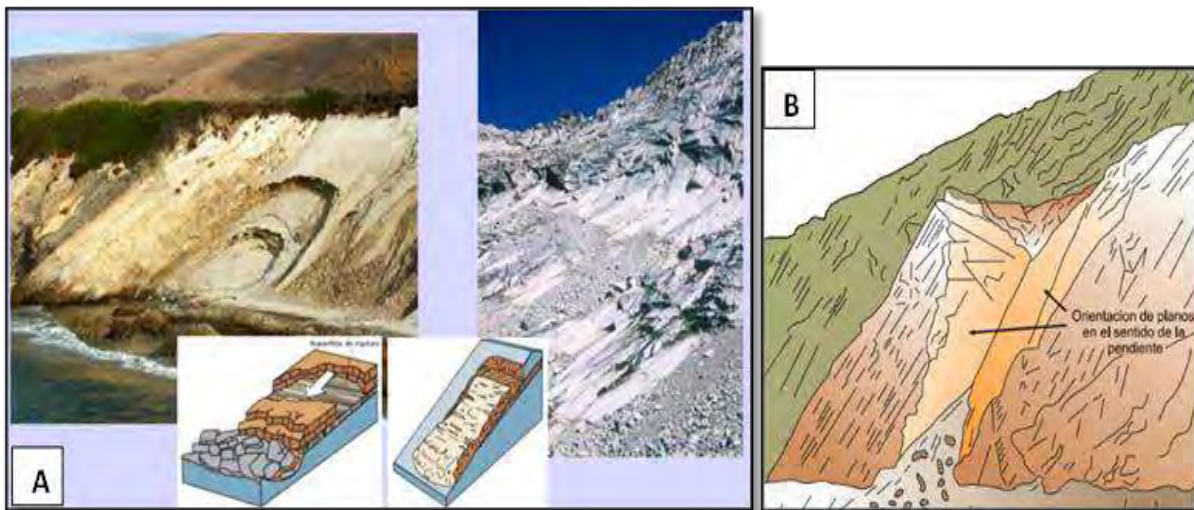


Figura 35. A) Ejemplos de deslizamientos traslacionales en roca, a través del plano de estratificación; B) Esquema de un deslizamiento en cuña.

#### 6.3.2.2.2. *Deslizamiento rotacional (Rotational slide)*

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa del cuerpo del deslizamiento se mueve a lo largo de una superficie de falla curva o cóncava. Este movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional se caracteriza por presentar una morfología distintiva representada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Figura 36). La deformación interna de la masa desplazada es

usualmente muy poca, debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes.

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir a una velocidad de menos de 1 m/s y puede ocurrir lentamente a rápidamente.

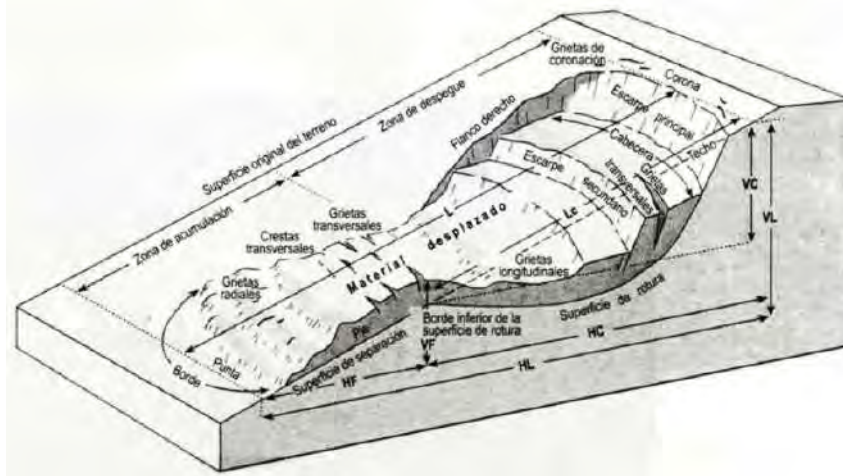


Figura 36. Partes de un deslizamiento rotacional. (Modificado de Cruden y Varnes, 1996), donde se muestra los rasgos morfológicos y perfil del deslizamiento.

Dentro del área de estudio exactamente en la ladera sur del cerro Uma Orcco (Tabla 19), se identificó un deslizamiento de tipo rotacional, el cual presenta una actividad inactivo latente que afecta la toba 2 correspondiente a la Formación Ayacucho-miembro inferior.

Tabla 19. Inventario de deslizamientos dentro del área de estudio.

Código	Subtipo	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )
		X	Y	
DES_01	Deslizamiento rotacional	586691	8548083	82742.87

*Fuente: Elaboración propia.*

El deslizamiento rotacional denominado como DES\_01, corresponde a un movimiento en masa que afecta más de 8 hectáreas de superficie, actualmente se encuentra cubierto por vegetación de tipo matorrales, presenta un escarpe principal con un salto de 10 m, actualmente el escarpe se encuentra reforestado por arbustos y erosionado, presenta una pendiente promedio de 30°, tiene una longitud de 345 m y un ancho de 368 m (considerando la longitud y el ancho mayor).



### 6.3.2.3. Flujo (Flow)

Es un tipo de movimiento en masa que tiene un comportamiento semejante al de un fluido mientras se mueve, este movimiento puede ser rápido o lento, saturado o seco. Muchas veces surgen de otro tipo de movimiento previo, ya sea una caída o un deslizamiento. (Varnes, 1978).

El flujo implica una mayor deformación interna que un deslizamiento, Los flujos pueden subdividirse en varios tipos en función del material al que afectan: flujos de detritos, flujos de tierra y flujos de roca (Dikau et al., 1996a; Dikau, 2004).

Según la guía del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA (2007) los flujos pueden ser canalizados y no canalizados. Los flujos se clasifican en varios subtipos entre ellos flujos de detritos y flujo de lodo, sin embargo, en el área de estudio se reconoció este último.

#### 6.3.2.3.1. Flujo de Lodo

Este tipo de movimiento en masa corresponde a un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos cuyo contenido de agua es significativamente mayor en comparación al material fuente (PMA: GCA, 2007).

El movimiento de este tipo es parecido al flujo de detritos, pero la fracción arcillosa cambia la reología del material. (fotografía 18).



Fotografía 18. Vista de derrumbe antiguo con actividad inactiva latente, donde se observa el depósito adosado al pie de la ladera.





### 6.3.3. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

#### 6.3.3.1. Erosión

Es un término amplio aplicado a las diversas maneras como los agentes móviles (agua, viento, glaciares) desprenden y transportan los productos de la meteorización y de la sedimentación, produciendo pérdida de materiales en la superficie de la corteza terrestre (Villota, 2005)

Según las condiciones imperantes en cada región y de acuerdo con la intervención positiva o negativa del hombre, el desgaste y modelado de la superficie terrestre producido por la escorrentía y otros agentes móviles puede ocurrir como un proceso normal (erosión geológica) o como un proceso anormal. (erosión acelerada del suelo).

##### 6.3.3.1.1. Erosión de laderas

La erosión de laderas provocado por el agua puede ser en láminas, surcos y en cárcavas.

**a. Erosión en láminas o erosión laminar:** Se refiere a la remoción más o menos uniforme de láminas delgadas de suelos desde superficies inclinadas, sin formar un claro canal de desagüe. (Soil Survey Staff, 1993).

En la erosión laminar intervienen dos procesos fundamentales 1) el desprendimiento de partículas de suelo por la lluvia, y 2) el alejamiento de dichas partículas desde su emplazamiento primitivo por escurrimiento difuso (Villota, 2005)

**b. Erosión en surcos:** Este tipo de erosión se desarrolla a partir de la erosión laminar, donde la remoción de suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por cursos intermitentes de escorrentía. Estos procesos ocurren en suelos poco permeables y con pendientes empinadas, o cuando los aguaceros son intensos y prolongados. Los surcos de erosión son estos canales estrechos, superficiales (menos de 30 centímetros de profundidad) y de tendencia lineal. (Villota, 2005)

**c. Erosión en cárcavas:** Es un proceso intenso que ocurre cuando el escurrimiento superficial en un declive aumenta un volumen o velocidad, lo suficiente como para disectar profundamente el suelo.

Por lo tanto, la formación de las cárcavas tiene relación directa con la cantidad de agua de escurrimiento (intensidad de los aguaceros) y la velocidad de esta, además están reguladas por las características de los suelos (permeabilidad, cohesión), del relieve, del clima y de la cobertura vegetal protectora (Villota, 2005)



Según lo indicado por Villota (2005), las cárcavas tienen dimensiones muy variadas, desde estrechas, poco profundas (menos de un metro), hasta muy amplias y de varios metros de profundidad (30 x 15 metros y mayores aún). El perfil transversal de las cárcavas puede ser en V o en U, según que los materiales afectados sean de texturas finas o compactas y resistentes a la erosión o en su efecto texturas más gruesas, con menor cohesión y resistencia al socavamiento.

**d. Erosión de laderas de tipo cárcavas en la zona de estudio:** En nuestro área de estudio se identificaron erosión de laderas de tipo cárcavas (Tabla 20), estos se encuentran distribuidos a lo largo de las laderas que conforman la quebrada Picota y alrededores, este tipo de procesos distribuidos densamente en algunas zonas hace que las laderas se clasifiquen geomorfológicamente como laderas disectadas (Fotografías 19, 20 y 21).

Este tipo de procesos provocan acumulaciones de materiales sueltos, los cuales durante las precipitaciones pluviales son arrastrados provocando flujo de lodo.

Tabla 20. Inventario de erosión de laderas dentro del área de estudio.

Código	Subtipo	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )
		X	Y	
CAR_01	Erosión en cárcavas	584631	8547136	61551.13
CAR_02	Erosión en cárcavas	585502	8548787	246602.6
CAR_03	Erosión en cárcavas	585378	8548968	13283.83
CAR_04	Erosión en cárcavas	585321	8549266	229643.19
CAR_05	Erosión en cárcavas	585119	8549708	196116.47
CAR_06	Erosión en cárcavas	584854	8549855	65315.82
CAR_07	Erosión en cárcavas	584648	8549793	75352.23
CAR_08	Erosión en cárcavas	584835	8549437	18325.27
CAR_09	Erosión en cárcavas	584827	8549067	73843.07
CAR_10	Erosión en cárcavas	584905	8548646	10233.23
CAR_11	Erosión en cárcavas	584468	8548675	90095.71
CAR_12	Erosión en cárcavas	584283	8548578	59884.95
CAR_13	Erosión en cárcavas	584101	8548322	37349.02
CAR_14	Erosión en cárcavas	584350	8548205	2717.91
CAR_15	Erosión en cárcavas	584018	8548158	33259.49
CAR_16	Erosión en cárcavas	583414	8548279	88893.38
CAR_17	Erosión en cárcavas	583210	8548145	3419.49
CAR_18	Erosión en cárcavas	583154	8548162	14011.65
CAR_19	Erosión en cárcavas	583007	8548066	43016.27
CAR_20	Erosión en cárcavas	582796	8547954	89620.71
CAR_21	Erosión en cárcavas	582317	8547607	29049.98
CAR_22	Erosión en cárcavas	582105	8546997	165585.64



CAR_23	Erosión en cárcavas	582918	8546773	82057.58
CAR_24	Erosión en cárcavas	582695	8545742	4526.34
CAR_25	Erosión en cárcavas	582524	8545691	48045.75
CAR_26	Erosión en cárcavas	582303	8545559	16934.3
CAR_27	Erosión en cárcavas	582376	8545213	24597.88
CAR_28	Erosión en cárcavas	584107	8549162	55823.01
CAR_29	Erosión en cárcavas	583335	8548914	9747.54
CAR_30	Erosión en cárcavas	583185	8548967	6084.46
CAR_31	Erosión en cárcavas	583013	8548660	168969.68

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 19. Vista de la erosión de laderas de tipo cárcavas, ubicado en la ladera este del cerro Buena Vista.



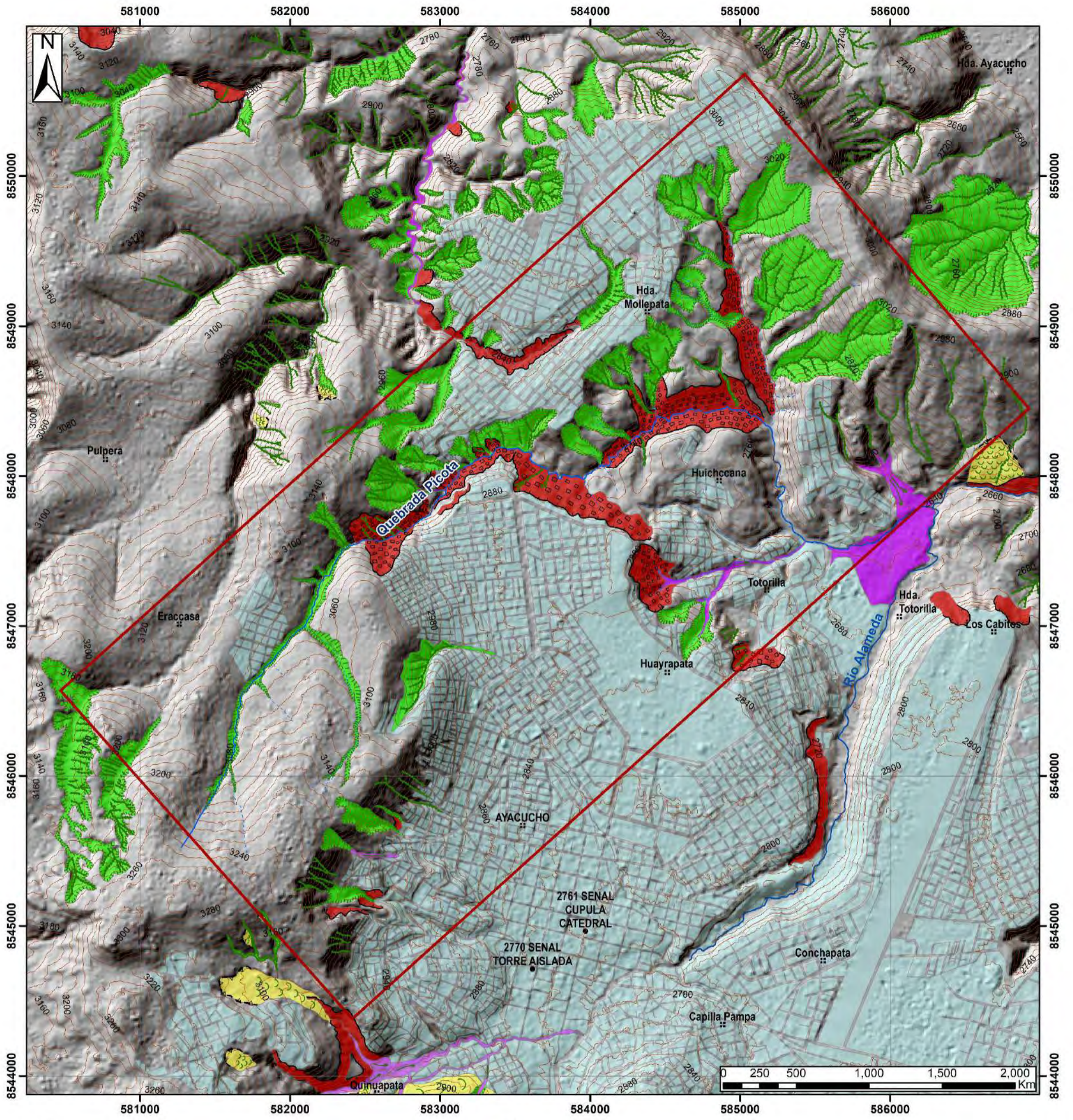


Fotografía 20. Vista de erosión de laderas de tipo cárcavas que disecta la ladera este del cerro Buena Vista.



Fotografía 21. Vista de erosión de laderas de tipo cárcava, ubicado en el sector de Mollepata.





LEYENDA			
Peligro	Tipo de peligro	Subtipo	Trama
	Caída	Caída de rocas	
		Derrumbe	
Movimientos en masa	Deslizamiento	Deslizamiento rotacional	
		Flujo	Flujo de lodo
		Flujo de detritos	
Otros peligros geológicos	Erosión de laderas	Erosión en cárcavas	

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Localidad
	Capital de distrito
	Curvas de nivel
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
Título de Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA DE GEODINAMICA EXTERNA</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		<b>08</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	
Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	Fecha de elaboración: 2023	





## **CAPÍTULO VII: SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA**

### **7.1. GENERALIDADES**

La mayor o menor probabilidad de que un peligro afecte u ocurra en un área geográfica específica se conoce como susceptibilidad del territorio para este tipo de estudio de movimientos en masa (CENEPRED, 2019)

La susceptibilidad se conoce como la propensión o tendencia de una región a ser afectada o estar bajo la influencia de un proceso específico, como los movimientos en masa (Ayala-Carcedo, 2002).

La estimación de la susceptibilidad está en base de la correlación de los factores condicionantes que contribuyen a la formación y ocurrencia de los movimientos en masa.

Es importante mencionar que los mapas de susceptibilidad a movimientos en masa, si bien pueden identificar áreas donde puede generarse potencialmente procesos o peligros, en ellos no figura la totalidad de zonas que pueden ser afectadas y tampoco predicen cuándo ocurrirán los procesos analizados.

### **7.2. FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD Y DETERMINACIÓN DE LOS PESOS PONDERADOS**

El análisis SIG se realizó por medio del software ArcGIS de ESRI, en su versión 10.5. Los factores condicionantes (características intrínsecas del terreno) analizados han sido: pendiente, geomorfología, geología, hidrogeología y cobertura vegetal. Teniendo en cuenta que cada factor, influye de diferente forma sobre la estabilidad de las laderas, cada factor ha sido evaluada teniendo en cuenta cinco descriptores cada uno de ellos, para analizar la relación de cada unidad en relación con la ocurrencia de movimientos en masa.

La susceptibilidad está condicionada por la combinación de sus factores condicionantes (características intrínsecas del terreno) y desencadenantes (características extrínsecas, que vendrían a ser el factor detonante para que ocurra el proceso). En esta investigación se consideró como factores condicionantes y desencadenantes los siguientes:





Tabla 21. Parámetros considerados para la evaluación de la susceptibilidad.

FACTORES CONDICIONANTES	FACTORES DESENCADENANTES
Litología	Hidrología (Precipitación acumulada mensual)
Geomorfología	
Pendientes	
Hidrogeología	
Cobertura vegetal	

### 7.2.1. Factores Condicionantes

Corresponde a características intrínsecas del terreno que contribuye de manera favorable o desfavorable al desarrollo de los movimientos en masa.

Para poder determinar los pesos ponderados de cada uno de los parámetros correspondiente a cada uno de los factores condicionantes, se utilizó el proceso de análisis jerárquico de cada uno de ellos.

En las tablas 22, 23 y 24 se presentan la valoración de la ponderación de los Factores condicionantes:

Tabla 22. Matriz de comparación de pares de los factores condicionantes

<b><u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u></b>					
<b>PARAMETRO</b>	Litología	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal	Hidrogeología
Litología	1.000	2.000	5.000	7.000	9.000
Pendiente	0.500	1.000	3.000	4.000	7.000
Geomorfología	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Cobertura vegetal	0.143	0.250	0.333	1.000	3.000
Hidrogeología	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
SUMA	1.954	3.726	9.533	15.333	25.000
1/SUMA	0.512	0.268	0.105	0.065	0.040



Tabla 23. Matriz de normalización de pares de la litología

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Litología	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal	Hidrogeología	<b>Vector Priorizacion</b>
Litología	0.512	0.537	0.524	0.457	0.360	0.478
Pendiente	0.256	0.268	0.315	0.261	0.280	0.276
Geomorfología	0.102	0.089	0.105	0.196	0.200	0.138
Cobertura vegetal	0.073	0.067	0.035	0.065	0.120	0.072
Hidrogeología	0.057	0.038	0.021	0.022	0.040	0.036
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**PESO PONDERADO DE  
LOS PARAMETROS**

<b>Porcentaje (%)</b>
47.790
27.596
13.847
7.208
3.558

Tabla 24. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
Resultados de la operación de matrices					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.478	0.552	0.692	0.505	0.320	2.547
0.239	0.276	0.415	0.288	0.249	1.468
0.096	0.092	0.138	0.216	0.178	0.720
0.068	0.069	0.046	0.072	0.107	0.362
0.053	0.039	0.028	0.024	0.036	0.180

	<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
	5.330
	5.319
	5.201
	5.026
	5.054
SUMA	25.929
PROMEDIO	5.186

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

0.046
0.042



Para evaluar el fenómeno de movimientos en masa se han considerado los siguientes parámetros como factores condicionantes:

## A. LITOLOGÍA

La litología de la zona de estudio es uno de los factores condicionantes importantes que fue considerado para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa, por lo que se tomó en consideración el análisis de las propiedades de las formaciones geológicas y los depósitos superficiales tomando en cuenta el tipo de material, fracturamiento (en caso de rocas), su grado de meteorización, así como la granulometría y permeabilidad que presentan las unidades litoestratigráficas.

Para este análisis se consideró 5 descriptores los cuales fueron agrupados de acuerdo con su composición y su capacidad de resistencia a la ocurrencia de movimientos en masa.

En las tablas 25, 26 y 27 se presentan la valoración de la ponderación de los descriptores de la litología:

Tabla 25. Matriz de comparación de pares de tipo de litología.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Depósito coluvial, deluvial,	Limolitas, arenas y arcillas	Microconglomerados, arenas y	Tobas retrabajadas poco	Flujos de lava, dep. aluvial, fluvial
Depósito coluvial, deluvial, proluvial, antrópicos	1.000	4.000	5.000	7.000	9.000
Limolitas, arenas y arcillas	0.250	1.000	3.000	5.000	7.000
Microconglomerados, arenas y limos	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Tobas retrabajadas poco consolidadas	0.143	0.200	0.333	1.000	2.000
Flujos de lava, dep. aluvial, fluvial	0.111	0.143	0.200	0.500	1.000
SUMA	1.704	5.676	9.533	16.500	24.000
1/SUMA	0.587	0.176	0.105	0.061	0.042





Tabla 26. Matriz de normalización de pares de la litología.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Depósito coluvial, deluvial, proluvial, antrópicos	Limolitas, arenas y arcillas	Microconglomerados, arenas y limos	Tobas retrabajadas poco consolidadas	Flujos de lava, dep. aluvial, fluvial	<b>Vector Priorizacion</b>
Depósito coluvial, deluvial, proluvial, antrópicos	0.587	0.705	0.524	0.424	0.375	0.523
Limolitas, arenas y arcillas	0.147	0.176	0.315	0.303	0.292	0.246
Microconglomerados, arenas y limos	0.117	0.059	0.105	0.182	0.208	0.134
Tobas retrabajadas poco consolidadas	0.084	0.035	0.035	0.061	0.083	0.060
Flujos de lava, dep. aluvial, fluvial	0.065	0.025	0.021	0.030	0.042	0.037
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS**

Porcentaje (%)
52.306
24.645
13.423
5.960
3.666

Tabla 27. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
Resultados de la operación de matrices					Vector Suma Ponderado
0.523	0.986	0.671	0.417	0.330	2.927
0.131	0.246	0.403	0.298	0.257	1.335
0.105	0.082	0.134	0.179	0.183	0.683
0.075	0.049	0.045	0.060	0.073	0.302
0.058	0.035	0.027	0.030	0.037	0.187
					<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
					5.596
					5.415
					5.089
					5.062
					5.090
				<b>SUMA</b>	26.253
				<b>PROMEDIO</b>	5.251
				<b>IC</b>	0.063
				<b>RC</b>	0.056

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**



## B. PENDIENTE

La pendiente de terrenos considerado uno de los principales factores condicionantes dinámicos para la ocurrencia de movimientos en masa, este factor determina la energía cinética y potencial de una masa inestable.

Si bien no se debe generalizar para todo tipo de ambiente la relación que tiene entre la pendiente y movimientos en masa, ya que esta dependerá del tipo de material y como se encuentre en el ambiente. Así la pendiente de terreno es considerada un parámetro muy importante en el análisis de la susceptibilidad.

En las tablas 28, 29 y 30 se presentan la valoración de la ponderación de los descriptores de la pendiente del terreno:

Tabla 28. Matriz de comparación de pares de tipo de grado de pendientes.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Pendiente muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpado (>45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5° - 15°)	Terreno inclinado con pendiente suave (1° - 5°)	Terrenos llanos (<1°)
Pendiente muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpado (>45°)	1.000	4.000	5.000	8.000	9.000
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.250	1.000	3.000	6.000	7.000
Pendiente moderada (5° - 15°)	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Terreno inclinado con pendiente suave (1° - 5°)	0.125	0.167	0.333	1.000	2.000
Terrenos llanos (<1°)	0.111	0.143	0.200	0.500	1.000
<b>SUMA</b>	1.686	5.643	9.533	18.500	24.000
<b>1/SUMA</b>	0.593	0.177	0.105	0.054	0.042



Tabla 29. Matriz de normalización de pares de grado de pendientes.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Pendiente muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpado (>45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5° - 15°)	Terreno inclinado con pendiente suave (1° - 5°)	Terrenos llanos (<1°)	<b>Vector Priorizacion</b>
Pendiente muy fuerte (25° - 45°) a muy escarpado (>45°)	0.593	0.709	0.524	0.432	0.375	0.527
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.148	0.177	0.315	0.324	0.292	0.251
Pendiente moderada (5° - 15°)	0.119	0.059	0.105	0.162	0.208	0.131
Terreno inclinado con pendiente suave (1° - 5°)	0.074	0.030	0.035	0.054	0.083	0.055
Terrenos llanos (<1°)	0.066	0.025	0.021	0.027	0.042	0.036
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS**

<b>Porcentaje (%)</b>
52.677
25.123
13.062
5.520
3.618

Tabla 30. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
<b>Resultados de la operación de matrices</b>					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.527	1.005	0.653	0.442	0.326	2.952
0.132	0.251	0.392	0.331	0.253	1.359
0.105	0.084	0.131	0.166	0.181	0.666
0.066	0.042	0.044	0.055	0.072	0.279
0.059	0.036	0.026	0.028	0.036	0.184

	<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
	5.604
	5.410
	5.101
	5.051
	5.095
<b>SUMA</b>	26.260
<b>PROMEDIO</b>	5.252

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

<b>IC</b>	0.063
<b>RC</b>	0.057





### C. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es considerada como uno de los factores condicionantes importantes para el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa, se agrupó en 5 descriptores, la valorización de estos descriptores se dio de acuerdo con la cantidad de ocurrencias de movimientos en masa en cada una de las unidades geomorfológicas.

En las tablas 31, 32 y 33 se presentan la valoración de la ponderación de los descriptores de la geomorfología:

Tabla 31. Matriz de comparación de pares de unidades geomorfológicas.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Vertientes y Piedemontes cuaternarios y depósitos antropogénicos	Laderas disectadas	Ladera en roca sedimentaria y volcánica	Montaña, colina y Lomada	Altiplanicie en roca sedimentaria, meseta volcánica, planicie y terraza aluvial
Vertientes y Piedemontes cuaternarios y depósitos antropogénicos	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Laderas disectadas	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
Ladera en roca sedimentaria y volcánica	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Montaña, colina y Lomada	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Altiplanicie en roca sedimentaria, meseta volcánica, planicie y terraza aluvial	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
SUMA	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/SUMA	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040



Tabla 32. Matriz de normalización de pares de unidades geomorfológicas.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Vertientes y Piedemonte s cuaternarios y depósitos antropogénicos	Laderas disectadas	Ladera en roca sedimentaria y volcánica	Montaña, colina y Lomada	Altiplanicie en roca sedimentaria, meseta volcánica, planicie y terraza aluvial	<b>Vector Priorizacion</b>
Vertientes y Piedemonte s cuaternarios y depósitos antropogénicos	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Laderas disectadas	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Ladera en roca sedimentaria y volcánica	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Montaña, colina y Lomada	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Altiplanicie en roca sedimentaria, meseta volcánica, planicie y terraza aluvial	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000



Tabla 33. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
<b>Resultados de la operación de matrices</b>					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

	<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
	5.455
	5.432
	5.204
	5.030
	5.093
SUMA	26.213
PROMEDIO	5.243

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

<b>IC</b>	0.061
<b>RC</b>	0.054



## D. COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal es considerada como factor condicionante porque la presencia o ausencia de cobertura vegetal ayuda o desfavorece en los procesos de movimientos en masa. La cobertura vegetal contribuye en el control de erosión de laderas.

Este factor es considerado importante en el análisis de la susceptibilidad de movimientos en masa por la capacidad de cobertura del suelo (mientras más densa sea la cobertura vegetal protegerá mejor el terreno). Se consideró 5 descriptores para el análisis comparación de pares.

En las tablas 34, 35 y 36 se presentan la valoración de la ponderación de los descriptores de la cobertura vegetal:

Tabla 34. Matriz de comparación de pares de cobertura vegetal.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Suelo sin cobertura vegetal	Matorrales	Pastizales y cultivos	Área urbana	Area de bosque disperso, bosque denso
Suelo sin cobertura vegetal	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Matorrales	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
Pastizales y cultivos	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Área urbana	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Area de bosque disperso, bosque denso	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
SUMA	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/SUMA	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040





Tabla 35. Matriz de normalización de pares de cobertura vegetal.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Suelo sin cobertura vegetal	Matorrales	Pastizales y cultivos	Área urbana	Área de bosque disperso, bosque denso	<b>Vector Priorizacion</b>
Suelo sin cobertura vegetal	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Matorrales	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Pastizales y cultivos	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Área urbana	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Área de bosque disperso, bosque denso	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000



**PESO PONDERADO DE  
LOS PARAMETROS**

<b>Porcentaje (%)</b>
50.282
26.023
13.435
6.778
3.482

Tabla 36. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
<b>Resultados de la operación de matrices</b>					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>	
5.455	
5.432	
5.204	
5.030	
5.093	
<b>SUMA</b>	26.213
<b>PROMEDIO</b>	5.243

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

<b>IC</b>	0.061
<b>RC</b>	0.054



## E. HIDROGEOLOGÍA

Como quinto factor condicionante fue considerado la hidrogeología puesto que es un factor común asociado a la ocurrencia de movimientos en masa y en general a la inestabilidad de los taludes, porque la mayoría de estas inestabilidades ocurren durante o después de periodos de lluvias, siendo el agua subterránea un principal factor de ocurrencia de estos.

Las precipitaciones pluviales, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, pueden producir acumulación de agua subterránea, debido que el talud o ladera no ha drenado el agua filtrada, por lo tanto, al ocurrir una siguiente lluvia se produce un incremento del nivel freático. El régimen de aguas subterráneas en respuesta a las lluvias será diferente según la pendiente de la ladera, su litología y vegetación (Vílchez et al., 2013).

En el caso que el talud se sature, la facilidad o dificultad con que el talud se autodrene dependerá de las formaciones geológicas. Por tanto, la presencia de mantos permeables de evacuación de agua favorece grandemente su estabilidad. Los materiales impermeables que impiden el paso de las corrientes de agua subterránea facilitan la ocurrencia de movimientos en masa (Vílchez et al., 2013).

En las tablas 37, 38 y 39 se presentan la valoración de la ponderación de los descriptores de las unidades hidrogeológicas:



Tabla 37. Matriz de comparación de pares de unidades hidrogeológicas.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Acuitardo coluvial, proluvial, antropógeno	Acuitardo Ayacucho superior, volcánico sedimentario deluvial	Acuífero fisurado sedimentario	Acuitardo volcánico residual y ayacucho inferior	Acuífero fisurado volcánico, acuitardo Tigrayoc y Acuífero poroso no consolidado
Acuitardo coluvial, proluvial, antropógeno	1.000	4.000	5.000	7.000	9.000
Acuitardo Ayacucho superior, volcánico sedimentario deluvial	0.250	1.000	3.000	5.000	7.000
Acuífero fisurado sedimentario	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Acuitardo volcánico residual y ayacucho inferior	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Acuífero fisurado volcánico, acuitardo Tigrayoc y Acuífero poroso no consolidado	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
SUMA	1.704	5.676	9.533	16.333	25.000
1/SUMA	0.587	0.176	0.105	0.061	0.040

Tabla 38. Matriz de normalización de pares de unidades hidrogeológicas

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Acuitardo coluvial, proluvial, antropógeno	Acuitardo Ayacucho superior, volcánico sedimentario deluvial	Acuífero fisurado sedimentario	Acuitardo volcánico residual y ayacucho inferior	Acuífero fisurado volcánico, acuitardo Tigrayoc y Acuífero poroso no consolidado	<b>Vector Priorizacion</b>
Acuitardo coluvial, proluvial, antropógeno	0.587	0.705	0.524	0.429	0.360	0.521
Acuitardo Ayacucho superior, volcánico sedimentario deluvial	0.147	0.176	0.315	0.306	0.280	0.245
Acuífero fisurado sedimentario	0.117	0.059	0.105	0.184	0.200	0.133
Acuitardo volcánico residual y ayacucho inferior	0.084	0.035	0.035	0.061	0.120	0.067
Acuífero fisurado volcánico, acuitardo Tigrayoc y Acuífero poroso no consolidado	0.065	0.025	0.021	0.020	0.040	0.034
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

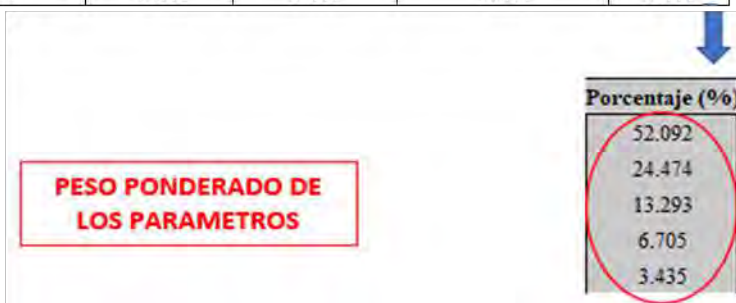






Tabla 39. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
Resultados de la operación de matrices					Vector Suma Ponderado
0.521	0.979	0.665	0.469	0.309	2.943
0.130	0.245	0.399	0.335	0.240	1.349
0.104	0.082	0.133	0.201	0.172	0.692
0.074	0.049	0.044	0.067	0.103	0.338
0.058	0.035	0.027	0.022	0.034	0.176

	Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion
	5.650
	5.514
	5.203
	5.038
	5.127
SUMA	26.531
PROMEDIO	5.306

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

<b>IC</b>	0.077
<b>RC</b>	0.069

### 7.2.2. Factor Desencadenantes

El factor desencadenante considerado para la ocurrencia de movimientos en masa en la quebrada Picota, de acuerdo con el análisis para el factor desencadenante que provoca procesos de movimientos en masa, se consideró las precipitaciones pluviales como condicionante a la ocurrencia de peligros.

#### A. Intensidad de Precipitación

Del mismo modo que los factores condicionantes se hizo el análisis jerárquico y elaborar la matriz de Saaty, realizando la comparación de pares y la normalización para hallar el vector priorización (Tablas 40, 41 y 42).



Tabla 40. Matriz de comparación de pares de la intensidad de precipitación.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	<b>Extremadamen te lluvioso Pmax &gt; 32.7 mm/día</b>	<b>Muy lluvioso 18.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 32.7 mm/día</b>	<b>Lluvioso 14.3 mm/día &lt;Pmax ≤ 18.6 mm/día</b>	<b>Moderadamente lluvioso 8.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 14.3 mm/día</b>	<b>Ligeramente lluvioso Pmax &lt; 8.6 mm/día</b>
<b>Extremadamen te lluvioso Pmax &gt; 32.7 mm/día</b>	1.000	4.000	7.000	8.000	9.000
<b>Muy lluvioso 18.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 32.7 mm/día</b>	0.250	1.000	5.000	8.000	9.000
<b>Lluvioso 14.3 mm/día &lt;Pmax ≤ 18.6 mm/día</b>	0.143	0.200	1.000	5.000	9.000
<b>Moderadament e lluvioso 8.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 14.3 mm/día</b>	0.125	0.125	0.200	1.000	5.000
<b>Ligeramente lluvioso Pmax &lt; 8.6 mm/día</b>	0.111	0.111	0.111	0.200	1.000
SUMA	1.629	5.436	13.311	22.200	33.000
1/SUMA	0.614	0.184	0.075	0.045	0.030



Tabla 41. Matriz de normalización de pares de la intensidad de precipitación.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	<b>Extremadamen te lluvioso Pmax &gt; 32.7 mm/día</b>	<b>Muy lluvioso 18.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 32.7 mm/día</b>	<b>Lluvioso 14.3 mm/día &lt;Pmax ≤ 18.6 mm/día</b>	<b>Moderadament e lluvioso 8.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 14.3 mm/día</b>	<b>Ligeramente lluvioso Pmax &lt; 8.6 mm/día</b>	<b>Vector Priorizacion</b>
<b>Extremadamen te lluvioso Pmax &gt; 32.7 mm/día</b>	0.614	0.736	0.526	0.360	0.273	0.502
<b>Muy lluvioso 18.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 32.7 mm/día</b>	0.153	0.184	0.376	0.360	0.273	0.269
<b>Lluvioso 14.3 mm/día &lt;Pmax ≤ 18.6 mm/día</b>	0.088	0.037	0.075	0.225	0.273	0.140
<b>Moderadament e lluvioso 8.6 mm/día &lt;Pmax ≤ 14.3 mm/día</b>	0.077	0.023	0.015	0.045	0.152	0.062
<b>Ligeramente lluvioso Pmax &lt; 8.6 mm/día</b>	0.068	0.020	0.008	0.009	0.030	0.027
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000



**PESO PONDERADO DE  
LOS PARAMETROS**

<b>Porcentaje (%)</b>
50.173
26.923
13.951
6.226
2.726





Tabla 42. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
<b>Resultados de la operación de matrices</b>					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.502	1.077	0.977	0.498	0.245	3.299
0.125	0.269	0.698	0.498	0.245	1.836
0.072	0.054	0.140	0.311	0.245	0.822
0.063	0.034	0.028	0.062	0.136	0.323
0.056	0.030	0.016	0.012	0.027	0.141

	<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
	6.818
	5.890
	5.185
	5.168
SUMA	23.061
PROMEDIO	4.612

<b>INDICE DE CONSISTENCIA</b>	
<b>RELACION DE CONSISTENCIA &lt; 0.1 (*)</b>	
<b>IC</b>	<b>0.097</b>
<b>RC</b>	<b>0.087</b>

### 7.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

En la actualidad existen diversas metodologías para poder abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera. Para el presente estudio el método aplicado es la metodología de Saaty.

Para la evaluación de la susceptibilidad del área de influencia por derrumbes en el área de estudio denominado como Quebrada Picota, se asignó pesos utilizando el método “Multicriterio” de Tomas L. Saaty, el cual realiza un proceso Analítico Jerárquico de cada descriptor obteniendo pesos mediante la comparación de a pares, en cada nivel de la jerarquía, se realiza una comparación de a pares tomando en cuenta la contribución de cada descriptor respecto a cada uno de los otros descriptores. La comparación de a pares se realiza en términos de importancia con el fenómeno que se está analizando.

Como resultado de este análisis jerárquico se obtiene el mapa de susceptibilidad con cuatro niveles: Bajo, Medio, Alto y Muy Alto (Mapa 09).



## 7.4. GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

Un mapa de susceptibilidad representa las zonas de un territorio que están o pueden estar bajo la acción de un proceso determinado. La elaboración de estos mapas es tanto más sencilla cuanto mejor definido esté el agente que regula el proceso y cuanto mayor sea la población de datos sobre los signos característicos de su actividad (Carrasco, et al., 2002).

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa es importante como herramienta para la planificación territorial, prevención y mitigación de riesgos para asegurar la estabilidad física de las áreas críticas identificadas.

Del análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa se caracterizaron en cuatro niveles de susceptibilidad (Tabla 43) descritas a continuación:

Tabla 43. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

RANGOS DE NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA (DERRUMBES)						
NIVEL	RANGO					ÁREA (ha)
MUY ALTO	0.260	≤	S	≤	0.394	305.13
ALTO	0.201	≤	S	<	0.260	650.43
MEDIO	0.165	≤	S	<	0.201	580.04
BAJO	0.153	≤	S	<	0.165	251.44

- **BAJA SUSCEPTIBILIDAD**

Están identificadas de coloración verde, relacionadas a rocas volcánicas del Grupo Barroso – Formación Huari, compuesto por Lavas, zonas planas y en su mayoría cubierto por material impermeable (concreto).

Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas para poder generar movimientos en masa, en la zona de estudio y alrededores este nivel de susceptibilidad presenta morfología plana a ondulada con pendientes suaves a llanos (menores a  $< 5^\circ$ ), Ocupa un área de 592.211 ha representado el 11.361 %.

- **MEDIA SUSCEPTIBILIDAD**

Están identificadas de coloración amarillo, en su gran parte relacionado a litologías de tipo Tobas de la Formación Ayacucho miembro inferior y areniscas de la Formación Ayacucho Inferior.



Las condiciones intrínsecas del terreno presentan ciertas condiciones que podrían generar movimientos en masa, en la zona de estudio ocupan el 23.621 % con un área de 1231.296 ha, generalmente distribuidos en áreas con pendientes moderados (de 5° a 15°), se presentan en cimas de montañas en rocas sedimentarias y volcánicas.

- **ALTA SUSCEPTIBILIDAD**

Las condiciones intrínsecas del terreno presentan suficientes condiciones generadoras de movimientos en masa, estas áreas se encuentran generalmente distribuidos en laderas, altiplanicies, colinas, lomadas con pendientes fuertes (15° - 25°), se da en litologías de tipo tobas retransportadas intercaladas con limolitas de la Formación Ayacucho miembro superior y estos suelos se encuentran sin cobertura vegetal, esto lo hace susceptible a ocurrencia de peligros.

Ocupa el 48.621 % de la zona de estudio con un área total de 2534.465 ha, corresponden a áreas donde podrían generarse procesos geológicos, dentro de estas áreas de alta susceptibilidad, se debe considerar la restricción de construcción de viviendas, corte de talud, además se debe realizar estudios geotécnicos para la construcción de alguna infraestructura.

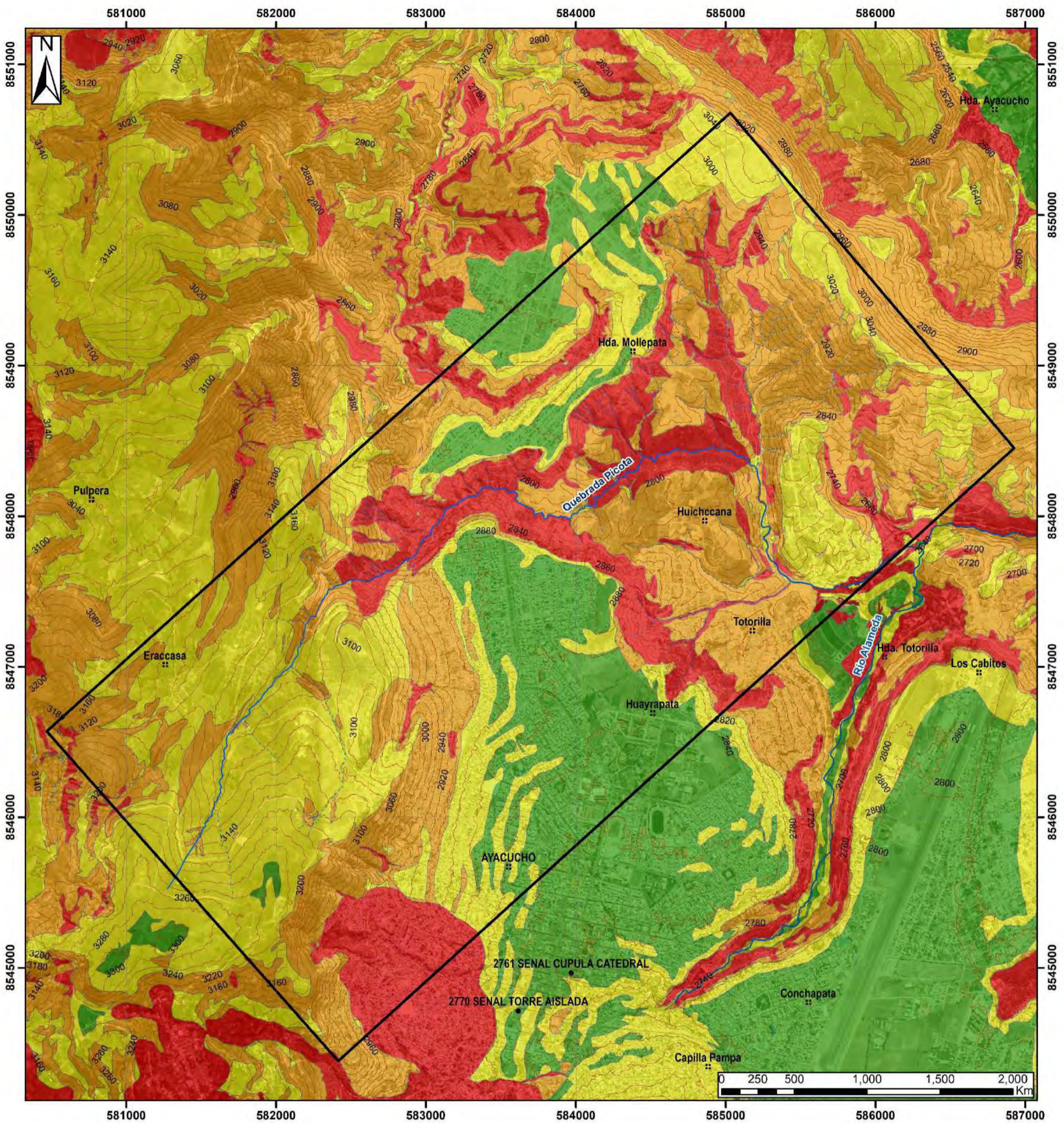
- **MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD**

Este nivel muy alto a la susceptibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en su mayoría se concentra en las zonas donde anteriormente ya ocurrió algún deslizamiento, derrumbe y que tiene una mayor tendencia a la inestabilidad de laderas provocando deslizamientos, derrumbes.

Se encuentran identificadas con el color rojo, representando zonas con depósitos antropogénicos, coluviales, deluviales con suelos sin cobertura vegetal.

Ocupa el 16.397 % de la zona de estudio abarcando un área de 854.740 ha, distribuyéndose en la mayoría en ambas márgenes del cauce de la quebrada y laderas circundantes con pendientes muy fuertes (25°-45°) y presentando erosión en las laderas.





LEYENDA			
Susceptibilidad por movimientos en masa (Derrumbes)			
Nivel de susceptibilidad		Rango	Área en ha
	MUY ALTO	$0.260 \leq S \leq 0.394$	305.13
	ALTO	$0.201 \leq S < 0.260$	650.43
	MEDIO	$0.165 \leq S < 0.201$	580.04
	BAJO	$0.153 \leq S < 0.165$	251.44

SIMBOLOGÍA	
	Área de estudio
	Localidad
	Capital de distrito
	Curvas de nivel
	Drenaje
	Quebrada Picota
	Río

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".		
<b>MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA</b>		
Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco		<b>09</b>
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	ESCALA: 1/25 000	
Sistema: WGS84 Zona: 18L Sur.	Fecha de elaboración: 2023	





## CAPÍTULO VIII: DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD

### 8.1. GENERALIDADES

Los niveles de peligrosidad representan las zonas con mayor o menor peligro a los procesos de movimientos en masa (Mapa 10).

Para la determinación de los niveles de Peligrosidad en el área de estudio Quebrada Picota, se analiza la susceptibilidad a movimientos en masa y el parámetro de evaluación considerado, para el caso de este estudio se consideró como parámetro de evaluación la velocidad del movimiento en masa, considerando la clasificación de velocidades según Cruden y Varnes (1996), (Tabla 44).

Tabla 44. Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996)

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

*Fuente: Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas (2007).*

### 8.2. PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

El parámetro de evaluación permite definir y caracterizar el peligro. Este parámetro es cartografiado como la manifestación del peligro sobre el área en evaluación (CENEPRED, 2019).



Para este estudio se consideró la velocidad del movimiento como parámetro de evaluación, el cual contiene 5 descriptores, cada uno de ellos representados por valores numéricos (pesos) para ser calculado empleando el proceso de Análisis Jerárquico de Saaty.

Del mismo modo que los factores condicionantes y factor desencadenante se hizo el análisis jerárquico y elaboración de la matriz de Saaty, realizando la comparación de pares y la normalización para hallar el vector priorización (Tablas 45, 46 y 47).

Tabla 45. Matriz de comparación de pares de la velocidad del movimiento.

<b>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</b>					
<b>PARAMETRO</b>	Muy rápido a extremadamente rápido $5 \times 10^3$	Rápido a muy rápido $5 \times 10^1$	Moderado a rápido $5 \times 10^{-1}$	Lento a moderada $5 \times 10^{-3}$	Muy lento $5 \times 10^{-5}$ a extremadamente lenta $5 \times 10^{-7}$
Muy rápido a extremadamente muy rápido $5 \times 10^3$	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Rápido a muy rápido $5 \times 10^1$	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
Moderado a rápido $5 \times 10^{-1}$	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Lento a moderada $5 \times 10^{-3}$	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Muy lento $5 \times 10^{-5}$ a extremadamente lenta $5 \times 10^{-7}$	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
SUMA	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/SUMA	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040





Tabla 46. Matriz de normalización de pares.

<b>MATRIZ DE NORMALIZACION</b>						
<b>PARAMETRO</b>	Muy rápido a extremadamente rápido $(5 \times 10^3)$	Rápido a muy rápido $5 \times 10^1$	Moderado a rápido $5 \times 10^{-1}$	Lento a moderada $5 \times 10^{-3}$	Muy lento $5 \times 10^{-5}$ a extremadamente lenta $5 \times 10^{-7}$	<b>Vector Priorizacion</b>
Muy rápido a extremadamente muy rápido $5 \times 10^3$	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Rápido a muy rápido $5 \times 10^1$	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Moderado a rápido $5 \times 10^{-1}$	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Lento a moderada $5 \times 10^{-3}$	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Muy lento $5 \times 10^{-5}$ a extremadamente lenta $5 \times 10^{-7}$	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS**

**Porcentaje (%)**  
 50.282  
 26.023  
 13.435  
 6.778  
 3.482

Tabla 47. Vector suma ponderada, Índice y relación de consistencia.

<b>HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO</b>					
Resultados de la operación de matrices					<b>Vector Suma Ponderado</b>
0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

	<b>Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion</b>
	5.455
	5.432
	5.204
	5.030
	5.093
SUMA	26.213
PROMEDIO	5.243

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*)**

0.061
0.054



### 8.3. MATRIZ DE DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO

Tabla 48. Matriz de determinación de los parámetros condicionantes.

PARAMETROS CONDICIONANTES					
LITOLOGÍA		PENDIENTES		GEOMORFOLOGIA	
(1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc
0.478	0.523	0.276	0.527	<b>0.138</b>	0.503
0.478	0.246	0.276	0.251	<b>0.138</b>	0.260
0.478	0.134	0.276	0.131	<b>0.138</b>	0.134
0.478	0.060	0.276	0.055	<b>0.138</b>	0.068
0.478	0.037	0.276	0.036	<b>0.138</b>	0.035

COBERTURA VEGETAL		HIDROGEOLOGÍA		Valor P Condicionante	Peso Condicionante
(1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc		
0.072	0.503	0.036	0.521	0.520	0.50
0.072	0.260	0.036	0.245	0.251	0.50
0.072	0.134	0.036	0.133	0.133	0.50
0.072	0.068	0.036	0.067	0.060	0.50
0.072	0.035	0.036	0.034	0.036	0.50

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 49. Matriz de determinación del parámetro desencadenante.

PARAMETROS DESENCADENANTES			
INTENSIDAD PRECIPITACION		Valor p Descadenante	Peso Desencadenante
ar	Pdesc		
1.00	0.269	0.269	0.50
1.00	0.269	0.269	0.50
1.00	0.269	0.269	0.50
1.00	0.269	0.269	0.50
1.00	0.269	0.269	0.50

*Fuente: Elaboración propia.*



Tabla 50. Matriz de determinación del valor de peligro, resultado de la susceptibilidad y parámetro de evaluación.

SUSCEPTIBILIDAD		PARAMETROS DE EVALUACIÓN		VALOR DEL PELIGRO
VALOR SUSCEPTIBILIDAD	PESO SUSCEPTIBILIDAD	Valor Parámetros generales	Peso parametro generales	
0.394	0.50	0.260	0.50	
0.260	0.50	0.260	0.50	0.260
0.201	0.50	0.260	0.50	0.231
0.165	0.50	0.260	0.50	0.212
0.153	0.50	0.260	0.50	0.206

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 51. Matriz de determinación del nivel de peligro.

RANGOS DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA (DERRUMBES)						
NIVEL	RANGO				ÁREA (ha)	
<b>MUY ALTO</b>	<b>0.260</b>	<b>≤</b>	<b>R</b>	<b>≤</b>	<b>0.327</b>	<b>306.3</b>
<b>ALTO</b>	<b>0.231</b>	<b>≤</b>	<b>R</b>	<b>&lt;</b>	<b>0.260</b>	<b>660.7</b>
<b>MEDIO</b>	<b>0.212</b>	<b>≤</b>	<b>R</b>	<b>&lt;</b>	<b>0.231</b>	<b>568.6</b>
<b>BAJO</b>	<b>0.206</b>	<b>≤</b>	<b>R</b>	<b>&lt;</b>	<b>0.212</b>	<b>251.44</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 8.4. ESTRATIFICACIÓN DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Cada uno de los cuatro niveles de peligro tiene una descripción que proviene de la relación de los descriptores de la capa de susceptibilidad y del parámetro de evaluación (Tabla 52).





Tabla 52. Estratificación del nivel de peligro

Nivel	Descripción	Rango		
<b>MUY ALTO</b>	El nivel de peligro muy alto en la quebrada Picota se da generalmente en las laderas de ambas márgenes del cauce principal de la quebrada a ser afectadas ante ocurrencia de derrumbes y erosión el cual es desencadenado por lluvias acumuladas de 18.6 mm/día a 32.7 mm/día, en zonas con pendientes fuertes (25° - 45°), en vertientes con depósitos coluvio deluviales, coluviales en suelos sin cobertura vegetal y matorrales (Fotografías 22, 23, 24 y 25).	<b>0.260</b>	<b>≤ P ≤</b>	<b>0.327</b>
<b>ALTO</b>	Zonas amenazadas por eventos de remoción en masa como derrumbes y erosión de laderas, en relieves con pendientes suaves a moderado (1° - 15°) en laderas de montañas en rocas sedimentarias de tipo areniscas, limolitas y algunos niveles de conglomerados, altiplanicies sedimentarias, lomadas en rocas sedimentarias con suelos sin cobertura vegetal, matorrales y área urbana (Fotografías 26 y 27).	<b>0.231</b>	<b>≤ P &lt;</b>	<b>0.260</b>
<b>MEDIO</b>	Zonas amenazadas por erosión de laderas con relieve de pendientes moderados (5° - 15°) a pendientes fuertes (15° - 25°), en montañas en rocas sedimentarias de tipo areniscas, limolitas y en montañas en rocas volcánicas de tipo tobas reabajadas poco consolidadas con matriz de ceniza con líticos de pómez con suelos de cultivo, pastizales y en ciertas zonas en suelos sin cobertura vegetal.	<b>0.212</b>	<b>≤ P &lt;</b>	<b>0.231</b>
<b>BAJO</b>	Zonas con relieve de pendientes con inclinación suave (1° - 5°), en mesetas volcánicas lávicas en rocas volcánicas compuesta por lavas grises oscuras asociadas a conos de escorias y material detrítico por meteorización in situ en área urbana.	<b>0.206</b>	<b>≤ P &lt;</b>	<b>0.212</b>

Fuente: elaboración propia



Fotografía 22. Vía Ayacucho – Sector Mollepata, se observa el paso del cauce de la quebrada Picota colmatado por depósitos de flujos de lodos antiguos.



Fotografía 23. Viviendas asentadas dentro del cauce de la quebrada, invadiendo el cauce natural de la quebrada, considerado como zona con nivel de peligrosidad muy alto.





Fotografía 24. Vista del cauce principal de la quebrada Picota, observándose depósitos de desmonte en las laderas de ambas márgenes del cauce, zona con nivel de peligrosidad Muy Alto para a ocurrencia de derrumbes.



Fotografía 25. Vista de viviendas asentadas en laderas que presentan erosión de laderas de tipo cárcavas, zona considerada con nivel de peligrosidad muy alta.



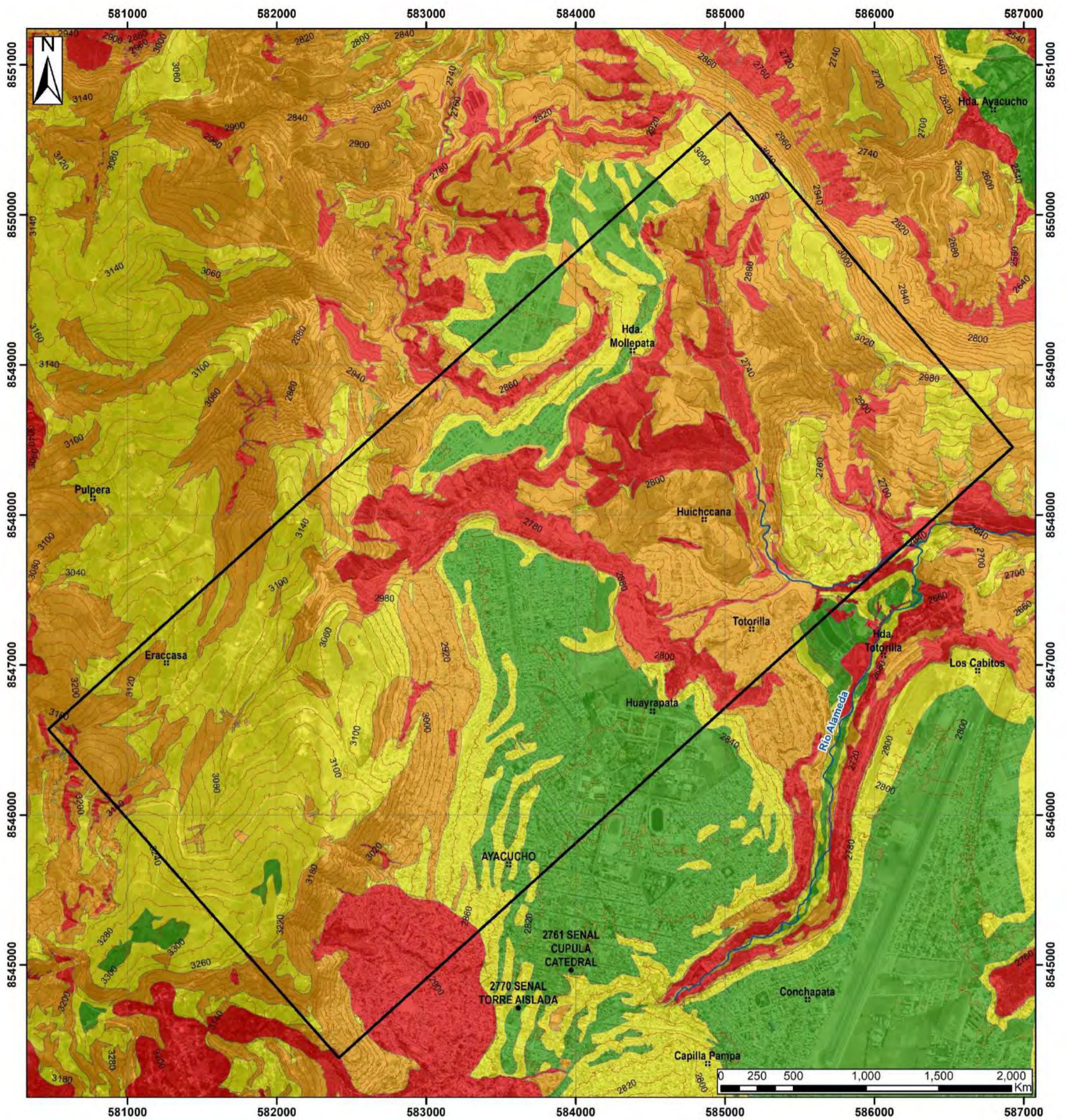


Fotografía 26. Vista de viviendas asentadas en las laderas con pendientes fuertes, donde realizan cortes de talud y sostenimiento del terreno con neumáticos viejos, zona considerado con nivel de peligrosidad alta, ubicada en la ladera de la margen derecha de la quebrada.



Fotografía 27. Vivienda asentada sobre material de depósito, producto del corte de talud, se encuentra asentada en la ladera izquierda del cauce de la quebrada, zona considerado con nivel de peligrosidad alta.





### LEYENDA

#### Nivel de peligrosidad por movimientos en masa (Derrumbes)

Nivel de peligro	Rango	Área en ha
MUY ALTO	$0.260 \leq R \leq 0.327$	306.30
ALTO	$0.231 \leq R < 0.260$	660.70
MEDIO	$0.212 \leq R < 0.231$	568.60
BAJO	$0.206 \leq R < 0.212$	251.44

### SIMBOLOGÍA

	Área de estudio		Curvas de nivel
	Localidad		Drenaje
	Capital de distrito		Quebrada Picota
			Río



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL  
CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y  
METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



Título De Tesis: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA PICOTA, CIUDAD DE AYACUCHO".

#### MAPA DE NIVEL DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Elaborado por: Bach. Ely Milder Ccorimanya Chalco

Proyección: Universal  
Transversal de Mercator (UTM)  
Sistema: WGS84  
Zona: 18L Sur.

ESCALA: 1/25 000

Fecha de elaboración: 2023

**10**





## CONCLUSIONES

**Primero:** La zona de estudio se emplaza sobre afloramientos de la Formación Ayacucho – Miembro Inferior (arenas, limolitas con intercalaciones de conglomerados y por niveles de tobas 2 y 3, (Tobas retrabajadas poco consolidadas) y el Miembro Superior conformado por limolitas, arenas grueso a fino, arcillitas con intercalaciones ínfimos de microconglomerados, y en menor proporción afloran las Formaciones Huari del Grupo Barroso correspondientes a lavas basálticas, Formación Huanta -Miembro Tigrayoc y depósitos cuaternarios..

**Segundo:** Respecto al entorno geomorfológico, en la zona de estudio se identificaron Montañas, lomadas en rocas sedimentarias y volcánicas, la gran parte de las viviendas de la ciudad de Ayacucho se encuentra asentada sobre Altiplanicie sedimentaria y meseta volcánica lávica, Vertientes coluviales, Vertientes con depósitos de deslizamiento y piedemontes proluviales. Las pendientes varían desde terrenos llanos ( $0^{\circ}$ - $1^{\circ}$ ); pendientes con inclinación suave ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ); pendientes moderado ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ); pendientes fuertes ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ); pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) y pendientes muy escarpados ( $> 45^{\circ}$ ).

**Tercero:** Las características hidrogeológicas que presentan las formaciones geológicas se clasificaron como Acuífero fisurado volcánico (Formación Huari); Acuífero fisurado sedimentario (Formación Ayacucho inferior); Acuífero poroso no consolidado (Depósito aluvial y fluvial); Acuitardo antropógeno; Acuitardo sedimentario (Depósitos proluvial, coluvial, Formación Ayacucho-Miembro superior y Formación Tigrayoc); Acuitardo volcánico (Depósito residual y Formación Ayacucho-Miembro inferior) y Acuitardo volcánico sedimentario (Depósito deluvial). A lo largo de la quebrada se identificaron dos puntos de surgencias de agua con 0.12 L/s y 0.5 L/s en estío.

**Cuarto:** La quebrada Picota y alrededores presenta una geodinámica externa activa, se tienen procesos tales como derrumbes inactivos latentes y activos (20), deslizamiento rotacional antiguo (1), procesos de erosión de laderas de tipo carcavas (31), flujos (3), teniendo como factores condicionantes la litología, pendientes del terreno, geomorfología, hidrogeología y la cobertura vegetal y como factor desencadenantes las precipitaciones pluviales, como también los factores antrópicos (corte de talud, sobrecarga en el talud con depósitos de desmonte, verter





aguas residuales directamente a las laderas) y como parámetro de evaluación la velocidad del movimiento según clasificación de Cruden y Varnes (1996).

**Quinto:** Para el análisis de la susceptibilidad y del nivel de peligrosidad se utilizó la metodología de Tomas Saaty, el cual resulta del proceso de análisis jerárquico, consta de dar pesos ponderados a los factores condicionantes y a cada uno de sus cinco descriptores, se consideró como parámetro de evaluación la velocidad del movimiento según clasificación de Cruden y Varnes (1996) y como factor desencadenante las precipitaciones pluviales de la zona.

Se determinó que el nivel de peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Picota tiene como valor mínimo 0.206 y como valor máximo 0.327, distribuido en cuatro niveles como se muestra a continuación.

RANGOS DE NIVELES DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA (DERRUMBES)						
NIVEL	RANGO				ÁREA (ha)	
MUY ALTO	0.260	≤	R	≤	0.327	824.88
ALTO	0.231	≤	R	<	0.260	1965.49
MEDIO	0.212	≤	R	<	0.231	1463.7
BAJO	0.206	≤	R	<	0.212	958.64

**Sexto:** Las zonas con nivel de peligrosidad Muy Alto se encuentran en ambas márgenes a lo largo de la quebrada Picota y en las laderas del sector Mollepata, donde se encuentran asentados viviendas de las zonas de invasión “Las laderas de los Forestales”, “Las laderas de Mollepata”, AAHH Las Rosas, parte de las viviendas de la ADV El Naranjal Sector I.

Los niveles de peligrosidad Alta se encuentran generalmente en las laderas del cerro Uma Orcco, laderas del cerro Buena Vista y cerro Picota, sector Huichcana, Totorilla, donde actualmente se encuentran asentadas viviendas de la Asoc. Totorá, APV del comité Auto Defensa -VRAE I, APV Virgen Inmaculada, APV Primera Huamanga, APV Santa Rosa, APV Buena Vista, ADV San andres I, San Andres II, AAHH Los forestales, ADV Juan Velasco Alvarado, Asoc. Villa Santa rosa. Y las zonas de peligrosidad media y baja se encuentran distribuidos entre las cimas de las montañas y en los altiplanicies donde se encuentra asentada la ciudad de Ayacucho.



## RECOMENDACIONES

- Realizar tratamiento integral de laderas para el control de erosión de laderas, con el uso de plantas nativas mediante el proceso de forestación en cabeceras y márgenes en las áreas inestables de las cárcavas en el sector Mollepata y reforestar las laderas con plantas nativas de la zona y pastos naturales, con esto se atenuará el impacto de las precipitaciones pluviales sobre el suelo sin cobertura vegetal y reducir la erosión de laderas.
- Realizar la descolmatación periódica del cauce de la quebrada Picota (material disponible de flujos de detritos antiguos), específicamente bajo los puentes vehiculares ubicados en las coordenadas E: 582864.79; N: 8547904.54 y E: 582935.54; N: 8547749.78
- Prohibir el depósito de desmonte y basura dentro del cauce y en las laderas de ambos márgenes del cauce de la quebrada Picota.
- Prohibir el corte de talud para la construcción de viviendas, verter aguas residuales directamente a las laderas y prohibir la construcción de viviendas sobre depósitos de desmontes.
- Prohibir la construcción de viviendas y la expansión urbanísticas en las zonas de nivel de peligrosidad muy alta (laderas de ambos márgenes de la quebrada Picota, laderas del sector Mollepata, laderas del sector Totorilla)
- Realizar trabajos de sensibilización en los colegios, autoridades tomadores de decisiones y población en general, indicando los peligros geológicos y susceptibilidad a los que están expuestos a fin de que se encuentren preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de este tipo de eventos.
- Implementar las medidas de prevención y/o reducción contempladas en las normas técnicas de habilitación urbana correspondiente, a fin de no incentivar la ocupación de zonas inseguras y no consolidar el riesgo, con participación del ALA para casos de la faja marginal en coordinación con las Municipalidades de Ayacucho y Jesús Nazareno.
- Integrar mínimo un Ingeniero geólogo especialista en evaluación de peligros geológicos en el equipo de trabajo de gestión de riesgos de desastres en las municipalidades distritales de Ayacucho y Jesús Nazareno.



## BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, A. (1963) - *Captación de aguas subterráneas, nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales*. Madrid: Dossat, 157 p.
- Carrasco, R. M., de Pedraza, J., Martin-Duque, J. F. Mattera, M., Bodoque, J., Sanz, M. A. y Dicz-Herrero, A. (2002) *Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central español)*. En: F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG Fundamentos y aplicaciones en España*, Instituto Geológico y Minero de España, 133-154
- Castillo N., L. (2006). *Tesis: Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una Quebrada en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2014) *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión –* CENEPRED. Lima: CENEPRED- Dirección de Gestión de Procesos, 2014. 245 p.; tap.ilus.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2019) *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – V3.0.–* CENEPRED. Lima: CENEPRED- Subdirección de Normas y Lineamientos, 2019. 95pp.; 64 fig.
- Cívicos, A. y Hernández, M. (2007). *Algunas reflexiones y aportaciones en torno a los enfoques teóricos y prácticos de la investigación en trabajo social*. Revista Acciones e investigaciones sociales, 23, 25-55.
- Cruden, d. m. (1991). *A Simple definition of a landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.





- Cruden, D. y Varnes, D. (1996) *Landslide types and processes*, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., *Landslides investigation and mitigation*: Washington D., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p.36-75.
- Custodio, E. & Llamas, M. (1996) - *Hidrología subterránea. 2a. ed.* Barcelona: Omega, 2 tomos.
- Dalrymple, J.; Blong, R. y Conacher, A. (1968): *A hypothetical nine unit landsurface form. Zeitschrift fur Geomorphologie*, 12, 60-76.
- Dikau, R., Brunnsen, D., Schrott, L., y Ibsen, M. ed., 1996, *Landslide recognition, identification, movement and causes*: Chichester, Wiley & Sons, 251 p.
- Douglas, I. (1977): *Humid Landforms. The MIT Press.* Cambridge, 288 p.
- Escobar, C., y Duque, G., (2017) *Geotecnia para el trópico andino*, Manizales, Colombia.
- Evans, S.G., y Hungr, O. (1993). *The analysis of rock fall hazard at the base of talus slopes*: Canadian Geotechnical Journal, v. 30, p. 620–636.
- Fernandez, C; Hernandez, R. y Baptista, P. (2016) *Metodología de la investigación*, Mexico MCGRAW-HILL.
- Fierro, D y Jimenez, L. (2011) *Caracterización de la Microcuenca del río Manzano, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo y Propuesta de Plan de Manejo, Utilizando Herramientas SIG.* Escuela Politecnica del Ejercito. Sangolqui, Ecuador.
- Flageollet, J., y Weber, D. (1996) *Fall En*: Dikau, R. Brunnsen, D.; Schrott, L., e Ibsen, M (Eds) *Landslide Recognition, Movement and Causes.* Wiley. Chichester, 13-28.
- Gaspari, F., et al. (2012) *Caracterización morfológica de la cuenca alta del río Sauce Grande*, Buenos Aires, Argentina.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002) *Ingeniería Geológica*, Madrid, PEARSON EDUCACIÓN.



Guevara, M. (2018) *Geodinamica Externa – Geología*, 68 p.

Heras, R. (1972) *Manual de Hidrología*. Madrid, España: Instituto de Hidrología.

Hoek, E., y Bray, J., (1981), *Rock slopes engineering*: Institución of Mining and Metallurgy, 358 p.

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

Ibáñez Asencio, S., Moreno Ramón, H., y Gisbert Blanquer, J. (2008) *Métodos para la determinación del Tiempo de Concentración (tc) de una cuenca Hidrográfica*.

Ibáñez Asencio, S., Moreno Ramón, H., y Gisbert Blanquer, J. (2008) *Morfología de las Cuencas Hidrográficas*.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1979) – *Estudio geotécnico para la seguridad física de la ciudad de Ayacucho*. Lima: Ingemmet, t.1, 74 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - *Estudio de riesgos geológicos del Perú*, Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/262>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2016) – *Evaluación técnica de peligros geológicos en la quebrada Chaquihuayco y el Cerro La Picota, provincia Huamanga, región Ayacucho. Distritos: Ayacucho, Jesús de Nazareno, Andrés Avelino Cáceres, San Juan Bautista y Carmen Alto*. Lima. Ingemmet, 37 p. Informe técnico A6719. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1162>

Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI (2003) *Mapa de peligros de la ciudad de Ayacucho* – Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Lima: INDECI, 157 p.



- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI (2011) *Manual de estimación de riesgo ante movimientos en masa en laderas*- Cuaderno técnico N° 03. Lima: INDECI, Dirección Nacional de Prevención, 2011. 93 p.; tab.ilus.
- Kirkby, M (1976): *Hydrological slope models: the influence of climate*. En: Derbyshire, E. (Ed): *Geomorphology and climate*. Wiley. Chichester, 247-267.
- LÓPEZ, J.C. et al. (1996) - *Geología del cuadrángulo de Huanta*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 72, 205 p.
- Martín-Serrano, Á.; Salazar, Á.; Nozal, F.; Suárez, Á. (2004) - *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50,000*: Guía para su elaboración. Instituto Geológico y Minero de España. Área de Cartografía Geológica. 128 p.
- Medina, L.; Núñez, M.; Dueñas, K. & Ccorimanya, E. (2021) - *Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Ayacucho*. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 86, 161 p, 9 mapas.
- Mégard, F.; Noble, D.C.; McKee, E.H. & Bellon, H. (1984) - *Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of central Peru*. Geological Society of America Bulletin, 95(9): 1108-1117.  
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<1108:MPONCD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<1108:MPONCD>2.0.CO;2)
- Meinzer, O.E (1923) - *The occurrence of ground water in the United States, with a discussion of principles*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 489, 321 p.  
<https://doi.org/10.3133/wsp489>
- Morche, W.; Albán, C.; De la Cruz, J. & Cerrón, F. (1995) – *Geología del cuadrángulo de Ayacucho. Hoja: 27-ñ*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 61, 120 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/183>





- Morche, W.; Albán, C.; De la Cruz, J. & Cerrón, F. (1995) – *Geología del cuadrángulo de Ayacucho. Hoja: 27-ñ*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 61, 120 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/183>
- Ortiz Vera, O. (2004). *Evaluación hidrológica. Hidrored*, (1), 1-7.
- Parsons, A. (1988) *Hillslope form*. Routledge. London. 212 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Rodríguez, R. & Chacaltana, C. (2003) – *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ), Escala 1: 100 000*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 22 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2076>
- Ruhe, R. (1975) *Climatic geomorphology and fully developed slopes*. Catena, 2, 309-320.
- SAATY T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill book co., n.y.
- Toy, T. (1977) *Hillslope form and climate*. Bulletin of Geological Society of America, 88, 16-22.
- Varnes, D. (1978), *Slope movements types and processes*, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed. *Landslides analysis and control*: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9-33
- Varnes, D. J., 1984, *Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice*: UNESCO, 63 P.
- Vilchez, M. y Ochoa, M. (2014) – *Zonas críticas por peligros geológicos en la Región Ayacucho*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Informes técnicos, 49 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2029>



- Vilchez, M.; Luque, G. & Rosado, M. (2013) - *Riesgo geológico en la región Piura*.  
INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 52, 282 p.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/294>
- Vilchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019) - *Peligro geológico en la región Ayacucho*.  
INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70, 232 p., 9  
mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2480>
- Villacorta, S.; Fidel, L. & Zavala, B. (2012) - *Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa  
del Perú*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 69(3), 393–399.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/694>
- Villón, M. (2002) *Hidrología*, Segunda edición, Lima-Perú, Editorial Villón.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física  
de las tierras*. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.