



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**

**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ESTUDIO DEL NIVEL DE RIESGO GEOLÓGICO MEDIANTE  
PARÁMETROS DEL MEDIO FÍSICO Y CARACTERÍSTICAS  
GEOMECÁNICAS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO**

**AYAPATA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WILSON ELIOT ARRAYA AGUILAR**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO-PERÚ**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO DEL NIVEL DE RIESGO GEOLOGICO MEDIANTE PARAMETROS DEL MEDIO FISICO Y CARACTERISTICAS GEOME**

AUTOR

**WILSON ELIOT ARRAYA AGUILAR**

RECUESTO DE PALABRAS

**19567 Words**

RECUESTO DE CARACTERES

**107848 Characters**

RECUESTO DE PÁGINAS

**84 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 21, 2024 1:22 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 21, 2024 1:25 PM GMT-5**

● **20% de similitud general**

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

- 20% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Dr. Rolando Apaza Campos  
HIDROGEOLOGO  
CIP. 06237

Resumen



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios, como mi creador y soberano del universo, por ser mi guía y fortaleza durante todo este proceso de tesis. Sin su amor y sabiduría divina, no habría logrado superar todos los desafíos. Gracias mi Dios por iluminar mi camino y darme la fuerza para seguir adelante.

A mis amados padres Juan Arraya y Juana Aguilar quienes fueron los que me apoyaron incondicionalmente en todo momento, sus sabios consejos inquebrantables han sido fundamentales que me han impulsado a superar los desafíos y forjarme como un profesional.

También lo dedico a mi esposa Raquel e hijos quienes fueron y son mi mayor apoyo moral, gracias por su paciencia y amor, cada sacrificio que han hecho ha sido inspiración para no desistir. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro.

El presente trabajo es gracias al apoyo permanente de amistades y profesores. Para quienes aprender, enseñar y ser mejor es la razón de las generaciones.



## AGRADECIMIENTOS

Reconocer y agradecer a mi Alma Mater UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, a la escuela Profesional “INGENIERIA GEOLOGICA” A sus docentes y personal administrativo.

Agradecer a mi director/asesor de tesis, Dr. Rolando Apaza Campos. Sus valiosas sugerencias y comentarios han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

A mi esposa Raquel, mis hijos Misael, Isaí y Russell, a mis padres Juan y Juana, mis hermanos Rocío (+) y Milner, a mi hermana Griselda y familia en general, en especial al Ing. Alain Alata Mollo por su apoyo, tiempo y compañía durante el desarrollo de la presente investigación.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....</b>	<b>22</b>
1.3.1 Hipótesis General .....	22
1.3.2 Hipótesis Específicos .....	22
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
1.4.1 Objetivo general .....	22
1.4.2 Objetivos específicos.....	22
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 ASPECTOS Y CONCEPTUALES PRELIMINARES .....</b>	<b>27</b>



2.2.1	Fenómeno natural.....	27
2.2.2	Desastre .....	28
2.2.3	Emergencia.....	28
2.2.4	Vulnerabilidad.....	28
2.2.5	Riesgos de desastre.....	29
2.2.5.1	Adaptación .....	29
2.2.5.2	Resiliencia.....	29
2.2.6	Movimiento de ladera.....	29
2.2.6.1	Deslizamientos en cuña (wedged failures).....	30
2.2.7	Geología económica local .....	30
2.2.7.1	Depósito fluvial (Qh-fl).....	31
2.2.7.2	Depósitos fluvio-glaciares (Q-flgl).....	31
2.2.7.3	Depósitos glaciares (Q-gl).....	32
2.2.7.4	Plutón Ollachea-Sienita (Jim-o-sie).....	32
2.2.7.5	Plutón Ayapata – Granodiorita (PET-ae-gd) .....	32
2.2.7.6	Plutón Ayapata - Granito (PET-ae-gr) .....	32
2.2.7.7	Plutón Coasa – Granito (PET-co-gr) .....	33
2.2.7.8	Grupo Mitu sedimentario (PsT-m/s) .....	33
2.2.7.9	Formación Ananea (SD-a).....	33
2.2.7.10	Grupo Mitu indiferenciado (PsT-m).....	34
2.2.7.11	Formación Sandía (Os-s).....	34
2.2.7.12	Grupo San José (Oim-sj).....	35
2.2.8	Estudio geomecánica del macizo rocoso.....	37
2.2.8.1	Clasificación RMR.....	37
2.2.8.2	Clasificación RQD .....	38



2.2.8.3	Caracterización del macizo rocoso de la formación Sandia.....	39
2.2.8.4	Clasificación de la masa rocosa .....	40
2.2.8.5	Zonificación geomecánica de la masa rocosa .....	41
2.2.8.6	Condiciones de agua subterránea .....	42
2.2.8.7	Esfuerzos in-situ.....	43
2.2.8.8	Unidades Geomecánicas .....	43
2.2.8.9	Unidad Geomecánica .....	43
2.2.9	Modelo digital de elevación .....	44
2.2.10	Geomorfología .....	44
2.2.11	Talud	45
2.2.12	Imagen satelital Sentinel 2A .....	45
2.2.13	Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G.....	46
<b>2.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE.....</b>	<b>46</b>
2.3.1	Métodos aplicados.....	48
2.3.1.1	Procesos de Análisis Jerárquico .....	48
2.3.1.2	Cálculo de los pesos ponderados.....	49
2.3.1.3	Cálculo de la Relación de Consistencia (RC) .....	50
2.3.1.4	Susceptibilidad .....	52
2.3.1.5	Análisis de riesgo .....	53

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>54</b>
3.1.1	Equipos.....	54
<b>3.2</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>55</b>



3.2.1	Tipo de investigación .....	55
3.2.2	Modelo de análisis multivariante .....	55
<b>3.3</b>	<b>VARIABLES E INDICADORES.....</b>	<b>55</b>
3.3.1	Variable independiente .....	55
3.3.2	Variable dependiente .....	55
3.3.3	Diseño de la investigación.....	56
3.3.3.1	Fase de gabinete 1:.....	56
3.3.3.2	Fase de campo.....	56
3.3.3.3	Fase de gabinete .....	57
3.3.4	Ubicación .....	57
3.3.5	Precipitación.....	58
3.3.6	Temperatura.....	59
3.3.7	Vegetación.....	59

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN LA CUENCA DEL RÍO AYAPATA ..</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>EVALUACIÓN DE PELIGRO POR MOVIMIENTO DE TIERRA .....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Factores desencadenantes (FD).....	62
4.2.2	Parámetro: precipitación .....	63
4.2.2.1	Factores de evaluación (FE).....	63
4.2.2.2	Umbral de precipitaciones .....	64
4.2.2.3	Factores condicionantes (FC).....	65
4.2.2.4	Parámetro: taludes.....	65
4.2.2.5	Geomorfología .....	66
4.2.2.6	Parámetro: litología.....	68



4.2.2.7	Parámetro: cobertura vegetal.....	69
4.2.2.8	Susceptibilidad de riesgo geológico.....	74
<b>4.3</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO .....</b>	<b>77</b>
4.3.1	Proyección estereográfica de las estaciones geotécnicas .....	78
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>92</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura N° 2. Flujograma de análisis estadístico multivariante. ....	47
Figura N° 3. Mapa de ubicación del área de estudio. ....	58
Figura N° 4. Temperatura promedio de la parte alta e intermedia del río Ayapata (1981- 2016). ....	59
Figura N° 5. Precipitación media interanual en la cuenca alta e intermedia. ....	61
Figura N° 6. Histograma de la precipitación media en los tramos alta e intermedia.....	62
Figura N° 7. Punto crítico de evaluación Geomecánica – Chokochoko.....	77
Figura N° 8. Conteo de puntos por familias en el punto de muestreo. ....	79
Figura N° 9. Diagrama de polos del punto de muestreo. ....	79
Figura N° 10. Diagrama de planos del punto de muestreo. ....	80
Figura N° 11. Diagrama de Rosetas del punto de muestreo. ....	80
Figura N° 12. Diagrama de análisis cinemático (Direct Toppling). ....	81
Figura N° 13. Diagrama de análisis cinemático (Planar Sliding). ....	81



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Índice RMR.....	38
<b>Tabla 2.</b> Índice RQD .....	38
<b>Tabla 3.</b> Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	41
<b>Tabla 4.</b> Dominios Estructurales .....	42
<b>Tabla 5.</b> Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta .....	42
<b>Tabla 6.</b> Recomendación de Sostenimiento para cada Unidad Geomecánica.....	44
<b>Tabla 7.</b> Tabla de índice aleatorio.....	51
<b>Tabla 8.</b> Tabla de escala de valoración.....	51
<b>Tabla 9.</b> Matriz de comparación de pares de precipitación.....	63
<b>Tabla 10.</b> Matriz de normalización de precipitación.....	63
<b>Tabla 11.</b> Matriz de comparación del umbral de precipitación.....	64
<b>Tabla 12.</b> Matriz de normalización del umbral de precipitación.....	64
<b>Tabla 13.</b> Matriz de comparación del parámetro taludes .....	65
<b>Tabla 14.</b> Matriz de normalización del parámetro taludes .....	66
<b>Tabla 15.</b> Matriz de comparación del parámetro geomorfología.....	67
<b>Tabla 16.</b> Matriz de normalización del parámetro geomorfología.....	67
Tabla 17. Matriz de comparación de litología .....	68
Tabla 18. Matriz de normalización de litología .....	68
<b>Tabla 19.</b> Matriz de comparación del parámetro de la cobertura vegetal .....	70
<b>Tabla 20.</b> Matriz de normalización del parámetro de la cobertura vegetal .....	70
<b>Tabla 21.</b> Resumen de Matriz de riesgo .....	71
Tabla 22. Resultado de susceptibilidad y parámetros de evaluación .....	72
<b>Tabla 23.</b> Valor de niveles de vulnerabilidad .....	72



<b>Tabla 24.</b> Valores de niveles y rango sobre deslizamiento de masa de tierra en la cuenca alta y media. ....	72
<b>Tabla 25.</b> Estratificación de los niveles de susceptibilidad en cuenca alta y media.....	73
<b>Tabla 26.</b> Tabla de evaluación de datos buzamiento y dirección de buzamiento.....	77
<b>tabla 27.</b> Matriz de riesgos. ....	45



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Punto de Verificación Frutillayoc.....	92
Anexo 2. Punto de verificación Jatum Pampa 1 .....	93
Anexo 3. Punto de verificación Jatum Pampa 2 .....	94
Anexo 4. Punto de verificación Jatum Pampa 3 .....	95
Anexo 5. Punto de verificación Chokochoko .....	96
Anexo 6. Punto de verificación Taype - Sector Taype Qocha .....	97
Anexo 7. Punto de verificación Markanchaca .....	98
Anexo 8. Punto de verificación río Kanchi.....	99
Anexo 9. Punto de verificación Kanchi 2 .....	100
Anexo 10. Punto de verificación C.P. Kana.....	101
Anexo 11. Punto de verificación Killy Killy .....	102
Anexo 12. Punto de verificación cerro Santa Cruz.....	103
Anexo 13. Formato de mapeo geomecánica RMR, mapeo lineal.....	104
Anexo 14. Registro de prueba de resistencia de la roca intacta con Martillo de Smith. .....	105
Anexo 15. Parámetros para clasificación RMR.....	106
Anexo 16. Mapa de puntos de Verificación .....	107
Anexo 17. Mapa de Geología .....	108
Anexo 18. Mapa de Geomorfología .....	109
Anexo 19. Mapa de Precipitación.....	110
Anexo 20. Mapa del parámetro Litológico .....	111
Anexo 21. Mapas del parámetro Talud .....	112
Anexo 22. Mapa del parámetro Geomorfológico .....	113
Anexo 23. Mapa de cobertura Vegetal.....	114
Anexo 24. Mapa de riesgo Geológico .....	115



## ACRÓNIMOS

<b>IA</b>	Índice Aleatorio
<b>AHP</b>	Proceso de Análisis Jerárquico
<b>CENEPRED</b>	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
<b>DEM</b>	Modelo de Elevación Digital
<b>FD</b>	Factor Desencadenante
<b>FC</b>	Factor Condicionante
<b>FE</b>	Factor de Evaluación
<b>IC</b>	Índice de Consistencia
<b>INGEMET</b>	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<b>PISCOp</b>	Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>RC</b>	Relación de Consistencia
<b>RMR</b>	Rock Mass Rating
<b>RQD</b>	Rock Quality Designation



## RESUMEN

La cuenca alta y media del río Ayapata se encuentra ubicada en el distrito de Ayapata, provincia de Carabaya, departamento de Puno, presenta una topografía muy diversa desde la cordillera oriental hasta fondo de valles aluviales del Inambari. La litología está caracterizada por la presencia de pizarras de la formación Sandia, rocas plutónicas, conglomerados poco consolidados y suelo cuaternario; cuyo problema es la ocurrencia de deslizamientos frecuentes en la zona que ocasionan pérdidas económicas afectando a los residentes de la zona. El objetivo de la investigación es realizar el estudio del nivel de riesgo geológico mediante parámetros del medio físico y características geomecánicas en la cuenca alta y media del río Ayapata. La metodología empleada es el análisis multicriterio mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la caracterización del macizo rocoso. La presente investigación permitió determinar y categorizar los niveles de riesgo geológico en la subcuenca del río Ayapata. El nivel de riesgo muy alto tiene un rango de valoración de (0.261 – 0.486) ubicados en las zonas de Frutillayoc, Alisuyoc, Jatun Pampa, Viunchuko, Killi Killi, Markanchaka, Yunkamayo, con precipitación en los meses de enero a marzo que alcanzan valores de 2000 a 2200 (mm/año), su geomorfología de laderas montañosas y empinadas, taludes con ángulo mayores a 45%, que abarca un área de 31.9 km<sup>2</sup>, y 10% del área de estudio. El nivel de riesgo alto con valoración de (0.141- 0.261) afecta las zonas de Mamita Loma, Soqlla Pata y áreas de drenaje en las microcuencas. La precipitación promedio es de 1600 a 2000 (mm/año), ángulos de talud de 15% a 45%. afecta un área de 106.4 km<sup>2</sup>, y el 35%. El nivel de riesgo medio con valoración de (0.074 – 0.141) se encuentran en las zonas de terreno de cultivo y pastizales de Kana, Hanac Ayllu, Taype. Abarca un área de 88.6 km<sup>2</sup>, y 29%. Mientras el nivel de riesgo Bajo tiene un rango de valoración (0.037- 0.074) predominantemente en la zona de Eterccota, Ccayarani. Abarca un área de 79.7 km<sup>2</sup> y 26% del área total

**Palabras clave:** Análisis multicriterio, Geomecánica, Geomorfología, Modelo de jerarquización, Riesgo geológico.



## ABSTRACT

The upper and middle Ayapata river basin is located in the district of Ayapata, province of Carabaya, department of Puno, and has a very diverse topography ranging from the eastern mountain range to the bottom of the alluvial valleys of the Inambari. The lithology is characterized by the presence of slates of the Sandia formation, plutonic rocks, poorly consolidated conglomerates and Quaternary soil; whose problem is the occurrence of frequent landslides in the area that cause economic losses affecting the residents of the area. The objective of the research is to study the level of geological risk by means of parameters of the physical environment and geomechanical characteristics in the upper and middle Ayapata river basin. The methodology used is the multi-criteria analysis through the Hierarchical Analysis Process (AHP) and the characterization of the rock mass. This research made it possible to determine and categorize the levels of geological risk in the Ayapata river sub-basin. The very high-risk level has a valuation range of (0.261 - 0.486) located in the areas of Frutillayoc, Alisuyoc, Jatun Pampa, Viunchuko, Killi Killi, Markanchaka, Yunkamayo, with precipitation in the months of January to March reaching values of 2000 to 2200 (mm/year), its geomorphology of mountainous and steep slopes, slopes with an angle greater than 45%, covering an area of 31.9 km<sup>2</sup>, and 10% of the study area. The high-risk level with a rating of (0.141- 0.261) affects the Mamita Loma, Soqlla Pata and drainage areas in the micro-watersheds. The average precipitation is 1600 to 2000 (mm/year), slope angles of 15% to 45%. It affects an area of 106.4 km<sup>2</sup>, and 35%. The medium risk level with a rating of (0.074 - 0.141) is found in the cropland and pasture areas of Kana, Hanac Ayllu, Taype. It covers an area of 88.6 km<sup>2</sup>, and 29%. The low risk level has a valuation range (0.037- 0.074) predominantly in the Eterccota, Ccayarani zone. It covers an area of 79.7 km<sup>2</sup> and 26% of the total area.

**Keywords:** Geomechanics, Multi-criteria analysis, Geomorphology, Ranking model, Geological risk.



# 1 CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el cambio climático y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos, han provocado un aumento de las catástrofes naturales en los últimos 50 años (Naciones Unidas, 2021). Con sequías cada vez más largas, temperaturas más altas, precipitaciones extremas generando inundaciones que dejan regiones enteras bajo agua y en sitios donde el suelo es poco consolidado y mayor pendiente el deslizamiento de masa de tierra, incluso incendios forestales, por nombrar solo algunos ejemplos, el planeta dejó de dar avisos para concretar como realidad la situación que lo aqueja (Infobae, 2013).

En el Perú la mitad del territorio es susceptible de sufrir peligros recurrentes, una tercera parte de la población vive en espacios inseguros, más de 9 millones de personas están expuestas a lluvias intensas, inundaciones, huaycos (deslaves) y deslizamientos de tierra, 7 millones a temperaturas bajas y muy bajas, y casi 3,5 millones a sequías (Rueda, 2013).

En el departamento de Puno, específicamente en la provincia de Carabaya y Sandia son más frecuentes los deslizamientos de masa de tierra, debido a la presencia fuerte de la precipitación. Por otro lado, las acciones antrópicas como apertura de vías sobre los diversos tipos de litología, aumentan la probabilidad de riesgo geológico, y la población dedicada a la actividad minera y agropecuaria son los más afectados.

El término deslizamiento, se atribuye a aquellas roturas de las laderas que mediante mecanismos de cizalla tienen lugar a lo largo de una o más superficies discretas y continuas. Pueden ser de lentos a moderadamente rápidos. La masa que se desplaza se



asimila a un bloque rígido, aunque puede llegar a fragmentarse (Santacana *et al.*,2002). En general los deslizamientos son incipientes, inactivos o estacionales, mientras los flujos se desencadenan durante las lluvias y son erosionados posteriormente con rapidez. Los principales agentes determinantes de la inestabilidad proceden de la composición litológica de los materiales y factores morfológicos que varían según la tipología del movimiento (Chacón *et al.*,2002).

La mayoría de los deslizamientos de tierra se producen en la zona de contacto de la roca del suelo poco profunda. Debido a la gran diferencia en mecánica propiedades de los medios de suelo y roca, su superficie de contacto también puede ser una potencial superficie de deslizamiento (Hongtao, 2020). El fallo de taludes da lugar a avalanchas de rocas, que pueden tener una larga duración y cargar el paisaje con grandes cantidades de escombros rocosos fragmentados. Como consecuencia de ello, el riesgo de desmovilizar el material del depósito no consolidado en forma de escombros, desencadenado por factores primarios como los terremotos o por factores secundarios como las precipitaciones o el derretimiento de la nieve (Walter *et al.*, 2020). La evaluación de la estabilidad de taludes del suelo y el potencial de erosión, patrones y tasas de flujo de aguas subterráneas y el riesgo de deslizamiento de tierras. La litología del subsuelo poco profundo puede variar desde roca erosionada hasta una o más capas de roca no consolidada sedimento (por ejemplo, aluvial, eólico, glacial). Donde están los suelos presentes, la capa subyacente cercana a la superficie se conoce como suelo padre (Prince *et al.*,2020).

Los frecuentes desastres geológicos son basados en una serie de factores de precipitación se producen en zonas frágiles y el método tradicional de estudio de riesgos geológicos artificiales es a menudo demasiado peligroso para ser llevado a cabo de manera efectiva (Wang *et al.*, 2020). La formación zonas de riesgo geológicos está



influida principalmente por siete factores: la pendiente, la diferencia de altura relativa, la litología estratigráfica, las precipitaciones, la falla, el sistema de agua, y carreteras (Wang *et al.*, 2020). La mayoría de las zonas montañosas están en contacto con las condiciones geológicas del suelo y la roca, así que las zonas montañosas son propensas a los deslizamientos de tierra (Hongtao, 2020). El modelado de la predicción de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra (LSP) basado en la plataforma del sistema de información geográfica (SIG) y la detección remota puede predecir la distribución espacial de los deslizamientos de tierra y es beneficioso para la prevención de deslizamientos de tierra (Huang *et al.*, 2023).

La susceptibilidad es la probabilidad de que un área se vea afectada por un proceso particular y se expresa en términos cualitativos y relativos. En el caso de los deslizamientos, tradicionalmente se ha asociado a factores que controlan o modulan la ocurrencia del proceso. Esto puede ser intrínseco o extrínseco al propio material afectado. También se refiere a factores iniciadores, que son procesos o fenómenos temporales que activan o aceleran el fenómeno en consideración, como la precipitación, la sismicidad, el uso del suelo, etc. La susceptibilidad representa las zonas de un territorio que están o pueden estar bajo la acción de un proceso determinado; puede decirse, por tanto, que se trata de una cartografía de “procesos activos” (Carrasco *et al.*, 2002).

La cartografía geológica mediante la fotografía digital y la teledetección ha sido un área de estudio activa, esto hace que el mapeo de las superficies rocosas expuestas para las estructuras, la estratigrafía y La litología es posible incluso en lugares de acceso limitados. (Vasuki, Holden, & Kovesi, 2017). Los datos de teledetección se utilizaron para la cartografía de riesgos de inundación rápida en cuencas hidrográficas, Morfometría se utiliza para determinar las áreas propensas a inundaciones utilizando análisis de riesgo por el significado de parámetros morfométricos (Elsadek *et al.*, 2019).



En la cuenca alta y medio del río son nulas las investigaciones o simulaciones realizadas sobre deslizamiento de masa de tierra, esta investigación se realizará el estudio del nivel de riesgo Geológico mediante parámetros del medio físico y características geomecánicas en la cuenca alta y media del río Ayapata - Carabaya - Puno.

La presente tesis se organiza de la siguiente manera, en el capítulo I detalla la parte de la introducción, luego la justificación, planteamiento del problema, hipótesis y los objetivos, segundo capítulo II, indica la revisión de literatura hace referencia a los trabajos concernientes a movimiento de masa de suelo, en el capítulo III se define los materiales y métodos que se han empleado, asimismo se describe el área de estudio y se describen aspectos importantes del área de estudio, en el capítulo IV se presentan los resultados y discusiones, y finalmente en el capítulo V las conclusiones obtenidas a lo largo de la presente trabajo de investigación.

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

La morfología de la superficie terrestre se ha utilizado para obtener una visión en las litologías subyacentes, los investigadores han utilizado varios enfoques para modelar la distribución espacial de los suelos, depósitos superficiales y geología del lecho rocoso a partir de los atributos topográficos de la superficie terrestre (Prince *et al.*, 2020). Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diversas características, magnitud y velocidad. Los más frecuentes y extendidos son los movimientos de ladera, que engloban, en general, a los procesos gravitacionales que tienen lugar en las laderas. Otro tipo, aunque menos extendido por estar asociado a determinados materiales y circunstancias, son los hundimientos (De Vallejo *et al.*, 2002).



La presente investigación, se enfocará en identificar zonas de riesgo geológico por deslizamiento de taludes en base a los parámetros del medio físico y características geomecánicas del macizo rocoso. Durante los últimos años el régimen de precipitaciones ha sido muy cambiante, la tasa de lluvia de mayor lluvia con mayor intensidad. Por otra parte, el constante cambio de cobertura de suelo por la acción antrópica.

La creación del mapa de riesgos y la cartografía de peligros es muy necesaria para la gestión de los recursos hídricos y el desarrollo sostenible de las cuencas hidrográficas además de la protección contra el peligro de inundación y la sequía (Elsadek *et al.*, 2019). Durante el proceso de una interpretación visual de imágenes de satélite se integran elementos y criterios de referencia inherentes a los conocimientos y habilidades de la persona que realiza el trabajo, es recomendable realizar una interpretación visual posterior a una clasificación digital, pues con ello se reduce el margen de error del producto deseado y en consecuencia aumenta su precisión y confiabilidad (Vega y Manzo, 2008). Esta investigación determinará, las áreas con potencial riesgo por movimiento de masa de tierra y deslizamiento de roca en la cuenca alta y media del río Ayapata. El resultado de la cartografía temática permitirá generar conciencia social sobre la exposición que se enfrentan los pobladores del distrito de Ayapata.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los desastres naturales han aumentado debido a factores como el aumento de las temperaturas que han alcanzado valores récord o la elevada acumulación de gases de efectos invernadero (De Santos, 2021). En la superficie terrestre es relativamente frecuente que los materiales que la conforman se desplacen pendiente abajo, son los denominados movimientos de ladera. La acción de la gravedad, junto con el



debilitamiento progresivo de los materiales (rocas y suelos), hace que los movimientos de ladera sean relativamente habituales en el medio geológico (Lario *et al.*, 2016).

En esta área afloran terrenos cuyas edades van desde el Paleozoico inferior hasta el cuaternario que forma parte de la vertiente oriental, de la cordillera oriental de los andes, los cuales presentan rasgos fisiográficos de relieves muy abruptos y accidentados donde se genera inestabilidad de taludes reptación de suelos y deslizamientos principalmente por la precipitación intensa que ocurre continuamente en los meses de enero a marzo, que vienen afectando a la población y comunidades del distrito de Ayapata, generando perjuicios económicos en los habitantes del lugar, que hasta el momento no se gestionan control de riesgos y desastres por las autoridades competentes. Por lo que es necesario realizar el estudio del nivel de riesgo geológico mediante parámetros del medio físico y características geomecánicas de la cuenca alta y media del río Ayapata – Carabaya, Puno.

En este trabajo de investigación se trata de responder a las siguientes interrogantes como se muestra a continuación:

- ¿Cuál es el nivel de riesgo geológico que ocurre en la cuenca alta y media del río Ayapata?
- ¿Cuál es la influencia de las variables del medio físico en la ocurrencia de deslizamientos de masa de suelo en la cuenca alta y media del río Ayapata?  
Y ¿Cuál es su distribución espacial?
- ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso en la zona de mayor deslizamiento en el punto más crítico?



## **1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO**

### **1.3.1 Hipótesis General**

Los parámetros naturales del medio físico y las características geomecánicas influyen significativamente en la ocurrencia de deslizamientos de la cuenca alta y media del río Ayapata.

### **1.3.2 Hipótesis Específicos**

- “Los parámetros del medio físico la precipitación, el Angulo de talud, la vegetación, la litología, la geomorfología, tienen una influencia directa en la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la zona de estudio y el rango de valores está por debajo de 0.050”
- Las características geomecánicas del macizo rocoso influyen significativamente en la estabilidad de taludes en la cuenca alta y media del río Ayapata.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el estudio del nivel de riesgo geológico mediante los parámetros del medio físico y características geomecánicas que generan deslizamiento de masa de suelo en la cuenca alta y media del río Ayapata.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el nivel de riesgo geológico y asignar descriptores y rangos de valor numérico en cada parámetro físico, basados en la técnica SIG en la cuenca alta y media del río Ayapata.



- Evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso en el punto más crítico de deslizamiento de taludes en la cuenca alta y media del río Ayapata.



## 2 CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Sobre el tema de riesgos geológicos se han realizado una considerable cantidad de estudios, como la investigación realizada por Hongtao (2020), donde determina que la amplia gama de zonas de contacto suelo-roca en la mayoría de los casos de peligros geológicos por deslizamientos, se producen en las zonas montañosas. Los factores de influencia como la litología en la zona de contacto, está dada por la proporción de vacío y el contenido de agua se toman como entrada del modelo son los resultados previstos.

Sobre el movimiento de masa de suelo se tiene la investigación de Lee *et al.*, (2018), concluye que las zonas de deslizamiento de tierra a escala regional, obteniendo mapas de susceptibilidad para las zonas que rodean las carreteras de montaña, el modelo esta diseñadas para entender el grado de peligro de los deslizamientos de tierra bajo la incidencia de fuertes precipitaciones con la integración del registro de peligros, luego la interpretación y la aplicación de sensores remotos y su posterior caracterización geomorfológica.

Por otra parte, Hussein *et al.* (2020), mediante el análisis y la interpretación de los datos de la teleobservación, con la información obtenida se caracterizaron áreas pronosticadas por peligro de inundación rápida. Mediante los datos de modelo de elevación digital (SRTM) definen las características hidromorfias del sistema de drenaje, que drena la ciudad de Quseir. Posteriormente los datos fueron integrados después de computar los parámetros hidromorfos usando varios enfoques a través de la técnica SIG. Los resultados revelan que los mayores peligros se presentan en las subcuencas.



De igual manera la investigación realizada por Tornabene *et al.* (2019), en sus conclusiones señala que el análisis, la síntesis y la cartografía geológica por teledetección son fundamentales actividades precursoras previas a las misiones robóticas de superficie con fines científicos investigaciones y sobre todo tan ambiciosas como el almacenamiento y devolución de muestras.

En cuanto a la estructura geológica se tiene la investigación de Han *et al.* (2018), determina que los lineamientos geológicos son importantes reactivos de la estructura geológica en la superficie, y controlar la distribución de las aguas subterráneas regionales, geohazards, geotérmica y terremotos. El tecnología la extracción de lineamientos geológicos es de gran importancia para el análisis del movimiento regional de placas y el pronóstico de formación de mineral. Tomando como ejemplo las áreas de Loess en el norte de Baoji, esta investigación propone un algoritmo de extracción de lineamientos basado en la votación por tensor acoplada a Hough Transform, con la ayuda de DEMANDAR y Landsat8 e imágenes de teledetección OLI. Los resultados muestran que la orientación de los lineamientos estaba dominada por NW-SE y NE- SW, complementada por NNW-SSE. En comparación con el algoritmo de rastreo de segmentos, este método tiene más aplicabilidad, eficiencia, alto valor práctico y significado científico en el análisis del movimiento tectónico y la evolución en un área especial de forma de relieve.

En cuanto al analisis multicriterio se tiene la investigación realizada por Tan *et al.* (2021), determina que el proceso de jerarquía analítica de números aproximados de intervalo (IRN-AHP), este modelo es utilizado para evaluar el riesgo de deslizamiento de tierra, comparando cada factor entre sí para obtener la matriz de juicio de número aproximado de intervalo. Después el cálculo, los pesos de litología, pendiente, elevación,



río, camino, entre los cuales la litología tiene la mayor influencia en la estabilidad y distribución del deslizamiento.

Otra investigación realizada por Medina *et al.* (2015), en sus conclusiones determina 17 unidades y establecen cuatro rangos de propensión a la inestabilidad ante la ocupación y/o intervención de espacios urbanos, en las categorías siguientes: muy alta propensión, alta propensión, moderada propensión y baja propensión. las categorías fueron designadas, de acuerdo a la densidad de procesos de remoción en masas por unidad de área y a las propiedades intrínsecas estudiadas en la caracterización.

Otra forma para determinar el deslizamiento de masa de suelo mediante la aplicación de imágenes radar, la obtención de los DEM es también mediante esta técnica este contexto se tiene el trabajo de Strozzi *et al.* (2018), en este estudio muestra la relación con la evaluación del peligro de deslizamientos de tierra, se debe mencionar el potencial de los datos de InSAR para la alerta temprana de deslizamientos de tierra. Existe una cantidad sustancial de estudios que analizaron cómo se pueden utilizar los datos SAR espaciales para la alerta temprana de deslizamientos de tierra.

A nivel nacional se cuenta con diversos informes técnicos en el marco de la gestión de riesgos, en este contexto se tiene el trabajo de Sosa (2015), donde concluye que el factor detonante principal para que desencadene los movimientos en masa en la zona de la cordillera oriental en los Andes peruanos son los sismos. El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la zona de peligro medio para sismos.

A nivel Local se tiene el trabajo de Núñez y Medina (2010), donde llega a la conclusión de que las causas que originan el derrumbe en el campamento minero de Winchumayo, otros factores como la alta deforestación asociado con las laderas con pendiente fuerte, laboreo no tecnificado, detonados por intensas precipitaciones pluviales.



Por otra parte, Alvares (2015), en la evaluación de riesgo por deslizamiento de suelo en el distrito de Sandia concluye que los efectos locales de las precipitaciones intensas son altamente dañinos, lo cual podría desencadenar la activación y desprendimiento de las zonas altamente inestables ya identificadas en el estudio geodinámico.

Finalmente se tiene el trabajo ejecutado por (Marcano *et al.*, 2015). La metodología empleada fue las jerarquías analíticas de la evaluación espacial multicriterio (EEM) como mecanismo para la ponderación de variables para la construcción de mapas de susceptibilidad a movimientos en masa. La investigación es de tipo correlacional-explicativa, se consideró las variables: geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflicto de uso (constituido por la discrepancia entre el uso actual y uso potencial). Los resultados de la investigación destacan la geología obtuvo el mayor peso relativo (0.39); seguida por la pendiente (0.29); la geomorfología (0.23) y los conflictos de uso (0.06). El ensayo metodológico se puede considerar que concibe mayor objetividad a la asignación de pesos de las variables, sin sesgar la información al área de conocimiento del experto consultado.

## **2.2 ASPECTOS Y CONCEPTUALES PRELIMINARES**

Los términos que se utilizan en la gestión de riesgos geológicos y desastres que son los siguientes:

### **2.2.1 Fenómeno natural**

La definición es dada por (Renda *et al.*, 2017), Es entendido como toda manifestación de la naturaleza, se refiere a cualquier expresión que adopta la naturaleza como resultado de su funcionamiento interno. Las condiciones de *regularidad* (lluvias en los meses de verano en la sierra, la llovizna en los meses



de invierno en la costa) o de aparición *extraordinaria y sorprendente* (terremoto, un "tsunami" o maremoto, una lluvia torrencial) son las que diferencian y pueden dar lugar a la ocurrencia de un desastre. Un fenómeno natural se convierte en peligroso cuando adquiere determinado grado de magnitud, intensidad, ocurrencia o extensión del impacto (*un sismo de considerable magnitud, lluvias torrenciales continuas en zonas ordinariamente secas, un huracán, rayos, etc. pueden ser considerados peligrosos*).

### **2.2.2 Desastre**

Alteraciones graves del funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos peligrosos que interactúan con las condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales adversos generalizados que requieren una respuesta inmediata a la emergencia para satisfacer las necesidades humanas esenciales, y que puede requerir apoyo externo para la recuperación (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático & Reuters, 2012).

### **2.2.3 Emergencia**

Se entiende como una situación, un daño provocado por un evento adverso de origen natural o provocado por los seres humanos que, por su magnitud, puede ser atendida por los medios disponibles localmente (Renda *et al.* , 2017).

### **2.2.4 Vulnerabilidad.**

La propensión o predisposición a verse afectado negativamente (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático & Reuters, 2012)



## 2.2.5 Riesgos de desastre

### 2.2.5.1 Adaptación

En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático & Reuters, 2012).

### 2.2.5.2 Resiliencia

La habilidad de un sistema y sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos de un fenómeno peligroso, de forma oportuna y eficiente, incluso velando por la conservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático & Reuters, 2012).

## 2.2.6 Movimiento de ladera

Un movimiento de ladera (movimiento del terreno, movimiento en masa, *mass movement*, *slope movement*, *slope failure*) es un proceso por el cual un material terrestre se desplaza por la acción de la gravedad, sin intervención directa del agua, hielo o viento. De la definición anterior se pueden extraer las tres características principales de los movimientos de ladera: a) son procesos que actúan frecuentemente en masa, es decir, sin selección de los materiales erosionados, transportados y depositados o, en todo caso, con una selección más



baja que la producida por otros agentes como el agua o el viento; *b*) son procesos frecuentemente asociados a laderas, donde la gravedad presenta normalmente una energía potencial mayor; *c*) y, por último, aunque la gravedad es el principal agente movilizador de los materiales afectados, estos procesos se encuentran en numerosas ocasiones asistidos por otros agentes geomorfológicos como el agua,

el hielo o el viento. En la mayoría de las ocasiones estos movimientos afectan a las laderas (Figura 1), sin embargo, también existen movimientos de desplazamiento vertical que pueden afectar a terrenos horizontales, son las subsidencias (*subsidences*) y hundimientos (Lario *et al.* , 2016).

#### 2.2.6.1 Deslizamientos en cuña (*wedged failures*)

En los deslizamientos en cuña la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa deslizada a desplazarse según la línea de intersección de los mismos. Suelen producirse en las excavaciones de taludes artificiales y cuando se producen en condiciones naturales suelen ser de pequeño tamaño (Lario *et al.* , 2016).

#### 2.2.7 Geología económica local

La zona de estudio, se enmarca entre los cuadrángulos geológicos de Corani (28u) y Ayapata (28), en la cadena oriental del sur de la cordillera de los andes del Perú, afloran rocas sedimentarias metamorfizadas del paleozoico, que generalmente están asociados a la ocurrencia de yacimientos epigenéticos hidrotermales auríferos, estos son pizarras, cuarcitas y esquistos de la formación Ananea y la formación Sandia del sistema ordovícico al devoniano del paleozoico inferior. La gran parte de los afloramientos ocupa gran extensión en la cordillera oriental, al noreste de Bolivia y Sureste del Perú, prolongándose hasta la cordillera



de Vilcabamba. Estas rocas han sido afectadas desde el paleozoico inferior hasta el cretácico por una secuencia de esfuerzos compresivos y distintivos de la actividad tectónica a través del tiempo geológico, las cuales han originado áreas de cizallamiento intenso, plegamiento y fracturamiento. La formación de interés económico está compuesta por una secuencia de pizarras negras bituminosas esquistas, intercalado con areniscas finas, cuarzosas metamorizadas de la formación Ananea. El potencial económico aurífero se encuentra en la parte alta denominado minas pata, el cual se prolonga al lado oeste que abarca las localidades de Ollachea y Corani. Tal como se observa en el plano geológico (anexo 18) (MPC & MINAM CAF, 2018).

#### **2.2.7.1 Depósito fluvial (Qh-fl)**

Son terrazas compuestas por arcillas y limos marrón rojizos, con arenas y restos de vegetales (MPC & MINAM CAF, 2018).

#### **2.2.7.2 Depósitos fluvioglaciares (Q-flgl)**

Estos depósitos provienen de la erosión y removilización de las morrenas debido a la desglaciación, por acción de las aguas superficiales, formando estratos no compactos sub horizontales compuestos por gravas de diámetros variables sub redondeadas a sub angulosas, en una matriz arenosa y arena limosa, producto de la erosión de las morrenas, dispuestos en las partes bajas, por debajo de los 4000 metros y rellenando el fondo de los valles formando planicies extensas (MPC & MINAM CAF, 2018).



### 2.2.7.3 Depósitos glaciares (Q-gl)

Morrenas constituidas por bloques sub angulosos, gravas, arenas, arcillas y limos mal clasificados (MPC & MINAM CAF, 2018).

### 2.2.7.4 Plutón Ollachea-Sienita (Jim-o-sie)

Según MPC & MINAM CAF (2018), es una roca de textura granular, compuesta de alto contenido de feldespato potásico, plagioclasa, de coloración pardo rojiza. Intruyendo al Grupo Mitu Sedimentario, Formación Sandia, margen izquierda del río Ollachea formando los cerros Chullo, Marca.

### 2.2.7.5 Plutón Ayapata – Granodiorita (PET-ae-gd)

Es una roca intrusiva holocristalina, equigranular de grano medio a fino compuesto por cuarzo, plagioclasas y feldespato. Intruyendo al Grupo Mitu Sedimentario y a la Formación Sandia en el Cerro Apacheta (MPC & MINAM CAF, 2018).

### 2.2.7.6 Plutón Ayapata - Granito (PET-ae-gr)

Es una roca intrusiva félsica de textura fanerítica, de grano medio con fenocristales de feldespato potásico y matriz de cuarzo, plagioclasa y biotita. Intruyendo a la Formación Sandia en la margen derecha de río Ayapata en el cerro Yanaloma y quebrada Toro Huayo. También intruye al Grupo San José en el Cerro Yanamayo present en los poblados de Valencia, Winchumayo, Santa Teresa y en el cerro Infiernillo al Este del poblado Arica de San Gabán (MPC & MINAM CAF, 2018).



#### 2.2.7.7 **Plutón Coasa – Granito (PET-co-gr)**

Roca intrusiva, de textura fanerítica, equigranular, de grano medio a grueso, compuesto de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas (MPC & CAF, 2018).

#### 2.2.7.8 **Grupo Mitu sedimentario (PsT-m/s)**

Presenta una secuencia molásica de edad Permiano, cuya sección tipo se ubica en Cerro de Pasco en el Perú Central. El Grupo Mitu reposa en discordancia angular sobre el Grupo Copacabana tal como se puede observar en el cerro Cuchilluni y alrededor del nevado Allin Japac. Litológicamente está compuesto por areniscas pardas rojizas de grano medio, con delgados niveles de areniscas cuarzosas blancas, y presentan laminación cruzada (MPC & MINAM CAF, 2018).

#### 2.2.7.9 **Formación Ananea (SD-a)**

Situada en la Cordillera Oriental asignándole una edad el Siluro-Devoniano. En esta formación sólo se han encontrado restos de plantas mal conservados. En ausencia de fauna y por correlación con los afloramientos del cuadrángulo aledaño a Nuñoa donde se ha encontrado fauna siluro – devoniana, se le asigna la misma edad, según López J.C. (1996). Litológicamente, son estratos delgados de pizarras de coloración gris a gris oscura que se encuentran foliadas, y presentan fracturas astillosas. Aflora alrededor de Coasa en una franja en forma de V tumbada hacia el Oeste, y también en los alrededores de Ollachea en una franja E-O, al Sur de Macusani alrededor de la Quebrada Chaupi o Quellochupa; al Este de Crucero tenemos una franja con dirección NO-SE al pie del nevado



Aricoma Chico y al Norte del Distrito de Usicayos se encuentra una franja con dirección E-O. En la parte NE de Carabaya se encuentra alrededor del río Azulmayo en contacto con la Formación Sandia, el Grupo San José y la Formación Yahuarango (MPC & MINAM CAF, 2018).

#### 2.2.7.10 **Grupo Mitu indiferenciado (PsT-m)**

Es una secuencia molásica de edad Permiano, cuya sección tipo se ubica en Cerro de Pasco. Sus afloramientos en el área de estudio se presentan en ambos cuadrángulos. En este grupo no se han encontrado fósiles, y su posición estratigráfica observada en el cerro Chillintaya muestra que se encuentran en discordancia angular sobre el Grupo Copacabana (Pérmico inferior). El Grupo se encuentra al SO de Carabaya en la margen derecha del río Corani, aflorando en los cerros Yana Loma, Yanajaja, Pantani Punta y Chillicasa. También se encuentra aflorando al NE y S del poblado de Macusani en los cerros Pajoloma, Tantataucanapata y Pauchinta, y al Sur en los cerros Yanajatahui y Allpachaca. Así como al Sur del poblado Minaspatha, al Sur de Ajoyani aflora en los cerros Cocahuipata y Sachapurune. Litológicamente está compuesto por rocas volcánicas con intercalaciones de areniscas y conglomerados (MPC & MINAM CAF, 2018).

#### 2.2.7.11 **Formación Sandia (Os-s)**

Descrito en la publicación de MPC & MINAM CAF (2018), ubicado en el valle del río Sandia, esta formación aflora en una franja continua en el flanco NE de la Cordillera Oriental del Sur del Perú. No ha sido posible encontrar fósiles, también se asigna como edad el Ordovícico



Superior por su posición estratigráfica, que infrayace a la Formación Ananea y suprayace al Grupo San José. De igual manera, por su similitud litológica y características sedimentarias descritas en los cuadrángulos de Rinconada, Sandia, Limbani, se puede ver que la Formación Sandia es una plataforma silicoclástica con facies tidales. La litología de la Formación Sandia está compuesta por metareniscas de grano fino a medio, se encuentran foliadas y con presencia de cristales de biotita y ocasionalmente se encuentran areniscas masivas con oquedades. La provincia de Carabaya aflora en la parte media emplazándose en una franja de más de 20 km de ancho que corre en forma sub paralela al río Inambari con una dirección SE-NO. El contacto con la Formación Ananea se realiza por medio de una falla inversa de alto ángulo (Falla Ollachea), el contacto NE con el Grupo San José es por falla inversa. La Formación Sandia en el área de estudio se encuentra afectada por un plegamiento apretado que da lugar a anticlinales y sinclinales ligeramente inclinados hacia el SO; afecta a esta formación una esquistosidad de fractura mayormente desarrollada en sus intervalos más finos dando lugar a pizarras.

#### 2.2.7.12 Grupo San José (Oim-sj)

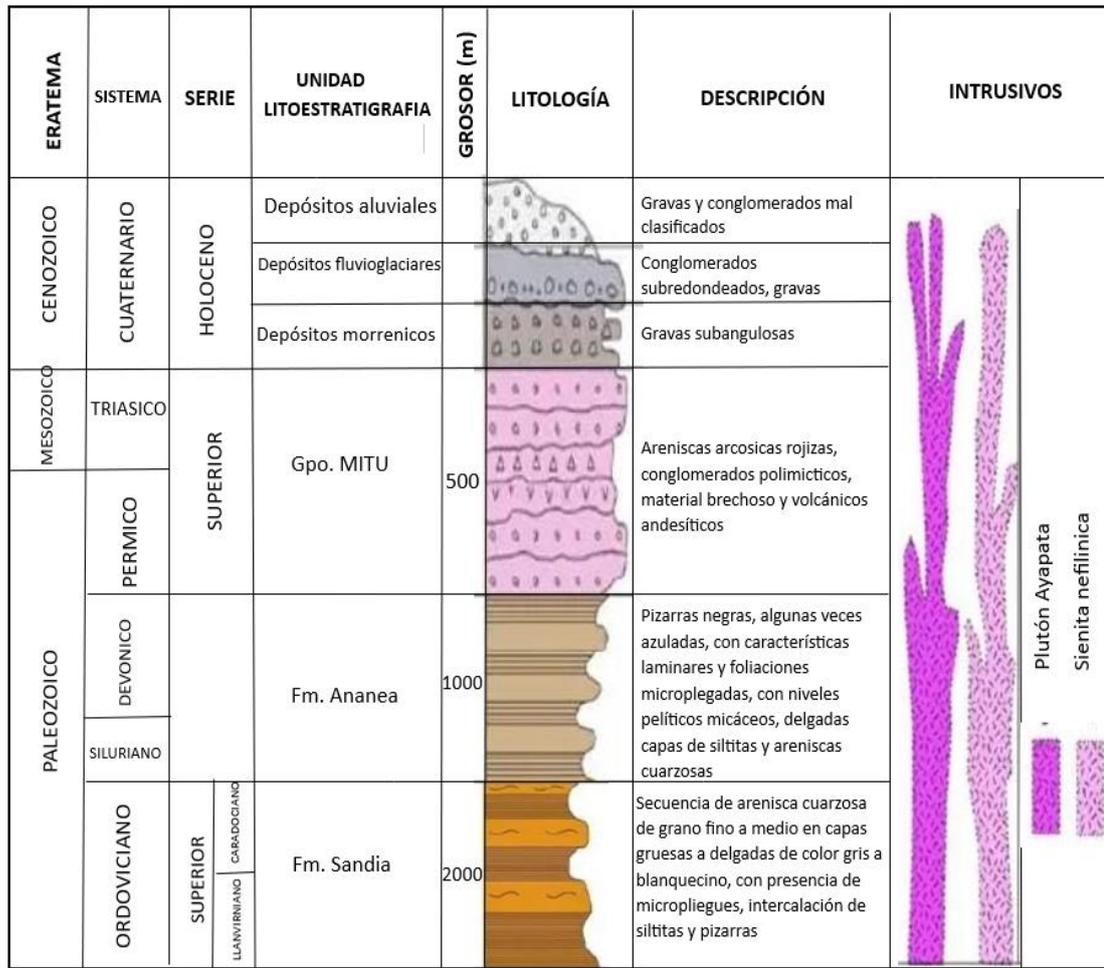
Según (MPC & MINAM CAF, 2018), se ubica en el valle de San José (cuadrángulo de Sandia), donde conforma el núcleo anticlinal, y donde alcanza un gran desarrollo con espesores de más de 3000 metros. No es posible encontrar fósiles en esta formación. Sin embargo, por su similitud litológica y características sedimentarias descritas en los cuadrángulos de Sandia y Limbani, se le asigna una edad del Ordovícico Medio Inferior. Los afloramientos de mayor extensión se presentan en los



ríos Inambari y el Esquilaya, conformando una franja de orientación NO-SE que continúa por el extremo Norte del cuadrángulo de Ayapata y Corani. Está compuesto litológicamente por pizarras gris oscuras, limolitas pizarrosas grises, con clivaje, intercaladas con delgadas capas de limolitas arenosas. El contacto superior con la Formación Sandia es por una falla inversa, que hace subir al Grupo San José sobre la Formación Sandia, y se encuentra intruído por el Plutón de Ayapata y en contacto mediante fallas inversas con el Complejo Iscaybamba y el Complejo Araza.

La columna estratigráfica local se clasifica según la era geológica y está detallada desde Cenozoica del sistema cuaternario de la serie holoceno con unidades de litoestratigráficas de depósito aluvial, fluvioglaciares y morrenicos compuesto de gravas y conglomerados; de la mesozoica del sistema triásico se tiene la serie superior la unidad litoestratigráfica de grupo Mitu compuesta de areniscas, conglomerado de material volcánico; con respecto a la Paleozoica contiene el sistema pérmico , devónico , siluriano y ordovícico estas se tiene la formación Ananea y Sandia, compuesta por arenisca de cuarzo y pizarra (Figura 1).

**Fig. 1.** Columna estratigráfica local



Fuente: tecsup (2018)

## 2.2.8 Estudio geomecánica del macizo rocoso

Según De Vallejo *et al.*, (2002) señala lo siguiente, es la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo sea el conocimiento de las propiedades y características geotécnicas de los materiales rocosos.

### 2.2.8.1 Clasificación RMR

Según (Rivera, 2005) define, esta clasificación se emplea tanto para la caracterización de los macizos rocosos v sus propiedades como para su aplicación

en túneles, que se expresa por medio del índice de calidad RMR, "Rock Mass Rating" que varía de 0 a 100. Tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos (Tabla 1).

- Resistencia uniaxial de la matriz Rocosa.
- Grado de Fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

**Tabla 1. Índice RMR**

Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de Rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm <sup>2</sup>	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	15°-25°
V	Muy Mala	<20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	<15°

Fuente: (Rivera, 2005).

#### 2.2.8.2 Clasificación RQD

La clasificación RQD (Rivera, 2005), considera el grado de fracturación, medido mediante el índice (RQD), y clasifica a los macizos rocosos en diferentes grados de calidad significa en el idioma inglés "Rock Quality Designation" (Tabla 2).

**Tabla 2. Índice RQD**

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD	
RQD %	Calidad
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy Buena

Fuente: (Rivera, 2005).



### 2.2.8.3 Caracterización del macizo rocoso de la formación Sandia

Para la caracterización del macizo rocoso los datos se obtuvieron in situ, mediante un trabajo de campo, en base a la observación y evaluación del macizo rocoso, este procedimiento se realizó mediante el “método de cartografía lineal”. Determinando la familia de juntas y las discontinuidades presentes los cuales fueron medidos sus actitudes con el uso de una Brújula en el corte de una carretera, en pizarras de la formación Sandia. Los parámetros observados y medidos se obtuvieron en un formato de registro que cumple con los estándares propuestos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Están enumerados en el anexo 13. Estos parámetros son:

- Tipo de roca.
- Tipo de sistema de discontinuidad.
- Orientación.
- Espaciado.
- Persistencia.
- Apertura.
- Rugosidad.
- Tipo de relleno.
- Espesor de relleno.
- Intemperización.



- Presencia de agua.
- Resistencia de la roca.
- Frecuencia de fracturamiento.

La distribución de discontinuidades indica que existe una disposición estructural en toda el área de evaluación donde se recopilaban datos de buzamiento (DIP) y dirección de buzamiento (DIP DIR).

- Las características estructurales se determinaron mediante el procesamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geotécnico (Anexo 1). Esto pretende ser compatible con la observación in situ. Las estructuras más grandes suelen constar de diaclasas y tienen las siguientes características estructurales:
- Persistencias de 5-10 m.
- Espaciamientos de 0.1 a 1 mm.
- Superficies ligeramente rugosas.
- Relleno duro menor a 5mm.
- Superficies moderadamente intemperizadas.
- Condiciones de agua: húmedo.

#### 2.2.8.4 Clasificación de la masa rocosa

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso se utiliza información previamente desarrollada e incluida en las distintas celdas de

detalle del mapa geotécnico utilizando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR: Rock Mass Assessment 1989).

Los valores de resistencia a la compresión de rocas intactas se determinaron según el método que se indica a continuación. Los valores del índice de calidad de roca (RQD) se determinaron mediante la fórmula  $RQD = 110 - 2.5 J_v$ . Aquí,  $J_v$  es igual al número de juntas que cruzan 1 m<sup>3</sup> de macizo rocoso. Esta suma da la relación  $J_v = 11$  propuesta por Palmstrom (2005) cuando no se dispone de núcleo de perforación.

La clasificación geomecánica de las rocas en el área de evaluación se muestra en el anexo 1 y la Tabla 3. Haciendo referencia a los valores de RMR de Bieniawski (1989), se encuentra que la calidad de la roca es regular (clase III-B, RMR 41-60).

**Tabla 3.** Clasificación geomecánica del macizo rocoso

N.º Estación	Nivel	Tipo litología	RMR	Calidad roca según RMR
1	2900	Pizarra	49	Regular

Esta información es considerada como parámetro de primera categoría para el establecimiento de la delimitación geomecánica en la zona de evaluación.

#### 2.2.8.5 Zonificación geomecánica de la masa rocosa

En la tabla 4, se presenta la delimitación de los dominios estructurales, obtenidas en la presente investigación.

**Tabla 4.** Dominios Estructurales

N°	Estaciones	Litología	Rango RMR	Calidad roca
1	1	Pizarra	49	Regular

#### **Resistencia de la roca intacta**

En relación a la resistencia de la roca intacta, uno de las cuantificaciones más importantes del comportamiento mecánico de la roca, es la resistencia compresiva uniaxial  $\sigma_C$ .

Los valores de  $\sigma_C$  fueron obtenidos mediante los siguientes procedimientos:

- Ensayos in-situ de impacto con el martillo Schmidt de dureza.

La resistencia compresiva uniaxial (tabla 5) ha sido determinada en el registro de prueba de compresión uniaxial con el martillo de Smith en el macizo rocoso en pizarras de formación Sandia (ver anexo 14).

**Tabla 5.** Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta

Roca	Resistencia compresiva uniaxial (MPa)	
	Rango	Promedio
Pizarra	50-100	89

#### **2.2.8.6 Condiciones de agua subterránea**

La presencia de agua en las rocas de terraplenes y excavaciones subterráneas afecta negativamente a su estabilidad. El principal efecto de la presencia de agua en el macizo rocoso es la presión que ejerce sobre las discontinuidades estructurales, lo que reduce la resistencia al corte y promueve la inestabilidad del talud.



En el área de estudio se observó la presencia de agua correspondiente a condiciones “húmedas”. Las características de la presencia de agua en este estudio se tuvieron en cuenta al evaluar la calidad del macizo rocoso y se realizaron todos los cálculos.

#### 2.2.8.7 Esfuerzos in-situ

El esfuerzo in-situ vertical estimado es de orden de 8.10 MPa para una profundidad 300 m. El valor de K (relación del esfuerzo horizontal con el esfuerzo vertical) considerado es alrededor de 1.20.

#### 2.2.8.8 Unidades Geomecánicas

De acuerdo a la información geotécnica analizada, se definieron una unidad principal que corresponde a Pizarra ligeramente silicificada, a continuación, se hace la descripción de la unidad definida:

#### 2.2.8.9 Unidad Geomecánica

Representa el 100 % del macizo rocoso, dando como resultado con grado de fracturamiento de RQD de 75-90 %, su resistencia a la compresión uniaxial promedio es de 50-100 MPa, y presenta contenido de humedad. De acuerdo a los antecedentes descritos, la calidad del macizo rocoso presente en esta unidad, es de “Regular B” con un rango de RMR entre 41-60 (tabla 6).

**Tabla 6.** Recomendación de Sostenimiento para cada Unidad Geomecánica

CODIGO DE COLORES	CLASE RMR	DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA	VALUACIÓN SEGÚN RMR	GSI	GRADO DE ESTABILIDAD	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO)	
						TEMPORALES <= 3 años	PERMANENTES >3 años
	I	MUY BUENA	81 - 100	LF/B	MUY ESTABLE	Autosoporte	Autosoporte
	II A	BUENA A	71 - 80	LF/R, F/B	ESTABLE	Split Set ocasional o puntual	Perno Helicoidal ocasional o puntual
	II B	BUENA B	61 - 70	F/R		Split Set ocasional o puntual	Perno Helicoidal ocasional o puntual
	III A	REGULAR A	51 - 60	F/P, MF/R	MED. ESTABLE A MED.	Split set sistematico espaciado segun evaluacion geomecanica	Perno Helicoidal sistematico espaciado segun eval. geomec.
	III B	REGULAR B	41 - 50	MF/P, IF/R	INESTABLE	Split set y malla electrosoldada	Perno Helicoidal y malla electrosoldada
	IV A	POBRE A	31 - 40	MF/MP, IF/P	INESTABLE	Shotcrete e=2" y/o cuadros e=1.2-1.5m	Shotcrete e=2" y/o cimbras H4 e=1.2-1.5m
	IV B	POBRE B	21 - 30	IF/MP		Cuadros e=1.0-1.2m	Cimbras H4 e=1.0-1.2m
	V	MUY POBRE	0 - 20	T/MP	MUY INESTABLE	Cuadros e=0.5-1.0m	Cimbras H6 e=0.5-1.0m

Fuente: adaptado de Bieniawski (1989).

### 2.2.9 Modelo digital de elevación

Según (Santos, 2004) es la forma básica de referir la información en un MDE consiste en la identificación de valor de la altitud z, para cada una de las coordenadas (x, y), relativas a un punto de la superficie terrestre. La agrupación de datos de este tipo permite definir estructuras más complejas en un conjunto unitario. Las estructuras más interesantes surgen de los dos modelos básicos presentes en los SIG; el modelo y el modelo ráster

### 2.2.10 Geomorfología

La Geomorfología ha sido definida como «la ciencia que estudia la configuración de la superficie terrestre». Específicamente analiza las formas del terreno: su fisonomía o geometría, los factores que contribuyen a su desarrollo, y los procesos que las originan (Aguiló, y otros, 2014). Comprende el estudio de las formas del relieve, las cuales son el resultado de la interacción de las llamadas fuerzas geodinámicas internas y externas del planeta, actuando de manera conjunta a lo largo de los tiempos geológicos. Este juego de acciones determina

que el relieve vaya cambiando, unas veces de forma relativamente rápida (mediante procesos geomorfológicos rápidos o muy rápidos), y otras veces de manera muy lenta, con procesos e incidencias que son poco perceptibles a la escala de la vida humana (MPC & MINAM CAF, 2018) (anexo17).

### 2.2.11 Talud

La pendiente es el elemento primario y nuclear para todo análisis de las formas del terreno y, en *sentido estricto*, puede definirse como la inclinación de un terreno respecto a un plano horizontal. Esta acepción no es la única, y es frecuente, sobre todo en los países anglosajones, utilizar el término pendiente en un *sentido amplio* para describir una unidad del relieve compleja (Aguiló, y otros, 2014). La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que este puede sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso deformacional y, por tanto, su estabilidad (De Vallejo *et al.*, 2002).

### 2.2.12 Imagen satelital Sentinel 2A

La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites idénticos situados en la misma órbita polar, con un desfase de 180° entre sí, para optimizar la cobertura. Cada uno de los satélites gemelos está equipado con un instrumento óptico multiespectral (MSI, *Multispectral Instrument*) que permite capturar datos de 13 bandas espectrales: cuatro bandas con una resolución espectral de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m (Pérez *et al.*, 2020).



### **2.2.13 Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G.**

El método empleado para esta investigación y por ello es importante considerar el trabajo de (Irigaray & Chacón, 2002), donde hacen una clasificación de los métodos de análisis de riesgo a los movimientos de masa en: modelos basados en el análisis de actividad, modelos de densidad de movimientos, modelos basados en el análisis geomorfológico, modelos basados en el análisis cuantitativo, modelos basados en el análisis estadístico bivariante, modelos basados en el análisis estadístico multivariante y modelo determinista, en la presente investigación es multivariante.

## **2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE**

El análisis estadístico multivariante de los principales factores que determinan la generación de los movimientos de ladera puede proporcionar la contribución relativa de cada uno de ellos a la susceptibilidad total en una determinada unidad de terreno. Unos de los primeros autores que aplicaron este análisis a la determinación de la susceptibilidad a los movimientos de ladera fueron Carrara *et al.* (1977). Existen principalmente dos tipos de enfoques:

1. Análisis estadístico de datos puntuales obtenidos a partir de la comprobación de una lista de factores determinantes en la generación de movimientos individuales (Carrara *et al.*, 1977).

2. Análisis estadístico realizado sobre unidades del terreno que cubren toda la zona de estudio. Para cada una de las unidades definidas se obtiene una serie de datos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y morfométricos y se analizan mediante técnicas de regresión múltiple o análisis discriminante (Carrara *et al.*; 1991; Baeza, 1994;

Irigaray, 1995; Chung *et al.*, 1995; Fernández, 2001). Ambos métodos necesitan gran cantidad de tiempo, tanto para la recopilación de los datos como para el procesamiento de los mismos.

Estos análisis se basan en la presencia o ausencia de fenómenos de movimiento de pendientes dentro de una unidad topográfica particular. Se han propuesto varias técnicas multivariadas, la mayoría de las cuales requieren el uso de programas estadísticos externos, como el análisis discriminante y la regresión múltiple. El SIG se utiliza para probar diferentes parámetros para cada unidad. Sin embargo, pueden surgir problemas cuando se utilizan grandes cantidades de datos. Este método requiere mapas de distribución de deslizamientos de tierra y mapas de unidades de área.

Al igual que en el método anterior, también se utiliza un gran número de factores.

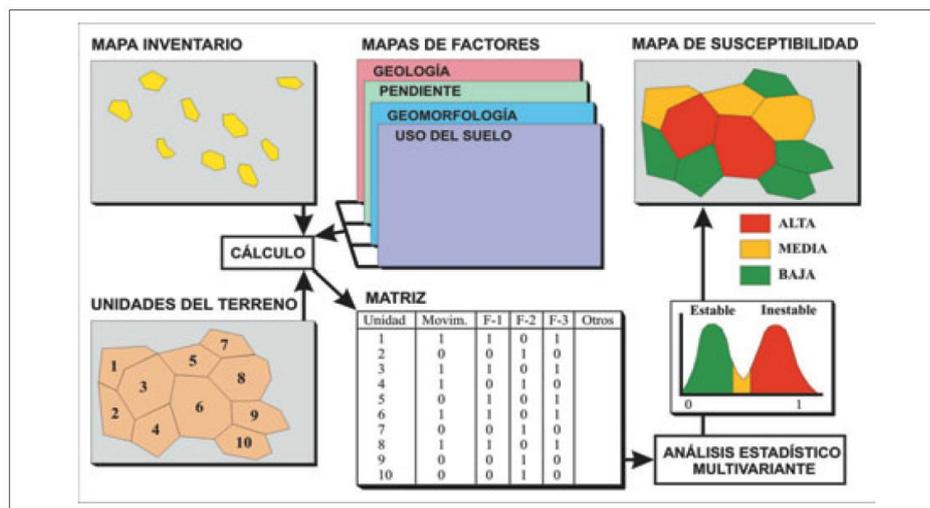


Figura N° 2. Flujograma de análisis estadístico multivariante.

Fuente: (Irigaray & Chacón, 2002).

### 2.3.1 Métodos aplicados

#### 2.3.1.1 Procesos de Análisis Jerárquico

El método Analytic Hierarchy Process (AHP), propuesto por Thomas Saaty en 1980 es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios expertos manifestados a través de comparaciones por pares mediante una escala de preferencia (Nantes, 2019). Y por ello es importante decidir qué criterio se prefiere sobre el otro. La priorización de criterios se puede hacer utilizando métodos analíticos (Sharma *et al.*, 2022).

Para determinar el peso de los factores condicionantes, desencadenantes y evaluación, se consideran métodos con criterios objetivos. Uno de ellos es la consideración de parámetros y descriptores, y una de las formas que permite la manipulación de estos valores es el modelo de clasificación por pares de Saaty o denominado también el proceso de análisis jerárquico. Es un método que permite determinar pesos a tres o más criterios que determinan una característica única se trata de un método numérico que opera con base en comparaciones de pares (dos a dos) en base al grado o nivel de importancia de una variable respecto a otra (CENEPRED, 2014).

Notación matemática:  $A=A_{ij}$

Uno de los aspectos más cuestionados está dado por la objetividad al asignar pesos a las variables que se evaluarán para generarlos (Marcano *et al.*, 2015).

### 2.3.1.2 Cálculo de los pesos ponderados

Se crea una matriz de comparaciones por pares que muestra la comparación entre los criterios dependiendo del caso de interés. La ponderación de criterios utiliza esta matriz para determinar la importancia de un criterio en relación con otro y se utiliza para ponderar criterios, con la siguiente matriz

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Esta es la suma vertical de los elementos de cada columna y viene dada por la siguiente expresión:

$$v_1, v_2 \dots v_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

La construcción de la matriz de comparaciones normalizada, se obtiene al dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida, para conseguir mediante la siguiente matriz:

$$A_{Normalizada} = \begin{bmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_n & \dots & 1/v_n \end{bmatrix}$$

El siguiente paso es obtener un vector de prioridad que indique la ponderación de cada criterio a partir de la matriz normalizada. Para ello, se calcula un vector columna utilizando la siguiente matriz:

$$p = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{bmatrix}$$

Se determina el vector prioritario de criterios.

$$p = \begin{bmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{bmatrix}$$

Debe especificar que la suma de los elementos del vector de prioridad debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^n p_{c1i} = p_{c11} + p_{c12} + \dots + p_{c1n} = 1$$

### 2.3.1.3 Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

Comprobar la posibilidad de que exista coherencia en el juicio de los expertos. Cada valor de la primera columna de la matriz de comparación por pares debe multiplicarse por la prioridad relativa del primer elemento considerado, etc. Sume los valores en las filas para obtener un vector de valores llamado vector de sumas ponderadas (VSP).

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ p_{c1n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} VSP_{11} \\ 2 \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{bmatrix}$$

Divida los elementos del vector de suma ponderada por el valor de prioridad correspondiente para cada criterio.

$$\frac{VSP_{11}}{p_{c11}} = \lambda_1$$
$$\frac{VSP_{11}}{p_{c11}} = \lambda_1$$
$$\dots$$
$$\dots$$
$$\frac{VSP_{1n}}{p_{c1n}} = \lambda_n$$

Posteriormente se determina la  $\lambda$  máximo:

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)/n$$

Luego el cálculo del índice de consistencia (IC):

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$$

Finalmente, el cálculo de la relación de consistencia (RC), para comprobar si las decisiones fueron correctas con la siguiente expresión:

$$RC = IC/IA$$

Dónde:

IA: índice aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas.

**Tabla 7.** Tabla de índice aleatorio.

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513

**Tabla 8.** Tabla de escala de valoración.

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
9	Absolutamente muchísimo importante que...	o más se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo
7	Mucho más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.

---

5	Más importante o preferido que...	o	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...		Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a...		Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...		Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que...	o	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que...		Al comparar un elemento con otro, e primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente muchísimo.	o	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
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.		

---

Fuente: (CENEPRED, 2014).

#### 2.3.1.4 Susceptibilidad

El cálculo de la susceptibilidad, es resultado del factor condicionante por pesos ponderado número 1, más el factor desencadenante multiplicado por el peso ponderado número 2, la suma total de los pesos debe ser una unidad, como se detalla en la siguiente expresión:

$$Sus = FC * \alpha_1 + FD * \alpha_2$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1$$

Donde:

Sus: Susceptibilidad



FC: Factor condicionante

FD: Factor desencadenante

$\alpha$ : pesos

### 2.3.1.5 Análisis de riesgo

El análisis de riesgo se determina con la multiplicación de susceptibilidad por pesos ponderado número 1, más el parámetro de evaluación por el peso ponderado número 2, la suma de peso ponderado debe ser igual a 1, se presenta en la siguiente fórmula.

$$R = Sucep * \beta_1 + P_{Eva} * \beta_2$$

$$\beta_1 + \beta_2 = 1$$

Donde:

R: Riesgo

$P_{Eva}$ : Parámetro de evaluación

Suscep: Susceptibilidad

$\beta$ : Pesos



## 3 CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

En la ejecución de la presente investigación, se ha considerado los siguientes materiales y equipos:

- Geología del cuadrángulo Ayapata, hoja 28-v.
- Imagen satelital Sentinel 2A.
- Modelo de Elevación Digital.
- Información vectorial.
- Información climática de precipitación y temperatura PISCOp. 2v.1 (SENAMHI).

##### 3.1.1 Equipos

- GPS Marca Garmin.
- Brújula.
- Martillo de Smith
- Cámara fotográfica.
- Laptop.
- Lapicero.
- Picsa.



- Lápiz de dureza.
- Lupa.
- Bloc de notas.

## **3.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 Tipo de investigación**

La investigación es de tipo correlacional, porque el tipo de trabajo tiene un grado de relación de variables físicas, esta investigación ocurre al mismo tiempo.

### **3.2.2 Modelo de análisis multivariante**

Este método consiste en la cartografía de todos los posibles factores o parámetros condicionantes de movimientos y el análisis estadístico de estos posibles parámetros con el objetivo de obtener los factores que condicionan los movimientos en masa que aparecen cartografiados en el inventario (Lario *et al.*,2016)

## **3.3 VARIABLES E INDICADORES**

### **3.3.1 Variable independiente**

- Tiempo de retorno
- Precipitación
- Geología local

### **3.3.2 Variable dependiente**

- Pendiente
- Geomorfología
- Cobertura vegetal

### 3.3.3 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es no experimental, basada en la observación y determinación de fenómenos naturales, para este fin se ha dividido en tres fases.

#### 3.3.3.1 Fase de gabinete 1:

Esta fase corresponde el reconocimiento de la zona de estudio, como:

- Revisión bibliográfica sobre evaluación y determinación de riesgo geológico.
- Descarga y procesamiento de modelo de elevación digital.
- Delimitación de la cuenca alta e intermedia del río Ayapata.
- Recopilación y análisis de información vectorial.
- Descarga de imágenes satelitales para clasificación supervisada.
- Análisis y determinación de parámetros de evaluación, desencadenantes, condicionantes.
- Evaluación geomecánica del macizo rocoso.

#### 3.3.3.2 Fase de campo

Durante esta fase, se recopiló información para identificar y mapeo de riesgos geológicos que podrían provocar inestabilidad de laderas. Identificaremos el área de estudio mediante trabajos de reconocimiento de campo y recolectaremos información litológica, áreas de expansión urbana y uso agrícola.



- Recopilación y reconocimiento de las variables geológica, geomorfología, pendiente y cobertura vegetal.
- Toma de fotografía.
- Toma de datos de los puntos de evaluación con GPS y brújula.
- Reconocimiento de los peligros en la cuenca de estudio.
- Caracterización de macizo rocoso.

### 3.3.3.3 Fase de gabinete

En esta etapa se realizó la recopilación de información base (vectorial y ráster), luego se ejecutó el procesamiento de imágenes satelitales, posteriormente se elaboró la cartografía final, en esta etapa se seleccionaron los puntos de muestro en la etapa de verificación de campo.

### 3.3.4 Ubicación

El área de estudio se ubica en el distrito de Ayapata, provincia de Carabaya y en el departamento de Puno. Entre las coordenadas geográficas,  $13^{\circ}46'37''S$  y  $70^{\circ}19'21''W$ . Se ubica en la parte Norte de la Cordillera Oriental de los Andes y representa parte de la Cordillera Oriental, con rasgos topográficos distintos que distinguen la Cordillera del área geográfica de Alta Subandina (Figura 3).

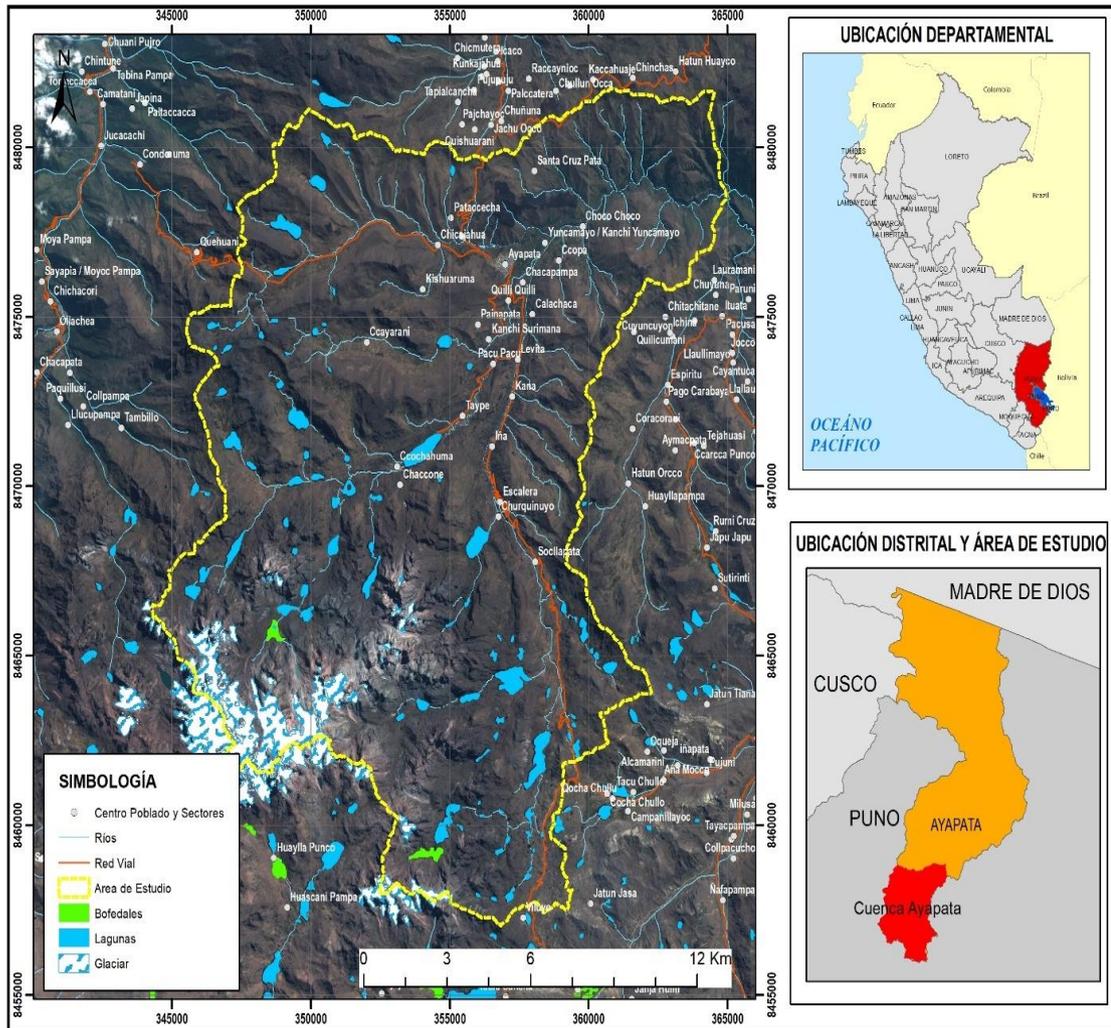


Figura N° 3. Mapa de ubicación del área de estudio.

### 3.3.5 Precipitación

El régimen de precipitación en la cuenca alta y media, se divide en dos periodos temporales de sequía y lluvia. La primera se presenta en los meses de setiembre hasta abril. Mientras la segunda desciende en el mes de mayo hasta agosto. La precipitación en la Cordillera Oriental es de manera sólida próximo a los nevados Allinkapac y Chichikapac. Estos mantienen el régimen fluvial de manera continua las lagunas y los ríos principales como el Taype y Ayapata. Por otra parte, el río Yunkamayu recibe el aporte de los puquiales, lagunas y la infiltración de aguas subterráneas almacenados en la estación lluviosa.

### 3.3.6 Temperatura

La temperatura que se presenta en la parte de las montañas intermedias y altas es bastante frígida, el aumento es progresivo en los profundos valles de la referida cuenca. La temperatura registrada promedio en el periodo 1981-2016 es de 9.6 °C y la mínima de -3.5 °C, con promedio 9.3 °C. El histograma muestra un aumento sobre promedio en los meses de octubre hasta marzo, luego existe un descenso de la misma sobre el promedio en los meses abril hasta setiembre (Figura 4).

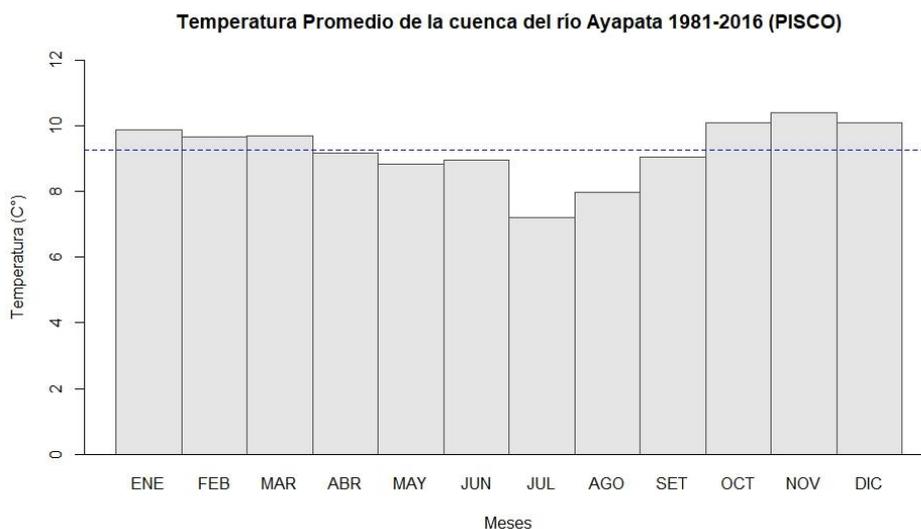


Figura N° 4. Temperatura promedio de la parte alta e intermedia del río Ayapata (1981-2016).

### 3.3.7 Vegetación

La cobertura vegetal, esta caracterizado por la presencia bosques altoandinos endémicas e introducidas. Dentro de ella están asociados varios tipos de especies como el Eucalipto, Aliso, Pino, Ciprés, Keñoa, Sauco, Kishuara, Khiska, Salvia, Qosqos, Chullullo, Carrizo. Entre los matorrales se tiene Wila wila, Káwillu, Thiri, muña entre otros. Asimismo, cuenta con gran extensión de



pajonales altoandinos, los bofedales y otras especies, para la presente investigación solo se ha considerado cinco tipos de cobertura.

## 4 CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN LA CUENCA DEL RÍO AYAPATA

La serie de precipitación media anual desde 1981 a 2022 muestra un comportamiento diferente respecto a la media general, este se ubica por encima de los 1356 (mm/año). Asimismo, la misma línea de tendencia muestra aumento de precipitación en el 1985 y 2004, presentando un descenso en los años 1983 y 1990 (Figura 5).

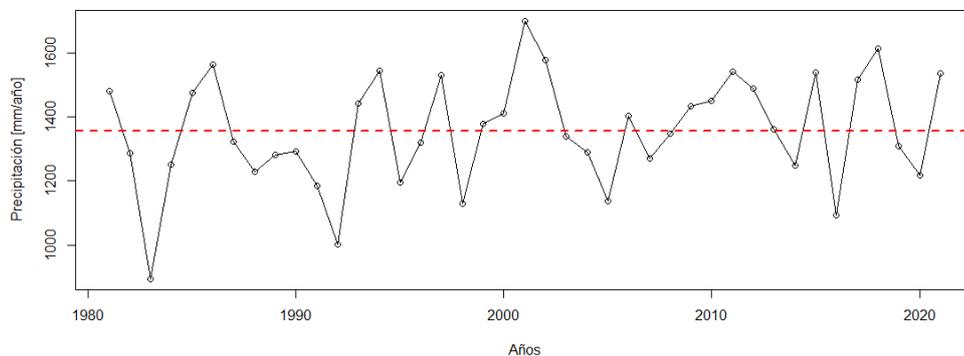


Figura N° 5. Precipitación media interanual en la cuenca alta e intermedia.

El histograma de la precipitación media de naturaleza unimodal. La mayor precipitación fue en el mes de enero con 312 mm, seguido en febrero con 271 mm, 218 mm en marzo, 73 mm en el mes de abril, mayo de 21 mm, 13 mm junio la más baja, al mes julio corresponde 18 mm, posteriormente se registra un aumento de 24 mm en el mes de agosto, 25 mm en el mes de setiembre, 85 mm en el mes de octubre, 106 mm en el mes de noviembre, 191 mm en el mes de diciembre. La precipitación promedio mensual es de 113 (mm/mensual), con un valor total de 1356 (mm/anales) (figura 8).

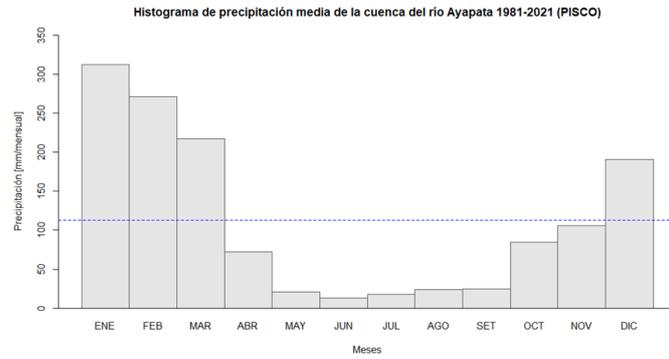


Figura N° 6. Histograma de la precipitación media en los tramos alta e intermedia.

La distribución espacial de la precipitación anual en la parte alta e intermedia de la cuenca, es desde (2200 mm/año) en la parte de la selva alta, descendiendo hasta 700 (mm/año) a la parte alta en la cordillera oriental (anexo 18).

La cuenca del río Ayapata se encuentra dentro de la cuenca del Inambari uno los puntos críticos con mayor precipitación pluvial en los Andes Tropicales del Sur de la cuenca amazónica, con precipitación promedio de 130 mm con promedio anual de 2335 (mm/año) (Alata, 2023), esta microcuenca en relación a la agresividad de precipitaciones entre alto y medio. Los deslizamientos en el sur del Perú son causados principalmente por la saturación de agua debido a las precipitaciones (Peche *et al.* 2023).

## 4.2 EVALUACIÓN DE PELIGRO POR MOVIMIENTO DE TIERRA

### 4.2.1 Factores desencadenantes (FD)

Para la obtención de los niveles de susceptibilidad, como factor desencadenante se determinó la precipitación. Para el análisis este se ha agrupado en una matriz de 5x5 descriptores, desde la precipitación entre mayores a 2000 (mm/año) hasta menores a 1000 (mm/año), esta se distribuye desde selva alta hasta la cordillera oriental donde presenta precipitaciones menores a 1000 (mm/año).

#### 4.2.2 Parámetro: precipitación

La primera parte corresponde a la estimación de matriz de comparación de pares mediante el análisis jerárquico, clasificado en cinco descriptores (tabla 9), luego la matriz normalización (tabla 10) con la obtención de vector de priorización con su respectivo resultado de 0.46, 0.28, 0.15, 0.07 y 0.04, finalmente el resumen de análisis de índice de consistencia y su relación con el resultado de 0.10 y 0.09, la evaluación indica consistente.

**Tabla 9.** Matriz de comparación de pares de precipitación

Descriptores	>2000 mm	1600 mm - 2000 mm	1300 mm - 1600 mm	1000 mm - 1300 mm	<1000 mm
>2000 mm	1	3	4	5	9
1600 mm -2000 mm	1/3	1	4	5	6
1300 mm -1600 mm	1/4	1/4	1	4	5
1000 mm -1300 mm	1/5	1/5	1/4	1	3
<1000 mm	1/9	1/6	1/5	1/3	1
Suma	1.9	4.6	9.5	15.3	24.0
1/Suma	0.53	0.22	0.11	0.07	0.04

**Tabla 10.** Matriz de normalización de precipitación

Descriptores	>2000 mm	1600 mm - 2000 mm	1300 mm - 1600 mm	1000 mm - 1300 mm	<1000 mm	Vector Priorización
>2000 mm	0.53	0.65	0.42	0.33	0.38	0.46
1600 mm -2000 mm	0.18	0.22	0.42	0.33	0.25	0.28
1300 mm -1600 mm	0.13	0.05	0.11	0.26	0.21	0.15
1000 mm -1300 mm	0.11	0.04	0.03	0.07	0.13	0.07
<1000 mm	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro precipitación, esta se encuentra menor que 0.1.

<b>Índice de Consistencia</b>	<b>IC</b>	0.1015	
<b>Relación de Consistencia &lt; 0.1</b>	<b>RC</b>	0.0910	Consistente

##### 4.2.2.1 Factores de evaluación (FE)

Como elemento de evaluación, se consideró solo un parámetro general relacionado a los umbrales altos de precipitación acumulada en 24

horas o eventos extraordinarios que podrían desencadenar el peligro de movimiento de masa, obteniéndose los siguientes resultados:

#### 4.2.2.2 Umbrales de precipitaciones

La matriz de comparación del umbral de precipitaciones (tabla 11), el resultado de matriz de normalización (tabla 12) con valores de vector de priorización de 0.52, 0.24, 0.12, 0.08 y 0.04 respectivamente. Posteriormente el análisis de índice de consistencia de 0.04 y la relación de consistencia 0.039, este análisis indica que la estimación se encuentra dentro del rango permitido.

**Tabla 11.** Matriz de comparación del umbral de precipitación

Descriptor	R>26.7	16.5mm<RR≤26.7mm	12.5mm<RR≤16.5mm	6.8<RR≤12.5	RR≤6.8
Extremadamente lluvioso	1	3	5	7	9
Muy lluvioso	1/3	1	3	4	5
Lluvioso	1/5	1/3	1	2	4
Moderadamente lluvioso	1/7	1/4	1/2	1	3
Escasamente lluvioso	1/9	1/5	1/4	1/3	1
Suma	1.8	4.8	9.8	14.3	22.0
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.07	0.05

**Tabla 12.** Matriz de normalización del umbral de precipitación

Descriptor	RR>26.7	16.5mm<RR≤26.7mm	12.5mm<RR≤16.5mm	6.8mm<RR≤12.5mm	RR≤6.8mm	Vector Priorización
Extremadamente lluvioso	0.56	0.63	0.51	0.49	0.41	0.52
Muy lluvioso	0.19	0.21	0.31	0.28	0.23	0.24
Lluvioso	0.11	0.07	0.10	0.14	0.18	0.12
Moderadamente lluvioso	0.08	0.05	0.05	0.07	0.14	0.08
Escasamente lluvioso	0.06	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04

Índice de consistencia y relación de consistencia del umbral de precipitación.

<b>Índice de consistencia</b>	<b>IC</b>	0.043616742	
<b>Relación de consistencia &lt; 0.1</b>	<b>RC</b>	0.039118154	Consistente

#### 4.2.2.3 Factores condicionantes (FC)

Otro punto importante para la determinación de riesgo por deslizamiento de masa de tierra, son los factores condicionantes, para la presente investigación se ha considerado cuatro variables que son el talud, geomorfología, litología y la vegetación. Mediante el proceso de análisis jerárquico que se presenta a continuación:

#### 4.2.2.4 Parámetro: taludes

El resultado de la evaluación del talud la obtención de la matriz de comparación (tabla 13), luego la matriz normalización (tabla 14), con peso ponderado de 0.52, 0.23, 0.15, 0.07 y 0.04 respectivamente, con la finaliza del análisis de índice de consistencia y su relación de 0.074 y 0.066 que nos indica consistente que pasa la evaluación siguiente.

**Tabla 13.** Matriz de comparación del parámetro taludes

<b>Descriptor</b>	<b>&gt;45°</b>	<b>25°-45°</b>	<b>15°-25°</b>	<b>4°-15°</b>	<b>0°-4°</b>
>45°	1	3	5	7	9
25°-45°	1/3	1	2	4	7
15°-25°	1/5	1/2	1	3	5
4°-15°	1/7	1/4	1/3	1	3
0°-4°	1/9	1/7	1/5	1/3	1
SUMA	1.8	4.9	8.5	15.3	25.0
1/SUMA	0.56	0.20	0.12	0.07	0.04

**Tabla 14.** Matriz de normalización del parámetro taludes

Descriptores	>45°	25°-45°	15°-25°	4°-15°	0°-4°	Vector Priorización
>45°	0.56	0.61	0.59	0.46	0.36	0.52
25°-45°	0.19	0.20	0.23	0.26	0.28	0.23
15°-25°	0.11	0.10	0.12	0.20	0.20	0.15
4°-15°	0.08	0.05	0.04	0.07	0.12	0.07
0°-4°	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro pendiente

Índice de consistencia	IC	0.074541527	
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.066853387	Consistente

La clasificación de taludes en la parte media y alta del río Ayapata, agrupado en cinco rangos desde mayores de 45° clasificado como empinado en zonas con valor de 25°-45° ligeramente empinado, 15°-25° ligeramente inclinada a ondulada, 4°-15° moderadamente inclinado y 0°-4° plano o casi a nivel (anexo 19).

#### 4.2.2.5 Geomorfología

El resultado de la matriz de comparación (tabla 15), con la matriz de normalización (tabla 16) con los pesos de ponderación de 0.50, 0.28, 0.11, 0.07 y 0.04 respectivamente, luego el análisis de índice de consistencia y su relación muestra un valor de 0.04 y 0.039 que nos indica consistente que pasa a la siguiente etapa.

**Tabla 15.** Matriz de comparación del parámetro geomorfología

DESCRIPTORES	FONDO DE VALLES CUATERNARIOS LLANOS	LADERAS MONTAÑOSAS ALTOANDINAS EMPINADAS A ESCARPADAS	LADERA MONTAÑOSAS MEDIAS LIGERAMENTE EMPINADAS	LADERAS MONTAÑOSAS MEDIA MODERADAMENTE EMPINADAS	ACTIVIDAD ANTROPICA, LAGUNA Y NEVADOS
FONDO DE VALLES CUATERNARIOS LLANOS	1	3	5	6	9
LADERAS MONTAÑOSAS ALTOANDINAS EMPINADAS A ESCARPADAS	1/3	1	4	5	7
LADERA MONTAÑOSAS MEDIAS LIGERAMENTE EMPINADAS	1/5	1/4	1	2	4
LADERAS MONTAÑOSAS MEDIA MODERADAMENTE EMPINADAS	1/6	1/5	1/2	1	2
ACTIVIDAD ANTROPICA, LAGUNA Y NEVADOS	1/9	1/7	1/4	1/2	1
SUMA	1.8	4.6	10.8	14.5	23.0
1/SUMA	0.55	0.22	0.09	0.07	0.04

**Tabla 16.** Matriz de normalización del parámetro geomorfología

DESCRIPTORES	FONDO DE VALLES CUATERNARIOS LLANOS	LADERAS MONTAÑOSAS ALTOANDINAS EMPINADAS A ESCARPADAS	LADERA MONTAÑOSAS MEDIAS LIGERAMENTE EMPINADAS	LADERAS MONTAÑOSAS MEDIA MODERADAMENTE EMPINADAS	ACTIVIDAD ANTROPICA, LAGUNA Y NEVADOS	Vector Priorización
FONDO DE VALLES CUATERNARIOS LLANOS	0.55	0.65	0.47	0.41	0.39	0.50
LADERAS MONTAÑOSAS ALTOANDINAS EMPINADAS A ESCARPADAS	0.18	0.22	0.37	0.34	0.30	0.28
LADERA MONTAÑOSAS MEDIAS LIGERAMENTE EMPINADAS	0.11	0.05	0.09	0.14	0.17	0.11
LADERAS MONTAÑOSAS MEDIA MODERADAMENTE EMPINADAS	0.09	0.04	0.05	0.07	0.09	0.07
ACTIVIDAD ANTROPICA, LAGUNA Y NEVADOS	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro geomorfología

Índice de consistencia	IC	0.044466667	
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.039880419	consistente

La clasificación de la geomorfología para se agrupó en cinco, actividad antrópica, fondos de valles cuaternarios llanos, laderas montañosas altoandinas, empinadas a escarpadas, laderas montañosas

medias ligeramente empinadas y laderas montañosas medias moderadamente empinadas (anexo 21).

#### 4.2.2.6 Parámetro: litología

En la tabla 17 detalla la matriz de comparación y la matriz de normalización (tabla 18) con pesos ponderados de 0.48, 0.25, 0.16, 0.07 y 0.03 respectivamente, el análisis de índice de consistencia y su relación muestra un valor de 0.05 y 0.05 que nos indica consistente.

Tabla 17. Matriz de comparación de litología

DESCRIPTORES	DEPOSITOS FLUVIOGRACIARES Y CUATERNARIOS	PIZARRAS	ROCAS SEDIMENTARIAS	ROCAS IGNEAS PLUTONICAS	AREA URBANA, GLACIAR Y LAGUNAS
DEPOSITOS FLUVIOGRACIARES Y CUATERNARIOS	1	2	5	7	9
PIZARRAS	1/2	1	2	3	8
ROCAS SEDIMENTARIAS	1/5	1/2	1	4	5
ROCAS IGNEAS PLUTONICAS	1/7	1/3	1/4	1	3
AREA URBANA, GLACIAR Y LAGUNAS	1/9	1/8	1/5	1/3	1
SUMA	2.0	4.0	8.5	15.3	26.0
1/SUMA	0.51	0.25	0.12	0.07	0.04

Tabla 18. Matriz de normalización de litología

DESCRIPTORES	DEPOSITOS FLUVIOGRACIARES Y CUATERNARIOS	PIZARRAS	ROCAS SEDIMENTARIAS	ROCAS IGNEAS PLUTONICAS	AREA URBANA, GLACIAR Y LAGUNAS	Vector Priorización
DEPOSITOS FLUVIOGRACIARES Y CUATERNARIOS	0.51	0.51	0.59	0.46	0.35	0.48
PIZARRAS	0.26	0.25	0.24	0.20	0.31	0.25
ROCAS SEDIMENTARIAS	0.10	0.13	0.12	0.26	0.19	0.16
ROCAS IGNEAS PLUTONICAS	0.07	0.08	0.03	0.07	0.12	0.07
AREA URBANA, GLACIAR Y LAGUNAS	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03

índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro

**Índice de consistencia** IC 0.05285122  
**Relación de consistencia < 0.1** RC 0.047400197 consistente

La litología que se presenta en la cuenca alta y media de Ayapata (figura 12), tiene una estratigrafía diversa de rocas, cuyas edades van desde el Cámbrico hasta el Cuaternario. El Paleozoico Inferior está representado por el Grupo San José, la Formación Sandia y la Formación Ananea, que se presenta en gran parte de Ayapata. El Paleozoico superior está dominado por apariciones parciales de las formaciones Ambo, Tarma, Copacabana y Mitu y generalmente está restringido por fallas. Varias bandas estrechas de afloramientos del Cretácico se encuentran en la esquina noreste del cuadrilátero de Ayapata y están en contacto de falla con la Formación Sandia. Una serie de morrenas, glaciares fluviales y depósitos aluviales completan la estratigrafía. Nótese que la secuencia estratigráfica se intercala con plutonismo de diferentes edades, por lo que hay rocas intrusivas presentes en toda la cuenca. Para su análisis y evaluación, las rocas sedimentarias presentes en esta parte de la montaña se dividieron en cinco grandes grupos. A partir de Allinkapac y Chichikapac, los plutónicas se presentan en zonas aisladas de cerros, lutitas, gravas fluviales, depósitos cuaternarios y finalmente en zonas urbanas y glaciares (Anexo 19).

#### 4.2.2.7 **Parámetro: cobertura vegetal**

El resultado de la matriz normalización, matriz de normalización (tabla 19) con su respectivo de peso ponderado de la cobertura vegetal (tabla 20) presenta valores de 0.46, 0.28, 0.15, 0.07 y 0.04 respectivamente, luego el análisis de índice de consistencia y su relación es de 0.038 y 0.034 que nos indica consistente que pasa la evaluación siguiente.

**Tabla 19.** Matriz de comparación del parámetro de la cobertura vegetal

DESCRIPTORES	AFLORAMIENTO ROCOSO	LAGOS Y NEVADO, AREAS URBANAS	AREAS DE CULTIVOS	PAJONAL Y BOFEDAL	BOSQUE Y PLANTACIONES FORESTALES
AFLORAMIENTO ROCOSO	1	3	5	7	9
LAGOS Y NEVADO, AREAS URBANAS	1/3	1	3	4	7
AREAS DE CULTIVOS	1/5	1/3	1	2	4
PAJONAL Y BOFEDAL	1/7	¼	1/2	1	3
BOSQUE Y PLANTACIONES FORESTALES	1/9	1/7	1/4	1/3	1
SUMA	1.8	4.7	9.8	14.3	24.0
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.07	0.04

**Tabla 20.** Matriz de normalización del parámetro de la cobertura vegetal

DESCRIPTORES	AFLORAMIENTO ROCOSO	LAGOS Y NEVADO, AREAS URBANAS	AREAS DE CULTIVOS	PAJONAL Y BOFEDAL	BOSQUE Y PLANTACIONES FORESTALES	Vector Priorización
AFLORAMIENTO ROCOSO	0.56	0.63	0.51	0.49	0.38	0.51
AREAS DE CULTIVOS	0.19	0.21	0.31	0.28	0.29	0.26
LAGOS Y NEVADO, AREAS URBANAS	0.11	0.07	0.10	0.14	0.17	0.12
PAJONAL Y BOFEDAL	0.08	0.05	0.05	0.07	0.13	0.08
BOSQUE Y PLANTACIONES FORESTALES	0.06	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro cobertura vegetal.

ÍNDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.038425278	
RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.034462133	Consistente

La clasificación de la cobertura terrestre, agrupado en cinco grupos, desde pajonal asociado con la cobertura de pastos, chilligua y matorrales, luego el bosque altimontano ubicado en la parte intermedia de fondo de valles y áreas de cultivo y en la parte alta los bofedales, el suelo desnudo y área urbana distribuido en la parte alta e intermedia de la cuenca, cuerpos

de agua en las planicies y fondo de valle y la cobertura de los glaciares en la cordillera oriental (anexo 22).

A continuación, se muestra el resumen de la matriz de riesgo que presenta los factores condicionantes luego el factor desencadenante, en este análisis el parámetro pendiente es el factor condicionante se destaca por el mayor peso con valor de 0.62, luego sigue el parámetro de geomorfología de 0.22, litología de 0.11 y finalmente el parámetro de cobertura vegetal con 0.05 la suma total es de 1, estos factores condicionantes tiene un peso considerable para el análisis de 0.40 y el factor desencadenante la precipitación con un peso de 0.60 sumados estos valores se obtiene la matriz de susceptibilidad el valor de 1 (tabla 21).

**Tabla 21.** Resumen de Matriz de riesgo

FACTORES CONDICIONANTES (FC)										FACTOR DESENCADENANTE (FD)	
PENDIENTE		GEOMORFOLOGÍA		LITOLOGÍA		VEGETACIÓN		VALOR	PESO	PRECIPITACIÓN	
PFC1 (1)	Pdesc	PFC2 (1)	Pdesc	PFC3 (1)	Pdesc	PFC3 (1)	Pdesc			VALOR	PESO
<b>0.62</b>	0.52	<b>0.22</b>	0.495	<b>0.11</b>	0.48	<b>0.05</b>	0.514	0.49	0.40	0.460	0.60
<b>0.62</b>	0.23	<b>0.22</b>	0.285	<b>0.11</b>	0.25	<b>0.05</b>	0.255	0.26	0.40	0.278	0.60
<b>0.62</b>	0.15	<b>0.22</b>	0.114	<b>0.11</b>	0.16	<b>0.05</b>	0.118	0.15	0.40	0.152	0.60
<b>0.62</b>	0.07	<b>0.22</b>	0.068	<b>0.11</b>	0.07	<b>0.05</b>	0.076	0.07	0.40	0.073	0.60
<b>0.62</b>	0.04	<b>0.22</b>	0.039	<b>0.11</b>	0.03	<b>0.05</b>	0.037	0.04	0.40	0.036	0.60

El resultado de la susceptibilidad de deslizamiento de la masa de suelo, esta se presenta de forma ascendente con una estimación de 0.48, 0.26, 0.15, 0.07 y 0.04 respectivamente con respectivos pesos de 0.90, de la siguiente forma se tiene el parámetro de evaluación determinado 0.52, 0.24, 0.12, 0.08 y 0.04 respectivamente con peso asignado de 0.10 (tabla 22).

Tabla 22. Resultado de susceptibilidad y parámetros de evaluación

SUSCEPTIBILIDAD (S)		PARÁMETROS DE EVALUACIÓN (PE)	
VALOR (VALOR FC*PESO FC)+(VALOR FD*PESO FD)	PESO	PERIODO Y AÑOS DE RETORNO	
		VALOR	PESO
0.484	0.70	0.52	0.30
0.260	0.70	0.24	0.30
0.148	0.70	0.12	0.30
0.072	0.70	0.08	0.30
0.036	0.70	0.04	0.30

En las tablas 23 y 24 se tiene los valores de vulnerabilidad de deslizamiento desde 0.486, 0.26, 0.14, 0.074 y 0.037, para incorporar en los Sistemas de Información Geográfica.

Tabla 23. Valor de niveles de vulnerabilidad

VALOR NIVELES DE VULNERABILIDAD (VALOR S*PESO S+ (VALOR PE*PESO PE)
0.486
0.261
0.141
0.074
0.037

Tabla 24. Valores de niveles y rango sobre deslizamiento de masa de tierra en la cuenca alta y media.

Nivel	Rango				
Muy Alto	0.261	≤	R	≤	0.486
Alto	0.141	≤	R	<	0.261
Medio	0.074	≤	R	<	0.141
Bajo	0.037	≤	R	<	0.074

**Tabla 25.** Estratificación de los niveles de susceptibilidad en cuenca alta y media.

Niveles de Riesgo	Descripción	Rango
<b>MUY ALTA</b>	Zona con pendiente superior a 45 %, predomina la unidad geomorfológica laderas montañosas empinadas a escarpadas, en unidad litológica de depósitos fluviograciares y cuaternarios, sobre formación de roca sedimentaria, pizarra y plutónica, formación Sandía y Ananea, cobertura suelo desnudo hasta bosque altoandino, con precipitación promedio 2000 (mm/año) hasta 2200 (mm/año), con caracterización en el rango de lluvia extrema.	<b><math>0.261 \leq R \leq 0.486</math></b>
<b>ALTA</b>	Zona con pendiente entre 15 % a 45 %, predomina en la unidad geomorfológica laderas montañosas altoandinas empinadas a escarpadas, en unidad litológica de roca sedimentaria en grupo Mítu, Ananea, sobre cobertura suelo de áreas de cultivo, con precipitación entre 1600 mm/año hasta 2000 (mm/año), con caracterización de tasa de lluvia en el rango muy lluvioso.	<b><math>0.141 \leq R \leq 0.261</math></b>
<b>MEDIA</b>	Zona con pendiente entre 8 % a 15 %, predomina la unidad geomorfológica de laderas montañosas medias a moderadamente empinadas, en unidad litológica de rocas ígneas y plutónicas, conformado de roca granítica y granodiorita de Ollachea, Ayapata y Coasa, sobre cobertura de pajonal y matorrales altoandino, con precipitación media entre 1600 a 1300 (mm/año), con caracterización en el rango lluvioso.	<b><math>0.074 R \leq 0.141</math></b>
<b>BAJA</b>	Superficie con pendiente de 0 % hasta 15 %, predomina la unidad geomorfológica en zonas de actividad antrópica, lagunas y nevados, en zonas con mayor cobertura matorral y bosque, de precipitación media menores a 1300 (mm/año), con caracterización de lluvia en el rango de moderadamente lluvioso.	<b><math>0.037 &lt; R &lt; 0.074</math></b>

Fuente: CENEPRED (2014).

En esta tabla se muestra el riesgo geológico, categorizado en 4 niveles. donde Los parámetros del medio físico la precipitación, el Angulo de talud, la vegetación, la litología, la geomorfología, tienen una influencia directa en la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la zona de estudio y el rango de valores está por debajo de 0.5



#### 4.2.2.8 Susceptibilidad de riesgo geológico

La distribución espacial de las zonas con potencial área de deslizamiento en la cuenca alta e intermedia del río Ayapata (figura 14) se presenta desde 2970 m. hasta 5800 m., caracterizado por los niveles de muy alto con un área de 31.9 km<sup>2</sup> que representa un 10 % de la superficie, alto 106.4 km<sup>2</sup> con 35 %, seguidamente el nivel medio 88.6 km<sup>2</sup> con un 29 %, y finalmente el nivel bajo con 79.7 km<sup>2</sup> con un porcentaje de 26 % respectivamente.

El nivel alto se presenta en zonas con pendiente superior a 45 %, predomina la unidad geomorfológica laderas montañosas empinadas a escarpadas, en unidad litológica de depósitos fluviograciares y cuaternarios, sobre formación de roca sedimentaria, pizarra y plutónica, formación Sandia y Ananea, cobertura suelo desnudo hasta bosque altoandino, con precipitación promedio 2000 (mm/año) hasta 2200 (mm/año), con caracterización en el rango de lluvia extrema.

Con respecto a los valores del nivel de susceptibilidad de peligrosidad, se tiene la investigación de (Labra & Torres, s/f) determina los niveles de peligro en rango de bajo 0.036 y alto en 0.504 con precipitación acumulada de 24 horas de predominancia de talud de 37° en unidades geológica coluvio deluvial del tipo piedemonte coluvial. De la misma forma (Suloaga, 2022), obtiene el rango de niveles de peligro de rango bajo 0.159 hasta 0.478 con la aplicación de las variables de pendiente, geología y geomorfología. Finalmente se tiene el trabajo de



(Solis & Del Solar, 2021), determina los niveles de peligrosidad desde el rango bajo de 0.049 hasta 0.457 con parámetros de evaluación de área de deslizamiento, geología, geomorfología pendiente y precipitación.

Durante la prospección de campo se ha identificado varios puntos críticos de deslizamiento en la parte de Jatun Pampa, Frutillayoc y Alisuyoc. Las áreas cercanas al río están compuestas de fragmentos de pizarras sub angulosas y angulosas de granulometría gruesa de profundidades mayores a 30 m con escasa matriz limosa, a manera de cantera. El fallo de estos taludes da lugar a avalancha de rocas fragmentadas, que pueden tener una larga duración y cargar el paisaje con grandes cantidades de escombros rocosos. A diferencia de áreas que poseen matriz limo arcilloso han dado lugar al desarrollo de vegetación y áreas de cultivo, tales sectores tienen relativa estabilidad.

Otra zona geológicamente peligrosa se encuentra a lo largo del río Kanchi desde la desembocadura del río Ayapata hasta el Cañón Chikajawa, donde hay una formación rocosa de valle aluvial formada por lutitas y formaciones plutónicas. Por otro lado, la zona de riesgo geológico identificada es la región de Markanchaca, que se extiende en ambos extremos hacia los cerros Viunchuco compuesta de depósitos morrénicos poco consolidados originados por la meteorización de la cordillera de Carabaya.

En las microcuencas Toro huayo, Taypitira y Surira ubicadas al oriente del río Kana están compuestas de roca plutónica entre granito, granodiorita, tonalita, fonolita de superficie lisa sub-redondeada, en cuya



zona de contacto de roca y suelo poco profunda se producen la mayoría de los deslizamientos, quedando como resultado superficie de roca desnuda debido a la gran diferencia en mecánica propiedades de los medios de suelo y roca, evidenciando claramente que la superficie de contacto, la presencia de agua es una área con potencial superficie de deslizamiento.

En cuanto a la formación de deslizamiento en pizarras se tiene el trabajo de (INGEMET, 2021), el deslizamiento activo de Cachicata, con origen en la ladera sureste del cerro del mismo nombre, se produjo en pizarras negras grisáceas muy facturadas y moderada (III) a altamente (IV) meteorizadas de la Formación Quillabamba. Por otro lado (INGEMET, 2021), lado en la zona de en la margen izquierda del río Vilcanota, a 23.1 km del distrito de Santa María está compuesto por esquistos y pizarras; en la parte media, las pizarras se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas, ello contribuyó con mayor infiltración de agua al terreno. De la misma manera se encuentra en la zona de Suana y Pampa Tuana en Sandía (INGEMET, 2023), en el área de estudio afloran rocas metamórficas, conformadas por cuarcitas, metareniscas, arcillitas y pizarras de color gris oscuro. El macizo rocoso está moderadamente erosionado y fuertemente fisurado. Además, también hay depósitos colapsados. Los resultados de este estudio son consistentes con los de estudios recientes. Por tanto, se acepta la hipótesis 2 “El riesgo geológico por deslizamiento de masa de tierra, la clase cualitativa alto es inferior a 30 %, se presenta mayormente en suelos cuaternarios y depósitos de suelo poco consolidado, cerca de los sectores de mayor escurrimiento por los cuerpos de agua”.

### 4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

El punto de evaluación para la caracterización geomecánica de rocas se realizó en el punto más crítico de la cuenca alta y media, compuesta por la litología de pizarras en la formación Sandía (Figura 7). El resultado de la evaluación de datos de buzamiento y dirección de buzamiento (Tabla 26).



Figura N° 7. Punto crítico de evaluación Geomecánica – Chokochoko

**Tabla 26.** Tabla de evaluación de datos buzamiento y dirección de buzamiento

N° Sistemas	DIP	DIP DIR
1	79	340
2	81	338
3	79	339
4	80	340
5	75	341
6	80	338
7	76	339
8	77	340
9	82	338
10	78	341
11	44	260
12	40	262
13	35	263
14	30	262
15	32	259
16	33	262



---

17	37	262
18	38	261
19	40	262
20	42	260
21	85	235
22	80	260
23	79	255
24	65	240
25	85	245
26	82	237
27	82	250
28	80	245
29	78	247
30	80	248
31	81	339
32	79	340
33	81	342
34	80	338
35	78	339
36	79	341

---

El resultado de la información geotécnica analizada, determinado por el sistema Rock Mass Rating (RMR), se ubica en un rango de 41-60, que corresponde a un tipo de roca (Regular). Por tanto, se define que el tipo de soporte adecuado para estabilizar pendientes., en la zona de corte de la vía afirmada, es mediante el uso de geomallas o malla electrosoldada con perno helicoidal sistemático de 2 m y espaciado a 1.5 m.

#### **4.3.1 Proyección estereográfica de las estaciones geotécnicas**

El Software Dips Software v7.0 es un programa para analizar datos geológicos en función de la dirección. También puede visualizar y analizar información estructural como planos, fallas y juntas.

El conteo de puntos por familia, se destaca la presencia de tres familias de juntas, en la caracterización del macizo rocoso en el punto de muestreo (figura 7).

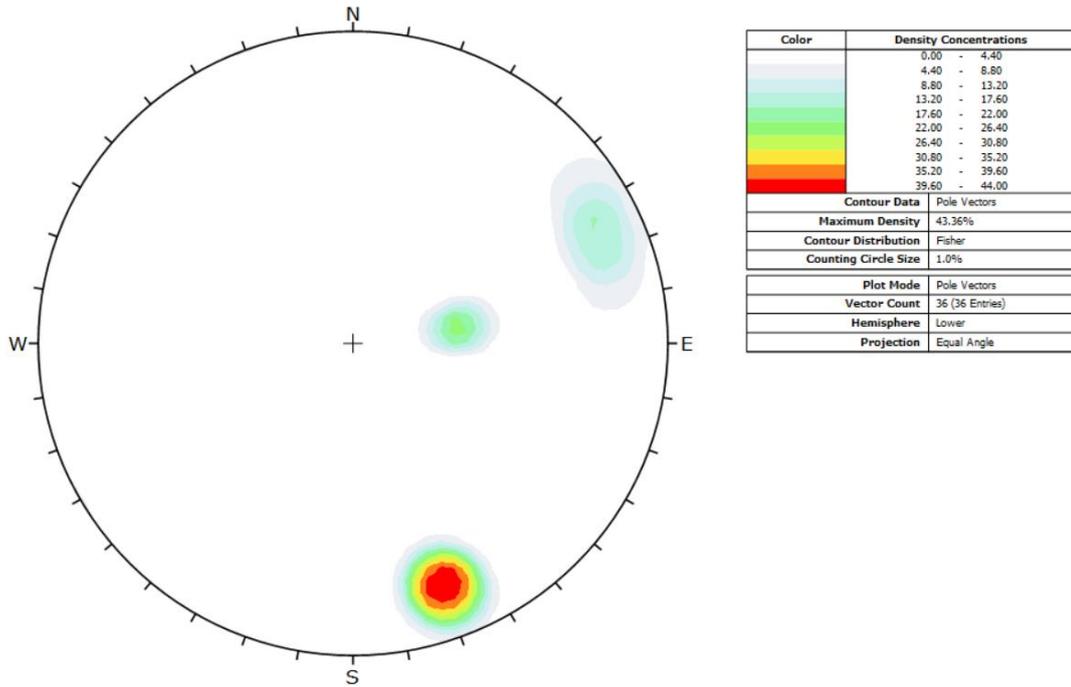


Figura N° 8. Conteo de puntos por familias en el punto de muestreo.

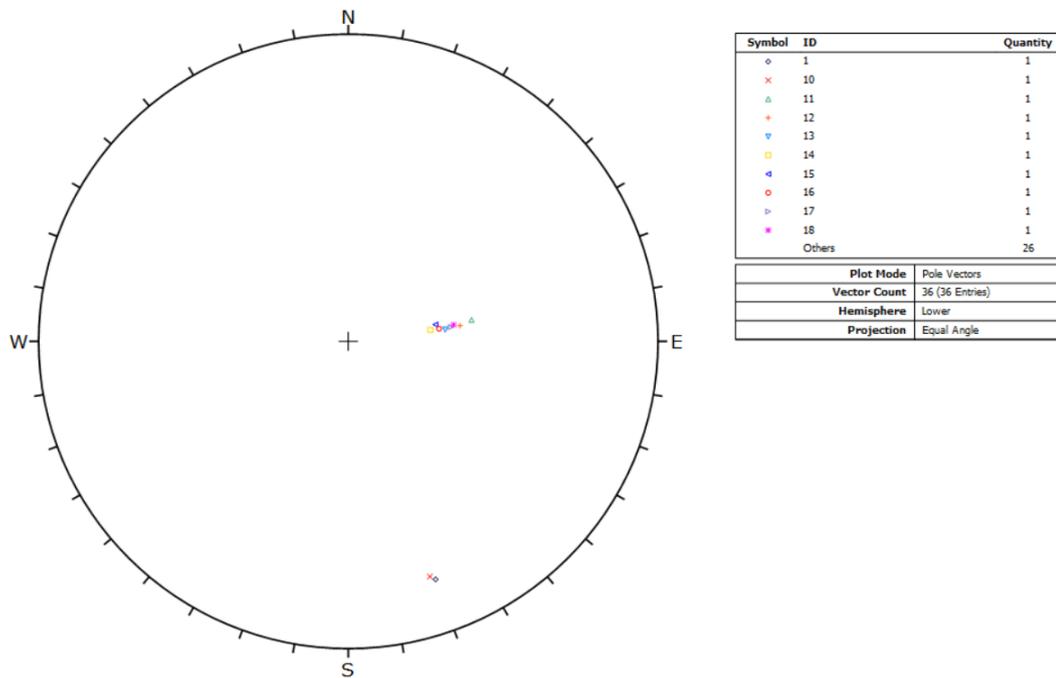


Figura N° 9. Diagrama de polos del punto de muestreo.

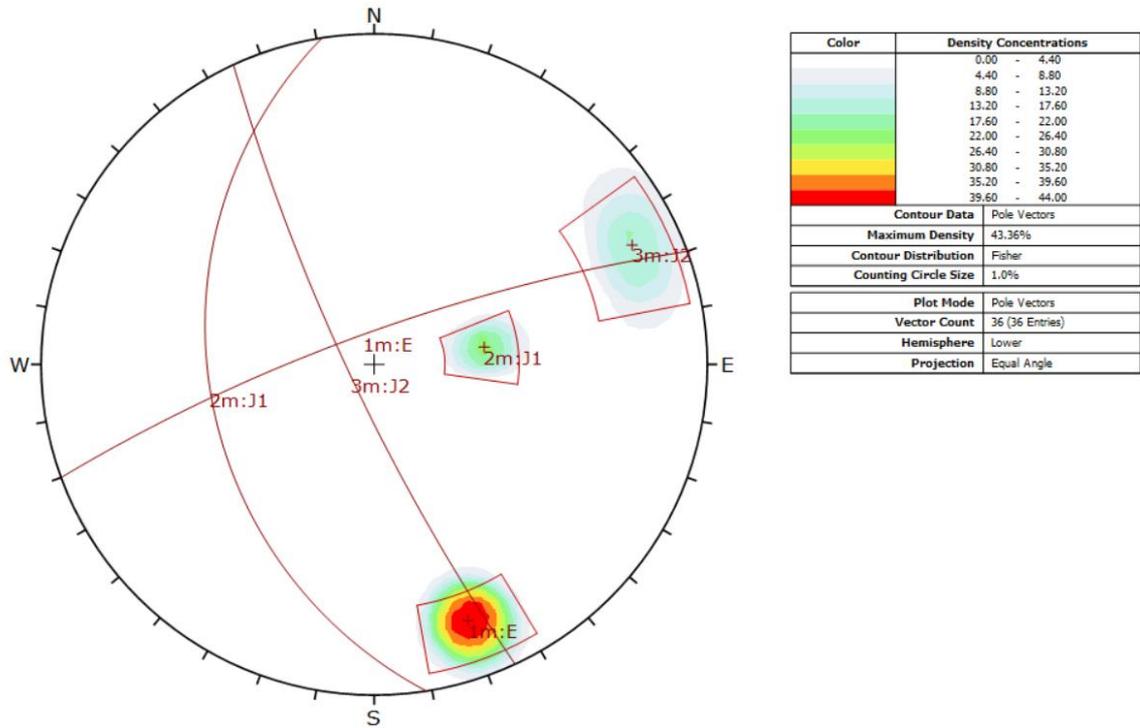


Figura N° 10. Diagrama de planos del punto de muestreo.

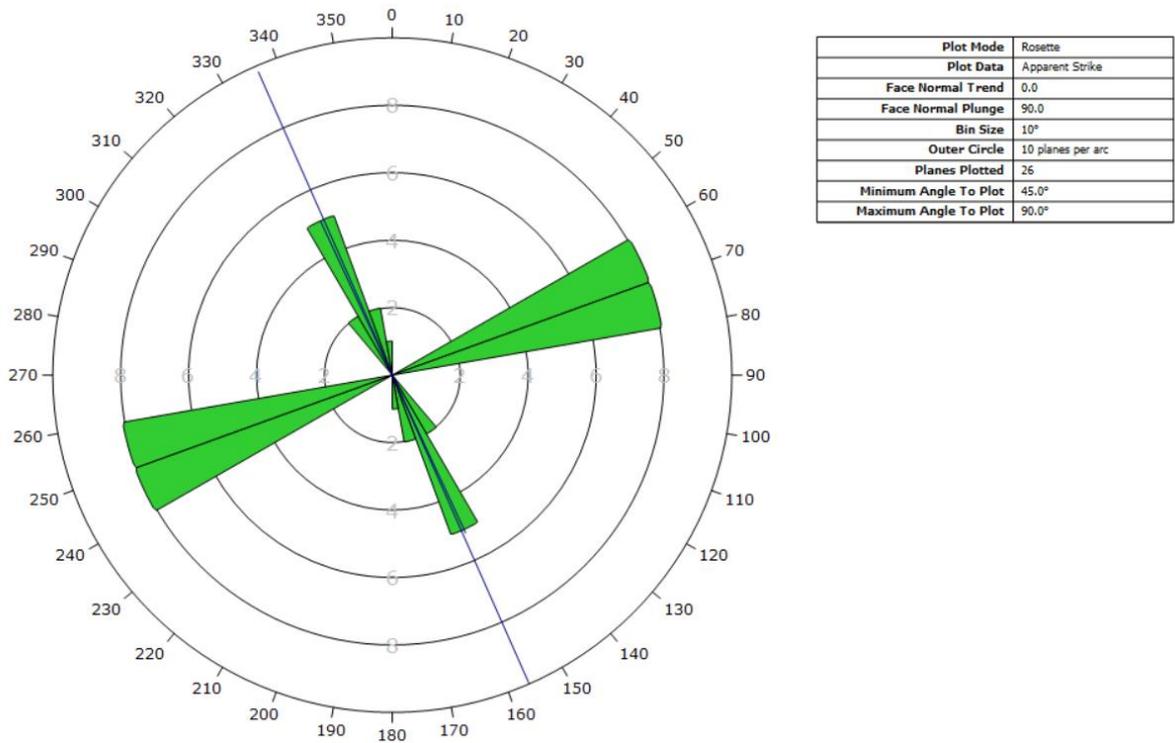


Figura N°11. Diagrama de Rosetas del punto de muestreo.

Indica la dirección de la familia de juntas importantes y la línea de dirección favorable a la estabilidad del macizo rocoso en caso de una excavación.

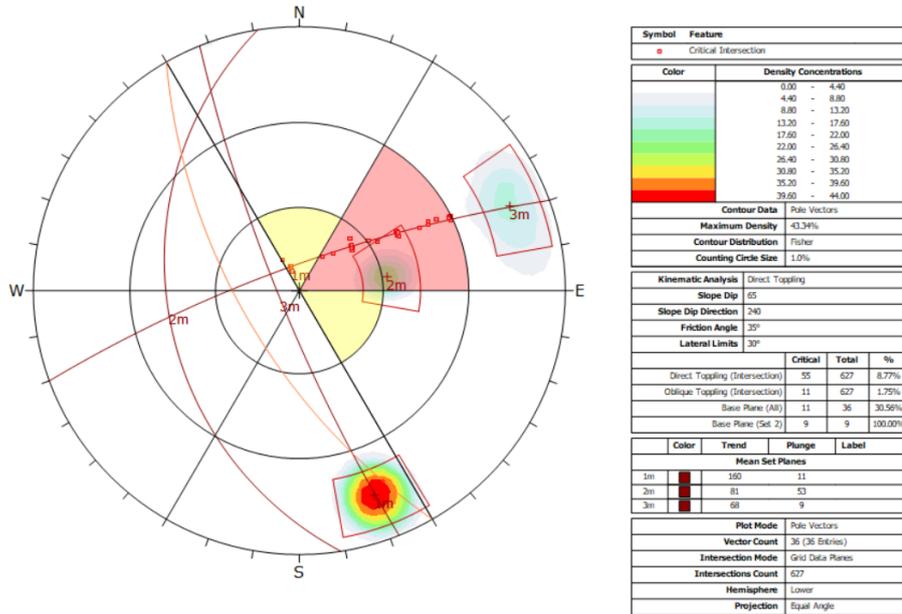


Figura N° 12. Diagrama de análisis cinemático (Direct Toppling).

El análisis cinemático indica deslizamiento en caída directa o derrumbe por la acción de la gravedad debido al paralelismo que existe entre el ángulo del talud y la familia de juntas n° 2 con una probabilidad de 100 % en la zona de Chokochoko – Ayapata, corte de carretera que corresponde pizarras de la formación sandia.

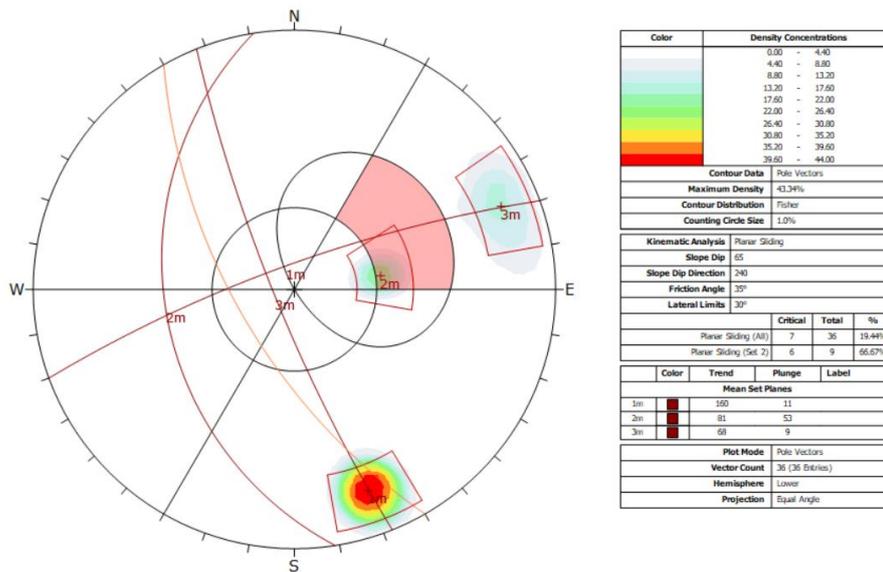


Figura N° 23. Diagrama de análisis cinemático (Planar Sliding).



El análisis cinemático indica deslizamiento tipo planar al lado oeste paralelo al ángulo del talud a través de la familia de juntas n°2 con una probabilidad de 66.67%. Por tanto, se acepta la hipótesis planteada “*La clasificación geomecánica del macizo rocoso, la valoración de RMR se clasifica en el rango de clasificación muy regular, en el punto crítico de la cuenca alta e intermedia de Ayapata*”.

Tabla. 27 MATRIZ DE RIESGOS

NIVEL DE RIESGO	Variables						Área	Acción a tomar	Plazo de implantación
	Precipitación	Pendiente	Geomorfología	Cobertura Vegetal	Litología	Grado de fracturam.			
<b>MUY ALTO</b>	En los últimos 41 años se dieron promedios de 2000 (mm/año) hasta 2200 (mm/año) en los meses de enero a marzo en la zona cada año.	Taludes con ángulo mayor a 45%	Laderas montañosas empinadas a escarpadas	Suelo desnudo y parte de bosque altoandino.	Depósitos fluvio-glaciares y cuaternarios poco consolidados, que suprayacen al Plutón de Ayapata y pizarras de la fm. Sandia.	Roca tipo III y depósitos poco consolidados y granulométrica diversa	31.9 Km <sup>2</sup>	No se debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo, incluso con recursos limitados debe prohibirse el trabajo	inmediato
<b>ALTO</b>	Promedios entre 1600 (mm/año) a 2000 (mm/año)	Taludes con ángulo entre (15% a 45%)	Laderas montañosas altoandinas empinadas a escarpadas	Suelos de áreas de cultivo	Rocas sedimentarias, areniscas del grupo Mito y pizarras de la fm. Ananea	Roca tipo III y depósitos poco consolidados y granulométrica diversa	106.4 Km <sup>2</sup>	Debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos medio o moderado.	Hasta 6 meses
<b>MEDIO</b>	Promedios entre 1300 a 1600 (mm/año)	Taludes con ángulo entre 8% a 15%	Laderas montañosas medias a moderadamente empinadas	Pajonal y matorral altoandino	Roca ígnea plutónica, granito, granodioritas, fracturadas	Roca tipo II y III	88.6 Km <sup>2</sup>	Se requiere acción preventiva y medidas de control en caso de que el riesgo este asociado con consecuencias extremadamente dañinas.	Hasta 2 años
<b>BAJO</b>	Promedios menores a 1300 (mm/año)	Taludes con ángulo entre 0 a 15%	Áreas de terreno de cultivo subhorizontales	Mayor cobertura matorral y bosque	Áreas de roca competente	Tipo de roca competente	79.7 Km <sup>2</sup>	No se requiere acción específica	NA

Fuente: elaboración propia.



## V. CONCLUSIONES

- El nivel de riesgo es muy alto en la zona de Frutillayoc, Alisuyoc y Jatun Pampa por la precipitación extrema en los meses de enero a marzo que alcanzan valores de 2000 a 2200 (mm/año) por su geomorfología abrupta, laderas montañosas y empinadas, así mismo el cerro Viunchuko y Markanchaka está compuesta de depósitos morrenicos poco consolidados cuyos disyunciones columnares tienen áreas de escasa vegetación y ángulos de talud subverticales que afectan por el este a las localidades de Hanac Hayllu, Kana y Levita y por el oeste a las localidades de Taype y Ccocha Uma. De la misma forma las zonas de Kanchi, Killi Killi y Yunca Mayo, que está compuesta por suelo cuaternario poco consolidado con ángulo de talud mayores a 45% que afecta a las localidades de Killi Killi y Kanchi en el trayecto de la trocha carrozable que dirige a la mina Mucumayo. y la zona de Chokoochoko con litología de suelo cuaternario en la parte superior y pizarras de la fm. Sandia en la parte baja, igualmente está caracterizada por taludes mayores a 45% macizo rocoso fracturado tipo III, que afecta a las localidades de Ccopa y los habitantes de Ayapata que transitan por la carretera y zonas aledañas. Cuya distribución espacial del nivel de riesgo muy alto cubre un área total de 31.9km<sup>2</sup>, que representa el 10% de superficie del área de estudio.
- El nivel de riesgo es alto en la zona de Mamita Loma por su composición de suelo cuaternario poco consolidado y precipitación que alcanza promedios de 1600 a 2000 (mm/año) afectando directamente a la capital de distrito de Ayapata, también en la zona de Soqlla Pata que tiene suelos de composición morrenicos poco consolidadas con taludes de ángulo entre 15% a 45% que afecta a la localidad de Escalera. Así mismo el nivel de riesgo en las microcuencas y áreas de drenaje de Uma Pausi, Turhuayo, Taypitira, Surira, Ccopa parte alta, Paqcha Pata, Ccocha Siki, Huancarani, Chikajahua, Qarwana Pata, Pitumarka, respectivamente con taludes entre 15% y 45% de inclinación que afecta áreas de cultivo y caminos importantes. También se identificó en la parte alta de la cordillera de Allincapac, conformado por litología compuesta de areniscas del grupo Mítu, que tiene afloramientos con escasa cobertura vegetal y grado de fracturamiento intenso. el



nivel de riesgo alto abarca un área total de 106.4 km<sup>2</sup>, que representa el 35% de área de estudio.

- El nivel de riesgo es medio en área de cultivo y pastizales con precipitación promedio entre 1300 a 1600 (mm/año), que tienen geomorfología de laderas montañosas moderadamente empinadas, áreas de pajonal y matorral altoandino que tiene taludes con ángulos de 8% a 15% de buzamiento, que se encuentran distribuidas en diferentes áreas de las localidades de Kanchi, Kana, Taype, Hanac Hayllo, Escalera, Ccochahuma. Este nivel de riesgo comprende un área de 86.4 km<sup>2</sup>, que representa el 29% del área de estudio.
- El nivel es bajo en zonas de terreno cultivable, en pastizales con precipitaciones promedio menores a 1300 (mm/año), en las zonas de Eterkota, Ccayarani, que se caracteriza por tener suelos cuaternarios de cobertura matorral y pastizales con ángulo de talud menores a 15% que suprayacen a rocas metamórficas de la formación Sandia. Estas características también se encuentran en Áreas de asentamiento humanos de Ayapata, Kana. Ccopa, hanac Ayllu, Pacupacu, Killi Killi, Taype y Ccocha Uma. Que representa un total de 79.7 Km<sup>2</sup> y 26% del área de estudio.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la identificación de riesgos geológico local a escala reducida, por cada microcuenca del río Ayapata.
- Realizar otras pruebas de campo de evaluación del macizo rocoso en todas las clases litológicas de la cuenca.
- Ejecutar la estabilización de taludes con diversos métodos como; muros de contención, defensas ribereñas, restauración de andenes, y otros, sobre los eventuales tipos de roca y suelo respectivamente.
- La vegetación endémica presente reducirá el riesgo geológico en toda la microcuenca.
- Ejecutar un plan de acción en el área de riesgos y desastres en el gobierno local a partir de la presente investigación.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiló, M., Albaladejo, J., Aramburu, M. P., Carrasco, R. M., Castillo, V., Ceñal, M. A., . . . Valero, F. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología.*
- Alata, A. (2023). Análisis espacio temporal de la agresividad climática de precipitaciones y su relación con los parámetros geográficos en la amazonia andina de la cuenca del Río Inambari, Perú. *Tesis de maestría.* Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20467>
- Alvares, F. (2015). *Evaluación del Riesgo de Desastres del distrito de Sandia Evaluación del Riesgo de Desastres del distrito de Sandia Municipalidad Distrital de Sandia.* Municipalidad Distrital de Sandia. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Analisis%20de%20Peligros%20-%20Sandia%20211215.pdf>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.* John Wiley & Sons.
- Briceño, K., Sánchez, Y., Uzcátegui, M., & González, L. (2008). Estudio de riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del Río El Limón como aporte al plan de ordenación del territorio del Estado Aragua. *Ciencia e Ingeniería*, 29(3), 217-224.
- Carrasco, R. M., de Pedraza, J., Martín-Duque, J. F., Mattera, M., Bodoque, J., Sanz, M. A., & Díez-Herrero, A. (2002). Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central español). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG.*, 133-154.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales.* Lima.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández del Castillo, T., & El hamdouni, R. (2002). Susceptibilidad a los movimientos de ladera del sector contral de la cordillera bética. *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*, 83-96.
- Chávez, A., Salas, G., Gutiérrez, E., & Cuadros, J. (1997). Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, hojas: 28-u y 28-v – [Boletín A 90]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/47>
- De Santos, J. (28 de julio de 2021). Los desastres naturales han aumentado drásticamente en los dos últimos años según un estudio. *EuroNews.*
- De Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica.* Madrid: Pearson Educación.



- Elsadek, W. M., Ibrahim, M. G., & Mahmud, W. E. (2019). Runoff hazard analysis of Wadi Qena Watershed, Egypt based on GIS and remote sensing approach. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 377-385. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.02.001>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; Reuters. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Obtenido de <http://srala.org/wp-content/uploads/2015/11/LibroGestionRiesgosMeteorologicos-ipcc-2012-v2.pdf>
- Han, L., Liu, Z., Ning, Y., & Zhao, Z. (2018). Extraction and analysis of geological lineaments combining a DEM and remote sensing images from the northern Baoji loess area. *Advances in Space Research*, 62(9), 2480-2493. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.030>
- Hongtao, N. (2020). Smart safety early warning model of landslide geological hazard based on BP neural network. *Safety Science*, 104572. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104572>
- Huang, F., Xiong, H., Yao, C., Catani, F., Zhou, C., & Huang, J. (2023). Uncertainties of landslide susceptibility prediction considering different landslide types. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.03.001>
- Hussein, S., Abdelkareem, M., Hussein, R., & Askalany, M. (2020). Using remote sensing data for predicting potential areas to flash flood hazards and water resources. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100254. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100254>
- Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. (2008). Guía metodológica para la elaboración de cartografías riesgos naturales en España. Obtenido de <https://www.icog.es/TyT/index.php/2015/04/guia-metodologica-para-la-elaboracion-de-cartografias-de-riesgos-naturales-en-espana/>
- Infobae. (23 de Octubre de 2013). *Con sequías cada vez más largas, temperaturas más altas, inundaciones que dejan regiones enteras bajo agua e incendios forestales, por nombrar solo algunos ejemplos, el planeta dejó de dar avisos para concretar como realidad la situación que lo aqueja*. Obtenido de Infobae: <https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2022/10/24/desde-alertas-hasta-fenomenos-naturales-extremos-el-cambio-climatico-en-6-claves/>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2021). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el cerro San Valentín*. INGEMET. Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/14017/descargar>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2021). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el sector Cachicata. Distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, departamento Cusco*. INGEMET, Lima. Obtenido de [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3545/1/A7203-Evaluacion\\_peligros\\_deslizamiento\\_sector\\_Cachicata-Cusco.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3545/1/A7203-Evaluacion_peligros_deslizamiento_sector_Cachicata-Cusco.pdf)



- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2023). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamientos en los sectores de Suara y Pampa Tuana. Distrito Sandia, provincia Sandia, departamento Puno.* Obtenido de [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//15938\\_informe-tecnico-n0a7359-evaluacion-de-peligros-geologicos-por-deslizamientos-en-los-sectores-de-suara-y-pampa-tuana-distrito-y-provincia-de-sandia-dep.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//15938_informe-tecnico-n0a7359-evaluacion-de-peligros-geologicos-por-deslizamientos-en-los-sectores-de-suara-y-pampa-tuana-distrito-y-provincia-de-sandia-dep.pdf)
- Irigaray, C., & Chacón, J. (2002). Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. (F. Ayala-Carcedo, & J. Corominas, Edits.) *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con la técnica SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*, 21-36.
- Labra, H., & Torres, S. (s/f). *Evaluación de riesgos por peligro de deslizamiento de la infraestructura denominado centro de operaciones (en el centro poblado de Santa Teresa, distrito Santa Teresa, provincia La Convención) en el área de la conservación regional Choquequirao.* Obtenido de [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//12333\\_informe-de-evaluacion-de-riesgos-por-peligro-de-deslizamiento-de-la-infraestructura-denominado-centro-de-operaciones-en-el-area-de-conservacion-region.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//12333_informe-de-evaluacion-de-riesgos-por-peligro-de-deslizamiento-de-la-infraestructura-denominado-centro-de-operaciones-en-el-area-de-conservacion-region.pdf)
- Lario, J., Bardají, T., Herrera, G., Pérez, F., Gutiérrez, F., García, M., . . . Menéndez, R. (2016). *Introducción a los riesgos geológicos.* UNED.
- Lee, C. F., Huang, W. K., Chang, Y. L., Chi, S. Y., & Liao, W. C. (2018). Regional landslide susceptibility assessment using multi-stage remote sensing data along the coastal range highway in northeastern Taiwan. *Geomorphology*, 300, 113-127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.019>
- Marcano, A., Cartaya, S., Pacheco, H., & Méndez, W. (2015). Estimación de pesos ponderados de variables para generar mapas de susceptibilidad a movimientos en masa a través de la Evaluación Espacial Multicriterios. *Terra*, 31(50), 55-80. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1012-70892015000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892015000200004)
- Medina, D., Montilla, N., & Pimstein, L. (2015). Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto gestión integral de riesgos en espacios urbanos - Fase Mérida, Venezuela. *Boletín de Geología*, 37(1), 83-97. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-02832015000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832015000100008)
- Municipalidad Provincial de Carabaya; MINAM CAF. (2018). *Estudio temático Geología Carabaya Puno.* Obtenido de [https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/10/Memoria\\_Carabaya\\_Geologia.pdf](https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/10/Memoria_Carabaya_Geologia.pdf)
- Municipalidad Provincial de Carabaya; MINAM CAF. (2018). *Estudio temático Geomorfología Carabaya.*
- Naciones Unidas. (1 de Setiembre de 2021). *Las catástrofes relacionadas con el clima se quintuplican en 50 años, pero la mejora de los sistemas de alerta salva más vidas.* Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2021/09/1496142>



- Nantes, E. A. (2019). Método analytic hierarchy process para la toma de decisiones: repaso de la metodología y aplicaciones. *Investigación operativa*, 27(46), 54-73. Obtenido de <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6060>
- Núñez, S., & Medina, L. (2010). Movimientos en masa en la zona minera de Winchumayo. *XV Congreso Peruano de Geología*. 9, págs. 1054-1057. Sociedad Geológica del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2981>
- Peche, E. R., Mogrovejo, R. E., & Contreras, E. J. (2023). Influencia de la Recarga de Flujo Subsuperficial en Macizos Fracturados – Caso: Deslizamiento 1 Huancavelica - Perú. *21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, (pág. 7). Obtenido de [https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution\\_956\\_a.pdf](https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_956_a.pdf)
- Pérez, B., Serna, A., Delgado, J., Caballero, M., & Villa, G. (2020). *El Programa Copernicus para la monitorización del territorio y los Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Centro Nacional de Información Geográfica. doi:10.7419/162.13.2020
- Prince, A., Franssen, J., Lapiere, J. F., & Maranger, R. (2020). High-resolution broad-scale mapping of soil parent material using object-based image analysis (OBIA) of LiDAR elevation data. *CATENA*, 188, 104422. doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104422>
- Renda, E., Rozas, M., Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. (pág. 72). Argentina: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Rivera, H. (2005). *Geología general* (Segunda edición ed.). Lima: UMSM.
- Rueda, A. (31 de Enero de 2013). *Más de 600 mil peruanos se han mudado por causa del cambio climático*. Obtenido de [Saludconlupa.pa: https://saludconlupa.com/climatopedia/mas-de-600-mil-peruanos-se-han-mudado-por-causa-del-cambio-climatico/](https://saludconlupa.com/climatopedia/mas-de-600-mil-peruanos-se-han-mudado-por-causa-del-cambio-climatico/)
- Santacana, N., Baeza, C., Corominas, J., de Paz, A., & Marturià, J. (2002). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. (F. J. Ayala-Carcedo, & J. Corominas, Edits.) *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de*(55-82).
- Santos, J. (2004). *Sistemas de información geográfica*. Editorial UNED.
- Sharma, A., Hussain, V. M., Kumar, P. A., & Pandit, M. (2022). Prioritization of forging die design criteria based on failure analysis using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.329>
- Solis, C. D., & Del Solar, M. J. (2021). Evaluación del riesgo por movimientos en masa originados por precipitaciones pluviales para mitigar sus efectos. *Tesis de pregrado*. Universidad Ricardo Palma, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4711>



- Sosa, N. L. (2015). Peligro geológico en la I.E.S. Ayusuma, en la ladera de Ayusuma, distrito Coasa, provincia Carabaya, región Puno. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 18(36). doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i36.12160>
- Strozzi, T., Klimeš, J., Frey, H., Caduff, R., Huggel, C., Wegmüller, U., & Rapre, A. C. (2018). Satellite SAR interferometry for the improved assessment of the state of activity of landslides: A case study from the Cordilleras of Peru. *Remote Sensing of Environment*, 217, 111-125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.014>
- Suloaga, E. E. (2022). Evaluación de riesgo por deslizamiento mediante el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad del Centro Poblado de Mallas, Huari – 2022. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/7864>
- Tan, Q., Bai, M., Zhou, P., Hu, J., & Qin, X. (2021). Geological hazard risk assessment of line landslide based on remotely sensed data and GIS. *Measurement*, 108370. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108370>
- Tornabene, L. L., Battler, M., Choe, B. H., & Osinski, G. R. (2019). An orbit-based remote sensing geological assessment of the CanMars Mars Sample Return Analogue Deployment (MSRAD) landing site situated in the Henry Mountains Basin, near Hanksville, Utah. *Planetary and Space Science*, 173, 14-34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pss.2019.04.006>
- Vasuki, Y., Holden, E. J., & Kovese, P. S. (2017). An interactive image segmentation method for lithological boundary detection: A rapid mapping tool for geologists. *Computers & Geosciences*, 100, 27-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.12.001>
- Vega, Á. L., & Manzo, L. D. (2008). Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones geográficas*, 67, 59-75. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112008000300005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000300005)
- Walter, F. A., Kenner, R., Phillips, M., de Preux, A., Huss, M., Tognacca, C., . . . Bonanomi, Y. (2020). Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows. *Geomorphology*, 351, 106933. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106933>
- Wang, J., Zhu, S., Luo, X., Chen, G., Xu, Z., Liu, X., & Li, Y. (2020). Refined micro-scale geological disaster susceptibility evaluation based on UAV tilt photography data and weighted certainty factor method in Mountainous Area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 110005. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110005>

## ANEXOS

Continuación se muestran los puntos de evaluación en la cuenca del río Ayapata.

### Anexo 1. Punto de Verificación Frutillayoc

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Frutillayoc Denominación: punto 1	ESTE	NORTE	COTA
	362575	8478752	2896 msnm
FOTOGRAFÍA			
<p data-bbox="746 882 1145 965">Fragmentos de Pizarra de la formación Sandia</p> <p data-bbox="552 1261 735 1312">Os - S</p>			
DESCRIPCIÓN			
<p>La imagen muestra Taludes entre 40° y 45° de buzamiento, zona de cantera de grava no consolidado, compuesta de fragmentos de pizarra de la formación sandia, área con alto riesgo de deslizamiento. Actualmente se hizo la construcción de una trocha carrozable el cual ha incrementado el riesgo de accidentes por deslizamiento e inestabilidad de taludes.</p>			

Anexo 2. Punto de verificación Jatum Pampa 1

<b>UBICACIÓN ADMINISTRATIVA</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Jatum Pampa Denominación: punto 2	ESTE	NORTE	COTA
	363286	8478521	2936 msnm
<b>FOTOGRAFÍA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
<p>La imagen muestra un valle tipo V, mirando al norte, taludes con 35° de buzamiento.</p>			

Anexo 3. Punto de verificación Jatun Pampa 2

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Jatun pampa Denominación: punto 3	ESTE	NORTE	COTA
	363286	8478521	2936 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>En esta imagen se muestra un talud de depósito cuaternario poco consolidado al lado oeste desde el corte de la carretera y el camino antiguo.</p>			

Anexo 4. Punto de verificación Jatun Pampa 3

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Rio Jatun pampa Denominación: punto 4	ESTE	NORTE	COTA
	363487	8478270	2813 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>La imagen muestra deposito cuaternario en la parte superior y en la parte inferior una topografía abrupta por efecto de la erosión fluvial, formando geoformas de disyunción columnar en pizarras de formación sandia.</p>			

Anexo 5. Punto de verificación Chokochoko

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
	ESTE	NORTE	COTA
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: sector Ccopa Denominación: punto 5	359698	8477195	3198 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>La imagen muestra una zona agrícola, y una zona de abra en la parte superior compuesta por material del cuaternario poco consolidado, considerado también zona de alto riesgo de deslizamientos.</p>			

Anexo 6. Punto de verificación Taype - Sector Taype Qocha

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: C.P. taype Denominación: Punto 6	ESTE	NORTE	COTA
	354507	8471520	3698msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>La imagen muestra el cerro Viunchuko, compuesta de material cuaternario, depósitos morrenicos poco consolidado mirando al lado Este del centro Poblado de Taype.</p>			

Anexo 7. Punto de verificación Markanchaca

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Levita-Marcanchaca Denominación: punto 7	ESTE	NORTE	COTA
	356873	8473808	3598 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>En La imagen se muestra la quebrada Marcanchaca al norte del cerro Viunchuko, compuesta de material cuaternario, deposito fluvio-glaciar poco consolidado, al fondo se observa el C.P. Kana. Uno de los poblados más importantes de Ayapata.</p>			

Anexo 8. Punto de verificación río Kanchi

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Kanchi Denominación: punto 8	ESTE	NORTE	COTA
	355394	8477149	3457 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCION			
<p>En la imagen se muestra el ancho de valle del río Kanchi, compuesta de material cuaternario poco consolidado, zona con alto riesgo de deslizamientos con pérdidas de terreno agrícola a causa de la erosión en meses de precipitaciones debido a la falta de sistemas de defensa ribereña.</p>			

Anexo 9. Punto de verificación Kanchi 2

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: Kanchi Denominación: punto 9	ESTE	NORTE	COTA
	355162	8477311	3485msnm
FOTOGRAFÍA			
<p>Depósitos Aluviales</p>			
DESCRIPCION			
<p>Esta imagen muestra áreas agrícolas con frecuentes deslizamientos debido a la presencia de taludes de material cuaternario poco consolidado.</p>			

Anexo 10. Punto de verificación C.P. Kana

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
	ESTE	NORTE	COTA
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: C.P. Kana Denominación: punto 10	357270	8472928	3450 msnm

**FOTOGRAFÍA**



**DESCRIPCIÓN**

La imagen muestra el Centro Poblado de Kana, donde se puede apreciar en la parte superior disyunciones columnares de depósitos morrenicos poco consolidados. en la parte inferior se aprecia depósitos aluviales y depósitos fluvio-glaciares del cuaternario que subrayasen a las rocas plutónicas.

Anexo 11. Punto de verificación Killy Killy

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: killy killy Denominación: punto 11	ESTE	NORTE	COTA
	357075	8475821	3470 msnm
FOTOGRAFÍA			
DESCRIPCIÓN			
<p>La imagen muestra un talud inestable en la Qda. Killy Killy, compuesta de depósito aluvial cuaternario poco consolidado.</p>			

Anexo 12. Punto de verificación cerro Santa Cruz

UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	COORDENADAS UTM		
Dto: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Ayapata Lugar: cap. De Distrito Denominación: punto 12	ESTE	NORTE	COTA
	357010	8476558	3488 msnm
FOTOGRAFÍA			
			
DESCRIPCIÓN			
<p>Aquí se observa el área urbana de la capital del distrito de Ayapata, asentada sobre una Terrassa aluvial del cuaternario, que sobreyace a pizarras de la formación Sandia.</p>			

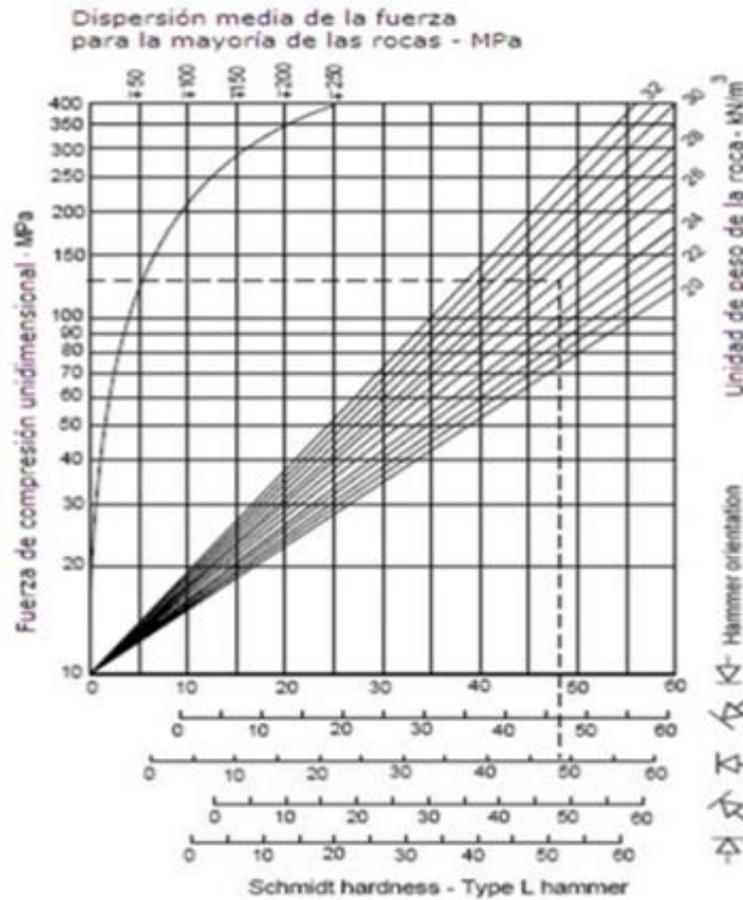


Anexo 13. Formato de mapeo geomecánica RMR, mapeo lineal.

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR, MAPEO LINEAL															
Nombre del Proyecto:		ESTUDIO GEOMECANICO				Litología					Pizarras				
Nivel:		2900, CHOCCOCHOCCO				Altura litostática (h)					300 m				
Labor:		CARRETERA				Rc / Sv					1.2				
Ejecutado por:		WILSON ELIOT ARRAYA AGUILAR.													
Fecha:		15/08/2023													
No.	DIP	DIP/DIR	σc	RQD	SPACIAMIENT	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUA SUBTERRANEA	ORIENTACION DISCONTINUIDADES	RMR	OBS	
						PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN					
1	79	340	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
2	81	338	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
3	79	339	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
4	80	340	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
5	75	341	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
6	80	338	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
7	76	339	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
8	77	340	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
9	82	338	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
10	78	341	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	J	
11	44	260	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
12	40	262	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
13	35	263	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
14	30	262	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
15	32	259	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
16	33	262	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
17	37	262	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
18	38	261	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
19	40	262	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
20	42	260	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J	
21	85	235	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
22	80	260	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
23	79	255	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
24	80	240	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
25	85	245	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
26	82	237	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
27	82	250	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
28	80	245	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
29	78	247	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
30	80	248	7	17	8	6	5	3	4	5	10	-25	42	J1	
31	81	339	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
32	79	340	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
33	81	342	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
34	80	338	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
35	78	339	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	
36	79	341	7	17	10	6	4	3	4	3	10	-5	59	E	

Anexo 14. Registro de prueba de resistencia de la roca intacta con Martillo de Smith.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA CON MARTILLO DE SCHMIDT



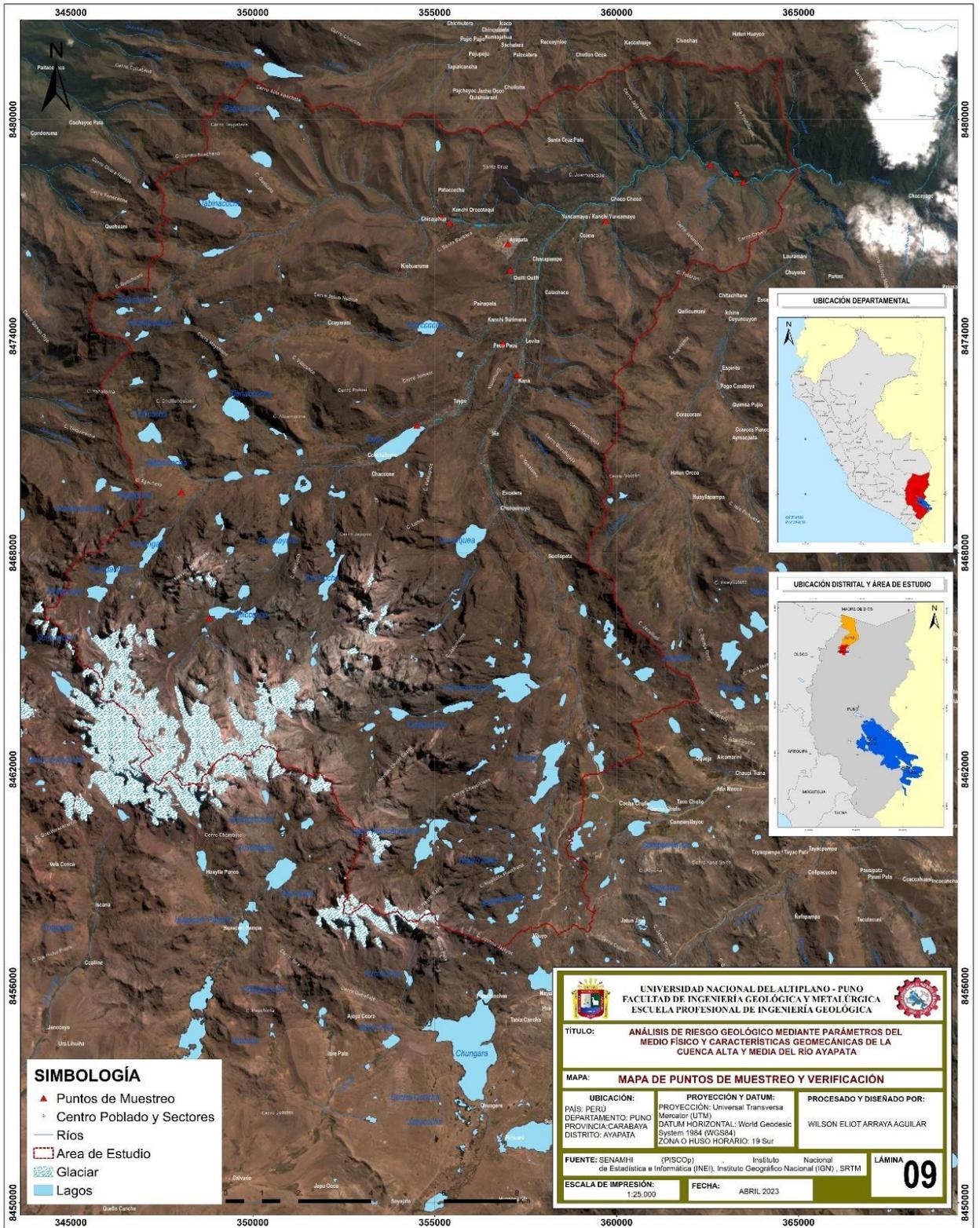
EQUIPO	N° PRUEBAS	REBOTES (MPa)	promedio
	1	89	Resistencia a la compresión uniaxial De la roca intacta es igual a: 89 MPa
	2	90	
	3	91	
	4	89	
	5	87	
	6	90	
	7	87	
	8	96	
	9	79	
	10	92	
	11	91	
	12	92	
	13	89	
	14	88	
	15	87	

### Anexo 15. Parámetros para clasificación RMR

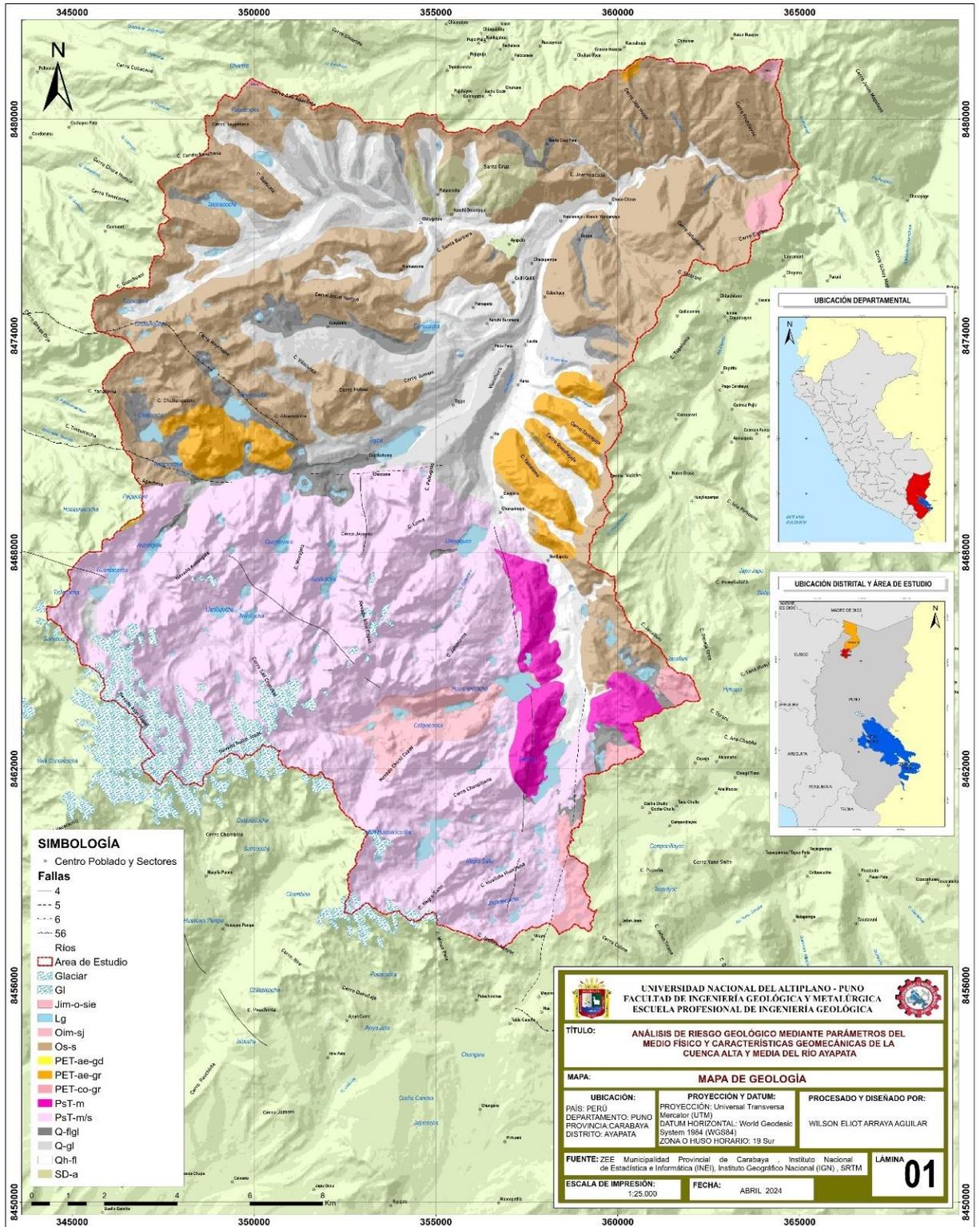
A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VARIACIONES									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la Roca Intacta	Índice de resistencia bajo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este bajo rango es preferible un ensayo de compresión simple		
		Resistencia a la compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD Calidad del testigo de perforación		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	8	3		
3	Espaciado entre discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades (Ver E)		Superficies muy rugosas discontinuas No hay separación Paredes intactas	Superficies ligeramente rugosas Separación < 1mm Paredes ligeramente meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas Separación < 1mm Paredes altamente meteorizadas	Superficies pulidas o relleno de falla < 5mm de espesor o Separación 1-5mm Continuas	Relleno de falla Suave > 5mm de espesor o Separación > 5mm Continuas		
	Puntuación		30	25	20	10	0		
5	Agua Subterránea	Afluencia por 10 m de longitud del túnel (l/m)	Ninguna	< 10	10-25	25-125	> 125		
		(Presión de agua en las Juntas) / (r principal mayor) Condiciones generales	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo			
Puntuación		15	10	7	4	0			
B. AJUSTE DE PUNTUACIÓN PARA LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (Ver F)									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
Orientaciones de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable			
Puntuaciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-2	-25	-50				
C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS A PARTIR DE LA PUNTUACIÓN TOTAL									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
Valoración		100-81	80-61	60-41	40-21	< 21			
Categoría		Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V			
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala			
D. SIGNIFICACIÓN DE LAS CLASES DE ROCA									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
Categoría		I	II	III	IV	V			
Tiempo promedio de autoaporte		20 años para Tramo de 15m	1 año para un tramo de 10m	1 semana para un tramo de 5m	10 hrs. para tramo de 2,5 m	30 min para tramo de 1m			
Cohesión del macizo rocoso (kPa)		> 400	300-400	200-300	100-200	< 100			
Angulo de fricción del macizo rocoso		> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°			
E. LINEAMIENTOS PARA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DISCONTINUIDAD									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
Longitud de discontinuidad (persistencia)		< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m			
Puntuación		6	4	2	1	0			
Separación (apertura)		Ninguna	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm			
Puntuación		6	5	4	1	0			
Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Pulida			
Puntuación		6	5	3	1	0			
Relleno (relleno de falla)		No hay	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm			
Puntuación		6	4	2	1	0			
Meteorización		No meteorizada (sana)	Ligeramente meteorizada	Moderadamente Meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta			
Puntuación		6	5	3	1	0			
F. EFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES									
Rumbo de discontinuidad perpendicular al eje del túnel					Rumbo de discontinuidad paralelo al eje del túnel				
Excavación hacia el buzamiento Buzamiento 45°-90°		Excavación hacia el buzamiento Buzamiento 20°-45°			Buzamiento 45°-90°		Buzamiento 20°-45°		
Muy favorable		Favorable			Muy desfavorable		Regular (media)		
Excavación contra el buzamiento Buzamiento 45°-90°		Excavación contra el buzamiento Buzamiento 20°-45°			Buzamiento 0-20°, cualquier dirección				
Regular (media)		Desfavorable			Regular (media), moderado				

Fuente: (Bieniawski, 1989).

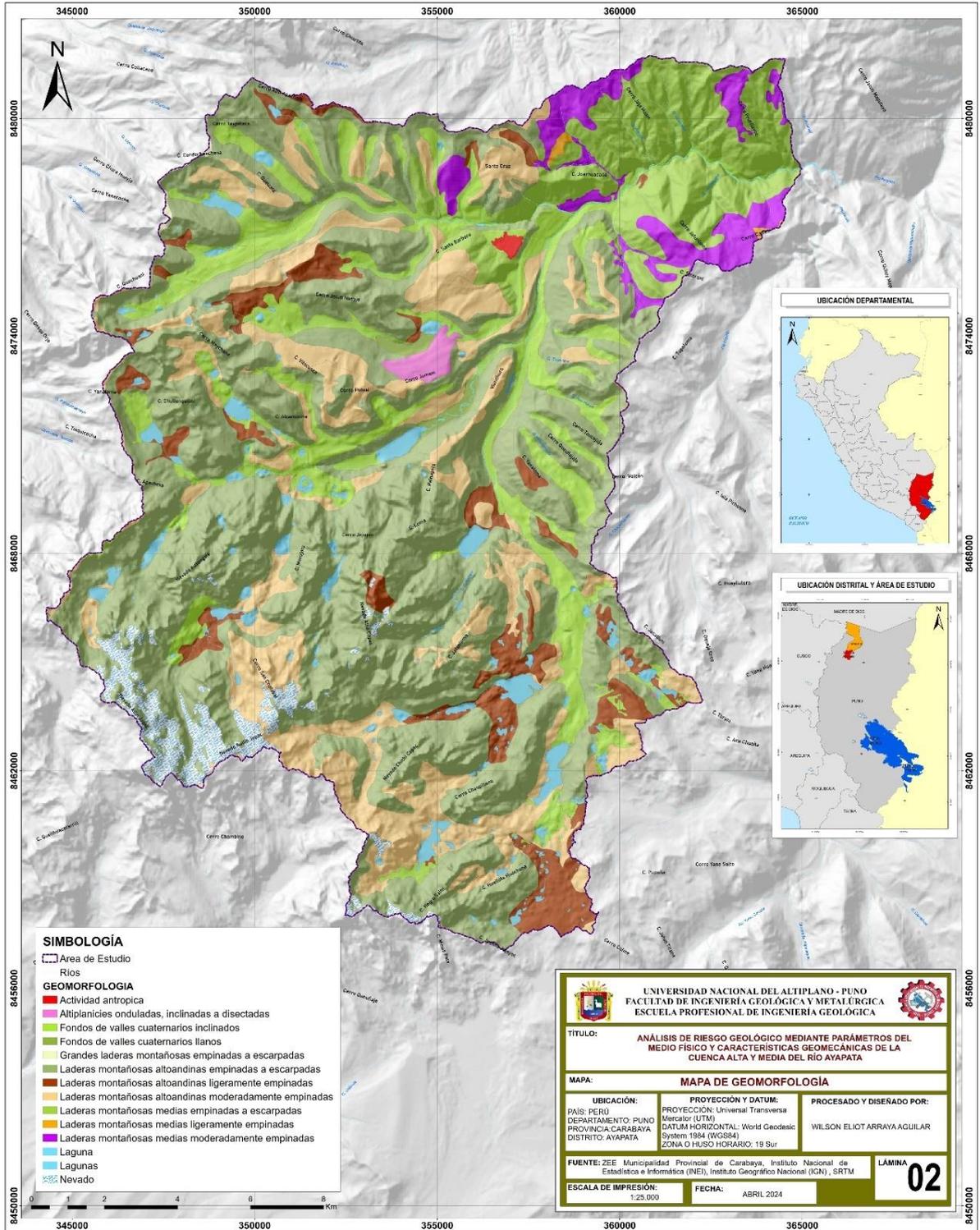
### Anexo 16. Mapa de puntos de Verificación



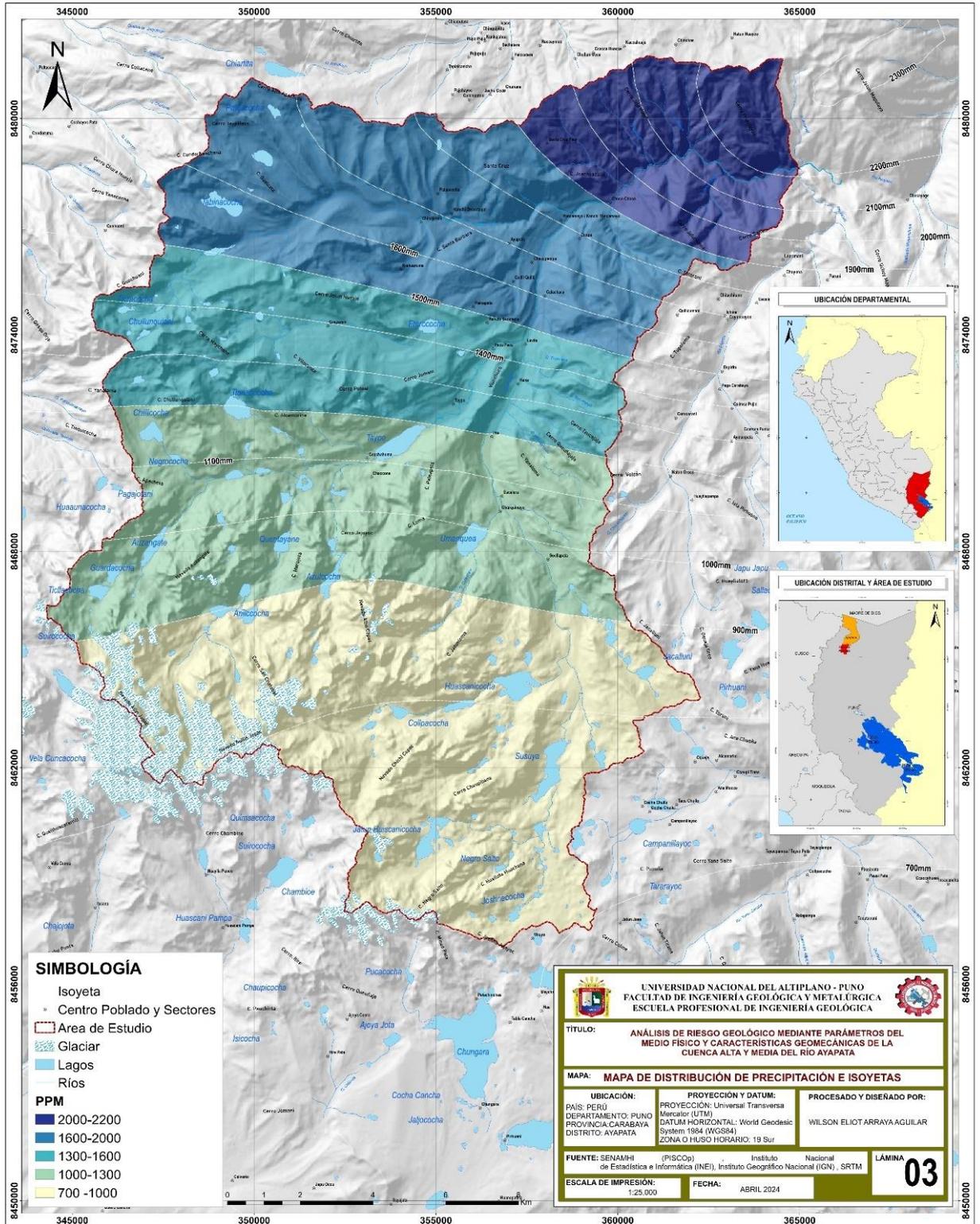
### Anexo 17. Mapa de Geología



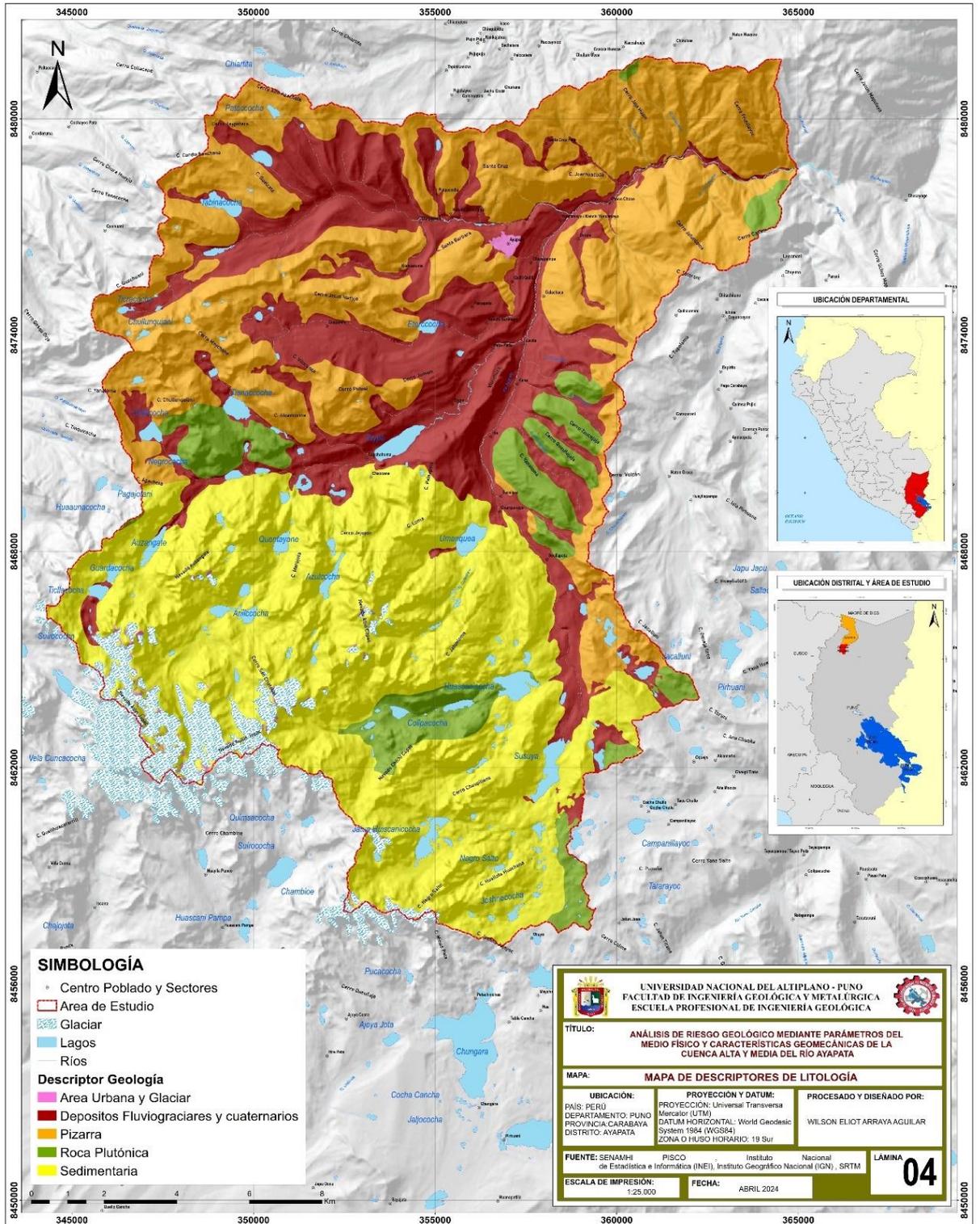
## Anexo 18. Mapa de Geomorfología



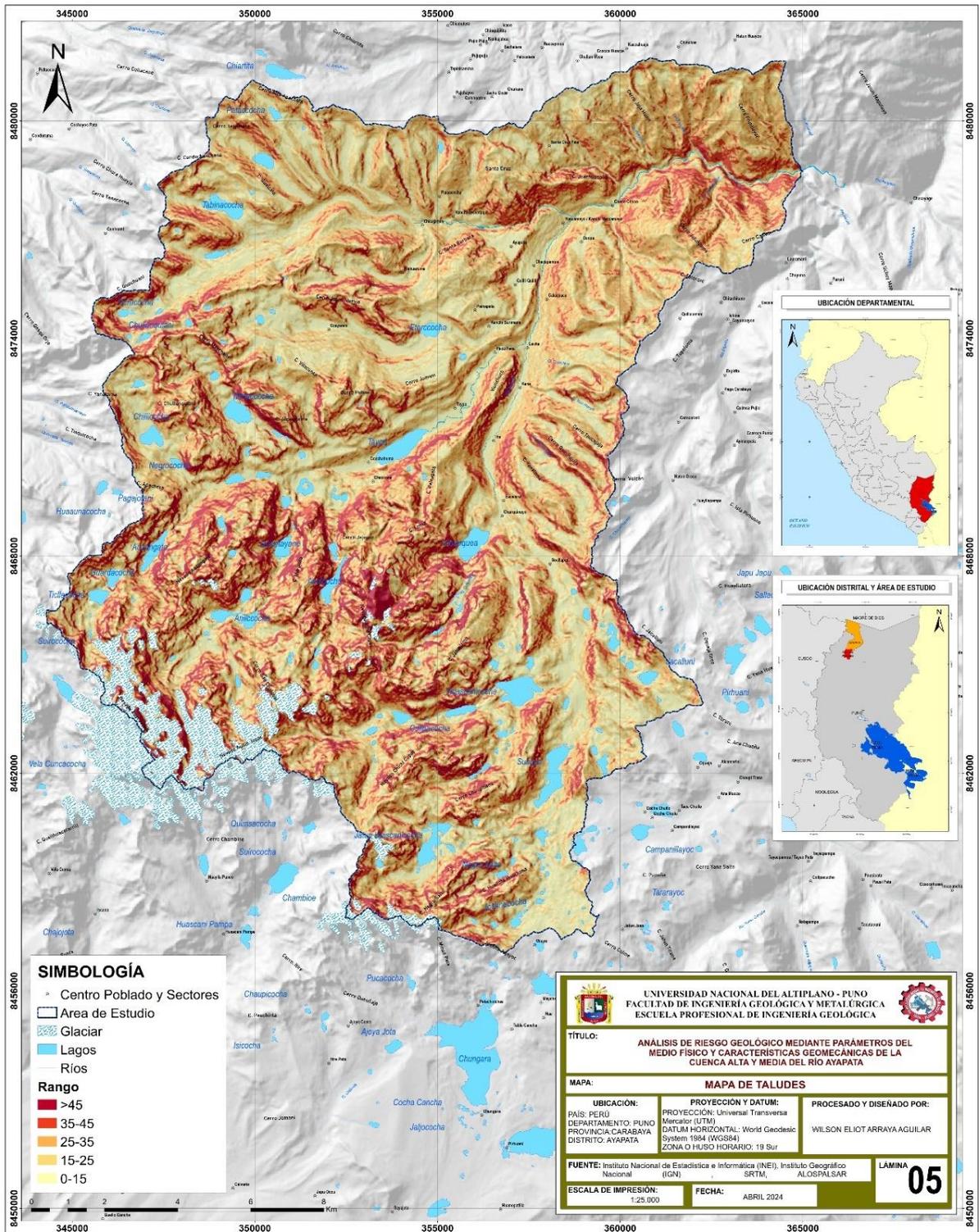
### Anexo 19. Mapa de Precipitación



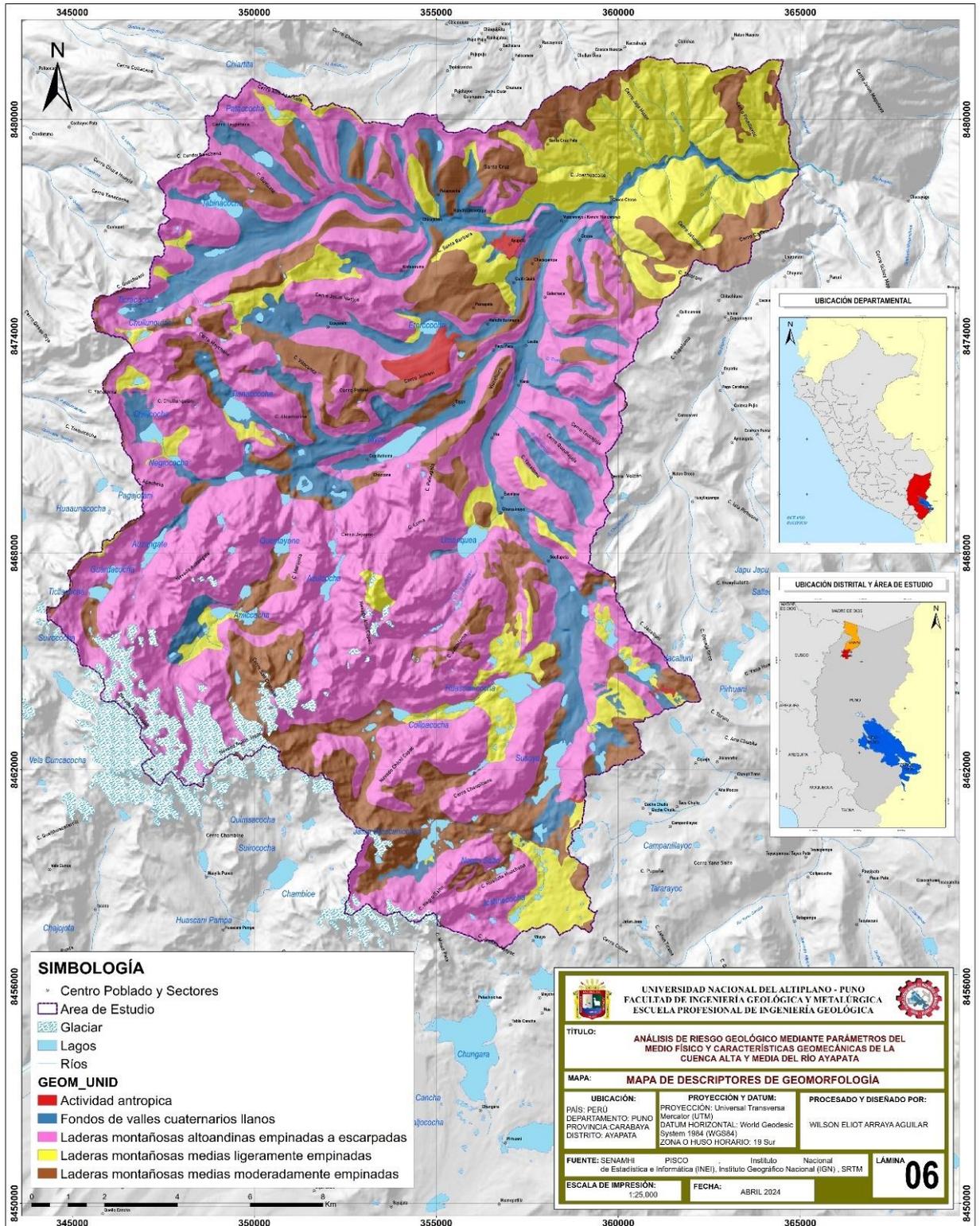
### Anexo 20. Mapa del parámetro Litológico



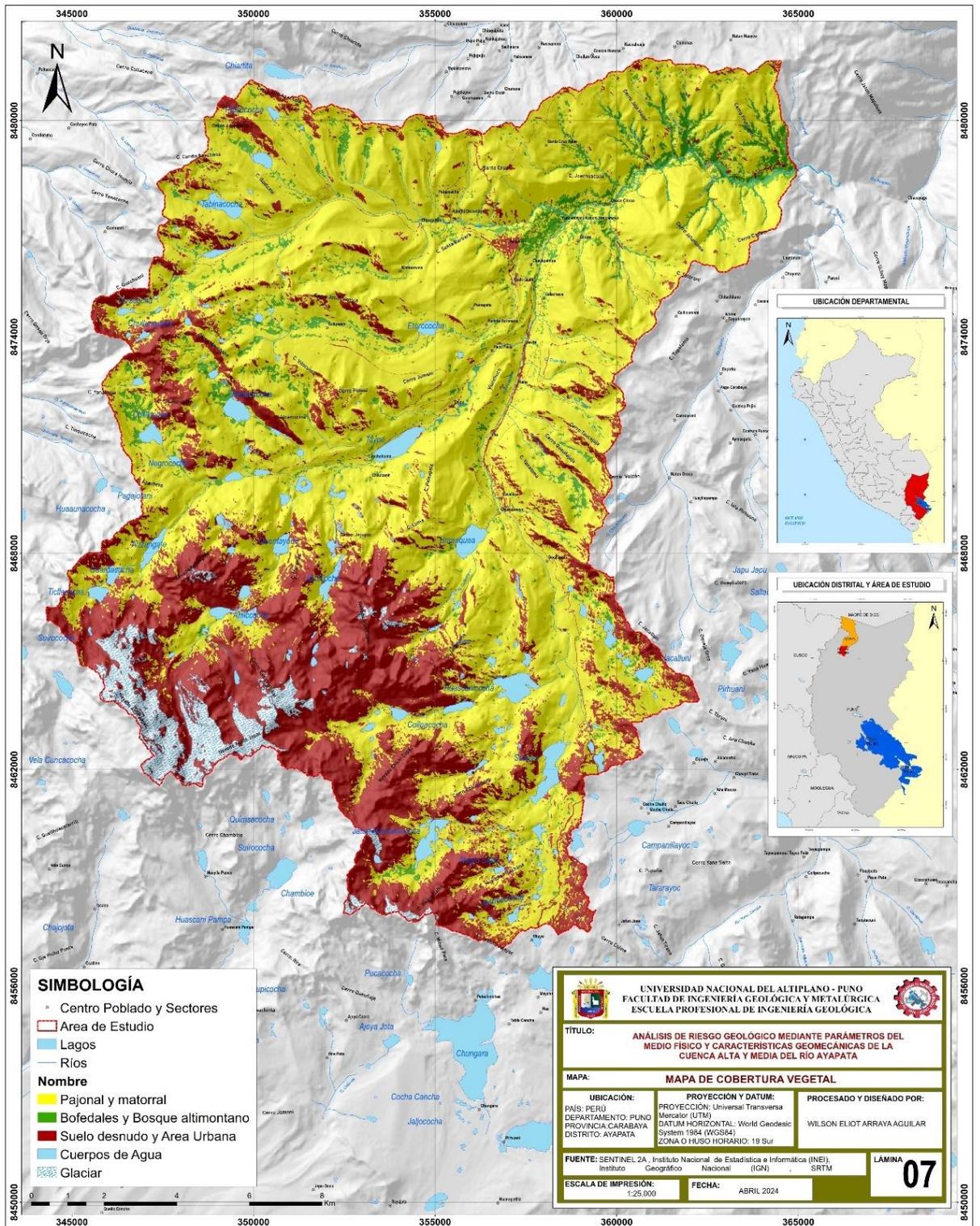
### Anexo 21. Mapas del parámetro Talud



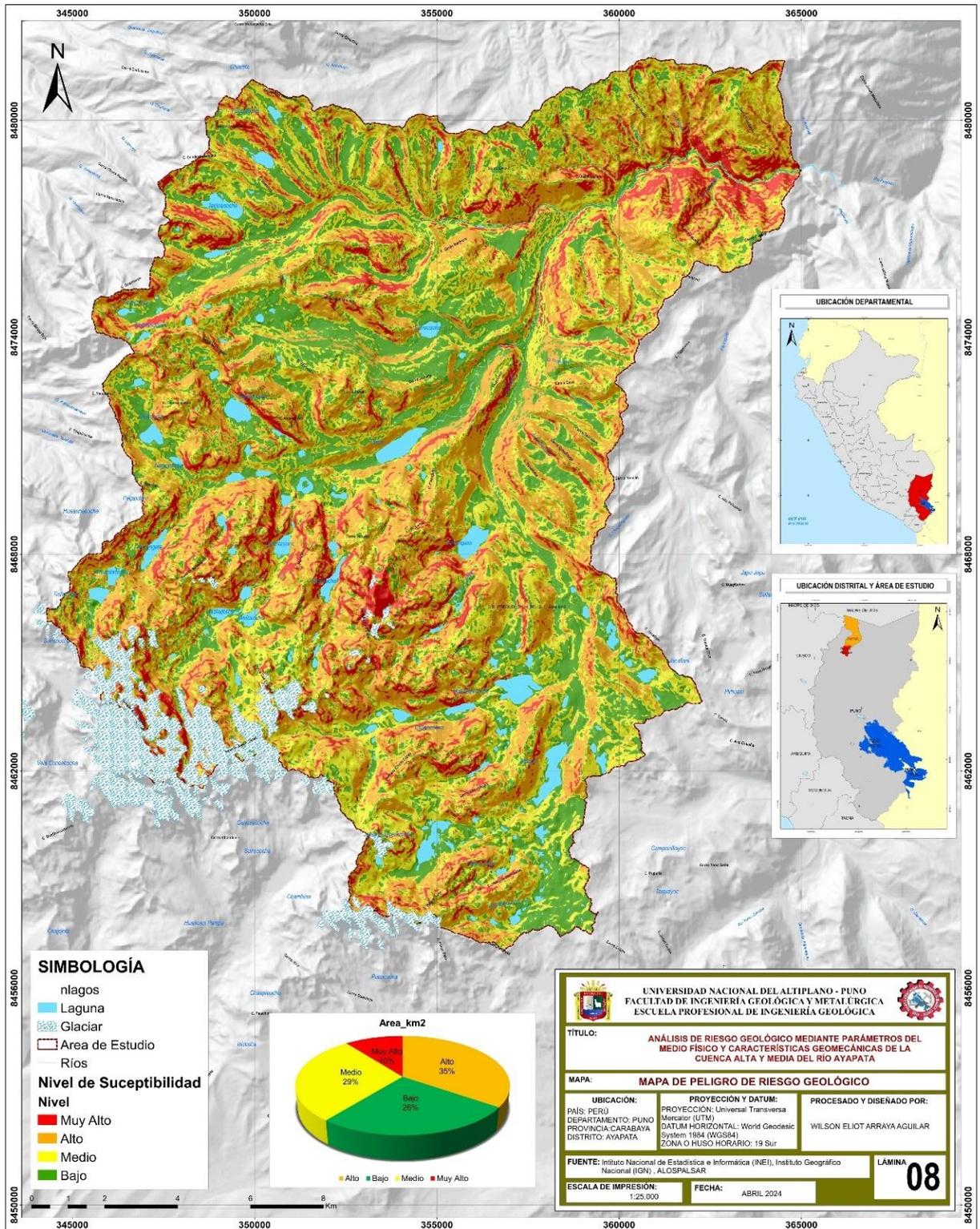
## Anexo 22. Mapa del parámetro Geomorfológico



### Anexo 23. Mapa de cobertura Vegetal



### Anexo 24. Mapa de riesgo Geológico





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilson Eliot Araya Aguilar  
, identificado con DNI 80042383 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA GEOLOGICA

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

" ESTUDIO DEL NIVEL DE RIESGO GEOLÓGICO MEDIANTE PARÁMETROS DEL MEDIO  
FÍSICO Y CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIO DEL RÍO AYAPATA

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wilson Eliot Arraya Aguilar  
, identificado con DNI 80042383 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERIA GEOLÓGICA

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ESTUDIO DEL NIVEL DE RIESGO GEOLÓGICO MEDIANTE PARÁMETROS DEL MEDIO FÍSICO Y CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO AYAPATA"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella