

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

“DETERMINACION DE LOS PARAMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022”

Presentado por:

BACH. YENIFER STEFANY CARBAJAL
CORONADO

Para optar el título profesional de INGENIERO
GEÓLOGO

Asesor:

MGT. ING. JOSE DIONICIO CARDENAS ROQUE

CUSCO – PERÚ
2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DETERMINACION DE LOS
PARAMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA
QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTA-
MENTO DEL CUSCO, 2022.
presentado por: YENIFER STEFANY CARRASAL con DNI Nro.: 73027043
CORONADO
presentado por: con DNI Nro.:
para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEODACA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 92%.

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

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

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

Cusco, 15 de febrero de 2024

Firma
Post firma JOSE DIONICIO CORDERIAS RUQUE

Nro. de DNI 23873595

ORCID del Asesor 0000-0002-5261-419X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259: 305596878

NOMBRE DEL TRABAJO

Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por Deslizamiento en la Quebrada A

AUTOR

Yenifer Carbajal

RECUENTO DE PALABRAS

26397 Words

RECUENTO DE CARACTERES

154090 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

142 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

19.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 18, 2024 10:15 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 18, 2024 10:18 PM GMT-5

● 9% de similitud general

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres, Lisbeth y Rigoberto, por brindarme todo su apoyo y nunca dejar de creer en mí. Agradezco por todos los valores que me han inculcado para ser una mejor persona cada día. ¡Este logro también es de ustedes!

A mis hermanas Yohana y Katherine por motivarme a cumplir con mis metas propuestas y a mi cuñado Nerio por todo su cariño y apoyo brindado en todo momento.

A mi sobrina Mireya, por sacarme varias sonrisas con tus ocurrencias, y a ti Rafaelita que desde el cielo me diste muchas fuerzas para seguir adelante y no rendirme.

Stefany Carbajal.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional para cumplir mis metas; a toda mi familia que estuvo ahí presente motivándome a seguir creciendo profesionalmente.

Agradezco a mi asesor Mgt. Ing. José Dionicio Cárdenas Roque por todo su apoyo durante la elaboración de mi tesis, así mismo por todas sus enseñanzas a lo largo de mis estudios en la universidad.

A Francisco, un gran amigo, gracias por tus comentarios, sugerencias y apoyo durante este tiempo.

Agradezco a todos mis amigos que de una forma u otra me han apoyado durante todo este proceso, gracias por todos los momentos compartidos durante nuestra etapa universitaria y por su amistad que hasta el día de hoy sigue perdurando.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de determinar los parámetros para calcular el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco, con el fin de contar con un mapa de peligros actualizado tomando en cuenta las obras de estabilización existentes en la zona de estudio.

El tipo de investigación empleado es de un enfoque mixto, con un método secuencial y un nivel descriptivo. Según su tipo de investigación por su fuente es de campo con un diseño no experimental.

La quebrada Ayahuayco es propensa a la ocurrencia de deslizamientos, motivo por el cual se decidió realizar esta investigación utilizando la metodología propuesta en el “Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, 2da Versión del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2014”, así mismo se recopiló datos en campo para posteriormente en gabinete analizar y digitalizar la información obtenida con el uso del software de información geográfica y software de estabilidad de taludes.

Se determinó como parámetros a las condiciones naturales del terreno que son el grado de inestabilidad de los taludes, la geología, pendientes y la geomorfología; como factor desencadenante se consideró a las precipitaciones pluviales y finalmente se determinó como parámetros generales de evaluación al volumen y velocidad de los deslizamientos.

Finalmente, mediante estos parámetros se calculó el nivel de peligro en la zona de estudio dando como resultado que 1.77 Ha, es decir el 15% se encuentran en peligro muy alto, 3.42 Ha. equivalente al 30% se encuentra en peligro alto, 4.55 Ha, que es el 39% de la zona de estudio se encuentra en peligro medio y finalmente 1.86 Ha equivalente al 16% se encuentra en peligro bajo.

Palabras clave: Peligro, susceptibilidad, deslizamiento, parámetro, Ayahuayco, Cusco.

INDICE

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	1
1.1. UBICACIÓN.....	1
1.1.1. Ubicación política	1
1.1.2. Ubicación geográfica	1
1.1.3. Ubicación hidrográfica.....	4
1.1.4. Vías de acceso.....	4
1.2. DELIMITACION Y SUPERFICIE DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.3.1. Problema general	7
1.3.2. Problemas específicos	8
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. HIPOTESIS	8
1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas	8
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.7. Variables.....	10
1.7.1. Variable dependiente	10
1.7.2. Variables independientes	10
1.8. METODOLOGIA DE TRABAJO	10
1.8.1. Método (s) que emplearan en la investigación	10
1.8.2. Procedimiento	11

1.9.	ANTECEDENTES.....	13
1.10.	MARCO CONCEPTUAL.....	17
1.10.1.	Geomorfología	17
1.10.2.	Geología	18
1.10.3.	Pendientes.....	18
1.10.4.	Geodinámica externa.....	18
1.10.5.	Deslizamientos	18
1.10.6.	Clasificación de los deslizamientos.....	23
1.10.7.	Peligro	25
CAPITULO II: ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y GEOLOGICOS.....		28
2.1.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	28
2.1.1.	Geomorfología regional	28
2.1.2.	Unidades geomorfológicas locales	28
2.2.	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	35
2.2.1.	Geología regional.....	35
2.2.2.	Geología local	37
2.3.	ANÁLISIS DE PENDIENTES	42
2.3.1.	Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte.....	43
2.3.2.	Pendiente fuerte	43
2.3.3.	Pendiente moderada	44
2.3.4.	Pendiente baja	44
2.3.5.	Pendiente muy baja.....	46

CAPÍTULO III HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.....	48
3.1. HIDROLOGÍA	48
3.1.1. Generalidades.....	48
3.1.2. Condiciones climáticas	48
3.1.3. Precipitación	48
3.1.4. Régimen de la precipitación estacional.....	49
3.2. HIDROGEOLOGÍA	52
3.2.1. Generalidades.....	52
3.2.2. Caracterización hidrogeológica	53
3.3. PARAMETROS HIDROLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS	55
3.3.1. Porosidad total	55
3.3.2. Porosidad eficaz.....	55
3.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS.....	56
CAPITULO IV ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	58
4.1. GENERALIDADES	58
4.2. MECÁNICA DE SUELOS.....	58
4.2.1. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos	59
4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS	
61	
4.4. PERFILES DE SUELOS	63
CAPÍTULO V CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y EL GRADO DE	
INESTABILIDAD.....	66
5.1. GENERALIDADES	66
5.2. CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD	66
CAPÍTULO VI GEODINÁMICA EXTERNA	71

6.1. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS	71
6.2. MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO DE DESLIZAMIENTOS	88
6.2.1. Modelo conceptual de susceptibilidad	88
6.2.2. Modelo conceptual de peligro.....	89
CAPÍTULO VII PELIGRO POR DESLIZAMIENTO	91
7.1. GENERALIDADES	91
7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS	92
7.3. SUSCEPTIBILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO	92
7.3.1. Factores condicionantes	92
7.3.2. Factores desencadenantes	99
7.4. PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	103
7.4.1. Descriptores del parámetro de evaluación– Volumen de deslizamiento.	103
7.4.2. Descriptores del parámetro de evaluación– Velocidad de deslizamiento.....	106
7.5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	107
7.5.1. Población.....	107
7.5.2. Vivienda.....	107
7.5.3. Infraestructura de energía eléctrica	108
7.5.4. Red de agua y desague.....	108
7.5.5. Vías	108
7.5.6. Línea férrea	108
7.6. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS.....	109
7.7. DEFINICIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO	109
7.7.1. Estratificación del nivel de peligrosidad.....	110
7.8. NIVEL PELIGRO POR VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	113

7.9. NIVEL PELIGRO IDENTIFICADO POR CADA ELEMENTO EXPUESTO	113
7.10. PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES:	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA:	122
WEBGRAFÍA	124

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación política de la zona de estudio.	1
Tabla 2. Coordenadas UTM de la zona de estudio.	2
Tabla 3. División hidrográfica según la clasificación de Pfastetter.	4
Tabla 4. Clasificación modificada de pendientes.	42
Tabla 5 Datos de estación meteorológica Kayra (1964-2017).	49
Tabla 6 Precipitación total mensual-promedio multi-mensual de la estación Kayra.	50
Tabla 7 Umbrales de precipitación calculados para la estación Kayra.	51
Tabla 8 Porosidad total de las formaciones geológicas identificadas en la quebrada Ayahuayco.	55
Tabla 9 Porosidad eficaz de las formaciones geológicas identificadas en la quebrada Ayahuayco.	56
Tabla 10 Fuente de agua con sus propiedades físicas y químicas	57
Tabla 11 Resultados del estudio de mecánica de suelos para cada calicata.	61
Tabla 12 Parámetros obtenidos a partir de los distintos tipos de densidad.	63
Tabla 13 Deslizamientos ubicados en la quebrada Ayahuayco.	71
Tabla 14. Clasificación modificada por el volumen de deslizamiento.	89
Tabla 15 Matriz de comparación de pares del factor condicionantes.	93
Tabla 16 Matriz de normalización de pares del factor condicionantes.	93
Tabla 17 Índice de consistencia y relación de consistencia del factor condicionante.	93
Tabla 18 Clasificación de unidades geológicas.	94

Tabla 19 Matriz de comparación de pares del parámetro unidades Geológicas.....	94
Tabla 20 Matriz de normalización del parámetro unidades Geológicas.....	94
Tabla 21 Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidades Geológicas.	95
Tabla 22 Clasificación del parámetro de pendientes.	95
Tabla 23 Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente.	95
Tabla 24. Matriz de normalización del parámetro pendiente.	96
Tabla 25. Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro pendiente.	96
Tabla 26. Clasificación de unidades geomorfológicas.	96
Tabla 27. Matriz de comparación de pares del parámetro unidad geomorfológica.....	97
Tabla 28. Matriz de normalización de pares del parámetro unidad geomorfológica.....	97
Tabla 29. Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidad geomorfológica.	98
Tabla 30. Clasificación de grado de inestabilidad.	98
Tabla 31. Matriz de comparación de pares del parámetro unidad grado de inestabilidad.....	98
Tabla 32. Matriz de normalización de pares del parámetro unidad grado de inestabilidad....	99
Tabla 33. Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidad grado de inestabilidad.	99
Tabla 34. Clasificación de umbrales de precipitación.	99
Tabla 35. Matriz de comparación de pares de los descriptores del parámetro umbrales de precipitación.....	100

Tabla 36. Matriz de normalización de los descriptores del parámetro umbrales de precipitación.	100
Tabla 37. Índice de consistencia y relación de consistencia de los descriptores del parámetro de evaluación.	101
Tabla 38. Descriptores de volumen de deslizamientos.....	103
Tabla 39. Matriz de comparación de pares del parámetro de volumen de deslizamientos...	103
Tabla 40. Matriz de normalización del parámetro de evaluación volumen de deslizamientos.	104
Tabla 41. Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación volumen de deslizamientos.....	104
Tabla 42. Descriptores de velocidad de deslizamientos.	106
Tabla 43. Matriz de comparación de pares del parámetro de velocidad de deslizamientos.	106
Tabla 44. Matriz de normalización del parámetro de evaluación velocidad de deslizamientos.	107
Tabla 45. Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación velocidad de deslizamientos.	107
Tabla 46. Infraestructura de energía y electricidad.....	108
Tabla 47. Servicio de agua y desagüe.....	108
Tabla 48. Niveles de peligro.....	109
Tabla 49. Estrato nivel de peligros.	110
Tabla 50. Nivel de peligro por volumen de deslizamientos.....	113
Tabla 51. Nivel de peligro para elemento expuesto: Habitantes.	114

Tabla 52. Nivel de peligro para elemento expuesto: Lotes.....	114
Tabla 53. Nivel de peligro para elemento expuesto: Postes.	114
Tabla 54. Nivel de peligro para elemento expuesto: Buzones.....	115
Tabla 55. Nivel de peligro para elemento expuesto: Vías	115
Tabla 56. Nivel de peligro para elemento expuesto: Red de desagüe	115
Tabla 57. Nivel de peligro para elemento expuesto: Red de agua.....	116
Tabla 58. Nivel de peligro para elemento expuesto: Línea férrea	116

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.	3
Figura 2. Mapa de ubicación hidrográfica de la zona de estudio.....	5
Figura 3. Vías de acceso a la zona de estudio.....	6
Figura 4. Peligros registrados en el SINPAD para el distrito de Cusco.	14
Figura 5. Partes que conforman un deslizamiento.	20
Figura 6. Partes que conforman el deslizamiento D-11 generado con la topografía actual....	21
Figura 7. Dimensiones de los movimientos en masa.....	21
Figura 8. Relaciones D/L para deslizamientos de traslación y rotación.	24
Figura 9. Metodología general para determinar la peligrosidad.	25
Figura 10. Determinación de la susceptibilidad.....	26
Figura 11. Unidades geomorfológicas regionales.....	29
Figura 12. Cauce de la quebrada, encauzado en la prolongación Av. Ayahuayco en la Quebrada Ayahuayco.	30
Figura 13. Terraza fluvio aluvial observada en la Av. Ayahuayco, en el flanco izquierdo de la quebrada se observa la Fm. San Sebastián.....	31
Figura 14. Montaña en roca sedimentaria. Se observa la Fm. Kayra y Fm. San Sebastián en ambos márgenes de la zona de estudio.	31
Figura 15. Vertiente con depósito de deslizamiento observada desde la Av. Ayahuayco, en la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.....	32
Figura 16. Pie de monte aluvio-lacustre donde se observa la Fm. San Sebastián con una inclinación mayor a 35°, vista tomada desde la Av. Ayahuayco hacia la margen izquierda...	33

Figura 17. Mapa de unidades geomorfológicas locales de la zona de estudio.	34
Figura 18. Columna estratigráfica de la Formación Kayra.	36
Figura 19. Columna estratigráfica de la Formación San Sebastián.	36
Figura 20. Afloramiento de areniscas de la Formación Kayra. Vista tomada desde la APV. San Benito en la parte alta de la quebrada Ayahuayco.	37
Figura 21. Afloramiento de la Formación San Sebastián, observado en la Av. Ayahuayco hacia la margen izquierda de la quebrada.	38
Figura 22. Afloramiento de depósitos proluviales en la quebrada Ayahuayco. Vista tomada en la prolongación Av. Ayahuayco.	39
Figura 23. Depósitos de materiales heterométricos angulosos a sub angulosos observados en la parte alta de la quebrada Ayahuayco.	40
Figura 24. Depósitos antropogénicos sueltos observados desde la prolongación Av. Ayahuayco.	40
Figura 25. Mapa geológico de la zona de estudio.	41
Figura 26. Ladera de la margen izquierda con pendientes $>35^\circ$, vista desde la prolongación Av. Ayahuayco.	43
Figura 27. Pendientes inclinaciones de 16° a 35° observadas desde la Av. Ayahuayco en las vertientes.	44
Figura 28. Pendientes con inclinaciones de 8° a 16° observadas en las vertientes, hacia la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.	45
Figura 29. Se observa pendientes bajas con inclinaciones de 4° a 8° al pie de la Av. Ayahuayco en la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.	45

Figura 30. Pendientes con inclinaciones de 4° a 8° observadas a lo largo de la Av. Ayahuayco.	46
Figura 31. Mapa de pendientes de la zona de estudio.....	47
Figura 32. Histograma de precipitaciones máximas registradas en 24 hr, estación Kayra.....	49
Figura 33. Representación gráfica de la precipitación total mensual-multimensual.	50
Figura 34. Histograma de precipitaciones (mm) máxima en 24 horas. estación Kayra.	52
Figura 35. Afloramiento de areniscas fracturadas de la Formación Kayra.....	54
Figura 36. Vista del afloramiento del ojo de agua presente en la zona de estudio.	56
Figura 37. Sección C-C' y el nivel freático	57
Figura 38. Mapa de ubicación de calicatas.	62
Figura 39. Perfil estratigráfico de la calicata C-6.	64
Figura 40. Perfil estratigráfico de la calicata C-7.	65
Figura 41. Equilibrio o desequilibrio de fuerzas en un talud.....	66
Figura 42. Se muestra el perfil geológico de la sección B-B' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico....	67
Figura 43. Se muestra el perfil geológico de la sección I – I' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico....	68
Figura 44. Perfil geológico de la sección D-D' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.....	68
Figura 45. Perfil geológico de la sección A-A' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.....	69

Figura 46. Perfil geológico de la sección H-H' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.....	69
Figura 47. Mapa de grado de inestabilidad por el factor de seguridad.	70
Figura 48. Mapa de inventario de deslizamientos.	87
Figura 49. Flujograma general del proceso de análisis de información	91
Figura 50. Mapa susceptibilidad ante deslizamientos.....	102
Figura 51. Mapa de volúmenes de deslizamientos.	105
Figura 52. Mapa de peligro por deslizamientos en la zona de estudio.	111
Figura 53. Mapa de peligro por elementos expuestos en la zona de estudio.....	112

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se describe a nivel de ubicación política, sistema de coordenadas UTM y vías de acceso.

1.1.1. Ubicación política

La zona de estudio está ubicada en la quebrada Ayahuayco, en el sector noroccidental de la ciudad del Cusco, en el distrito, provincia y departamento del Cusco. Dentro de la zona de estudio se encuentran las siguientes agrupaciones urbanas: AA.HH. Pueblo Libre Ayahuayco Segunda Etapa, PP.JJ. Pueblo Libre Ayahuayco, AA.HH. Villa María, AA. HH. San Benito y 24 lotes sin agrupación urbana. (ver Tabla 1)

Tabla 1.

Ubicación política de la zona de estudio.

País	Perú
Departamento	Cusco
Provincia:	Cusco
Distrito:	Cusco

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Ubicación geográfica

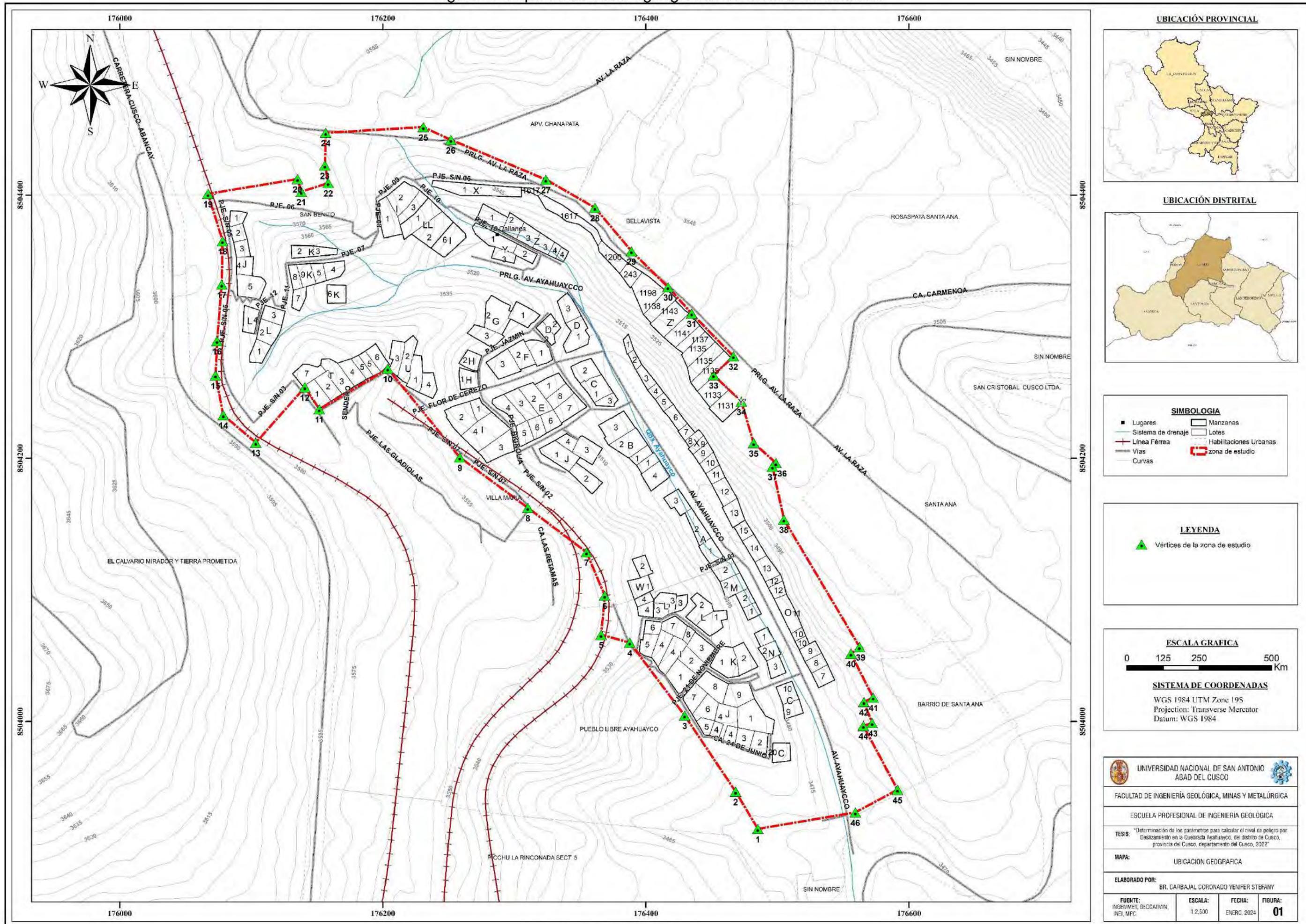
Geográficamente la zona de estudio está ubicada en el datum WGS84, zona 19L, en las coordenadas UTM N: 8504194, E: 176402 con una altitud de 3528 m.s.n.m. (ver Figura 1, Tabla 2)

Tabla 2.
Coordenadas UTM de la zona de estudio.

VERTICE	ESTE	NORTE	VERTICE	ESTE	NORTE
1	176485.17	8503918.43	24	176156.64	8504447.25
2	176468.23	8503946.76	25	176230.81	8504451.62
3	176429.49	8504004.54	26	176251.77	8504441.93
4	176387.81	8504059.96	27	176324	8504411.77
5	176365.98	8504065.91	28	176361.3	8504390.34
6	176368.76	8504095.68	29	176389.08	8504357.32
7	176354.87	8504128.62	30	176416.87	8504330.02
8	176310.29	8504162.33	31	176434.8	8504310.01
9	176258.64	8504200.64	32	176466.56	8504277.47
10	176203.82	8504268.16	33	176451.47	8504263.18
11	176151.75	8504237.26	34	176472.59	8504243.02
12	176140.74	8504253.98	35	176481.95	8504211.59
13	176103.49	8504211.86	36	176498.94	8504196.35
14	176078.78	8504232.78	37	176496.24	8504193.65
15	176072.82	8504262.94	38	176504.97	8504153.49
16	176074.01	8504289.14	39	176562.44	8504056.65
17	176077.59	8504332.00	40	176555.93	8504051.57
18	176078.22	8504365.02	41	176572.76	8504018.23
19	176067.11	8504400.9	42	176565.77	8504014.9
20	176135.21	8504412.17	43	176572.02	8503998.86
21	176138.07	8504402.48	44	176565.35	8503996.75
22	176158.55	8504409.15	45	176591.33	8503948.19
23	176156.01	8504422.49	46	176559.25	8503931.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 ABADEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por deslizamiento en la Quebrada Ayahuayo, del distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco, 2022"

MAPA: UBICACION GEOGRAFICA

ELABORADO POR:
 BR. CARBAJAL CORONADO YENIFER STEFANY

FUENTE: INGENIEMET, GEOCATWIN, INEI, MFC.	ESCALA: 1:2,500	FECHA: ENERO, 2024	FIGURA: 01
---	--------------------	-----------------------	----------------------

1.1.3. Ubicación hidrográfica

Desde el punto de vista hidrográfico la zona de estudio se encuentra ubicado en la cuenca hidrográfica del Amazonas, cuenca del río Vilcanota – Urubamba. En la tabla 3 se observa la clasificación hidrográfica propuesta por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Tabla 3.

División hidrográfica según la clasificación de Pfastetter.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Cuenca hidrográfica del río Amazonas	Cuenca hidrográfica alto Amazonas	Cuenca hidrográfica del río Ucayali	Cuenca hidrográfica del río Urubamba

Fuente: Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua.

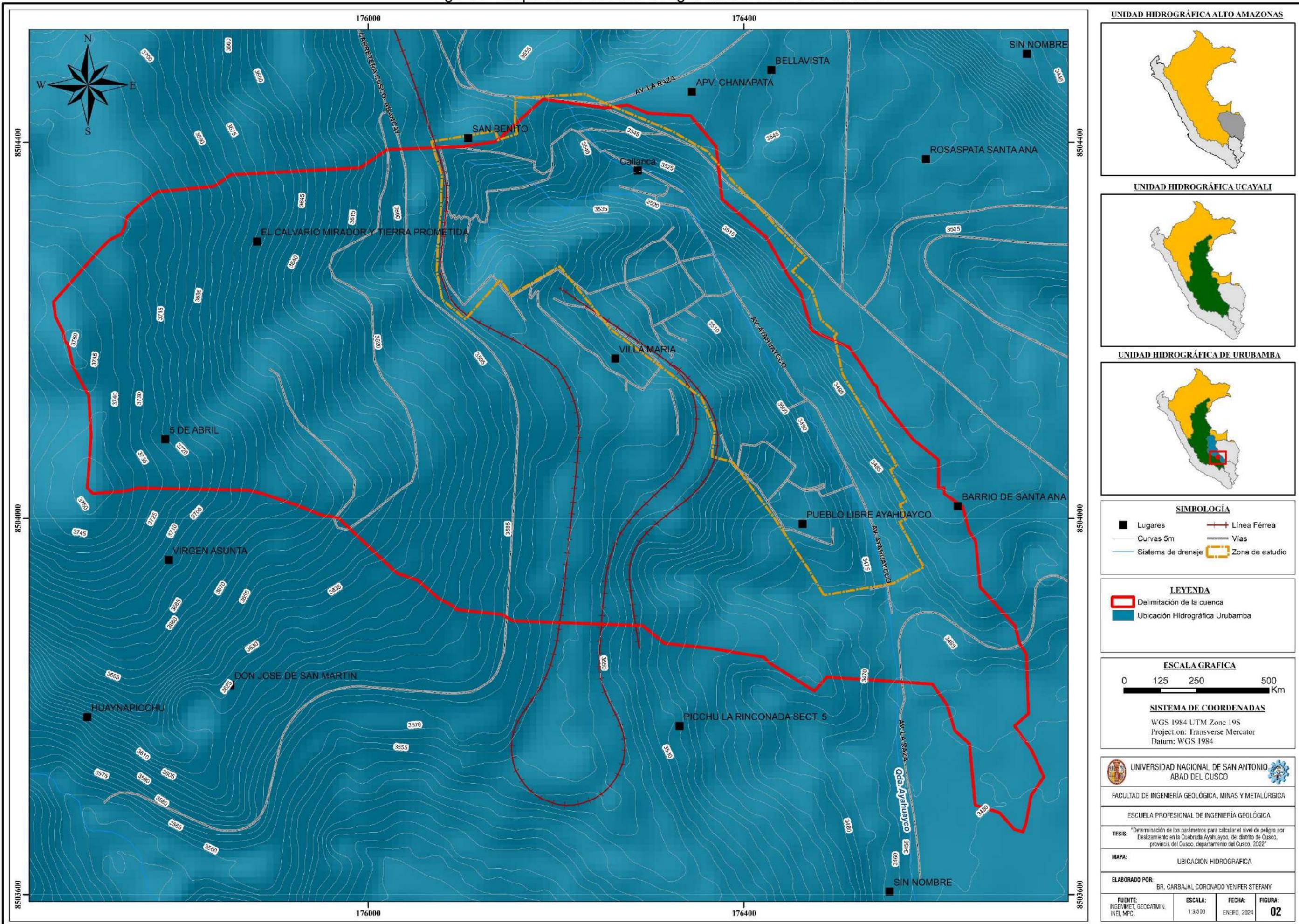
En la Figura 2 se observa el mapa de ubicación hidrográfica de la quebrada Ayahuayco.

1.1.4. Vías de acceso

Para llegar a la zona de estudio tomaremos como punto de partida la plaza de armas de la ciudad de Cusco (ver Figura 3).

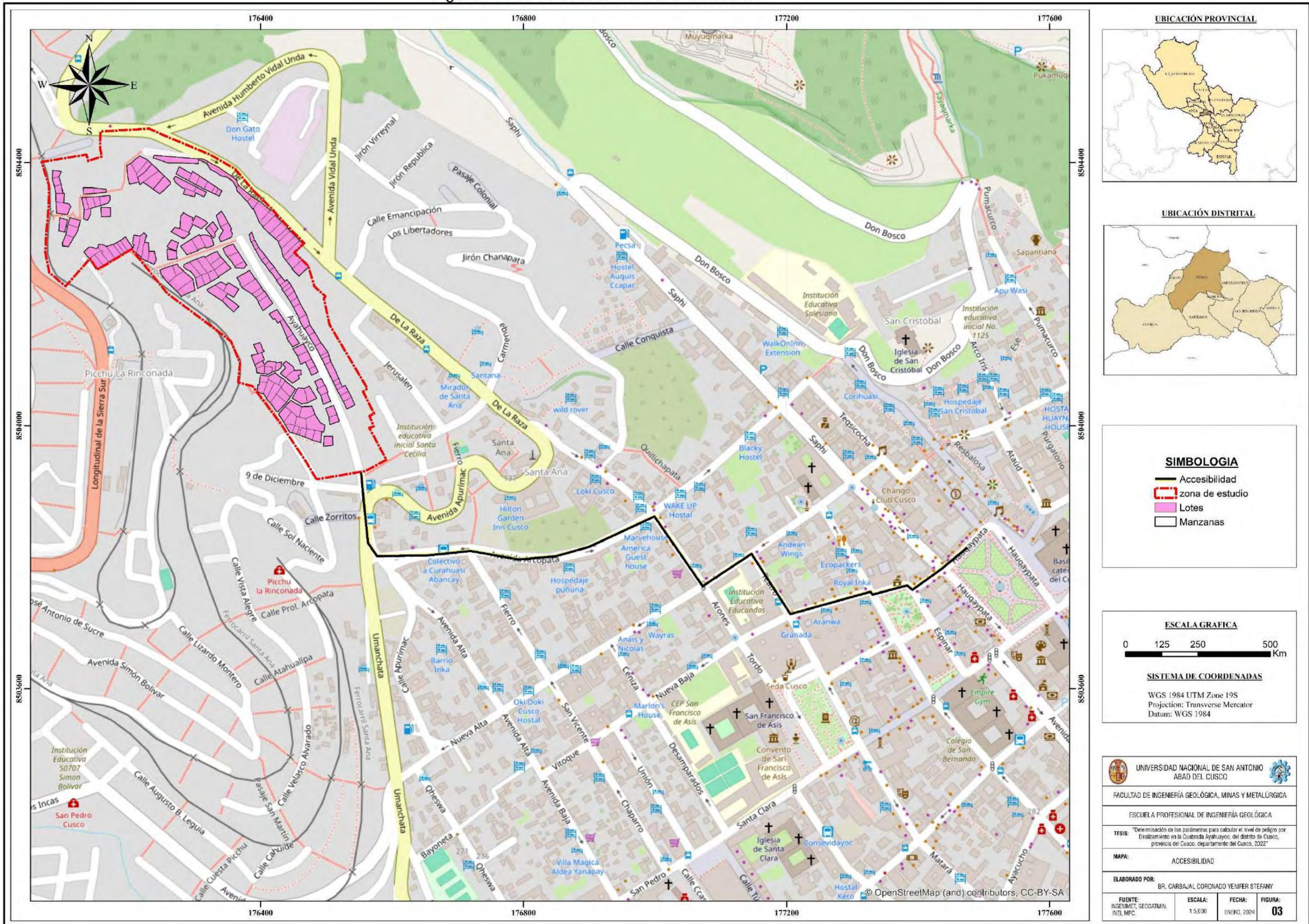
- RUTA 01: Para acceder por la parte baja de la Quebrada Ayahuayco nos dirigimos hacia la parte noroccidental de la ciudad del Cusco hasta llegar a la Av. Arcopata que es el punto de inicio de la zona de estudio.
- RUTA 02: Para acceder a la zona de estudio por la parte alta de la Quebrada Ayahuayco, se debe ir hacia la parte occidental de la ciudad del Cusco hasta salir a la Carretera Cusco – Abancay y llegar a la altura de la APV. San Benito.

Figura 2. Mapa de ubicación hidrográfica de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Vías de acceso a la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

1.2. DELIMITACION Y SUPERFICIE DE LA ZONA DE ESTUDIO

La delimitación de la zona de estudio se hizo tomando como referencia las cabeceras de los taludes presentes en la quebrada Ayahuayco y las calles contiguas a estas con la finalidad de que al determinar el peligro por deslizamientos se pueda conocer el nivel de peligro que presenta cada lote.

Esta delimitación abarca una superficie de 11.6 ha.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que producen cambios en la morfología del terreno y que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades. Las zonas montañosas son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos, debido a que generalmente se reúnen elementos importantes para su ocurrencia tales como el relieve, la meteorización y las lluvias intensas.

El Perú, debido a su ubicación dentro de las cadenas montañosas, es un país donde los deslizamientos afectan la infraestructura física y a la población. La mayoría de veces se producen porque las laderas pierden estabilidad debido a la infiltración de aguas de lluvias y/o escorrentías.

En el distrito de Cusco de acuerdo a los reportes obtenidos del SINPAD, el fenómeno más recurrente son los deslizamientos.

La quebrada Ayahuayco presenta factores condicionantes y factores desencadenantes que hacen que esta zona sea susceptible y que mezclados con parámetros de evaluación generará peligro por deslizamiento.

1.3.1. Problema general

Para esta investigación se ha planteado el siguiente problema:

¿Cuáles son los parámetros que determinan el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros de evaluación del deslizamiento en la quebrada Ayahuayco?
- ¿Cuáles son los factores condicionantes que influyen en el deslizamiento de la quebrada Ayahuayco?
- ¿Qué factores desencadenan los deslizamientos en la quebrada Ayahuayco?
- ¿Cuál es el nivel de peligro para cada elemento expuesto en la quebrada Ayahuayco?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar los parámetros para calcular el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de evaluación del deslizamiento de la quebrada Ayahuayco.
- Caracterizar los factores condicionantes que influyen en el deslizamiento de la quebrada Ayahuayco.
- Definir el factor desencadenante que actuará como detonante en el deslizamiento de la quebrada Ayahuayco.
- Identificar el nivel de peligro para cada elemento expuesto de la quebrada Ayahuayco.

1.5. HIPOTESIS

1.5.1. Hipótesis general

Según los parámetros del deslizamiento de la quebrada Ayahuayco el nivel de peligro es muy alto y alto.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Los factores condicionantes del terreno son adecuados para la ocurrencia de deslizamientos en la quebrada Ayahuayco.

- El factor desencadenante tendrá la suficiente intensidad para actuar como detonante en la ocurrencia de deslizamientos en la quebrada Ayahuayco.
- Los parámetros de evaluación tendrán la intensidad y magnitud suficiente para que el nivel de peligro por deslizamiento sea muy alto y alto.
- El nivel de peligro para cada elemento expuesto en la quebrada Ayahuayco en su mayoría es alto y muy alto.

1.6. JUSTIFICACIÓN

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar los parámetros para calcular el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco, aplicando el método de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty.

Teóricamente se justifica porque se sustenta en bibliografía científica como, estudios, informes relacionados al planteamiento del problema, libros, tesis y otros.

Socialmente se justifica porque la investigación sirve para determinar los parámetros que permitirán calcular los niveles de peligro por deslizamientos y de esta manera prevenir los desastres naturales dando a conocer a las autoridades del distrito de Cusco y a los habitantes de la quebrada Ayahuayco el nivel de peligro por deslizamiento al que están expuestos para cuidar su integridad y el entorno donde habitan.

Económicamente se justifica porque con la investigación se puede prevenir el peligro por deslizamientos generando un ahorro al estado evitando gastos de reconstrucción, debido a que los gastos de prevención son menores y no detienen el crecimiento y desarrollo de la sociedad.

Metodológicamente se justifica porque se basa en métodos descriptivos y estadísticos, por lo que permite establecer el tipo de investigación de enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), nivel descriptivo, de tipo fuente de campo, con un diseño no experimental.

Legalmente se justifica por la existencia de la Ley N° 29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), la cual tiene la finalidad de identificar o reducir los efectos de los peligros.

Investigativamente se justifica porque se está actualizando el mapa de peligros por deslizamiento, debido a las obras existentes que estabilizaron las zonas que se encontraban con peligro alto y muy alto y por los nuevos cortes de talud que han desestabilizado otras zonas, así mismo esta investigación se puede complementar con futuras investigaciones de análisis de vulnerabilidad y evaluaciones de riesgo en la quebrada Ayahuayco.

1.7. Variables

1.7.1. Variable dependiente

- Nivel de peligro

1.7.2. Variables independientes

Geodinámica externa:

- Parámetros de evaluación
- Factores condicionantes
- Factores desencadenantes
- Elementos expuestos

1.8. METODOLOGIA DE TRABAJO

1.8.1. Método (s) que emplearan en la investigación

El método empleado se basa en la metodología de investigación según (Hernández et al., 2014) .El tipo de investigación es de un enfoque mixto, con un método secuencial, de nivel descriptivo, según su tipo por su fuente es de campo y diseño no experimental, y se detalla:

- **Enfoque:** Mixto, porque es cuantitativo y cualitativo.

- **Método:** Secuencial, porque primero se realizará un análisis cualitativo de la zona de estudio y luego mediante el proceso de análisis jerárquico se dará valores cuantitativos para determinar el nivel de peligro.
- **Nivel:** Descriptivo, porque se hace una descripción de los parámetros que determinarán el nivel de peligro en la Quebrada Ayahuayco.
- **Tipo de investigación:** Por su fuente es de campo, debido a que se recolectan datos y se hace la descripción de los parámetros in-situ.
- **Diseño:** No experimental porque los datos obtenidos no son expuestos a experimentos.

1.8.2. Procedimiento

La metodología del trabajo comprende únicamente 3 etapas.

1.8.2.1. Etapa de pre-campo

En esta primera etapa se revisó la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y registros digitales de información vectorial sobre geología y geomorfología que se encuentran disponibles para descargar en el Geocatmin.

Se recopiló información del SENAMHI sobre los datos históricos de precipitaciones pluviales máximas de 24 horas y umbrales de precipitación de la estación meteorológica de Kayra.

Se encontró el “Estudio de mecánica de suelos en zonas de reglamentación especial por peligro muy alto en el distrito del Cusco sector CU-08 Asoc. San Benito, Villa María, Ayahuayco” (Garate, 2018) y el “Estudio de mecánica de suelos para evaluación de taludes – Taludes Ayahuayco – Camino Inca” (Geotest Perú, 2019), de los cuales se tomó en cuenta los datos de propiedades físicas del suelo como la cohesión, ángulo de fricción y peso específico que ayudarán a calcular el factor de seguridad de los taludes en la quebrada Ayahuayco.

También se cuenta con el “Servicio de estudio hidrológico e hidrogeológico en Quebrada priorizada de Ayahuayco de las zonas de reglamentación Especial del área urbana

de la provincia de Cusco” (Pumayalli, 2018) del cual se tomará en cuenta el inventario de fuentes de agua y las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas aflorantes en la quebrada Ayahuayco.

Por otra parte, se elaboraron los mapas base de la zona de estudio con el uso del software de información geográfica (ubicación, topográfico, geológico regional y geomorfológico).

Se realizó el inventario de deslizamientos con ayuda de imágenes antiguas de diferentes años visualizadas en Google Earth y ortofoto actualizada.

1.8.2.2. Etapa de campo

En esta etapa se ha realizado la identificación de la quebrada Ayahuayco con la finalidad de conocer los límites de la zona de estudio. Así mismo se realizó el levantamiento topográfico con dron para obtener las curvas de nivel a detalle y la ortofoto.

Se realizaron visitas a campo con el fin de obtener los datos necesarios para la elaboración de mapas y redacción del documento, las cuales consistieron en identificar los factores condicionantes del peligro por deslizamiento, el factor desencadenante y parámetros de evaluación.

Por otra parte, se hizo el cartografiado geológico y geomorfológico de la zona de estudio.

Para el capítulo de hidrogeología se hizo inspecciones en campo con la finalidad de identificar afloramientos de agua.

Se han identificado los deslizamientos presentes en la zona de estudio, en algunos casos solo se pudo visualizar parte de la corona o flanco debido a que algunas de las viviendas han sido construidas sobre los deslizamientos y no permiten una visualización clara.

Finalmente se realizó la toma de fotografías con vista de los afloramientos identificados, los cuales serán utilizados posteriormente para la descripción y redacción del informe.

1.8.2.3. Etapa post campo

En esta etapa se procesó la información obtenida en campo para elaborar los mapas de geología, geomorfología y pendientes.

Se crearon secciones transversales con el Civil 3D para elaborar perfiles geológicos en la zona de estudio.

Con el inventario de deslizamientos obtenidos en la etapa de campo se calculó el volumen de deslizamientos en la quebrada Ayahuayco.

Se determinó el nivel de peligro por deslizamiento utilizando el método de análisis jerárquico a partir de la matriz de Saaty elaborada en Excel, obteniéndose el mapa de susceptibilidad y mapa de peligros por deslizamiento.

Finalmente, esta etapa se concluye con la redacción del documento.

1.9. ANTECEDENTES

- De acuerdo a la base de datos del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) desde el año 2015 al 2022, el distrito de Cusco se encuentra expuesta a erosiones de tipo laminar, seguido de erosión de laderas y erosión fluvial. Así mismo la quebrada de Ayahuayco se encuentra expuesto a peligros de tipo erosión laminar.
- En la plataforma del Sistema Nacional de Información para la Prevención y atención de Desastres (SINPAD) del distrito de Cusco, se describe que desde el año 2003 al 2020 el fenómeno de geodinámica más recurrente que generó emergencias son los deslizamientos, seguido por el colapso de viviendas por el tipo de material (que en su mayoría son de adobe) y derrumbes de laderas y taludes inestables para el distrito del Cusco (ver Figura 4).

Figura 4.

Peligros registrados en el SINPAD para el distrito de Cusco.



Fuente: Tomado de la página web del INDECI – SINPAD.

- Medina et al. (2021) en el estudio “Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco”, menciona que la quebrada Ayahuayco está expuesta a la ocurrencia de derrumbes y/o flujos de lodo, por las condiciones geológicas y por presentar laderas de pendiente muy fuerte a escarpada. Así mismo según el mapa de inventario y procesos de movimientos en masa en la zona de estudio se encuentran deslizamientos y derrumbes y según el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa la quebrada Ayahuayco presenta susceptibilidad alta a muy alta.
- La Municipalidad Provincial del Cusco en el “Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia de Cusco 2013-2023, sobre la zona de estudio en la quebrada Ayahuayco, se menciona que está expuesta a deslizamientos y caída de suelos, así mismo por la parte alta de la quebrada Ayahuayco las lluvias activan la cuenca ocasionando la formación de surcos que debilitan el terreno y que con el paso del tiempo podrían generar flujos en el cauce de la quebrada mencionada.

- La Municipalidad Provincial del Cusco (2021) en el informe de “Evaluación de Riesgo de Desastres por deslizamiento en la zona de reglamentación especial Cusco 07 – Sector Ayahuayco” se determinó el nivel de riesgo por deslizamiento como objetivo principal. Los factores condicionantes que se consideró son la geología, pendiente, geomorfología y la profundidad del nivel freático; como factor desencadenante se consideró a los umbrales de precipitación y utilizando la metodología del (CENEPRED, 2014) determinaron que el peligro en la zona es alto, llegando a representar la mayor extensión en la zona de estudio, seguido de niveles medio, muy alto y bajo. Así mismo determinaron a través de encuestas que el nivel de vulnerabilidad en la zona a nivel de lotes en su mayoría es alta, seguido de los niveles medio y muy alto. Finalmente concluyen que al realizar el cálculo del riesgo la zona mencionada se encuentra en riesgo muy alto a medio, no teniéndose lotes con riesgo bajo. De este estudio se tomó en cuenta la información procesada para los elementos expuestos y la profundidad del nivel freático para la elaboración de los perfiles de la zona de estudio.
- Carrillo (2015) en la tesis “Evaluación de zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, aplicando el protocolo de CENEPRED”, caracteriza la dinámica del deslizamiento de tierra en el centro poblado de Carampa y estima la peligrosidad, para lo cual consideró como factores condicionantes: el relieve, tipo de suelo, cobertura vegetal y el uso actual de suelos. También realizó una campaña de geofísica con la finalidad de determinar la profundidad del nivel freático e inferir los materiales encontrados en el subsuelo, así mismo realizó el análisis de estabilidad de taludes con el cual determinó que la ladera sobre la cual se encuentra el centro poblado de Carampa es inestable ($FS < 1$). El factor desencadenante que ha considerado son las precipitaciones pluviales para finalmente aplicar la metodología de análisis jerárquico

con la cual concluyó que la zona de estudio presenta nivel de peligro muy alto debido al relieve escarpado, a las pendientes mayores a 30° y al tipo de suelo presente en la zona de estudio. Esta tesis sirve de referencia porque emplea la metodología de análisis jerárquico de (CENEPRED, 2014) para estimar el nivel de peligro de la zona de estudio considerando diferentes factores condicionantes y desencadenantes acordes a la zona de estudio.

- Sambrano (2017) en la tesis “Evaluación del peligro de deslizamiento de suelos de la residencial magisterial de la ciudad de Chachapoyas” con el propósito de evaluar el peligro por deslizamiento de suelos, para lo cual considera a la geología, geomorfología, pendiente, cobertura vegetal, uso actual de suelos y las precipitaciones como factores que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos; en donde el principal factor que afecta a este tipo de peligro es la geomorfología debido al tipo de roca presente y a los deslizamientos que vuelven el terreno muy inestable y el factor que actúa como desencadenante son las precipitaciones especialmente en los meses de diciembre a marzo. Finalmente concluye que el nivel de peligro de deslizamientos de suelos es alto y menciona que las áreas que se encuentran en mayor peligro de deslizamiento son aquellas en donde existen construcciones, debido a que el suelo no presenta las propiedades adecuadas para la construcción. Esta tesis sirve de referencia porque utiliza o considera como factores predominantes a la geología, pendientes y geomorfología, así mismo el factor que desencadena este tipo de peligro son las precipitaciones.
- Castillo y Hammer (2019) en la tesis “Evaluación del nivel de peligrosidad originado por movimientos en masa en la quebrada Saqramayo distrito Santiago – Cusco, determinó el nivel de peligrosidad por movimientos en masa en la quebrada Saqramayo como objetivo principal, en la cual consideró como factores condicionantes a la

geomorfología, litología, pendientes e hidrogeología y como factores desencadenantes las precipitaciones y la aceleración sísmica obteniendo un nivel de peligrosidad muy alto, alto, medio y bajo por caídas y deslizamientos. Esta tesis ha sido tomada como referencia por los factores condicionantes y desencadenantes utilizados para determinar el mapa de peligros por deslizamientos, así mismo por el modelo de inventario de movimientos en masa que realiza el cual sirvió de base para poder elaborar el inventario de deslizamientos en mi zona de estudio.

Finalmente, debido a los antecedentes antes mencionados la zona de estudio presenta susceptibilidad alta a muy alta ante movimientos en masa, en especial por la presencia de deslizamientos antiguos y nuevos (identificados y mapeados con la aerofoto antigua y ortofoto actual) que afectarían a los elementos expuestos; motivo por el cual se decidió realizar la evaluación de peligro por deslizamientos, así mismo con la finalidad de tener un mapa de peligros actualizado tomando en cuenta las obras de estabilización existentes en la quebrada Ayahuayco y de esta manera prevenir a la población ante los peligros por deslizamientos.

1.10. MARCO CONCEPTUAL

1.10.1. Geomorfología

La palabra geomorfología está compuesta por tres raíces griegas: geos que significa tierra, morphe que significa forma y logos que significa tratado, entonces la geomorfología es el estudio de las formas de la superficie terrestre. (Villota, 2005, pág. 3)

El objeto de la geomorfología es describir las formas del terreno explicando su origen, evolución a través del tiempo geológico y composición de las geoformas, así como la fuerzas, agentes y procesos responsables de su forma actual y predecir el comportamiento y el futuro estado. (Villota, 2005, pág. 3)

1.10.2. Geología

La palabra geología deriva del griego "geo" que significa tierra, y "logos" tratado o conocimiento, por lo tanto, la geología es la ciencia de la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde hace millones de años hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas o formaciones geológicas. (Servicio geológico mexicano)

Una formación geológica es una unidad litoestratigráfica que define cuerpos de rocas con características litológicas comunes que se formaron en ciertas condiciones que las diferencian de los cuerpos de rocas adyacentes. Pueden asociarse en unidades mayores (grupos), subdividirse en miembros, o diferenciarse unidades menores significativas como estratos o capas. (Rodríguez et al., 2018)

1.10.3. Pendientes

La pendiente es la medida de la inclinación de la superficie de la ladera o talud y que se pueden medir en grados o porcentajes. (Suarez, 2009, pág. 4) .

1.10.4. Geodinámica externa

La geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra; estos fenómenos van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y los efectos resultantes sobre las formas del relieve, evolución y proceso de modelado, es investigado por la geomorfología. Una parte de la geodinámica externa estudia a los deslizamientos. (Guevara, pág. 1)

1.10.5. Deslizamientos

Los deslizamientos desde el punto geomorfológico son formas muy violentas y dramáticas de remoción en masa, donde grandes volúmenes de material meteorizado y/o bloques de masa de roca fresca se desprenden y se desplazan cuesta abajo como una sola unidad sobre un plano inclinado o sobre una superficie cóncava estos fenómenos tienen lugar cuando

solo un nivel subsuperficial traspasa el límite plástico o líquido, en cuyo caso la masa suprayacente se desliza sobre este nivel plano o semi saturado sin sufrir deformación significativa. (Villota, 2005, pág. 42)

En otra definición los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud (Cruden, 1996, pág. 36), estos movimientos ocurren a lo largo de superficies de falla. Estos fenómenos de inestabilidad también incluyen procesos erosionales y denudacionales que se interrelacionan entre sí. Los procesos erosionales actúan sobre las capas superficiales y las denudacionales afectan al perfil del talud a una profundidad considerable.

1.10.5.1. Partes de un deslizamiento

Las principales partes de un deslizamiento propuesto por (Suarez, 2009), se muestra en la Figura 5. Se propone la figura 6 con las partes que conforman el deslizamiento de la zona de estudio.

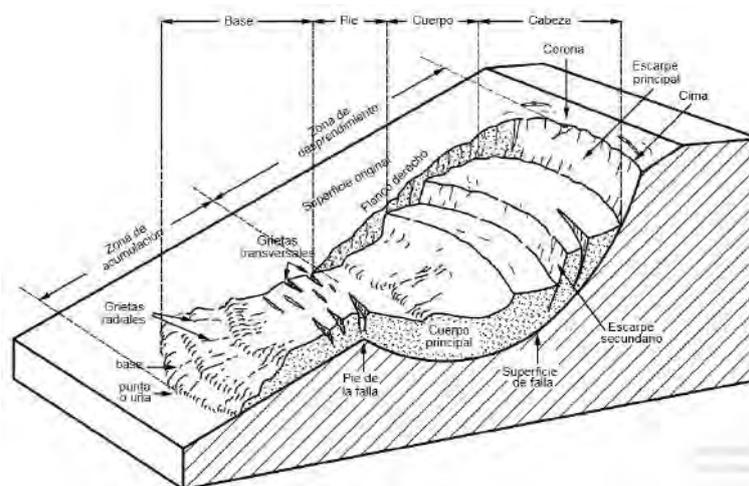
- **Cabeza.** Parte superior de la masa que se mueve.
- **Cima.** El punto más alto de la cabeza.
- **Corona.** El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- **Escarpe principal.** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.
- **Escarpe secundario.** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- **Superficie de falla.** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve,

mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

- **Pie de la superficie de falla.** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
 - **Base.** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
 - **Punta o ña.** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
 - **Cuerpo principal del deslizamiento.** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
 - **Superficie original del terreno.** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
 - **Costado o flanco.** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo. Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.
- (Suarez, 2009, pág. 5)

Figura 5.

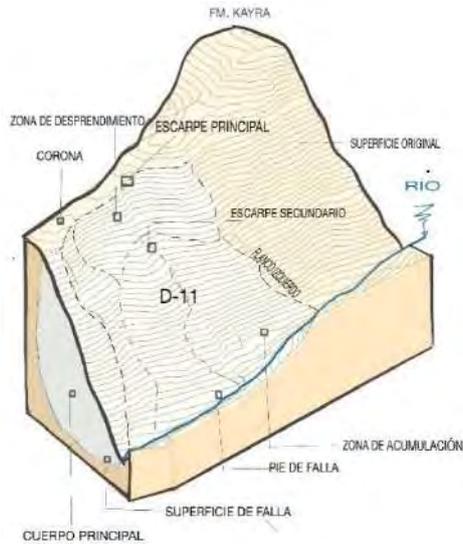
Partes que conforman un deslizamiento.



Fuente: Suarez, 2009, pág. 4.

Figura 6.

Partes que conforman el deslizamiento D-11 generado con la topografía actual.



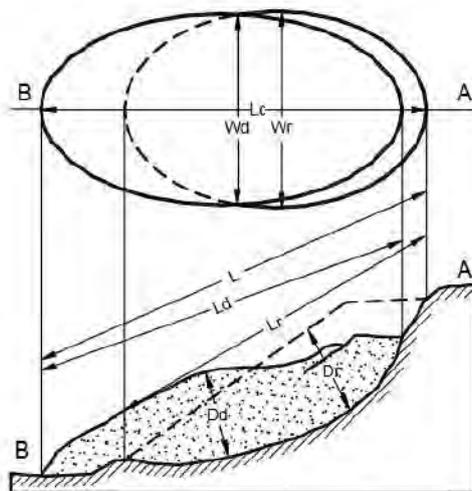
Fuente: Elaboración propia.

1.10.5.2. Dimensiones de los movimientos

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (ver Figura 7) propuestas por (Suarez, 2009).

Figura 7.

Dimensiones de los movimientos en masa.



Fuente: Suarez, 2009, pág. 6.

- **Ancho de la masa desplazada W_d .** Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud L_d .
- **Ancho de la superficie de falla W_r .** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .
- **Longitud de la masa deslizada L_d .** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- **Longitud de la superficie de falla L_r .** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada D_d .** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- **Profundidad de la superficie de falla D_r .** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- **Longitud total L .** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central L_c .** Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos.

Igualmente, se deben medir alturas del nivel freático, alturas de los escarpes, radios de rotación del movimiento, pendientes de la superficie antes y después de la falla. En los deslizamientos la escala horizontal debe ser igual a la vertical. Se recomienda que las dimensiones sean identificadas en planos en planta y perfil del deslizamiento. (Suarez, 2009, pág. 6)

1.10.5.3. Volumen de un deslizamiento

El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen aproximado de un desplazamiento de rotación puede calcularse utilizando la expresión (Suarez, 2009):

$$Vol_{dex} = \left(\frac{1}{6} \pi D_r \times W_r \times L_r \right) F_{ex}$$

Donde:

F_{ex}: Factor de expansión.

D_r: Profundidad de la superficie de falla

W_r: Ancho de la superficie de falla

L_r: Longitud de la superficie de falla

El volumen de material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento. (Suarez, 2009, pág. 6)

Este factor es comúnmente de 1.25 a 1.30. En algunas ocasiones, como en el caso de la roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70% (F_{expansión} = 1.7).

El volumen del deslizamiento es importante para determinar la amenaza y el riesgo en los flujos y avalanchas. De acuerdo con el volumen y la concentración de sedimentos se puede determinar la velocidad del flujo. (Suarez, 2009, pág. 6)

1.10.6. Clasificación de los deslizamientos.

1.10.6.1. Deslizamiento Rotacional

En un desplazamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. La cabeza del movimiento bascula hacia

atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.
(Suarez, 2009, pág. 14)

1.10.6.2. Deslizamiento de Traslación

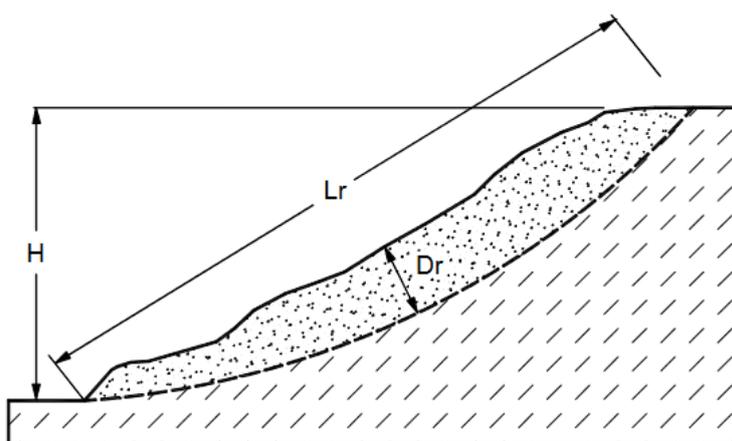
En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte.
(Suarez, 2009, pág. 17)

1.10.6.3. Diferencia entre los movimientos de rotación y de traslación

En los movimientos de rotación la relación D/L es mayor de 0.15, mientras en los de traslación D/L es menor de 0.10. (ver Figura 8). En un movimiento de rotación, la masa trata de auto estabilizarse, mientras que un movimiento de traslación, puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. (Suarez, 2009, pág. 17)

Figura 8.

Relaciones D/L para deslizamientos de traslación y rotación.



Deslizamiento Rotacional $0.15 < D_r/L_r < 0.33$

Deslizamiento Traslacional $D_r/L_r < 0.10$

Fuente: Suarez, 2009, pág. 20.

1.10.7. Peligro

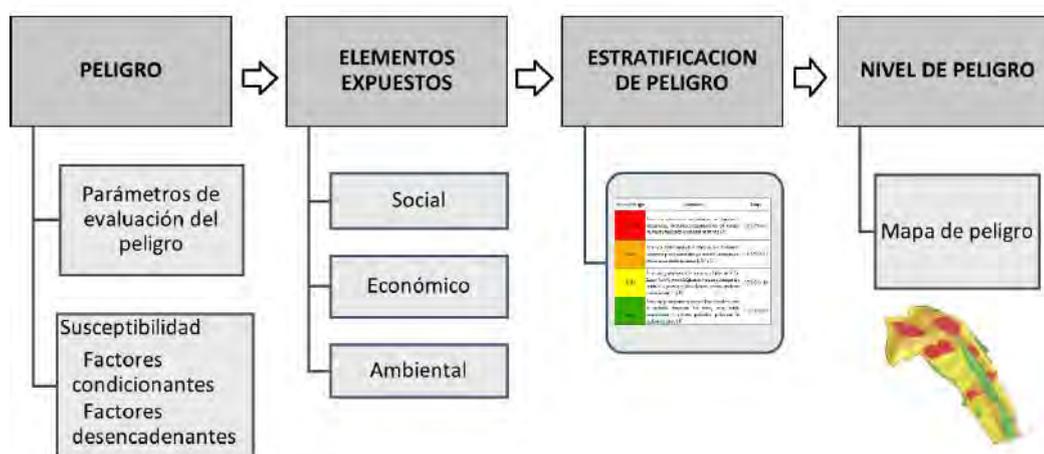
El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos. (CENEPRED, 2014)

1.10.7.1. Metodología para la determinación del peligro

Para determinar el nivel de peligro por deslizamientos en la zona de estudio, se utilizó la metodología mostrada en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 2da versión (CENEPRED, 2014), se identifica y caracteriza la peligrosidad según el parámetro de evaluación, la susceptibilidad y elementos expuestos (ver Figura 9). Para su determinación se consideran parámetros cada uno de ellos con 5 descriptores, ponderándolos mediante el método de análisis jerárquico de (Saaty, 1980).

Figura 9.

Metodología general para determinar la peligrosidad.



Fuente: Adaptado de CENEPRED, 2014.

1.10.7.2. 1.8.6.2. Parámetro de evaluación

Es la manifestación de la amenaza sobre el área de influencia del peligro evaluado y que ha sido originado por la magnitud del factor desencadenante, la cual representa la intensidad del evento. Cabe mencionar que los parámetros de evaluación deben considerarse

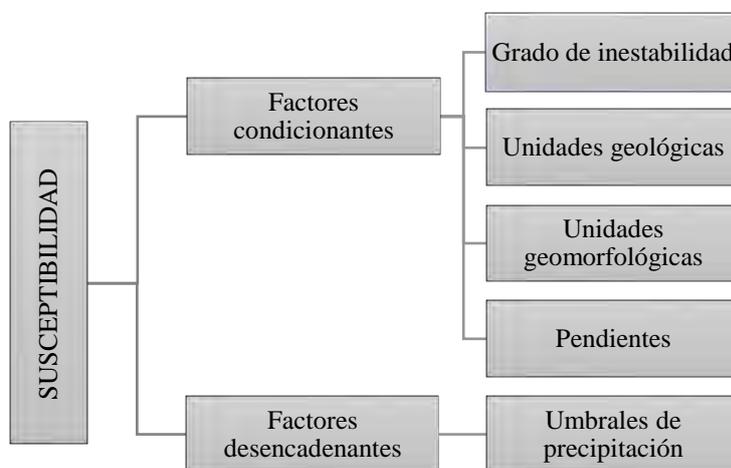
como unidades cartografiables que han sido reconocidas en el área de injerencia del proyecto de inversión, ya que permiten caracterizar la intensidad con que un peligro afecta un área geográfica determinada, además de estar referida a evidencias del peligro, como alturas, volúmenes o áreas. (CENEPRED, s.f.)

1.10.7.3. 1.8.6.3. Susceptibilidad

La susceptibilidad suele entenderse también como la “fragilidad natural” del espacio en análisis respecto al fenómeno de referencia, en la presente investigación son los deslizamientos, también está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre un determinado ámbito geográfico, el cual depende de los factores condicionantes y factores desencadenantes del fenómeno (ver Figura 10), en la susceptibilidad ante deslizamientos. (CENEPRED, 2014)

Figura 10.

Determinación de la susceptibilidad



Fuente: Elaboración propia, en base al CENEPRED, 2014.

1.10.7.3.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes son parámetros propios de la zona de estudio, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo del fenómeno de origen natural (magnitud e intensidad), así como su distribución espacial. (CENEPRED, 2014)

1.10.7.3.2. Factores desencadenantes

Son parámetros que desencadenan eventos y/o sucesos asociados que pueden generar peligros en una zona de estudio específico. En este caso las lluvias generan deslizamiento de material suelto o meteorizado. (CENEPRED, 2014)

1.10.7.4. Elementos expuestos

Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzales de Vallejo, 2002, pág. 611)

CAPITULO II:

ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y GEOLOGICOS

En la zona de estudio se identificaron cuatro factores condicionantes importantes para la evaluación de deslizamientos, en este capítulo se describirán las unidades geomorfológicas, las unidades geológicas y las pendientes. Cabe resaltar que el grado de inestabilidad, considerado también un factor condicionante en la presente investigación será descrito en otro capítulo.

2.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

La geomorfología es una de las disciplinas que estudia los deslizamientos y para conocer su comportamiento es determinante analizar sus efectos sobre los procesos de inestabilidad, asimismo conociendo los procesos pasados y presentes se puede inferir los procesos que van a suceder en un futuro. El comportamiento de los deslizamientos depende de las características geomorfológicas de la zona de estudio. (Suarez, 2009, pág. 40).

2.1.1. Geomorfología regional

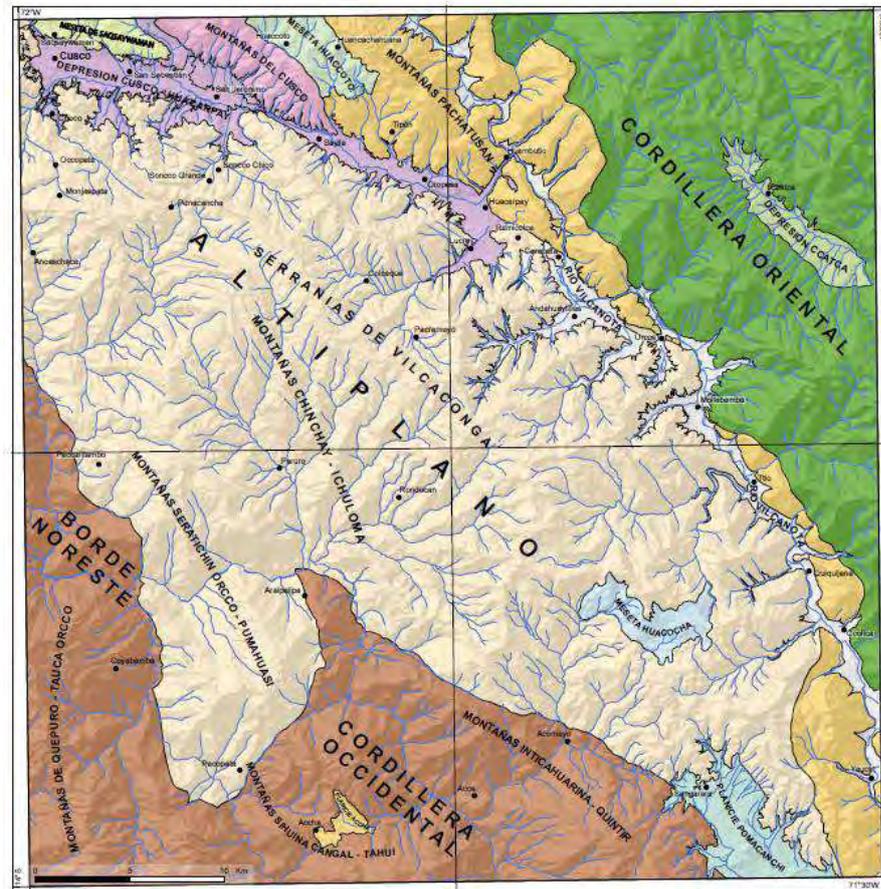
Regionalmente la zona de estudio está ubicada en la unidad geomorfológica del altiplano (ver Figura 11), que se caracteriza por ser una altiplanicie con una altitud que varía entre 3800 y 4000 m.s.n.m., esta unidad se encuentra disectada por numerosos ríos. (Carlotto et al., 2011)

2.1.2. Unidades geomorfológicas locales

La zona de estudio está ubicada dentro del sistema de montañas de Picchu y localmente se han identificado 05 unidades de menor categoría, que son descritas a continuación de acuerdo con lo observado en campo. Así mismo en la Figura 17 se muestra el mapa de unidades geomorfológicas elaborado para la quebrada Ayahuayco.

Figura 11.

Unidades geomorfológicas regionales.



Fuente: Carlotto et al., 2011

2.1.2.1. Cauce de quebrada

Es el lugar físico donde fluye el curso del agua entre las orillas o riberas, este cauce puede variar de acuerdo a la estación y época del año. El cauce de la quebrada Ayahuayco se observa al medio de la zona de estudio, el cual se encuentra encauzado por muros de concreto (ver Figura 12), pero en algunas partes se observa el cauce natural antiguo. En la zona de estudio abarca una superficie del 4%.

Figura 12.

Cauce de la quebrada, encauzado en la prolongación Av. Ayahuayco en la Quebrada Ayahuayco.



2.1.2.2. Terraza fluvio aluvial

Son superficies de terreno plana y con pendientes pequeñas que ha sido modelada por un río, generalmente sobre sus propios depósitos, y que está situada sobre el cauce mayor (ver Figura 13). En la zona de estudio la terraza fluvio aluvial abarca una superficie del 9%.

2.1.2.3. Montaña en roca sedimentaria

Las montañas son unidades de un sistema montañoso con más de 300 m de altitud y con pendientes superiores a 30°, en la zona de estudio se observa que la montaña está conformada por rocas sedimentarias de la Formación Kayra especialmente en la cabecera de la quebrada Ayahuayco hacia la margen derecha (ver Figura 14), llegando a abarcar una superficie del 14%.

Figura 13.

Terraza fluvio aluvial observada en la Av. Ayahuayco, en el flanco izquierdo de la quebrada se observa la Fm. San Sebastián.



Figura 14.

Montaña en roca sedimentaria. Se observa la Fm. Kayra y Fm. San Sebastián en ambos márgenes de la zona de estudio.



2.1.2.4. Vertiente con depósito de deslizamiento

Son laderas de la montaña en roca sedimentaria con presencia de depósitos coluviales originados por deslizamientos antiguos y recientes (ver Figura 15). Estas vertientes se pueden observar en varios sectores de la quebrada Ayahuayco. En la zona de estudio abarca una superficie del 30%.

Figura 15.

Vertiente con depósito de deslizamiento observada desde la Av. Ayahuayco, en la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.



2.1.2.5. Vertiente o pie de monte aluvio-lacustre

Esta geoforma se refiere a las zonas donde conecta la llanura con laderas de la montaña. Esta unidad está presente en ambos márgenes de la quebrada Ayahuayco y están conformadas por depósitos aluvio lacustres. En esta geoforma también se observa la Formación cuaternaria San Sebastián que es de origen lacustre (ver Figura 16). En la zona de estudio abarca una superficie del 43%.

Figura 16.

Pie de monte aluvio-lacustre donde se observa la Fm. San Sebastián con una inclinación mayor a 35° , vista tomada desde la Av. Ayahuayco hacia la margen izquierda.

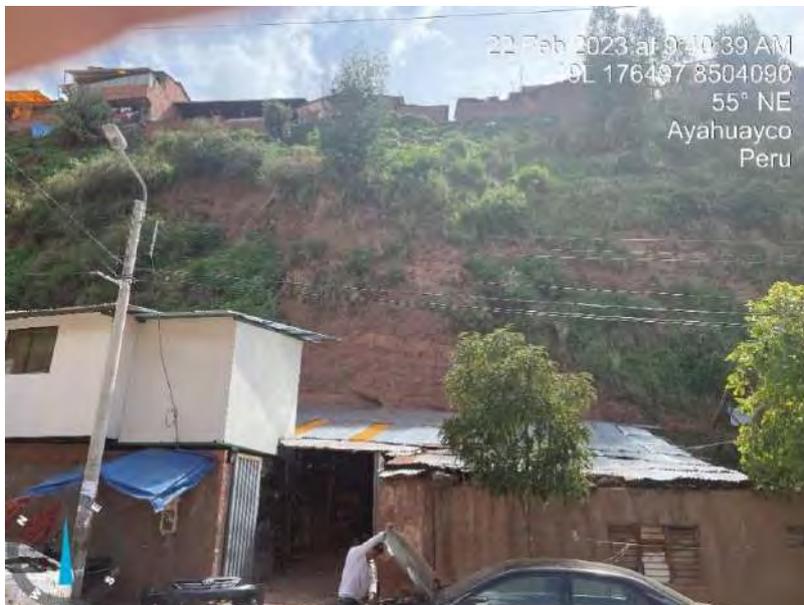
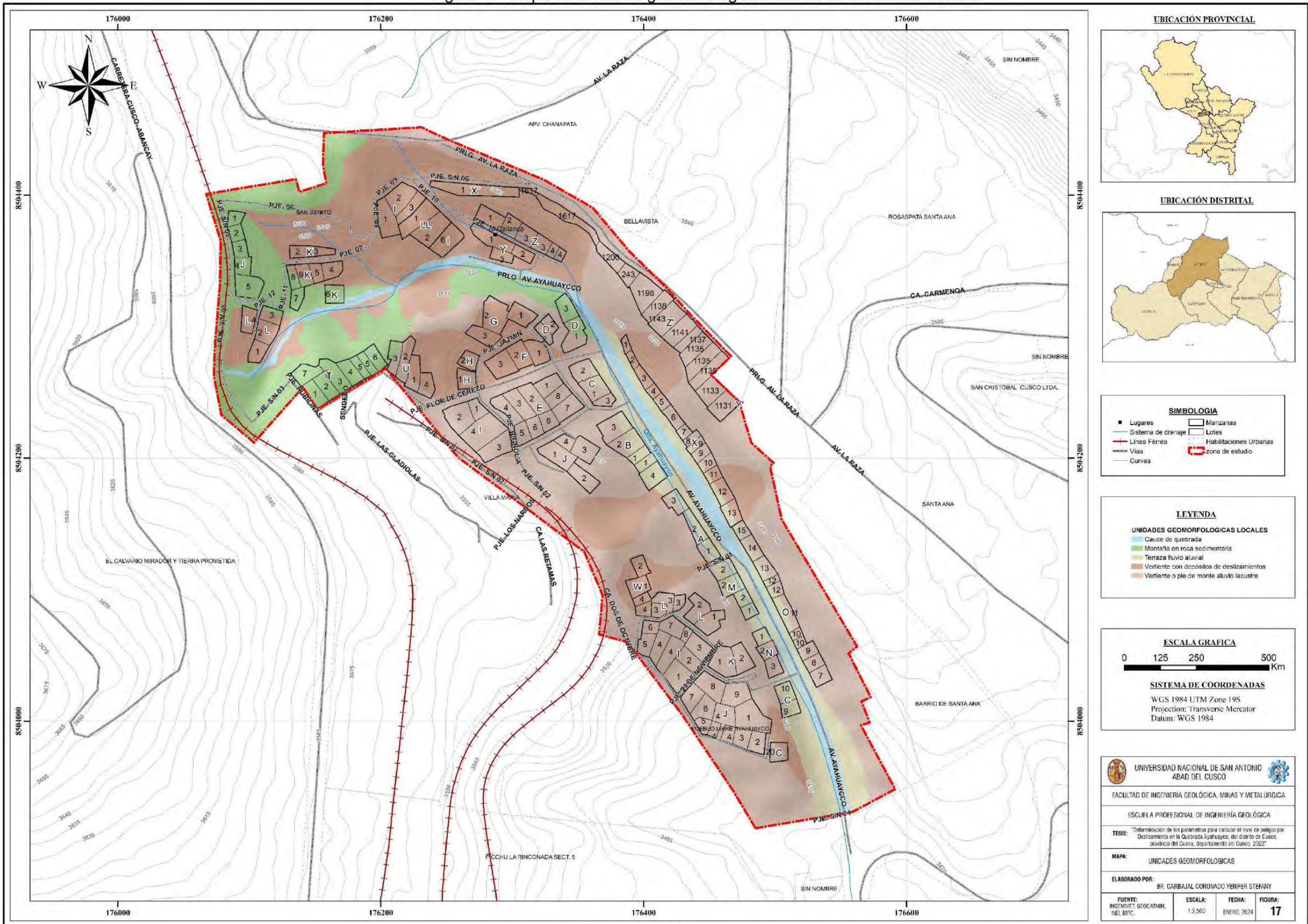


Figura 17. Mapa de unidades geomorfológicas locales de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

En la zona de estudio afloran diferentes formaciones geológicas las cuales serán descritas a nivel regional y local.

2.2.1. Geología regional

Regionalmente afloran rocas pertenecientes al Terciario y depósitos Cuaternarios que se describen a continuación.

2.2.1.1. Formación Kayra (Peo-ky)

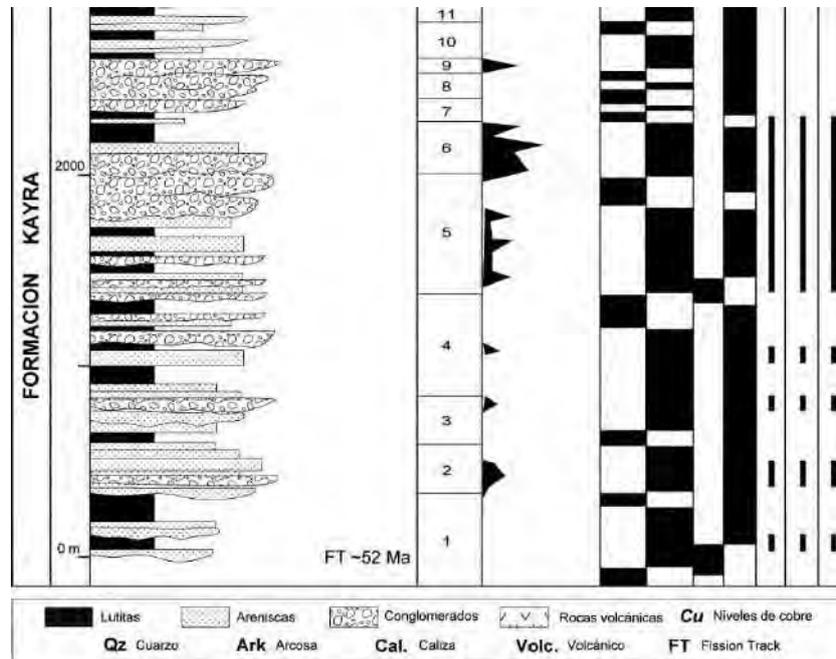
La Formación Kayra aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Está compuesta por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. Hacia el sur las facies se hacen más gruesas y aparecen los conglomerados (ver Figura 18). A esta formación se le asume una edad del Eoceno inferior por dataciones radiométricas. (Carlotto et al., 2011)

2.2.1.2. Formación San Sebastián (Q-sa)

La Formación San Sebastián aflora en la depresión de Cusco, donde sobreyace al basamento Cretácico y Terciario. Está caracterizada por formar dos secuencias: la primera, grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda, granocreciente está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca (ver Figura 19). A esta formación se le asume una edad del Pleistoceno por dataciones radiométricas (Carlotto et al., 2011)

Figura 18.

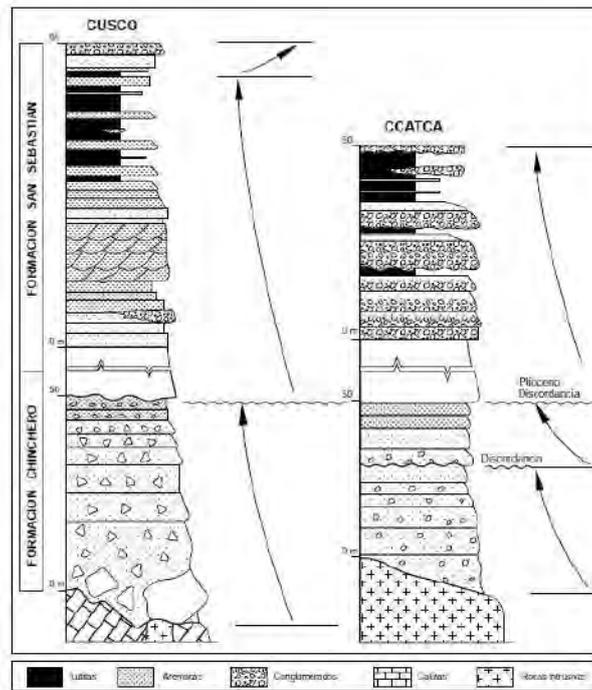
Columna estratigráfica de la Formación Kayra.



Fuente: Carlotto et al., 2011.

Figura 19.

Columna estratigráfica de la Formación San Sebastián.



Fuente: Carlotto et al., 2011.

2.2.2. Geología local

En cuanto a la geología local se hizo un mapeo geológico de acuerdo a la escala de evaluación de la zona de estudio y se identificaron como unidades litoestratigráficas a la Formación Kayra, Formación San Sebastián y otras unidades como depósitos proluviales, depósitos coluviales y depósitos antropogénicos las cuales son descritas a continuación. En la Figura 25 se muestra el mapa de unidades litoestratigráficas.

2.2.2.1. Formación Kayra (Peo-ky)

En la zona de estudio está compuesta por rocas de areniscas las cuales se encuentran intercaladas con niveles de lutitas en menor proporción (ver Figura 20). La Formación Kayra es observada en la parte alta de la quebrada Ayahuayco, tanto en la margen derecha como en la margen izquierda, así mismo se observa en parte del cauce desde la prolongación Av. Ayahuayco. Esta Formación abarca una superficie del 14%.

Figura 20.

Afloramiento de areniscas de la Formación Kayra. Vista tomada desde la APV. San Benito en la parte alta de la quebrada Ayahuayco.



2.2.2.2. Formación San Sebastián (Q-sa)

La Formación San Sebastián está conformada por arenas, limos y arcillas con poca presencia de cementantes, así mismo se observa la presencia de conglomerados (ver Figura 21). En la zona de estudio abarca un área del 52% y es observada en gran parte de la margen izquierda, también es observada desde la Av. Ayahuayco hacia la margen derecha.

Figura 21.

Afloramiento de la Formación San Sebastián, observado en la Av. Ayahuayco hacia la margen izquierda de la quebrada.



2.2.2.3. Depósito proluvial (Q-pl)

Un depósito proluvial es el material arrastrado y lavado por la lluvia (ver Figura 22), además están conformados por fragmentos heterométricos angulosos a sub angulosos de gravas, arenas, limos y arcillas. En la zona de estudio estos depósitos se observan a lo largo del cauce de la quebrada Ayahuayco llegando a abarcar una superficie del 4%.

Figura 22.

Afloramiento de depósitos proluviales en la quebrada Ayahuayco. Vista tomada en la prolongación Av. Ayahuayco.



2.2.2.4. Depósitos coluviales (Q-cl)

Los depósitos coluviales están conformados por materiales heterométricos angulosos a sub angulosos compuestos por gravas y arenas mayormente, son suelos sueltos sin cohesión (ver Figura 23). Son considerados taludes de reposo poco estables. En la zona de estudio se pueden observar en las vertientes con depósitos de deslizamientos abarcando una superficie del 28%.

2.2.2.5. Depósitos antropogénicos (Q-an)

Estos depósitos son acumulaciones de materiales heterogéneos y sueltos, generados por el hombre. En la zona de estudio están compuestos por desechos de basura y son observados desde la prolongación Av. Ayahuayco hacia la parte alta de la zona de estudio, específicamente en la margen izquierda de la quebrada (ver Figura 24), abarcando una superficie del 2%.

Figura 23.

Depósitos de materiales heterométricos angulosos a sub angulosos observados en la parte alta de la quebrada Ayahuayco.



Figura 24.

Depósitos antropogénicos sueltos observados desde la prolongación Av. Ayahuayco.



Figura 25. Mapa geológico de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

2.3. ANÁLISIS DE PENDIENTES

La pendiente es un parámetro importante para la evaluación de los procesos de movimientos en masa como un factor condicionante. Es uno de los principales factores dinámicos, particularmente de los movimientos en masa, debido a que determinan la cantidad de energía cinética potencial de una masa inestable, es decir, a mayor inclinación de la pendiente habrá mayor energía cinética y potencial. (Sanchez, 2002, pág. 4)

Así mismo, es más fácil que ocurran movimientos en masa en los cauces y laderas que tengan como pendiente principal una inclinación que varía entre media a fuerte ($>30^\circ$), también es más alta la erosión en laderas (laminar, surcos y cárcavas), en colinas o montañas, ya que a mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y por ende la erosión hídrica o pluvial. (Vilchez et al., 2013)

Para la presente investigación se utilizará la clasificación de (Zuidam, 1986), que ha sido modificada y clasificada en cinco rangos para la susceptibilidad (ver Tabla 4). Así mismo en la Figura 31 se muestra el mapa de pendientes elaborado para la zona de estudio.

Tabla 4.

Clasificación modificada de pendientes.

Rango de Pendientes (°)	Condición de terreno
Mayor a 35°	Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte, procesos denudacionales intensos.
De 16° a 35°	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos, deslizamientos, peligro extremo de erosión.
De 8° a 16°	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales
De 4° a 8°	Pendiente baja, peligro de erosión.
De 0 a 4°	Pendiente muy baja, peligro de erosión.

Fuente: Zuidam, 1986.

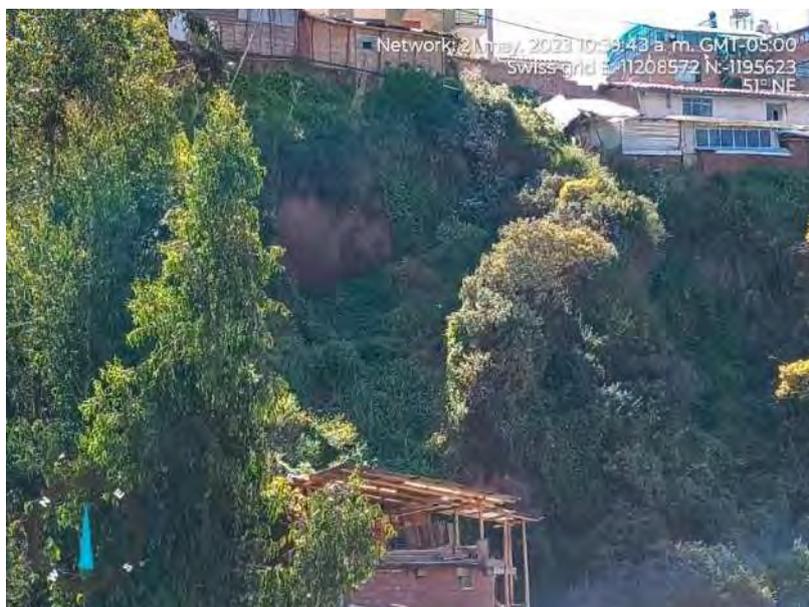
De acuerdo a la clasificación mencionada en la Tabla 4 se identificaron los siguientes rangos de pendientes, los cuales son descritos a continuación.

2.3.1. Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte

Son pendientes con una inclinación mayor a 35° , en la zona de estudio ésta pendiente se encuentra en gran parte de la quebrada Ayahuayco (ver Figura 26), específicamente en las laderas abarcando el 42% de área de la zona de estudio.

Figura 26.

Ladera de la margen izquierda con pendientes $>35^\circ$, vista desde la prolongación Av. Ayahuayco.

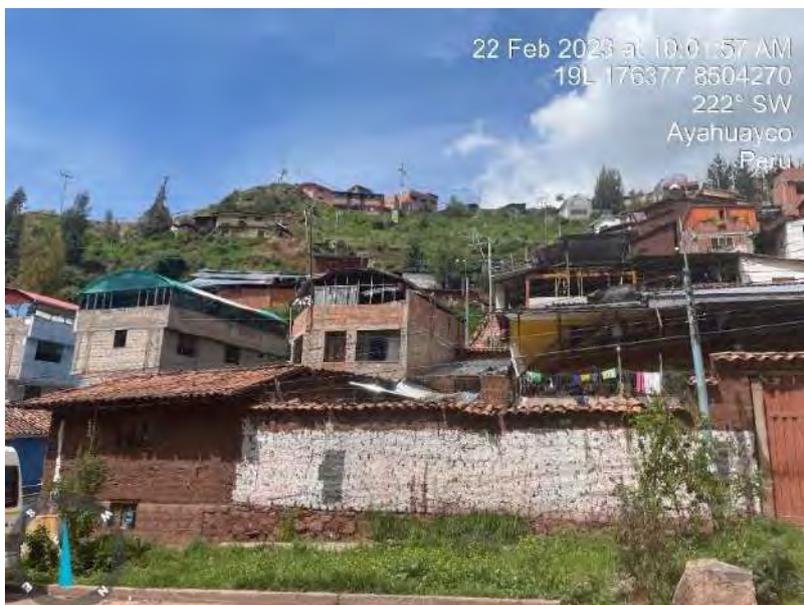


2.3.2. Pendiente fuerte

Son pendientes con una inclinación de 16° a 35° , las cuales han sido identificadas y observadas en las vertientes de la zona de estudio (ver Figura 27). Estas pendientes llegan a abarcar un área del 28%.

Figura 27.

Pendientes inclinaciones de 16° a 35° observadas desde la Av. Ayahuayco en las vertientes.



2.3.3. Pendiente moderada

Pendientes con una inclinación de 8° a 16° que fueron identificadas en menor proporción en las vertientes de la zona de estudio en comparación con las pendientes fuertes (ver Figura 28). Este tipo de pendientes abarca un área del 8%.

2.3.4. Pendiente baja

Son pendientes con una inclinación de 4° a 8°, las cuales han sido identificadas en su mayoría en áreas donde se emplazan las vías y en parte de las terrazas (ver Figura 29). En la quebrada Ayahuayco abarcan un área del 16% de la zona de estudio.

Figura 28.

Pendientes con inclinaciones de 8° a 16° observadas en las vertientes, hacia la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.



Figura 29.

Se observa pendientes bajas con inclinaciones de 4° a 8° al pie de la Av. Ayahuayco en la margen derecha de la quebrada Ayahuayco.



2.3.5. Pendiente muy baja

Son pendientes con una inclinación de 0° a 4° , las cuales han sido identificadas en la parte baja de la zona de estudio específicamente en las terrazas de la Av. Ayahuayco (ver Figura 30). Estas pendientes llegan a abarcar el 6% de la zona de estudio.

Figura 30.

Pendientes con inclinaciones de 4° a 8° observadas a lo largo de la Av. Ayahuayco.



Figura 31. Mapa de pendientes de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por Deslizamiento en la Quebrada Ayahuaycco, del distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco, 2022"

MAPA: PENDIENTES

ELABORADO POR: BR. CARBAJAL CORONADO YENIFER STEFANY

FUENTE: INGENIET, GEOCATMIN, INEL MPC.	ESCALA: 1:2.500	FECHA: ENERO, 2024	FIGURA: 31
--	--------------------	-----------------------	---------------

CAPÍTULO III

HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

3.1. HIDROLOGÍA

3.1.1. Generalidades

La hidrología es una rama de las ciencias de la tierra que trata de las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer, en los océanos, atmosfera y superficie terrestre, de su circulación en escorrentía e infiltración y distribución en el globo, de sus propiedades físicas y químicas, y sus interacciones con el medio físico y biológico, sin olvidar las reacciones a la acción del hombre (Custodio & Llamas, 1983, pág. 249)

Las precipitaciones y el clima son muy importantes en la estabilidad de taludes, debido a que al ocurrir una variación de precipitaciones se ocasionarán modificaciones en las fuerzas internas del talud, cabe resaltar que cada talud se forma bajo condiciones climáticas diferentes por lo tanto se comportan de una forma distinta. (Suarez, 2009, pág. 41)

3.1.2. Condiciones climáticas

La caracterización climática de la zona de estudio es de acuerdo con la clasificación climática según (Torntwaite, 1931). En la zona de estudio se tiene un clima semifrío con invierno seco, con una precipitación anual de 500 a 1000 mm y una temperatura media anual de 12 a 14°C. La precipitación pluvial de mayor intensidad es de diciembre a marzo y existe un periodo seco entre los meses de mayo a julio.

3.1.3. Precipitación

Se tienen las series históricas de los parámetros climatológicos: precipitación media anual, precipitación máxima 24 horas, temperatura (máxima, media, mínima), provenientes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación meteorológica de Kayra instalada en el distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco. (ver Tabla 5).

Tabla 5

Datos de estación meteorológica Kayra (1964-2017).

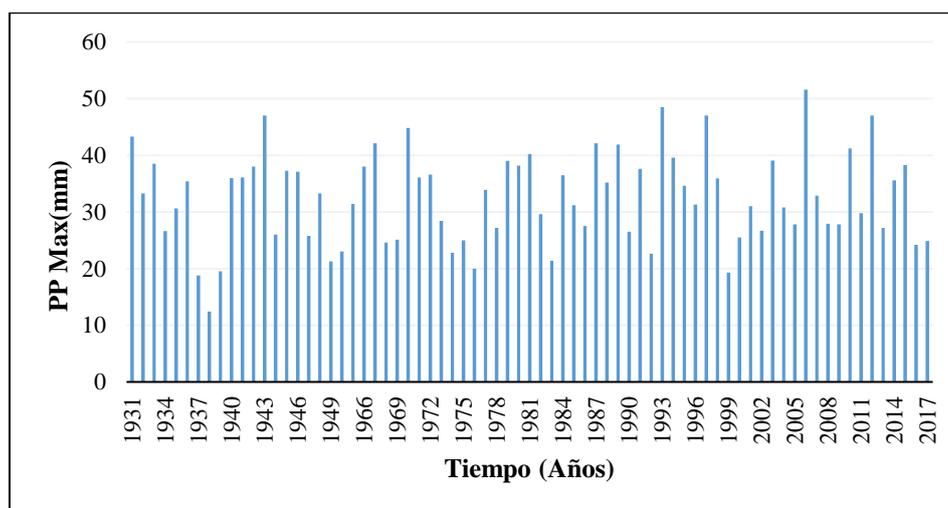
CAT.	Estación	Provincia	Distrito	Altitud	Latitud	Longitud
CO	Kayra	Cusco	San Jerónimo	3219.00	13°33'25''	72°52' 31''

Fuente: Senamhi.

Para el análisis de precipitaciones máximas se ha utilizado los datos de la estación Kayra, por ser una de las estaciones más cercanas a la zona de estudio, cuyo registro de precipitación máxima en 24 horas se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Histograma de precipitaciones máximas registradas en 24 hr, estación Kayra.



Fuente: Senamhi.

3.1.4. Régimen de la precipitación estacional

Las características estacionales del clima en la zona de estudio se manifiestan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones. En la Tabla 6 se presenta el promedio multi-mensual de la precipitación total de la estación que se encuentra en la zona de estudio, asimismo se aprecia la variación de la precipitación, lo que demuestra el carácter estacional de la precipitación. El comportamiento de la precipitación de la estación

meteorológica de Kayra, de acuerdo con los periodos de lluvia, y meses de transición se muestran a continuación.

Tabla 6

Precipitación total mensual-promedio multi-mensual de la estación Kayra.

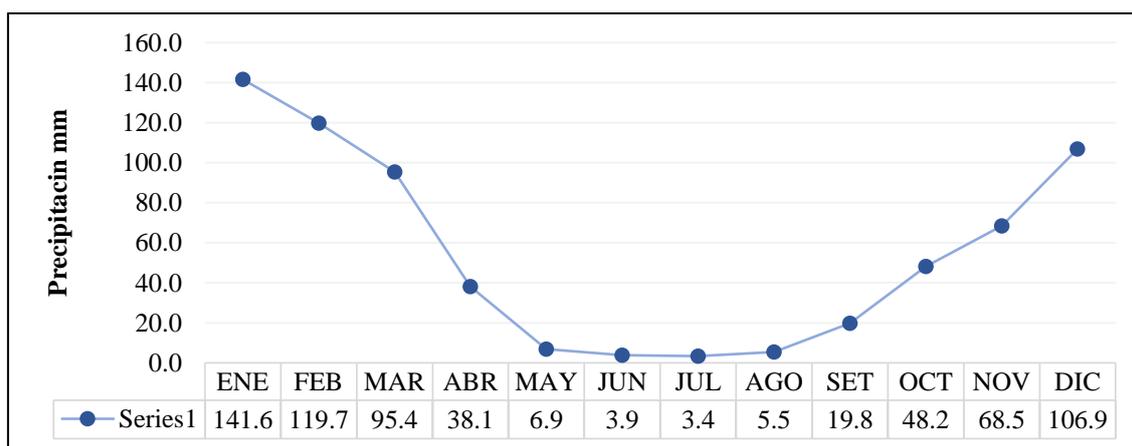
Promedio de precipitación (MM)			
Ene	141.60	Jul	3.40
Feb	119.70	Ago	5.50
Mar	95.40	Sep	19.80
Abr	38.10	Oct	48.20
May	6.90	Nov	68.50
Jun	3.90	Dic	106.90
		Total	658.00

Fuente: Senamhi.

La precipitación promedio anual es 658 mm, así mismo se evidencia que los meses con mayor precipitación son desde octubre hasta abril. (ver Figura 33).

Figura 33

Representación gráfica de la precipitación total mensual-multimensual.



Fuente: Senamhi.

3.1.4.1. Umbrales de Precipitación

De acuerdo con el IPCC (Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis). Un fenómeno meteorológico extremo es un evento “raro” en un lugar y momento determinado. Las definiciones de raro varían, pero en general hay consenso de que las precipitaciones que superan el percentil 90, calculado de los días con precipitación acumulada diaria mayor a un (1) mm ($RR > 1\text{mm}$) son considerados como días lluviosos; muy lluviosos las precipitaciones que superan el percentil 95, mientras que extremadamente lluviosos (extremadamente fuertes), los que superan el percentil 99. Esta clasificación es más de “abundancia” que, de intensidad orientada para tener un criterio común a la hora de clasificar un total acumulado en 24 horas, más que de evaluar la intensidad de la precipitación, aunque indirectamente lo hace. (Alfaro, 2014)

Para el cálculo de umbrales de precipitación, el SENAMHI utilizó la metodología descrita en la nota técnica 001-SENAMHI-DGM-2014 “Estimación de umbrales de precipitación extremas para la emisión de avisos meteorológicos” (ver Tabla 7).

Tabla 7

Umbrales de precipitación calculados para la estación Kayra

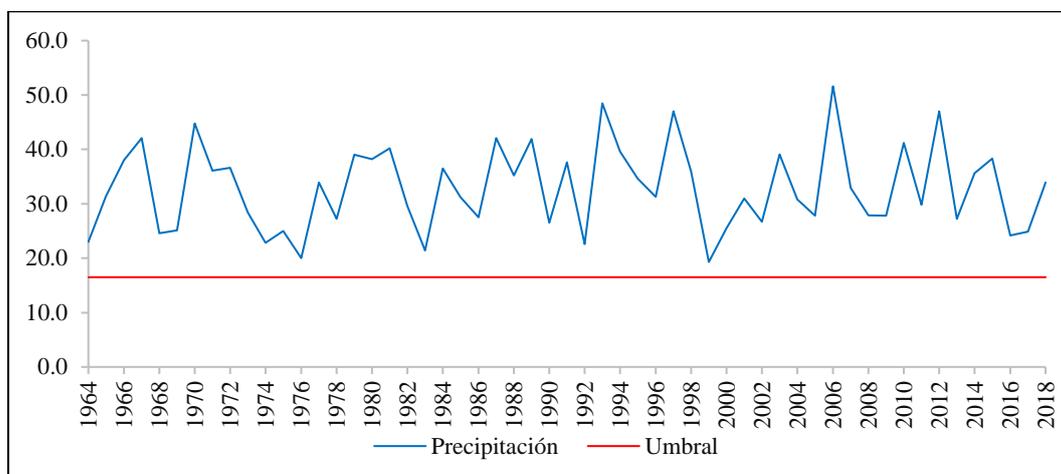
Umbrales de precipitación	Caracterización de las lluvias extremas	Umbrales calculados para la estación Kayra
$RR/\text{día} > 99p$	Extremadamente lluvioso	$RR > 26,7 \text{ mm}$
$95p < RR/\text{día} \leq 99p$	Muy lluvioso	$16,5 \text{ mm} < RR \leq 26,7 \text{ mm}$
$90p < RR/\text{día} \leq 95p$	Lluvioso	$12,5 \text{ mm} < RR \leq 16,5 \text{ mm}$
$75p < RR/\text{día} \leq 90p$	Moderadamente lluvioso	$6,8 \text{ mm} < RR \leq 12,5 \text{ mm}$
$75p < RR$	Débilmente lluvioso	$6,8 \text{ mm} < RR$

Fuente: Alfaro, 2014.

En la Figura 34, se muestra el histograma de precipitaciones máxima en 24 horas de la estación Kayra, en donde la línea roja representa el intervalo de tiempo de los umbrales que es desde el año 1964 al 2018, así como la variación de la precipitación en el mismo tiempo.

Figura 34

Histograma de precipitaciones (mm) máxima en 24 horas. estación Kayra.



Fuente: SENAMHI.

Del análisis del registro de precipitaciones máximas en 24 horas (PPmax 24h) de la estación meteorológica granja Kayra en el periodo 1964 – 2018, se ha considerado un evento de precipitación máxima diaria de 25.7 mm que ocurrió el mes de febrero del año 2010. Este evento corresponde a la categoría de muy lluvioso con umbrales de precipitación entre $16,5\text{mm} < RR \leq 26.7\text{mm}$ con percentil entre $95p < RR/\text{día} \leq 99p$.

3.2. HIDROGEOLOGÍA

3.2.1. Generalidades

La hidrología subterránea es aquella ciencia parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, de yacimiento, difusión, movimiento, régimen y reservas, interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. (Custodio & Llamas, 1983, pág. 249)

Con el estudio hidrogeológico conoceremos las zonas de infiltración y el nivel freático en la quebrada Ayahuayco, el cual nos ayudará a tener un mejor análisis para elaborar el modelo conceptual y perfiles de la zona de estudio.

3.2.2. Caracterización hidrogeológica

En la quebrada Ayahuayco se encuentran presentes dos formaciones geológicas e hidrogeológicas muy importantes que son la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo y los depósitos de la Formación San Sebastián que serán detalladas a continuación.

3.2.2.1. Acuífero Kayra

El acuífero Kayra constituye acuíferos fisurados importantes debido a la presencia de areniscas feldespáticas con escasos niveles de lutitas y limolitas rojas las que se hallan fuertemente fracturadas. Las fracturas le dan a la roca una buena porosidad y permeabilidad efectiva, generando buenas condiciones para el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas a través de su estructura interna haciendo que sea un acuífero potencial. (Unu Kamachiq, 2018).

En la Figura 35 se observa las areniscas feldespáticas aflorantes en la zona de estudio, las cuales se encuentran fracturadas.

3.2.2.1.1. Características hídricas del acuífero Kayra.

Las aguas de precipitación pluvial, que caen en toda la quebrada, se infiltran en el subsuelo gracias a su permeabilidad y porosidad conformando las aguas subterráneas. Las zonas de infiltración lo constituyen las rocas fracturadas de la Formación Kayra. (Unu Kamachiq, 2018)

Posteriormente el agua infiltrada se desplaza por la estructura interna de la roca para luego emanar en forma de manantes o simplemente pasan a formar parte de las aguas subterráneas presentes en el piso del valle, donde el nivel freático se encuentra cerca de la superficie. (Unu Kamachiq, 2018)

La permeabilidad promedio obtenida en el acuífero Kayra es de $K = 35 \text{ m/día} = 4.05 \times 10^{-4} \text{ m/seg}$. Todo esto en base a las pruebas directas de campo por el método de Lefranc y a carga constante a través de varias estaciones de medida. (Unu Kamachiq, 2018)

Figura 35

Afloramiento de areniscas fracturadas de la Formación Kayra.



Fuente: Tomado de Unu Kamachiq, 2018.

3.2.2.1.2. Acuífero San Sebastián

Localmente constituye un acuífero poroso debido a que el agua satura los poros interconectados de las gravas y arenas que conforman la Formación San Sebastián. El acuífero San Sebastián se encuentra presente en la parte baja de la zona de estudio, conformando el pie de monte y las terrazas aluvio lacustres. (Unu Kamachiq, 2018)

El acuífero San Sebastián tiene una alta porosidad debido a que son suelos no consolidados o sueltos y que permite el paso de las aguas de escorrentía superficial hacia los acuíferos inferiores cumpliendo así la labor de un acuífero. Posee una permeabilidad promedio de $K = 24 \text{ m/día}$ (permeabilidad poco variable, por constituir terrenos semi - homogéneos), una conductividad moderada de 0.8 mS y un caudal de 0.02 l/s . (Unu Kamachiq, 2018)

La permeabilidad alta sugiere que el agua puede fluir relativamente fácil a través del acuífero, la conductividad moderada indica una cantidad significativa de sales disueltas en el agua, lo cual puede ser muy común en acuíferos confinados o semiconfinados donde el agua estuvo en contacto con minerales durante períodos prolongados, y en cuanto al caudal no es alto, pero indica que todavía hay un flujo de agua suficiente a través del acuífero para ser significativo.

3.3. PARAMETROS HIDROLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS

3.3.1. Porosidad total

Es el espacio no ocupado por los sólidos de una muestra de suelos, se determina como el cociente entre el volumen de poros que presenta el acuífero referido al volumen total del mismo expresado en porcentajes. (Geotest, 2019)

Del estudio de mecánica de suelos para estabilidad de taludes se obtuvo las siguientes porosidades que fueron correlacionadas según la formación geológica como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Porosidad total de las formaciones geológicas identificadas en la quebrada Ayahuayco.

Porosidad total	
Areniscas (Fm. Kayra)	20%
Lutitas (Fm. San Sebastián)	4%
Depósitos coluviales	25%

Fuente: Adaptado de Geotest, 2019.

3.3.2. Porosidad eficaz

La porosidad eficaz es definida como el cociente del volumen de poros que presente el suelo por donde puede circular el flujo efectivamente entre el volumen total. (Geotest, 2019)

Del estudio de mecánica de suelos para estabilidad de taludes se obtuvo los siguientes valores de porosidad eficaz correlacionado según la formación geológica como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Porosidad eficaz de las formaciones geológicas identificadas en la quebrada Ayahuayco.

Porosidad eficaz	
Areniscas (Fm. Kayra)	15%
Lutitas (Fm. San Sebastián)	1%
Depósitos coluviales	22%

Fuente: Adaptado de Geotest 2019.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS

Según la inspección en campo solo se ha identificado un afloramiento de agua al inicio de la subida a la APV Villa María tal como se muestra en la Figura 36, en donde no se observa la presencia de caudal debido a que la foto fue tomada en época de sequía. Así mismo en la Tabla 10 se muestran las propiedades físicas y químicas de la fuente de agua.

Figura 36.

Vista del afloramiento del ojo de agua presente en la zona de estudio.



Tabla 10

Fuente de agua con sus propiedades físicas y químicas

Nombre	Coordenada X	Coordenada Y	Conductividad (mS)	Solidos totales (ppt)	pH	Tem(°C)	Caudal (l/s)
Villa María	176349	8504277	0.80	0.40	10.67	15.70	0.02

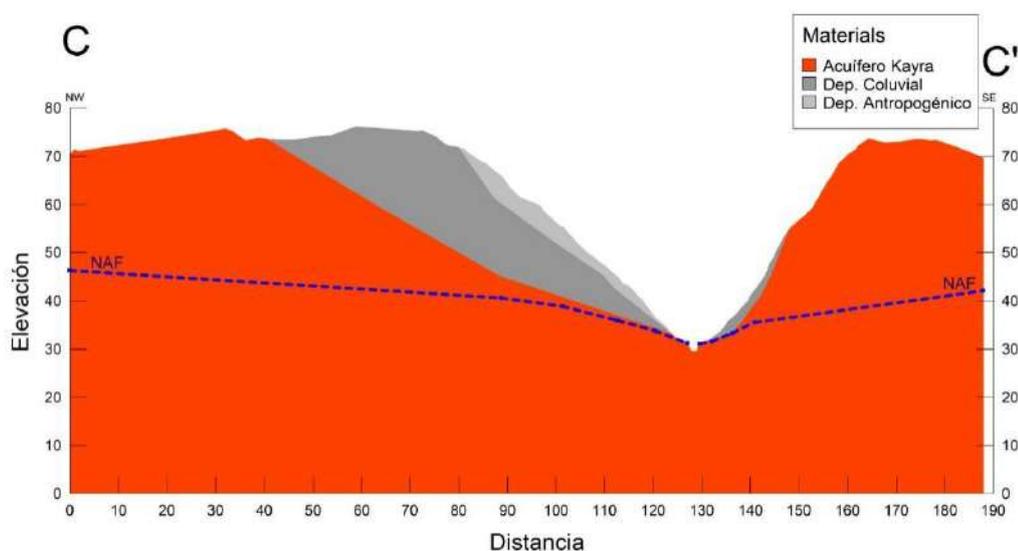
Fuente: Tomado de Unu kamachiq, 2018.

Así mismo se obtuvo el nivel freático tomando las alturas de agua del informe de Evaluación del riesgo de desastres por deslizamiento en la zona de reglamentación especial Cusco 07 – sector Ayahuayco. Estas alturas ayudarán a calcular de una manera más precisa el factor de seguridad en los taludes de la zona de estudio.

En la Figura 37 se muestra el perfil C-C’ realizado en la zona de estudio en donde se observa el acuífero Kayra (que es la unidad hidrogeológica principal), también se observan los depósitos coluviales y antropogénicos aflorando encima de la Formación Kayra.

Figura 37.

Sección C-C’ y el nivel freático



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

ASPECTOS GEOTÉCNICOS

4.1. GENERALIDADES

La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales, como las rocas y suelos, que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería en general.

Conocer las propiedades mecánicas del suelo donde se pretende edificar o desarrollar proyectos de ingeniería y de las condiciones físicas del ambiente, constituyen el mejor medio de prevención ante desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y a los seres humanos que las habitan. (Servicio geológico mexicano)

De acuerdo al “estudio de mecánica de suelos en zonas de reglamentación especial por peligro muy alto en el distrito del Cusco. Sector CU-08 Asociación San Benito, Villa María, Ayahuayco” y al “estudio de mecánica de suelos para evaluación de taludes Ayahuayco – Camino Inca” se obtuvieron datos de las propiedades físicas del suelo, los cuales servirán para analizar la estabilidad de taludes en la zona de estudio.

4.2. MECÁNICA DE SUELOS

La mecánica de suelos estudia el comportamiento mecánico de los suelos mediante sus propiedades físicas y su comportamiento en los ensayos realizados. En la zona de estudio se obtuvo la información de 7 calicatas a través de los estudios de mecánicas de suelos antes mencionados.

La información obtenida de estos estudios ayudará a esta investigación conociendo cuales son los valores del ángulo de fricción, la cohesión y el peso específico. Estas tres propiedades físicas mencionadas determinarán el factor de seguridad mediante un análisis de estabilidad de taludes.

4.2.1. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

4.2.1.1. Ensayo de granulometría y clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del suelo por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074 milímetros), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global. Para conocer su distribución granulométrica por debajo de ese tamiz se hace el ensayo de sedimentación. El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plotea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo con el uso que se quiera dar al agregado. (ASTM International, 2007)

Los diferentes tipos de suelos son definidos por el tamaño de las partículas. Son frecuentemente encontrados en combinación de dos o más tipos de suelos diferentes, como, por ejemplo: arenas, gravas, limo, arcillas, limo arcilloso, etc. La determinación del rango de tamaño de las partículas (gradación) es según la estabilidad del tipo de ensayos para la determinación de los límites de consistencia. (Del Catillo & Solano, 2021). Los suelos encontrados en la zona de estudio fueron clasificados mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

4.2.1.2. Ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo es un procedimiento que se realiza con el fin de definir las propiedades de resistencia a la tensión tangencial o resistencia al corte de materiales bajo el efecto de cargas combinadas, donde la fuerza de corte se genera a lo largo de una superficie horizontal determinada. (Geotécnia facil, s.f.)

Este ensayo es importante para ver la resistencia de cizallamiento del suelo y así poder analizar la estabilidad del talud.

La resistencia a la tensión tangencial o resistencia al corte (τ) es la resistencia interna por unidad de área que la masa del suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de un plano de deslizamiento interior (Geotécnia facil, s.f.). Según la ley de Coulomb responde a la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

Dónde:

- c es la cohesión del material,
- σ es el valor de tensión normal,
- φ es el ángulo de rozamiento interno.

El procedimiento consiste en inducir la falla a través de un plano determinado sobre el que actúan dos esfuerzos: normal y cortante. Al finalizarlo, se obtienen los valores de cohesión (c) y del ángulo de rozamiento interno (φ). (Geotécnia facil, s.f.)

4.2.1.3. Ensayo de peso específico

El peso específico relativo de las partículas sólidas (G_s) es la relación entre el peso en aire del volumen de un material, a una temperatura indicada y el peso en aire de idéntico volumen de agua destilada a la misma temperatura.

Para determinar el peso específico de los suelos finos, se utiliza generalmente un picnómetro graduado de 50 cm³ con tapa capilar, que permite un perfecto enrasado del recipiente cuando se le llena de agua. Mediante este ensayo se obtuvo los datos de peso específico de las calicatas analizadas. (Leoni, pág. 9)

4.2.1.4. Densidad relativa

Es una propiedad índice de los suelos que se emplea normalmente en arenas y gravas (suelos que contienen más del 50% de partículas mayores a 0.074 mm).

La densidad relativa indica el grado de compactación de un suelo, se expresa en porcentajes y ayuda a determinar si el suelo es más suelto o compacto.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Para esta investigación se recodificó las 7 calicatas que se encontraron en dos estudios realizados en la quebrada Ayahuayco, de los cuales del estudio de mecánica de suelos en zonas de reglamentación especial por peligro muy alto en el distrito del cusco. Sector CU-08 Asociación San Benito, Villa María, Ayahuayco elaborado por Geotecnia ingenieros S.R.L. se pudo obtener datos de 5 calicatas codificadas como: C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5. De la misma forma del estudio de mecánica de suelos para evaluación de taludes Ayahuayco – Camino Inca elaborado por Geotest Perú S.A.C. se codificaron 2 calicatas como C-6 y C-7. (ver Tabla 11).

Tabla 11

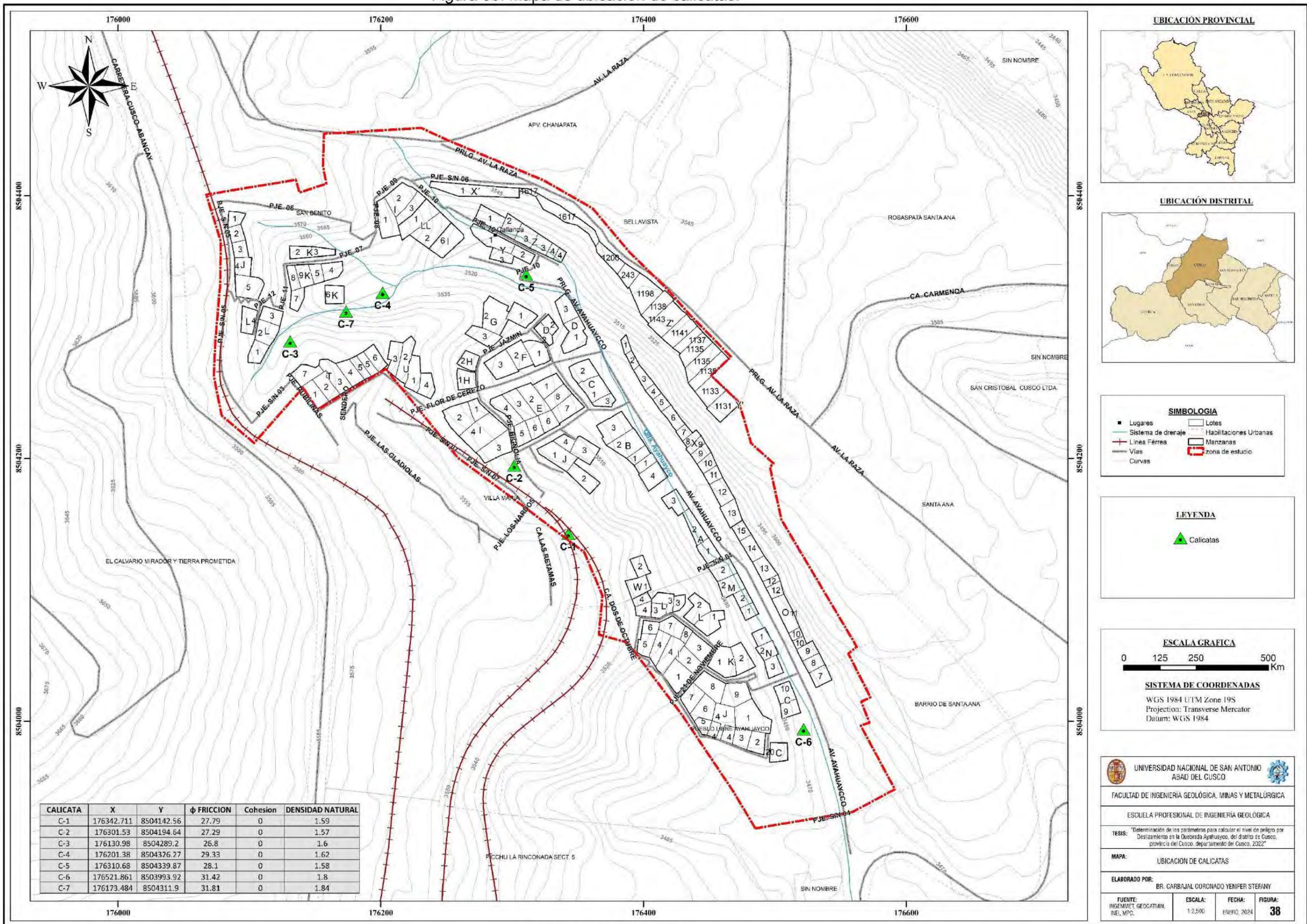
Resultados del estudio de mecánica de suelos para cada calicata.

Calicata	Este	Norte	SUCS	ASHTOO	ϕ (°)	Cohesion kg/cm ²	γ gr/cm ³
C-1	176342.711	8504142.56	GC-GM	A-2-4 (0)	27.79	0.3	1.59
C-2	176301.53	8504194.64	GC	A-2-4 (0)	27.29	0.5	1.57
C-3	176130.98	8504289.2	GP-GC	A-2-4 (0)	26.8	0.2	1.6
C-4	176201.38	8504326.27	GC-GM	A-2-4 (0)	29.33	0.3	1.62
C-5	176310.68	8504339.87	GC	A-2-4 (0)	28.1	0.5	1.58
C-6	176521.861	8503993.92	GP	A-2-4 (0)	31.42	0	1.8
C-7	176173.484	8504311.9	GP	A-2-4 (0)	31.81	0	1.84

Fuente: Modificado de Geotecnia ingenieros & Geotest Perú.

En la Figura 38 se puede observar la ubicación de las calicatas dentro de la zona de estudio con sus respectivas coordenadas.

Figura 38. Mapa de ubicación de calicatas.



Fuente: Elaboración propia.

Del estudio de mecánica de suelos también se obtuvo la densidad relativa de los suelos, y otros parámetros como:

- a) **Densidad seca del suelo in situ:** Es el cociente entre el peso del suelo seco y el volumen total ocupado por el suelo, el método utilizado fue el cono de arena.
- b) **Densidad máxima seca:** Se determinó esta densidad en laboratorio utilizando el método de mesa vibradora por el método seco por cuestiones de tiempo
- c) **Densidad mínima seca:** Se determinó en laboratorio.
- d) **Densidad natural:** Conocida también como densidad real, es el cociente entre la masa del producto y su volumen real (volumen excluyendo los huecos entre los granos).

Tabla 12

Parámetros obtenidos a partir de los distintos tipos de densidad.

CALICATA	ESTE	NORTE	SUCS	ASHTO	DEN MIN	DEN NAT	DEN MAX	DEN RELATIVA	
C-1	176342.71 1	8504142.56	GC-GM	A-2-4	1.53	1.59	1.92	18.58	Suelto
C-2	176301.53	8504194.64	GC	A-2-4	1.5	1.57	1.9	15.26	Suelto
C-3	176130.98	8504289.2	GP-GC	A-2-4	1.54	1.6	1.94	11.98	Muy suelto
C-4	176201.38	8504326.27	GC-GM	A-2-4	1.52	1.62	1.93	28.84	Suelto
C-5	176310.68	8504339.87	GC	A-2-4	1.51	1.58	1.92	20.7	Suelto
C-6	176521.86	8503993.92	GP	A-2-4	1.53	1.63	1.75	70.26	Suelto
C-7	176173.48 4	8504311.9	GP	A-2-4	1.60	1.67	1.76	73.33	Suelto

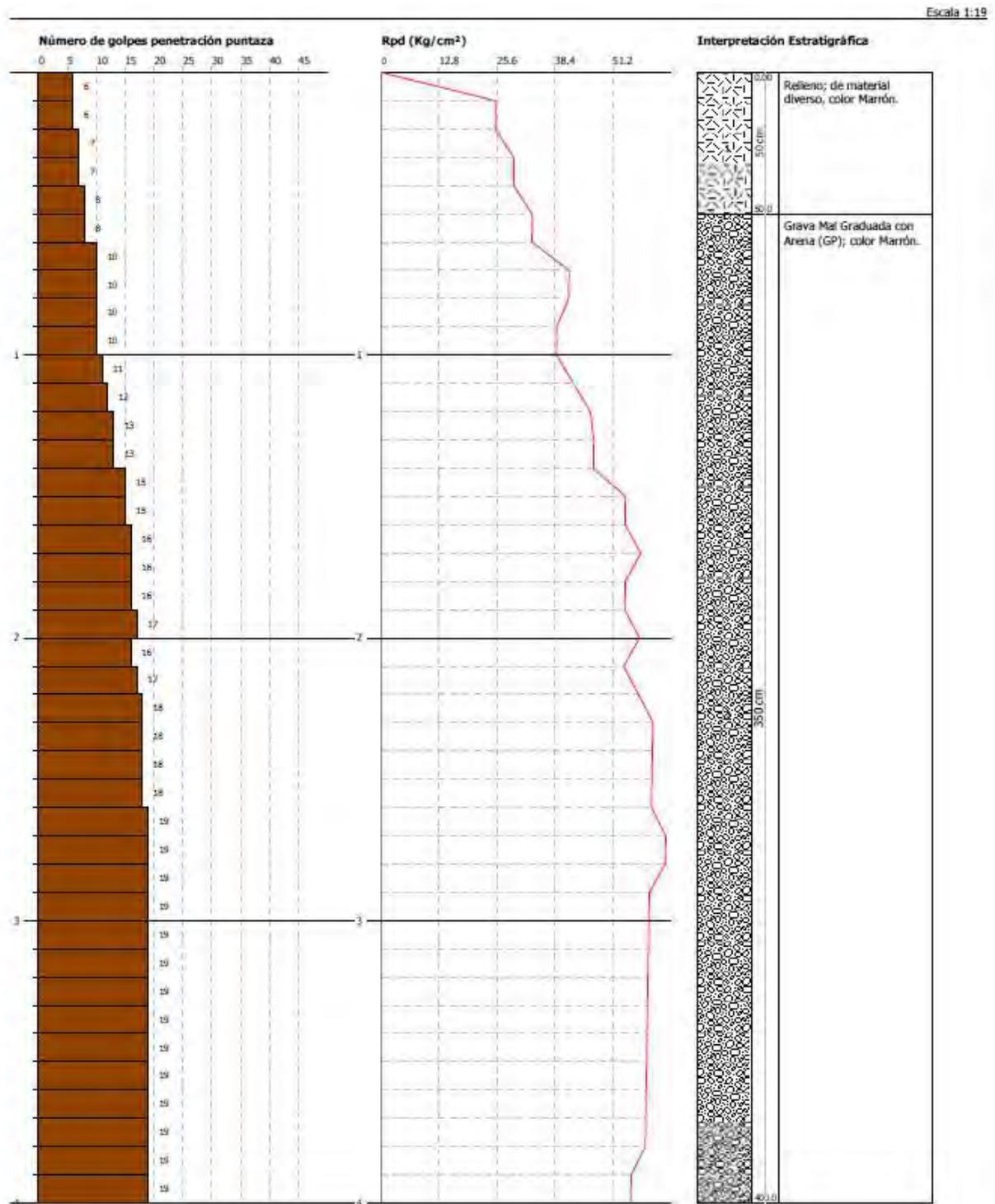
Fuente: Modificado de Geotecnia ingenieros & Geotest, 2019.

4.4. PERFILES DE SUELOS

En la Figura 39 y 40 se observa el perfil estratigráfico de las calicatas C-6 y C-7 obtenidas del estudio de mecánica de suelos, en el cual se puede observar su interpretación a partir del ensayo de penetración ligera DPL y el diagrama de número de golpes puntaza RPD con su respectiva interpretación estratigráfica, en donde el suelo se compone principalmente de grava mal gradada (GP).

Cabe recalcar que los estudios de mecánica de suelos que se tiene de la zona de estudio solo muestran el perfil estratigráfico de 2 calicatas motivo por el cual no se muestra la interpretación de las calicatas restantes.

Figura 39. Perfil estratigráfico de la calicata C-6.



Fuente: Tomado de Geotest Perú.

CAPÍTULO V

CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y EL GRADO DE INESTABILIDAD

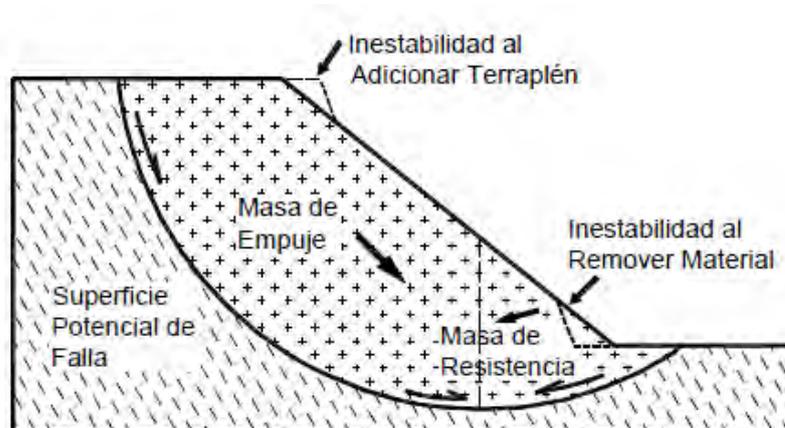
5.1. GENERALIDADES

En un talud estable hay un equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales es determinante la fuerza de gravedad. Si se colocan cargas adicionales como viviendas, vías, modificación de la geometría del talud se puede producir la inestabilidad de éste. Igualmente, la inestabilidad puede ocurrir por el aumento de la pendiente del talud. (Suarez, 2009, pág. 46)

En la Figura 41 se muestran las masas que tratan de producir el movimiento y las masas que tratan de contrarrestarla.

Figura 41.

Equilibrio o desequilibrio de fuerzas en un talud.



Fuente: Suarez, 2009, pág. 46.

5.2. CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD

Para el cálculo del factor de seguridad se usó el software GeoStudio 2012 versión para estudiantes, con apoyo del Civil 3D también versión estudiante.

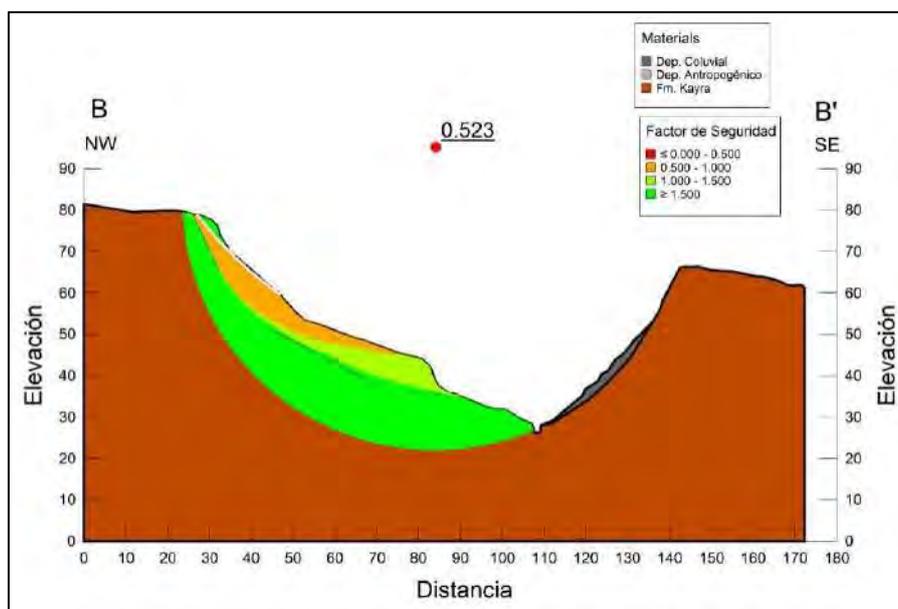
Primeramente, se tomó como base el levantamiento topográfico para crear secciones transversales en el Civil 3D, tratando de abarcar los taludes dentro de la zona de estudio para

un mejor análisis. Con los perfiles transversales se procedió a realizar perfiles geológicos, corroborando con el mapeo geológico que se realizó en campo y el nivel freático obtenido del estudio “Servicio de estudio hidrológico e hidrogeológico en quebrada priorizada de Ayahuayco de las zonas de reglamentación especial del área urbana de la provincia de Cusco”. Posteriormente se importó estos perfiles al software GeoStudio 2012, en el cual se procedió a identificar el material geológico presente en las secciones geológicas con sus propiedades como el peso específico, cohesión y ángulo de fricción (datos tomados de la Tabla 11), Luego, se procedió a dibujar la entrada y salida de la superficie del deslizamiento para poder determinar las zonas de tensión y el factor de seguridad del talud.

En las Figuras 42 al 46 se muestran algunos perfiles elaborados dentro de la zona de estudio, las cuales han sido elaboradas con el software de Estabilidad de taludes con la finalidad de calcular los factores de seguridad. Así mismo en la Fig. 47 se muestra el mapa de grado de inestabilidad por el factor de seguridad.

Figura 42.

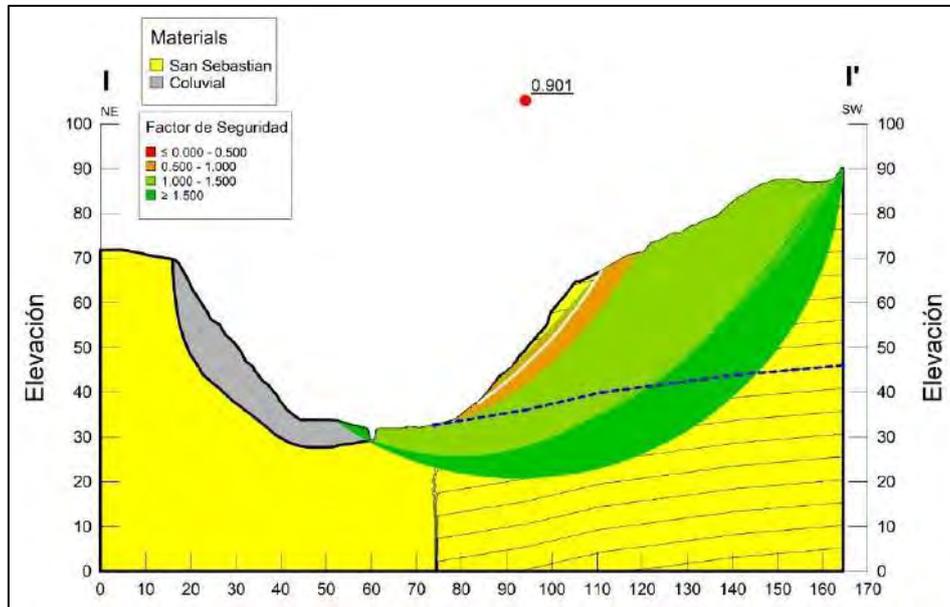
Se muestra el perfil geológico de la sección B-B' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43.

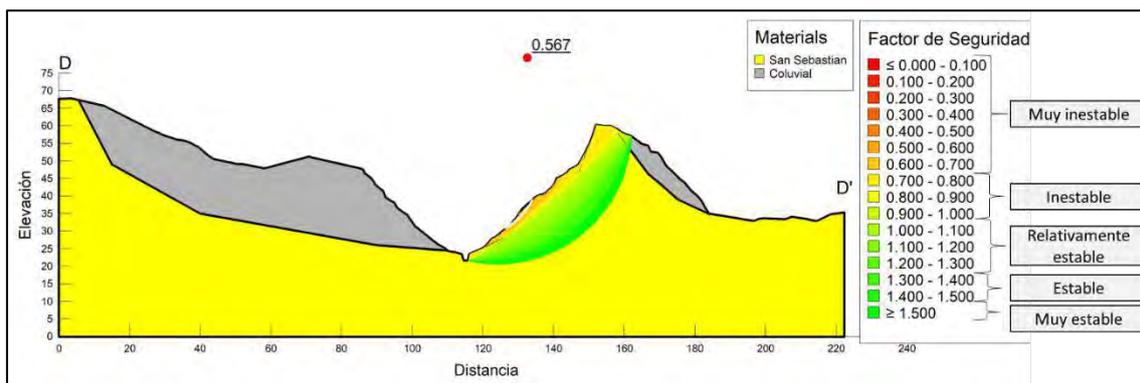
Se muestra el perfil geológico de la sección I – I’ con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44.

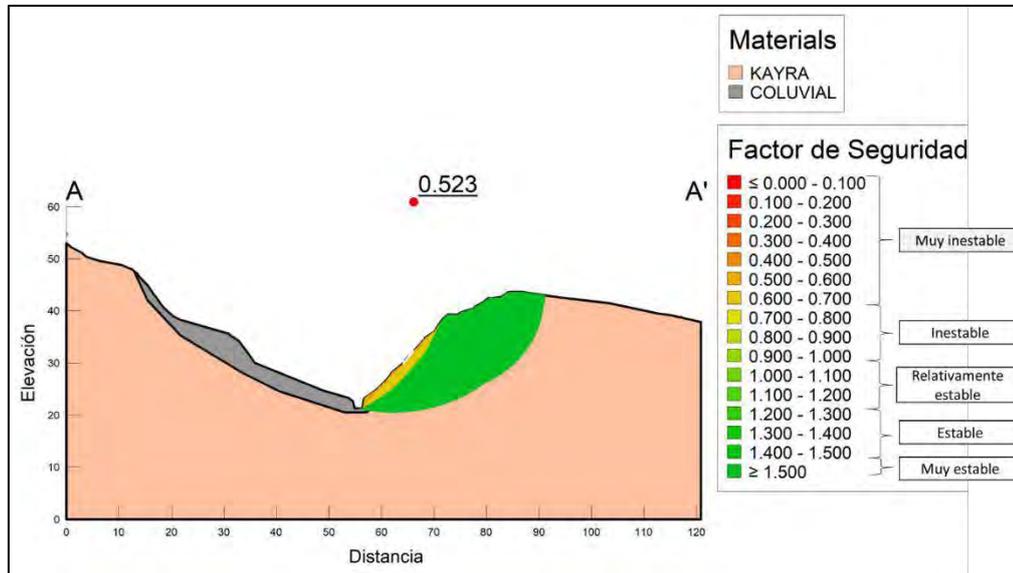
Perfil geológico de la sección D-D’ con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45.

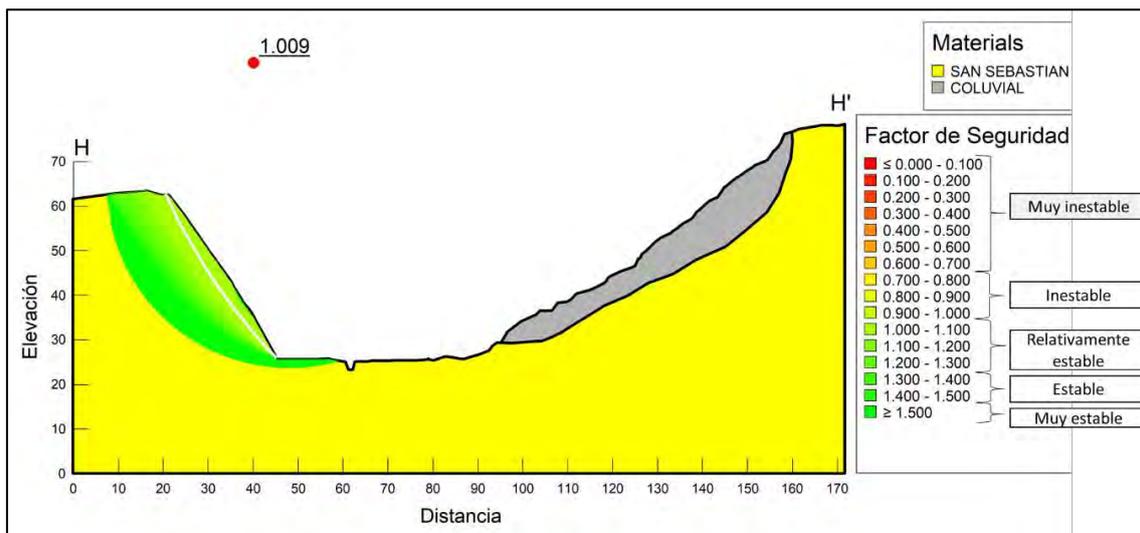
Perfil geológico de la sección A-A' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.



Fuente: Elaboración propia.

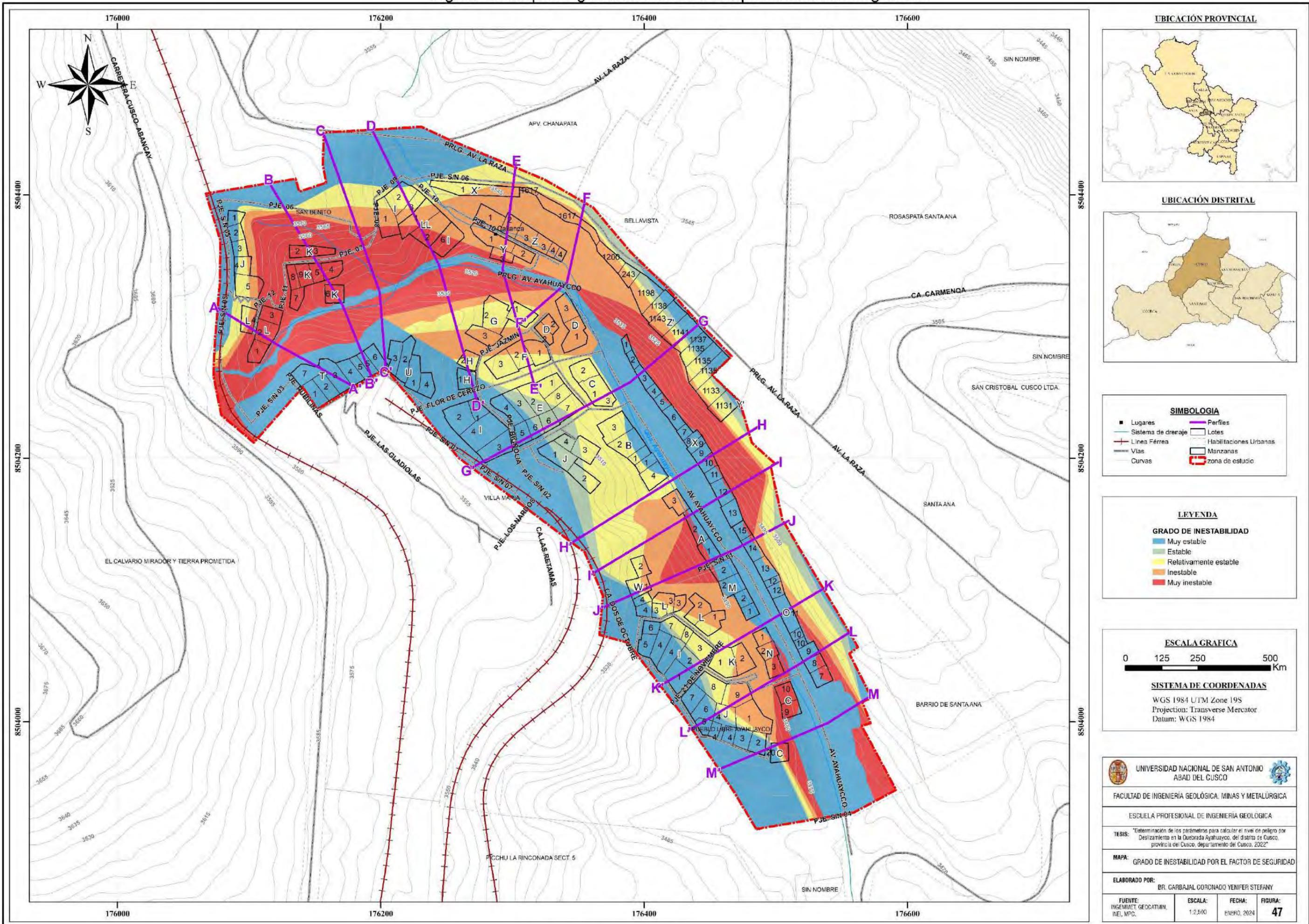
Figura 46.

Perfil geológico de la sección H-H' con el mapa de seguridad según los factores de seguridad calculados, así como también el factor de seguridad más crítico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Mapa de grado de inestabilidad por el factor de seguridad.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

GEODINÁMICA EXTERNA

6.1. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

En la zona de estudio se realizó el inventario de deslizamientos, el cual consistió en hacer un mapeo con ayuda de aerofotos antiguas e imágenes satelitales de Google Earth de años anteriores y posteriormente se realizaron contrastaciones y algunos ajustes en campo. Se ha tomado un modelo de inventario de movimientos en masa de otro estudio en el cual se incluyen datos como las coordenadas del deslizamiento, tipo de movimiento, factores condicionantes, factores desencadenantes y alguna observación relevante encontrada en campo. Se obtuvo un total de 15 deslizamientos los cuales son descritos a continuación y mostrados en la Figura 48.

En la Tabla 13 se muestran los deslizamientos inventariados con sus respectivas coordenadas.

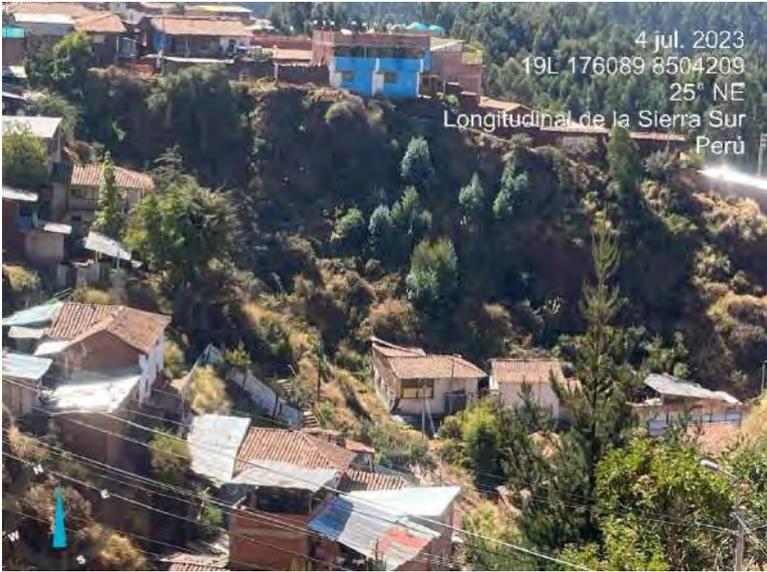
Tabla 13

Deslizamientos ubicados en la quebrada Ayahuayco.

CODIGO	NORTE	ESTE	ZONA
D-01	8504292.8	176103.73	19L
D-02	8504356.72	176162.07	19L
D-03	8504378.87	176223.56	19L
D-04	8504427.04	176218.3	19L
D-05	8504371.89	176311.71	19L
D-06	8504272.17	176406.34	19L
D-07	8504178.65	176470.59	19L
D-08	8504284.82	176131.16	19L
D-09	8504305.47	176175.13	19L
D-10	8504316.16	176196.76	19L
D-11	8504325.53	176235.56	19L
D-12	8504280.57	176273.34	19L
D-13	8504152.78	176373.56	19L
D-14	8504106.65	176404.64	19L
D-15	8503981.43	176508.63	19L

Fuente: Elaboración propia.

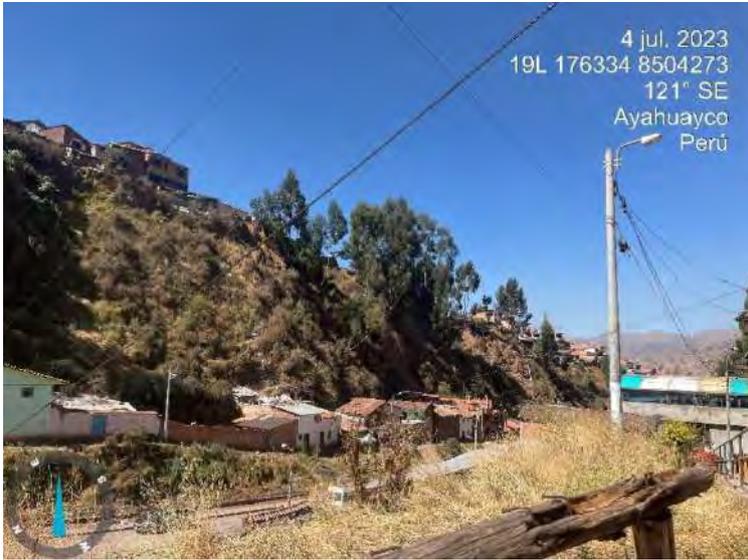
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	6808.56 m ³	D-01
8504292.80	176103.73	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes son > 16° es decir son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales.</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	12648.97 m ³	D-02
8504356.72	176162.07	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes son > 16° es decir son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales y depósitos antropogénicos.</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA				
				

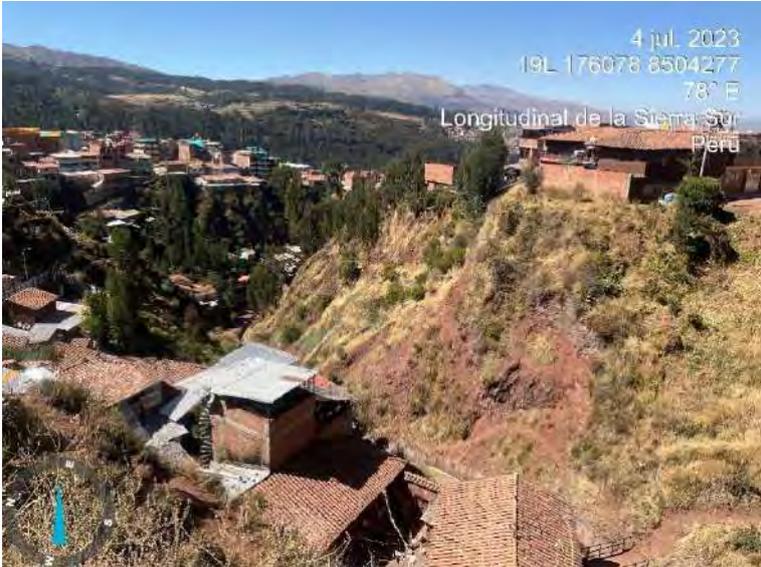
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	6121.15 m ³	D-03
8504378.87	176223.56	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes son > 16° es decir son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales.</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA:				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	3352.93 m ³	D-04
8504427.04	176218.30	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes son > 16°, es decir son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales.			Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo artificialmente estabilizado.				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	38679.63 m3	D-05
8504371.89	176311.71	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes identificadas en este deslizamiento son mayores a 16°, es decir son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	14908.07 m ³	D-06
8504272.17	176406.34	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Las pendientes identificadas en este deslizamiento son mayores a 35°, pendientes muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	12765.43 m ³	D-07
8504178.65	176470.59	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: La pendiente es mayor a 35°, es decir, presenta pendientes muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El estado de actividad del deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	1568.88 m3	D-08
8504284.82	176131.16	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: La pendiente es mayor a 35°, es decir, presenta pendientes muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El estado de actividad del deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	1307.78 m ³	D-09
8504305.47	176175.13	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 35°, es decir, son pendientes muy fuertes o extremadamente fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales			Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo, estabilizado artificialmente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	535.63 m3	D-10
8504316.16	176196.76	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 35°, es decir, son pendientes muy fuertes o extremadamente fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	6844.31 m ³	D-11
8504325.53	176235.56	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 35°, es decir, son pendientes muy fuertes o extremadamente fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El estado de actividad del deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
 <p>Network: 21 may, 2023 8:58:04 a. m. GMT-05:00 Local: 21 may, 2023 8:58:03 a. m. GMT-05:00 Swiss grid E: -11208540 N: -1195581 130° 58'</p>				

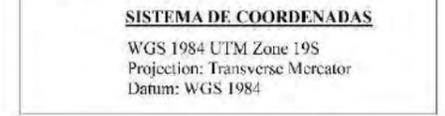
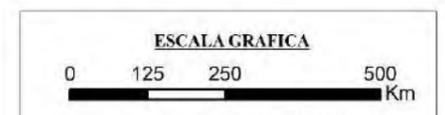
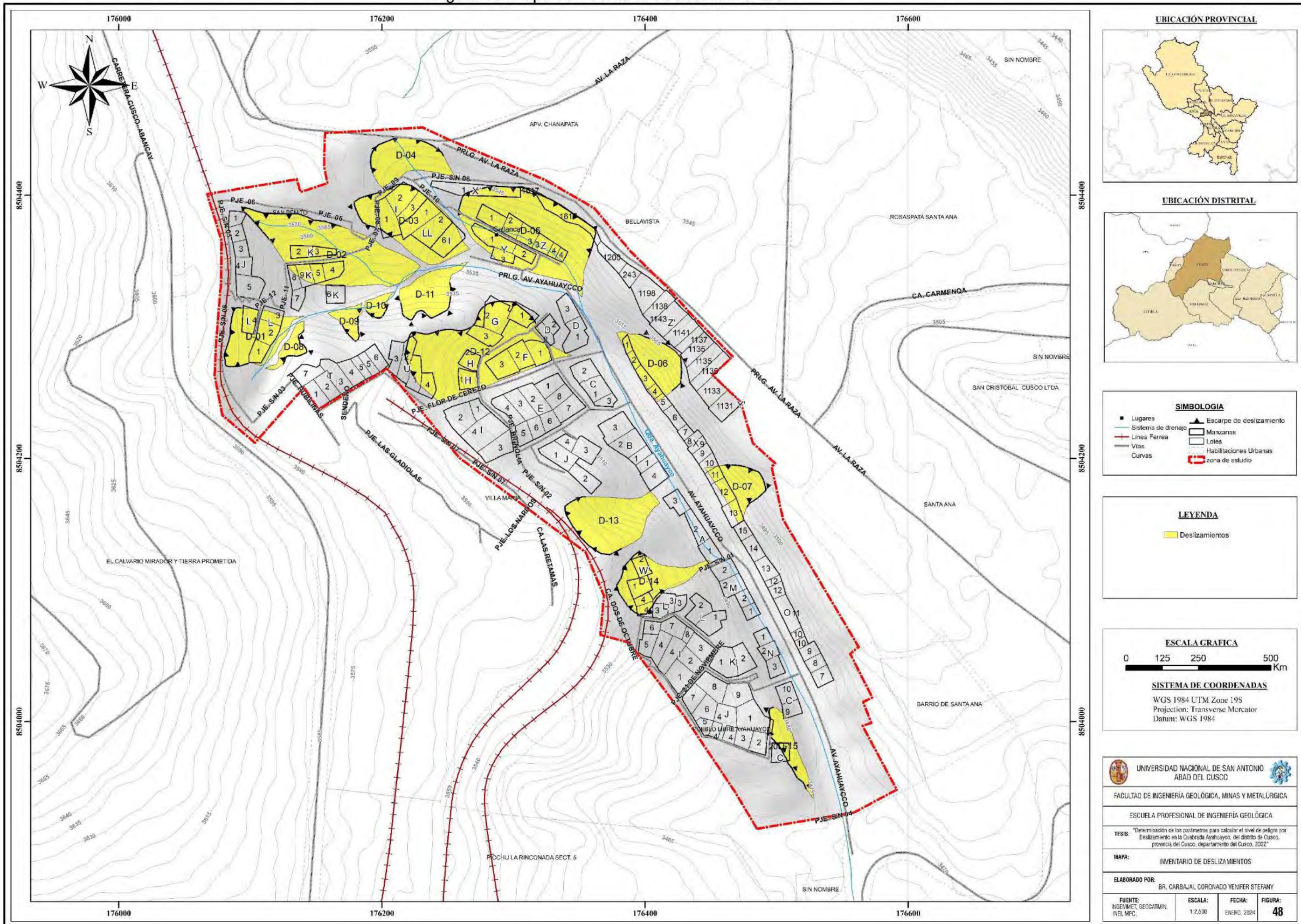
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	16488.79 m ³	D-12
8504280.57	176273.34	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 8°, son pendientes moderadas a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	1141.43 m3	D-13
8504152.78	176373.56	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 35°, es decir, son pendientes muy fuertes o extremadamente fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El deslizamiento es inactivo estabilizado artificialmente				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	12104.00 m ³	D-14
8504106.65	176404.64	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 16°, es decir, son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El estado de actividad del deslizamiento es inactivo durmiente.				
FOTOGRAFIA				
				

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA CALCULAR EL NIVEL DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO EN LA QUEBRADA AYAHUAYCO, DEL DISTRITO DE CUSCO, PROVINCIA DEL CUSCO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO, 2022				
PROVINCIA	DISTRITO	QUEBRADA	MARGEN	TIPO DE DESLIZAMIENTO
Cusco	Cusco	Ayahuayco	Derecha	Rotacional
COORDENADAS UTM			VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO	CODIGO DE DESLIZAMIENTO
Norte:	Este:	Zona:	2032.52 m ³	D-15
8503981.43	176508.63	19 S		
FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES	
<p>Geomorfología: presencia de vertientes con depósitos de deslizamientos. Pendientes: Presenta pendientes mayores a 16°, es decir, son pendientes fuertes a muy fuertes. Geología: Está compuesto por depósitos coluviales</p>			<p>Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm.</p>	
ESTADO DE ACTIVIDAD: El estado de actividad del deslizamiento es inactivo durmiente				
FOTOGRAFIA				
				

Figura 48. Mapa de inventario de deslizamientos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 ABAO DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por Deslizamiento en la Cuadrada Ayahuaycco, del distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco, 2022"

MAPA: INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

ELABORADO POR: BR. CARBAJAL CORONADO YENIFER STEFANY

FUENTE: INGENMET, GEOCATMIN, INEL, MPC.

ESCALA: 1:2,500

FECHA: ENERO, 2024

FIGURA: **48**

Fuente: Elaboración propia.

6.2. MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO DE DESLIZAMIENTOS

6.2.1. Modelo conceptual de susceptibilidad

En la zona de estudio de Ayahuayco la susceptibilidad ante deslizamientos está condicionada por 4 factores condicionantes y 1 desencadenante que se describen a continuación:

a) Factores condicionantes

- **Microestructura del suelo (Angulo de fricción, cohesión y peso específico);**
En la quebrada Ayahuayco la microestructura determinó el grado de inestabilidad mediante su factor de seguridad siendo los muy inestables e inestables ($0 < FS < 1$) los más susceptibles a deslizarse.
- **Geología y litología:** En la zona de estudio se observaron depósitos coluviales y antropogénicos que son los más susceptibles a deslizarse y los menos susceptibles son los depósitos proluviales.
- **Geomorfología:** Con respecto a este factor condicionante las vertientes con deslizamientos y las vertientes o piedemonte aluvio lacustres generan mayor susceptibilidad a deslizamientos y las terrazas fluvio aluviales, así como los cauces de quebrada son las que generan menor susceptibilidad.
- **Pendientes:** Finalmente las pendientes mayores a 35° son las que generan mayor susceptibilidad a deslizamientos y las pendientes menores a 8° son las que presentan menor susceptibilidad a deslizamientos.

b) Factor desencadenante

Para que se genere la susceptibilidad a deslizamientos es necesario la presencia de un factor detonante o desencadenante. En la zona de estudio se tomó las precipitaciones pluviales de acuerdo al umbral de precipitaciones de la estación meteorológica Kayra. Se consideró las precipitaciones Muy lluviosas $16.5\text{mm} < RR \leq 26.7\text{mm}$ debido a que en el año 2010 ocurrió desastres en la ciudad del Cusco con precipitación máxima de 25.7mm.

6.2.2. Modelo conceptual de peligro

Para determinar el peligro se tiene que analizar la susceptibilidad a deslizamientos y se debe agregar parámetros generales de evaluación. En la zona de estudio se consideró 2 parámetros de evaluación: Volumen y Velocidad de deslizamiento.

En la zona de estudio la velocidad de los deslizamientos han sido clasificados como extremadamente lentos.

El volumen de deslizamientos es de acuerdo a la clasificación de deslizamientos (Fell, 1994), en la zona de estudio se encontraron tres tamaños que van desde el extremadamente pequeño hasta pequeño, pero para poder utilizar el análisis jerárquico se consideró reclasificarlo en cinco rangos como se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.

Clasificación modificada por el volumen de deslizamiento.

Clase de tamaño por volumen	Descripción de tamaño	Volumen(m ³)
1	Grande	>15000 m ³
2	Mediano	10000 - 15000m ³
3	Pequeño	5000 - 1000 m ³
4	Muy pequeño	500 - 5000 m ³
5	Extremadamente pequeño	<500m ³

Fuente: Modificado de Fell, 1994.

Como se observa en la Tabla 14 los deslizamientos Grandes y medianos (>10000 m³) son los que generaran peligro alto y muy alto y los deslizamientos pequeños son los que generan peligro medio y bajo.

Modelo conceptual deslizamiento D-06

El deslizamiento D-06 es de tipo rotacional y tiene un estado de actividad inactivo durmiente, geomorfológicamente son vertientes con depósitos de deslizamientos con pendientes mayores a 35° (muy fuertes a extremadamente fuertes). Litológicamente está compuesto por depósitos coluviales que sobre yacen los depósitos cuaternarios de la formación San Sebastián. Este

deslizamiento se activaría con precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm. con un volumen de 14908.07 m³ aproximadamente.

Modelo conceptual deslizamiento D-11

El deslizamiento D-11 es de tipo rotacional con estado de actividad inactivo durmiente, geomorfológicamente son vertientes con depósitos de deslizamientos, con pendientes mayores a 35° (muy fuertes a extremadamente fuertes). Litológicamente está compuesto por depósitos Coluviales que sobre yace a las areniscas de la Formación Kayra. Este deslizamiento se activaría con Precipitaciones muy lluviosas entre 16.5mm y 26.7mm. con un volumen de 6844.31 m³ aproximadamente.

CAPÍTULO VII

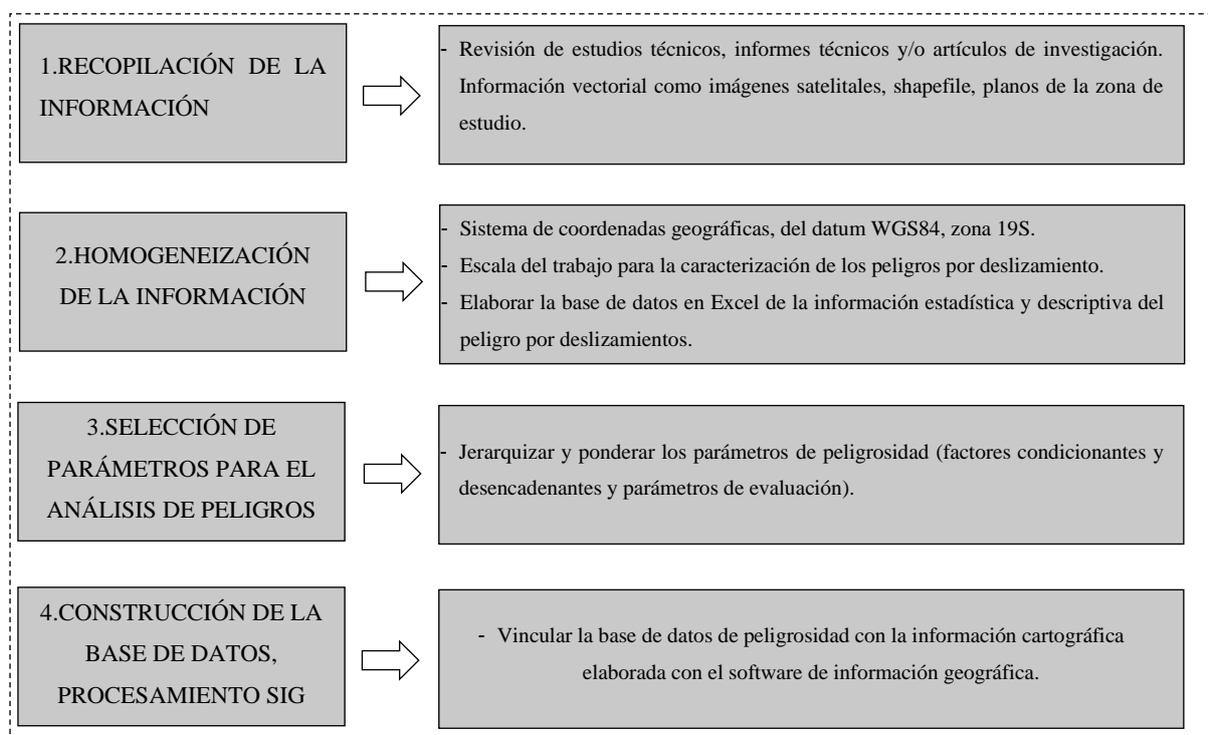
PELIGRO POR DESLIZAMIENTO

7.1. GENERALIDADES

Para la determinación del nivel de peligro por deslizamientos en la zona de estudio se utilizó como parámetros de evaluación los volúmenes de deslizamiento y la velocidad, se utilizó también como factores condicionantes al grado de inestabilidad, unidades geológicas, pendientes y unidades geomorfológicas, y finalmente se consideró como factor desencadenante los umbrales de precipitación.

En la Figura 49 se muestra un flujograma general de cómo es el proceso de análisis de información para determinar el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco.

Figura 49. Flujograma general del proceso de análisis de información.



Fuente: CENEPRED, 2014.

7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS

La desestabilización de laderas y ocurrencia de deslizamientos en la zona de estudio está condicionada a la ocupación de viviendas en zonas susceptibles a deslizamientos, esta intervención antrópica (construcción de viviendas, instalación de servicios básicos, construcción de vías, etc.) junto con un factor desencadenante como las precipitaciones, generarán niveles de peligro alto y muy alto ante deslizamientos en la zona de estudio.

Al realizar una comparación entre las imágenes antiguas y recientes de la zona de estudio se pudo contrastar la presencia de viviendas sobre los deslizamientos.

7.3. SUSCEPTIBILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se evaluaron los aspectos del grado de inestabilidad, la geología, la geomorfología y las pendientes, los cuales definirán el comportamiento de los deslizamientos en la quebrada Ayahuayco.

La susceptibilidad del terreno indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos, se representará en un mapa de susceptibilidad (ver Figura 50) que clasifica en categorías que van desde la susceptibilidad baja, media, alta y muy alta, con estos niveles el mapa de susceptibilidad muestra donde existen las condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos desencadenados por un detonante como las precipitaciones pluviales.

7.3.1. Factores condicionantes

En la Tabla 15 al 33 se muestra las matrices de comparación de pares de los factores condicionantes con sus respectivos descriptores.

Tabla 15

Matriz de comparación de pares del factor condicionantes.

PARÁMETRO	Grado de inestabilidad	Unid. geológicas	Pendiente	Unid. geomorfológicas
Grado de inestabilidad	1.00	2.00	3.00	4.00
Unid. geológicas	0.50	1.00	2.00	4.00
Pendiente	0.33	0.50	1.00	3.00
Unid. geomorfológicas	0.25	0.25	0.33	1.00
SUMA	2.08	3.75	6.33	12.00
1/SUMA	0.48	0.27	0.16	0.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Matriz de normalización de pares del factor condicionantes.

PARÁMETRO	Grado de inestabilidad	Unid. geológicas	Pendiente	Unid. geomorfológicas	Vector priorización
Grado de inestabilidad	0.480	0.533	0.474	0.333	0.455
Unid. geológicas	0.240	0.267	0.316	0.333	0.289
Pendiente	0.160	0.133	0.158	0.250	0.175
Unid. geomorfológicas	0.120	0.067	0.053	0.083	0.081
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Índice de consistencia y relación de consistencia del factor condicionante.

Índice de consistencia	0.016
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.018

Fuente: Elaboración propia

7.3.1.1. Unidad Geológica

7.3.1.1.1. Ponderación de Descriptores del Parámetro Unidades Geológicas

Tabla 18

Clasificación de unidades geológicas.

Parámetro	Descripción
Unidades geológicas	Depósitos coluviales
	Depósitos antropogénicos
	Fm. Kayra
	Fm. San Sebastián
	Depósito proluvial

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Matriz de comparación de pares del parámetro unidades Geológicas.

Descriptor	Depósitos coluviales	Depósitos antropogénicos	Fm. Kayra	Fm. San Sebastián	Depósito proluvial
Depósitos coluviales	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Depósitos antropogénicos	0.50	1.00	2.00	4.00	7.00
Fm. Kayra	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
Fm. San Sebastián	0.20	0.25	0.33	1.00	5.00
Deposito proluvial	0.11	0.14	0.17	0.20	1.00
SUMA	2.14	3.89	6.50	13.20	28.00
1/SUMA	0.47	0.26	0.15	0.08	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Matriz de normalización del parámetro unidades Geológicas.

Descriptor	Depósitos coluviales	Depósitos antropogénicos	Fm. Kayra	Fm. San Sebastián	Depósito proluvial	Depósitos coluviales
Depósitos coluviales	0.466	0.514	0.462	0.379	0.321	0.428
Depósitos antropogénicos	0.233	0.257	0.308	0.303	0.250	0.270
Fm. Kayra	0.155	0.128	0.154	0.227	0.214	0.176
Fm. San Sebastián	0.093	0.064	0.051	0.076	0.179	0.093
Deposito proluvial	0.052	0.037	0.026	0.015	0.036	0.033
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidades Geológicas.

Índice de consistencia	0.050
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.045

Fuente: Elaboración propia

7.3.1.2. Pendientes (°)

7.3.1.2.1. Ponderación de Descriptores del Parámetro Pendientes

Tabla 22

Clasificación del parámetro de pendientes.

Parámetro	Descripción
Pendientes (°)	Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte (>35°)
	Pendiente fuerte (16° - 35°)
	Pendiente moderada (8° - 16°)
	Pendiente baja (4° - 8°)
	Pendiente muy baja (0°-4°)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente.

Descriptores (°)	Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte (>35°)	Pendiente fuerte (16° - 35°)	Pendiente moderada (8° - 16°)	Pendiente baja (4° - 8°)	Pendiente muy baja (0°-4°)
Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte (>35°)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Pendiente fuerte (16° - 35°)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Pendiente moderada (8° - 16°)	0.20	0.33	1.00	3.00	6.00
Pendiente baja (4° - 8°)	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
Pendiente muy baja (0°-4°)	0.11	0.14	0.17	0.50	1.00
Suma	1.79	4.68	9.50	16.50	25.00
1/Suma	0.56	0.21	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

Matriz de normalización del parámetro pendiente.

Descriptor (°)	Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte (>35°)	Pendiente fuerte (16° - 35°)	Pendiente moderada (8° - 16°)	Pendiente baja (4° - 8°)	Pendiente muy baja (0° - 4°)	Vector Priorización
Pendiente muy fuerte o extremadamente fuerte (>35°)	0.560	0.642	0.526	0.424	0.360	0.502
Pendiente fuerte (16° - 35°)	0.187	0.214	0.316	0.303	0.280	0.260
Pendiente moderada (8° - 16°)	0.112	0.071	0.105	0.182	0.240	0.142
Pendiente baja (4° - 8°)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.080	0.060
Pendiente muy baja (0° - 4°)	0.062	0.031	0.018	0.030	0.040	0.036
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro pendiente.

Índice de consistencia	0.095
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.085

Fuente: Elaboración propia

7.3.1.3. Unidad Geomorfológica

7.3.1.3.1. Ponderación de Descriptores del Parámetro Unidades Geomorfológicas

Tabla 26.

Clasificación de unidades geomorfológicas.

Parámetro	Descripción
Unidades geomorfológicas	Vertiente con depósitos de deslizamiento
	Montaña en roca sedimentaria
	Vertiente o piedemonte aluvio lacustre
	Terraza fluvio aluvial
	Cauce de quebrada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Matriz de comparación de pares del parámetro unidad geomorfológica.

Descriptor	Vertiente con depósitos de deslizamiento	Montaña en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio lacustre	Terraza fluvio aluvial	Cauce de quebrada
Vertiente con depósitos de deslizamiento	1.00	3.00	5.00	8.00	9.00
Montaña en roca sedimentaria	0.33	1.00	3.00	6.00	8.00
Vertiente o piedemonte aluvio lacustre	0.20	0.33	1.00	4.00	7.00
Terraza fluvio aluvial	0.13	0.17	0.25	1.00	2.00
Cauce de quebrada	0.11	0.13	0.14	0.50	1.00
Suma	1.77	4.63	9.39	19.50	27.00
1/Suma	0.57	0.22	0.11	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.

Matriz de normalización de pares del parámetro unidad geomorfológica.

Descriptor	Vertiente con depósitos de deslizamiento	Montaña en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio lacustre	Terraza fluvio aluvial	Cauce de quebrada	Vector priorización
Vertiente con depósitos de deslizamiento	0.565	0.649	0.532	0.410	0.333	0.498
Montaña en roca sedimentaria	0.188	0.216	0.319	0.308	0.296	0.266
Vertiente o piedemonte aluvio lacustre	0.113	0.072	0.106	0.205	0.259	0.151
Terraza fluvio aluvial	0.071	0.036	0.027	0.051	0.074	0.052
Cauce de quebrada	0.063	0.027	0.015	0.026	0.037	0.034
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidad geomorfológica.

Índice de consistencia	0.069
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.062

Fuente: Elaboración propia

7.3.1.4. Grado inestabilidad

7.3.1.4.1. Ponderación de Descriptores del Parámetro grado de inestabilidad

Tabla 30.

Clasificación de grado de inestabilidad.

Parámetro	Descripción
Grado de inestabilidad	Muy inestable (0 – 0.7)
	Inestable (0.7 – 1)
	Relativamente estable (1 – 1.3)
	Estable (1.3 – 1.5)
	Muy estable (>1.5)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Matriz de comparación de pares del parámetro unidad grado de inestabilidad.

Descriptores	Muy inestable (0 – 0.7)	Inestable (0.7 – 1)	Relativamente estable (1 – 1.3)	Estable (1.3 – 1.5)	Muy estable (>1.5)
Muy inestable (0 – 0.7)	1.00	2.00	4.00	7.00	9.00
Inestable (0.7 – 1)	0.50	1.00	3.00	5.00	8.00
Relativamente estable (1-1.3)	0.25	0.33	1.00	2.00	5.00
Estable (1.3 – 1.5)	0.14	0.20	0.50	1.00	3.00
Muy estable (>1.5)	0.11	0.13	0.20	0.33	1.00
Suma	2.00	3.66	8.70	15.33	26.00
1/Suma	0.50	0.27	0.11	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32.

Matriz de normalización de pares del parámetro unidad grado de inestabilidad.

Descriptorios	Muy inestable (0 – 0.7)	Inestable (0.7 – 1)	Relativamente estable (1 – 1.3)	Estable (1.3 – 1.5)	Muy estable (>1.5)	Vector priorización
Muy inestable (0 – 0.7)	0.499	0.547	0.460	0.457	0.346	0.462
Inestable (0.7 – 1)	0.250	0.273	0.345	0.326	0.308	0.300
Relativamente estable (1-1.3)	0.125	0.091	0.115	0.130	0.192	0.131
Estable (1.3 – 1.5)	0.071	0.055	0.057	0.065	0.115	0.073
Muy estable (>1.5)	0.055	0.034	0.023	0.022	0.038	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidad grado de inestabilidad.

Índice de consistencia	0.029
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.026

Fuente: Elaboración propia

7.3.2. Factores desencadenantes

7.3.2.1. Umbrales de precipitación

Se consideró un solo parámetro general relacionado a los umbrales altos de precipitación acumulada en 24 horas o eventos extraordinarios que podrían desencadenar el peligro por deslizamiento (por lo cual el peso ponderado de dicho parámetro es 1). En la Tabla 34 al 37 se observan los descriptorios de los umbrales de precipitación.

Tabla 34.

Clasificación de umbrales de precipitación.

Parámetro	Descripción
Umbrales de Precipitación	Extremadamente lluvioso $RR > 26,7\text{mm}$
	Muy lluvioso $16,5\text{mm} < RR \leq 26.7\text{mm}$
	Lluvioso $12,5\text{mm} < RR \leq 16,5\text{mm}$

Moderadamente lluvioso $6,8\text{mm} < \text{RR} \leq 12,5\text{mm}$

Escasamente lluvioso $\text{RR} \leq 6,8\text{mm}$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35.

Matriz de comparación de pares de los descriptores del parámetro umbrales de precipitación.

Descriptores	Extremadamente lluvioso	Muy lluvioso	Lluvioso	Moderadamente lluvioso	Escasamente lluvioso
Extremadamente lluvioso	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Muy lluvioso	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Lluvioso	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Moderadamente lluvioso	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Escasamente lluvioso	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36.

Matriz de normalización de los descriptores del parámetro umbrales de precipitación.

Descriptores	Extremadamente lluvioso	Muy lluvioso	Lluvioso	Moderadamente lluvioso	Escasamente lluvioso	Vector priorización
Extremadamente lluvioso	0.56	0.642	0.524	0.429	0.36	0.503
Muy lluvioso	0.187	0.214	0.315	0.306	0.28	0.26
Lluvioso	0.112	0.071	0.105	0.184	0.2	0.134
Moderadamente lluvioso	0.08	0.043	0.035	0.061	0.12	0.068
Escasamente lluvioso	0.062	0.031	0.021	0.02	0.04	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

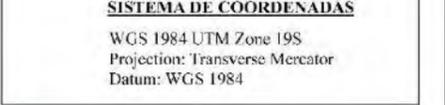
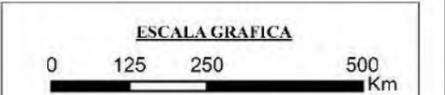
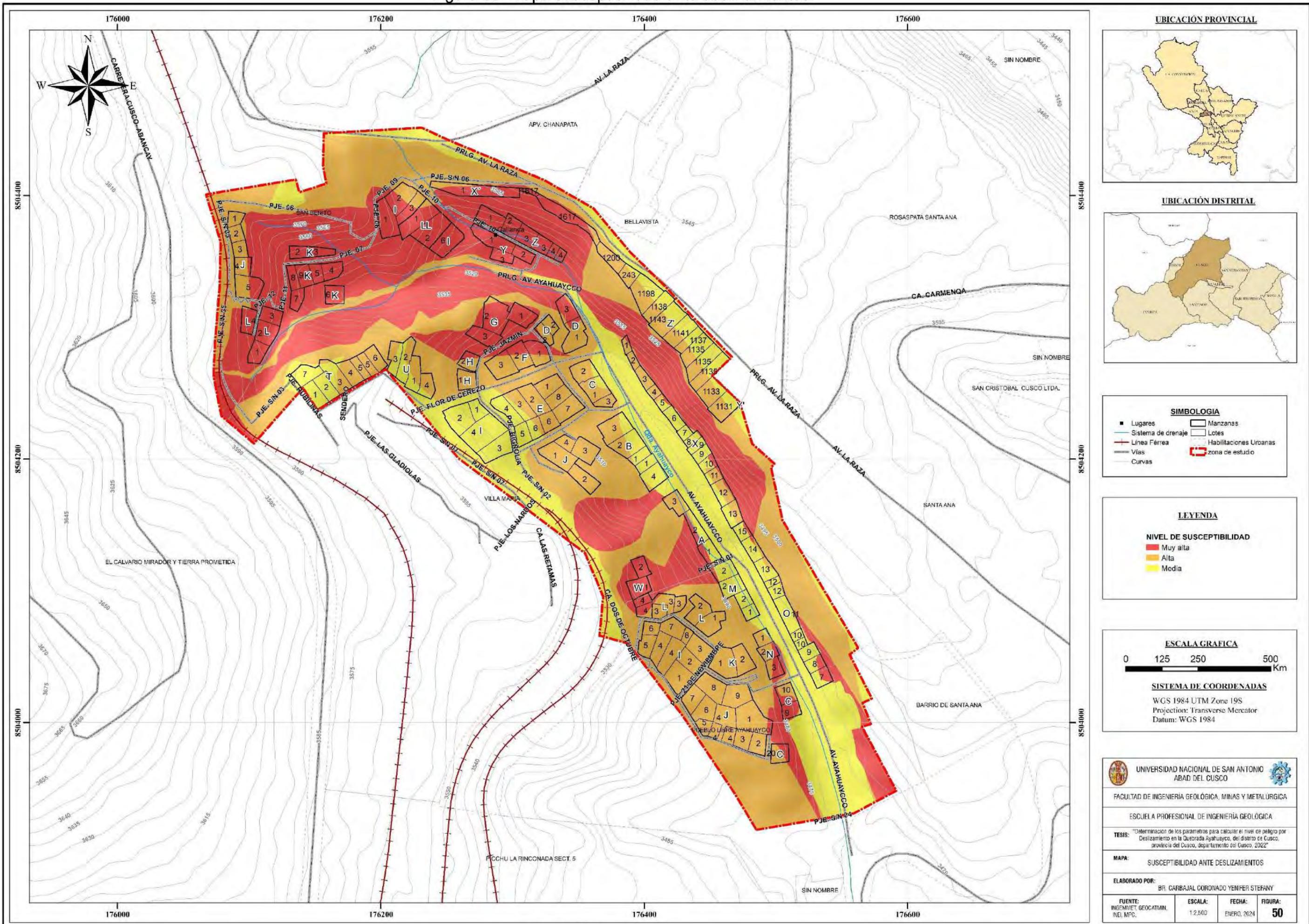
Tabla 37.

Índice de consistencia y relación de consistencia de los descriptores del parámetro de evaluación.

Índice de consistencia	0.061
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.054

Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Mapa susceptibilidad ante deslizamientos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por Deslizamiento en la Quebrada Ayahuaycco, del distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco, 2022"

MAPA: SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS

ELABORADO POR: BR. CARBAJAL CORONADO YENIFER STEFANY

FUENTE: INGENIET, GEOCATMIN, INEL, MPC. ESCALA: 1:2.500 FECHA: ENERO, 2024 FIGURA: 50

Fuente: Elaboración propia.

7.4. PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Se determinó como parámetros de evaluación a los volúmenes de los deslizamientos y a la velocidad.

7.4.1. Descriptores del parámetro de evaluación– Volumen de deslizamiento.

Los volúmenes de los deslizamientos se hicieron en base a lo observado en campo y a la estabilidad de taludes que nos da la profundidad de los deslizamientos, con los resultados del volumen se derivó los 5 descriptores para su respectivo análisis jerárquico. (ver Tabla 38 al 41).

Tabla 38.

Descriptores de volumen de deslizamientos.

Parámetro	Descripción
Volumen de deslizamiento	Grande (>15000 m3)
	Mediano (10000 - 15000m3)
	Pequeño (5000-10000 m3)
	Muy pequeño (500-5000 m3)
	Extremadamente pequeño (<500m3)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.

Matriz de comparación de pares del parámetro de volumen de deslizamientos.

Descriptor	Grande	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Extremadamente pequeño
Grande	1.00	2.00	4.00	7.00	9.00
Mediano	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
Pequeño	0.25	0.33	1.00	2.00	4.00
Muy pequeño	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
Extremadamente pequeño	0.11	0.14	0.25	0.50	1.00
SUMA	2.00	3.68	8.75	15.50	23.00
1/SUMA	0.50	0.27	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40.

Matriz de normalización del parámetro de evaluación volumen de deslizamientos.

Descriptor	Grande	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Extremadamente pequeño	Vector de Priorización
Grande	0.499	0.544	0.457	0.452	0.391	0.469
Mediano	0.250	0.272	0.343	0.323	0.304	0.298
Pequeño	0.125	0.091	0.114	0.129	0.174	0.127
Muy pequeño	0.071	0.054	0.057	0.065	0.087	0.067
Extremadamente pequeño	0.055	0.039	0.029	0.032	0.043	0.040
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41.

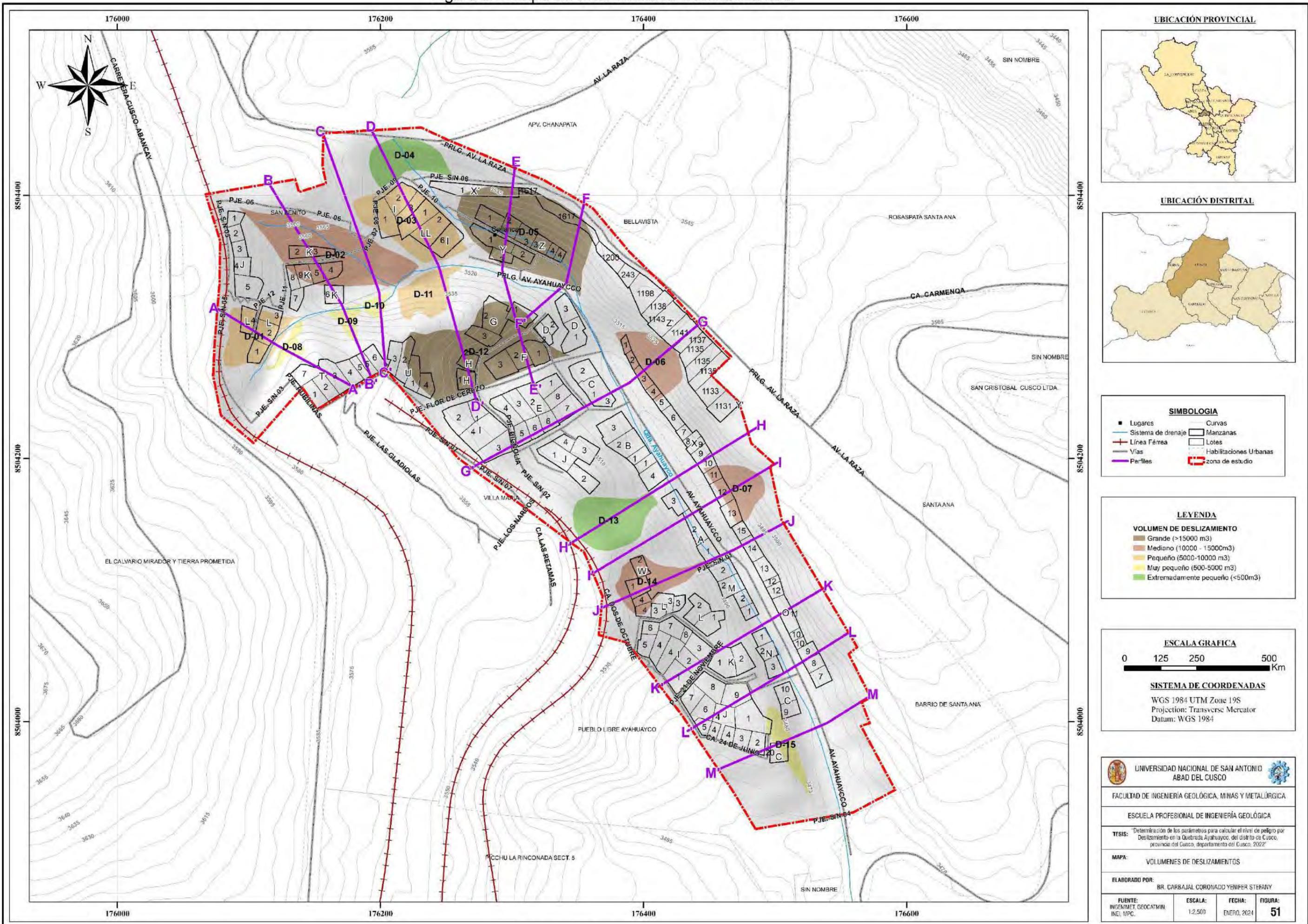
Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación volumen de deslizamientos.

Índice de consistencia	0.015
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.013

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 51 se muestra el mapa de volúmenes elaborado para la zona de estudio el cual ha sido clasificado en desde extremadamente pequeño hasta grande.

Figura 51. Mapa de volúmenes de deslizamientos.



Fuente: Elaboración propia.

7.4.2. Descriptores del parámetro de evaluación– Velocidad de deslizamiento.

La velocidad del deslizamiento tiene una gran influencia en el poder destructivo de un deslizamiento, el movimiento es lento al principio y la velocidad puede aumentar gradual o instantáneamente de acuerdo al tipo de movimiento. Los deslizamientos pueden ser desde extremadamente lentos hasta rápidos (Cruden, Varnes – 1996).

Generalmente los deslizamientos rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia con muchos daños, muchos muertos y con muy poca probabilidad de escapar. Por otro lado, los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentación por lo que representan un peligro bajo para la pérdida de vidas humanas, económicas y ambientales.

En la zona de estudio se clasificó a los deslizamientos identificados como extremadamente lentos debido a que no ha sido posible ver un movimiento todo el tiempo que se ha realizado la investigación. En la Tabla 42 al 45 se observa el proceso de análisis jerárquico con sus respectivos descriptores.

Tabla 42.

Descriptores de velocidad de deslizamientos.

Parámetro	Descripción
Velocidad de deslizamiento	Rápido
	Moderado
	Lento
	Muy lento
	Extremadamente lento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43.

Matriz de comparación de pares del parámetro de velocidad de deslizamientos.

DESCRIPTOR	Rápido	Moderado	Lento	Muy lento	Extremadamente lento
Rápido	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Moderado	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Lento	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Muy lento	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00

“Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por Deslizamiento en la Quebrada Ayahuayco, del distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco, 2022”

Extremadamente lento	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

Matriz de normalización del parámetro de evaluación velocidad de deslizamientos.

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPTOR	Rápido	Moderado	Lento	Muy lento	Extremadamente lento	Vector de Priorización
Rápido	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Moderado	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Lento	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Muy lento	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Extremadamente lento	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación velocidad de deslizamientos.

Índice de consistencia	0.099
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.088

Fuente: Elaboración propia

7.5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Se identificaron como elementos expuestos en la zona de estudio la población, viviendas, infraestructura eléctrica, desagüe, agua y vías de comunicación. En la Figura 53 se muestra el mapa de peligros por elementos expuestos.

7.5.1. Población

Los datos de la población se obtuvieron mediante una base gráfica de la Municipalidad Provincial del Cusco, en la zona de estudio se cuenta con 970 habitantes.

7.5.2. Vivienda

En la zona de estudio existen 165 lotes, las cuales se encuentran distribuidas en 33 manzanas.

7.5.3. Infraestructura de energía eléctrica

En la zona de estudio se tienen 91 unidades de alumbrado público con tendido eléctrico (ver Tabla 46).

Tabla 46.

Infraestructura de energía y electricidad.

Elementos energía y electricidad	Cantidad	Tipo de material
Postes	91 unidad	Concreto

Fuente: Elaboración propia

7.5.4. Red de agua y desagüe

Para la red de agua se tienen 2811.04 metros de tendido de tubería de agua y para el desagüe 2338.01 metros de tendido de tubería de desagüe con 49 buzones (ver Tabla 47).

Tabla 47.

Servicio de agua y desagüe.

Servicios de agua y desagüe	Cantidad
Red de agua	2811.04 metros
Red de desagüe	2338.01 metros
Buzones	49 unid.

Fuente: Elaboración propia

7.5.5. Vías

En la zona de estudio se identificó las vías existentes. Entre vías asfaltadas y vías sin asfalto se tiene un total de 2890.14m.

7.5.6. Línea férrea

También se identificó como elemento expuesto la línea férrea en la zona de estudio, la cual tiene una longitud total de 439.97 m.

7.6. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Para la presente investigación se definió como escenario para la ocurrencia de peligro por deslizamientos un evento de precipitaciones máxima diaria de 25.7 mm que ocurrió el mes de febrero del año 2010. Este evento corresponde a la categoría de Muy lluvioso con umbrales de precipitación entre $16,5\text{mm} < \text{RR} \leq 26.7\text{mm}$ con percentil entre $95\text{p} < \text{RR}/\text{día} \leq 99\text{p}$. Con estas precipitaciones se generarán deslizamientos especialmente en depósitos coluviales, en geomorfología con vertientes de depósitos de deslizamiento, en taludes muy inestables con Factor de Seguridad menor a 1 ($\text{FS} < 1$) y con pendientes mayores a 35° el cual nos dará volúmenes de deslizamiento mayor a 15000 m³ generando zonas de peligro muy alto.

7.7. DEFINICIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO

En la Tabla 48 se muestran los niveles de peligro con sus respectivos rangos que han sido obtenidos a través del proceso de análisis jerárquico y en la Tabla 49 se observa la estratificación del nivel de peligrosidad de la quebrada Ayahuayco. Así mismo en la Figura 52 se muestra el mapa de peligro por deslizamiento de la zona de estudio.

Tabla 48.

Niveles de peligro.

Nivel	Rango
Muy alto	$0.279 < P \leq 0.474$
Alto	$0.141 < P \leq 0.279$
Medio	$0.070 < P \leq 0.141$
Bajo	$0.036 \leq P \leq 0.070$

Fuente: Elaboración propia.

7.7.1. Estratificación del nivel de peligrosidad

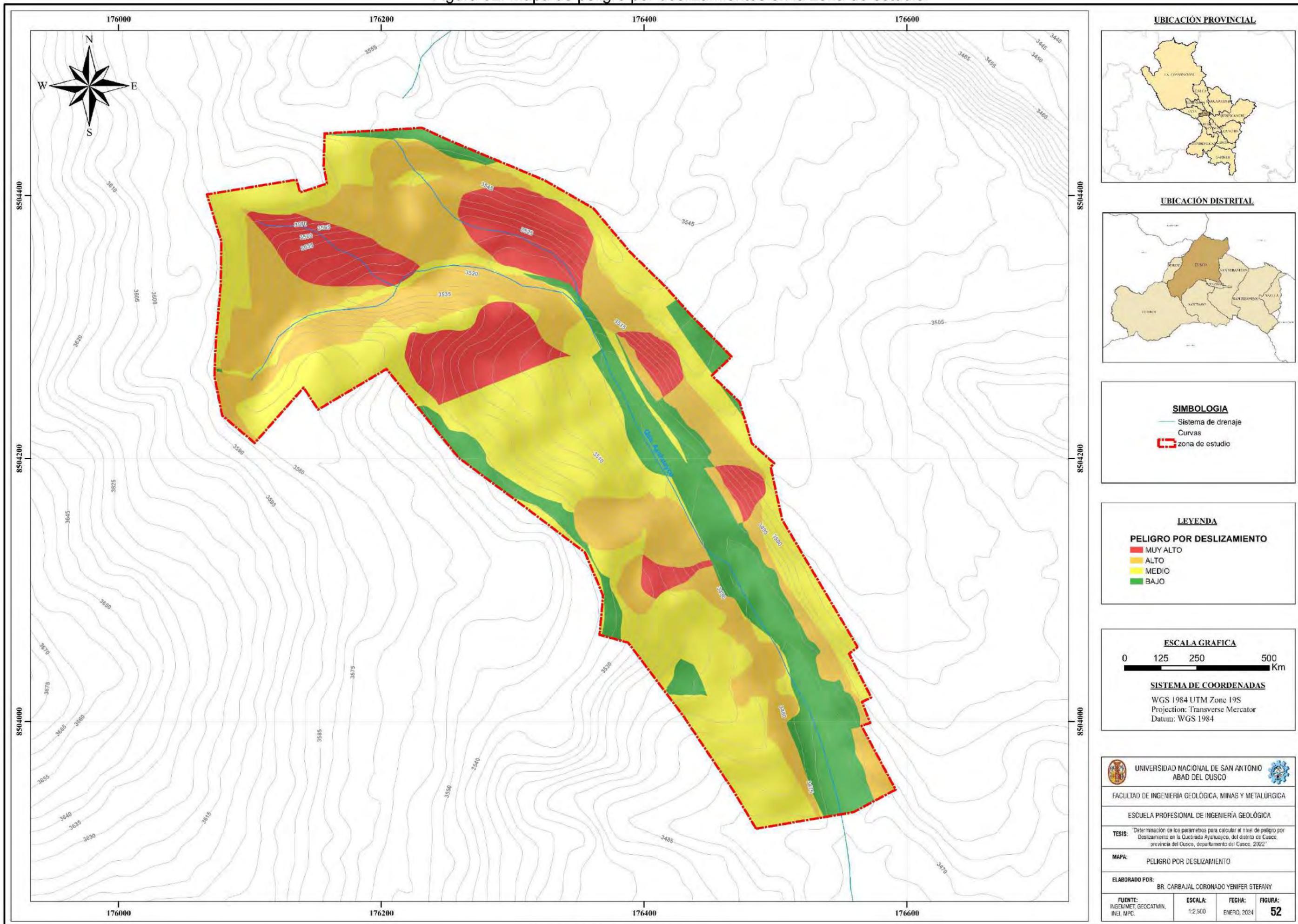
Tabla 49.

Estrato nivel de peligros.

Niveles de Peligro	Descripción	Rango
Muy alto	Zonas con predominancia de vertientes con depósitos de deslizamientos, compuestos predominantemente por depósitos coluviales y emplazados en pendientes mayores a 35°. Ppmax 24h de 25.7 mm (Feb., 2010), correspondiente a la categoría muy lluvioso con umbrales de precipitación entre 16,5mm<RR≤26.7mm con percentil entre 95p<RR/día≤99p, se generaría deslizamientos en taludes muy inestables con un FS entre 0 – 0.7. con volúmenes grandes y velocidad rápida.	0.279<P≤0.474
Alto	Zonas con predominancia de montaña en roca sedimentaria, compuestos predominantemente por depósitos antropogénicos. Son zonas con pendientes fuertes de 16° a 35°, desencadenados por precipitaciones definidas en base a las Ppmax 24h de 25.7 mm (Feb., 2010), correspondiente a la categoría de Muy lluvioso con umbrales de precipitación entre 16,5mm<RR≤26.7mm con percentil entre 95p<RR/día≤99p, se generaría deslizamientos en depósitos coluviales y taludes inestables con un FS entre 0.7 – 1 con volúmenes medianos y velocidad moderada.	0.141<P≤0.279
Medio	Zonas con predominancia de areniscas y lutitas de la Fm. Kayra (Peo-ky), geomorfológicamente esta zona corresponde a vertientes o piedemonte aluvio lacustre, presenta pendientes moderadas entre 8° a 16°, desencadenados por precipitaciones definidas en base a las Ppmax 24h de 25.7 mm (Feb., 2010), correspondiente a la categoría de Muy lluvioso con umbrales de precipitación entre 16,5mm<RR≤26.7mm con percentil entre 95p<RR/día≤99p, se generaría deslizamientos en materiales de lutitas y areniscas con taludes relativamente estables con un FS entre 1-1.3 con volúmenes pequeños y velocidad lenta.	0.070<P≤0.141
Bajo	Zonas con predominancia de terrazas fluvio aluviales y cauce de quebrada, compuestos por arenas, limos, arcillas, conglomerados y depósitos proluviales, predominan las pendientes menores a 8°, desencadenados por precipitaciones definidas en base a las Ppmax 24h de 25.7 mm (Feb., 2010), correspondiente a la categoría de Muy lluvioso con umbrales de precipitación entre 16,5mm<RR≤26.7mm con percentil entre 95p<RR/día≤99p, se generaría deslizamientos en taludes con un FS mayor a 1.3 con volúmenes muy pequeños a extremadamente pequeños y velocidades muy lentas a extremadamente lentas.	0.036≤P≤0.070

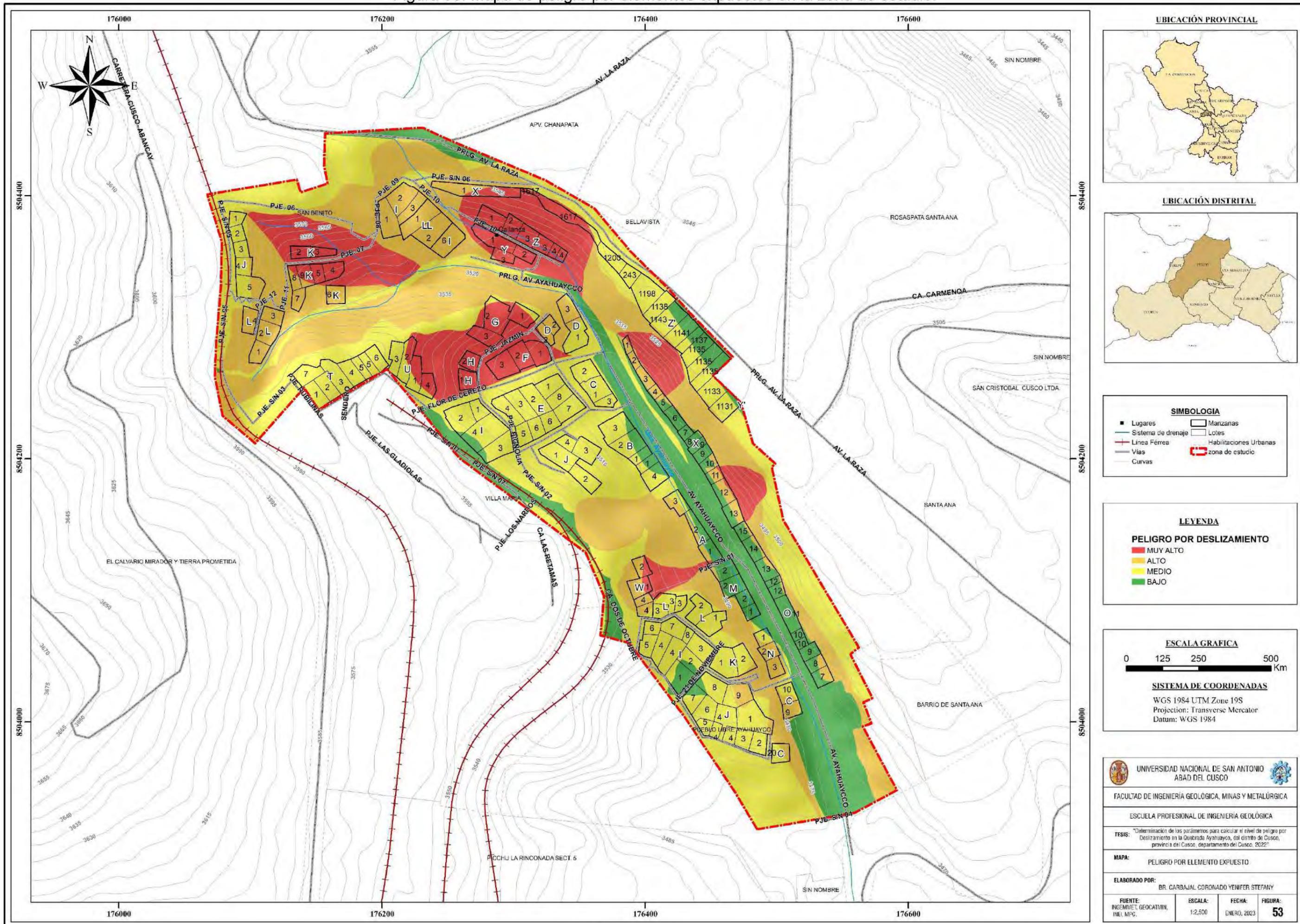
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Mapa de peligro por deslizamientos en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Mapa de peligro por elementos expuestos en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

7.8. NIVEL PELIGRO POR VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO

En la zona de estudio se ha determinado el nivel de peligro de acuerdo al volumen de deslizamiento el cual se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50.

Nivel de peligro por volumen de deslizamientos

Deslizamientos	Volumen m³	Nivel de peligro
D-01	6808.56	Alto
D-02	12648.97	Muy alto
D-03	6121.15	Alto
D-04	3352.93	Alto
D-05	38679.63	Muy alto
D-06	14908.07	Muy alto
D-07	12765.43	Muy alto
D-08	1568.88	Alto
D-09	1307.78	Alto
D-10	535.63	Alto
D-11	6844.31	Alto
D-12	16488.79	Muy alto
D-13	1141.43	Alto
D-14	12104.00	Muy alto
D-15	2032.52	Alto

Fuente: Elaboración propia

7.9. NIVEL PELIGRO IDENTIFICADO POR CADA ELEMENTO EXPUESTO

Se determinó el peligro para cada elemento expuesto identificado en la zona de estudio, el cual es descrito a continuación con su respectivo nivel de peligro (ver Tabla 51 al 58).

Tabla 51.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Habitantes.

HABITANTES	
Nivel peligro	Habitantes
Muy alto	249
Alto	319
Medio	368
Bajo	34
Total	970

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Lotes

LOTES	
Nivel peligro	Lotes
Muy alto	44
Alto	54
Medio	76
Bajo	12
Total	186

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Postes.

POSTES DE ALUMBRADO PUBLICO	
Nivel peligro	Postes
Muy alto	8
Alto	13
Medio	42
Bajo	28
Total	91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Buzones

BUZONES	
Nivel peligro	Buzones
Muy alto	2
Alto	18
Medio	20
Bajo	9
Total	49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Vías

VIAS	
Nivel peligro	Longitud
Muy alto	323.98
Alto	499.97
Medio	1277.83
Bajo	788.37
Total	2890.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Red de desagüe

RED DE DESAGUE	
Nivel peligro	Longitud
Muy alto	196.31
Alto	652.84
Medio	914.68
Bajo	574.19
Total	2338.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Red de agua

RED DE AGUA	
Nivel peligro	Longitud
Muy alto	337.35
Alto	575.83
Medio	1148.34
Bajo	749.52
Total	2811.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58.

Nivel de peligro para elemento expuesto: Línea férrea

LINEA FERREA	
Nivel peligro	Longitud
Alto	58.61
Medio	158.65
Bajo	222.70
Total	439.97

Fuente: Elaboración propia

7.10. PROPUESTA DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES:

Para la zona de estudio se propone las siguientes medidas de estabilización de acuerdo a cada deslizamiento.

- **Deslizamiento D-01:**

Este deslizamiento se encuentra en un peligro alto por lo cual se recomienda el uso de geo mantas para el control de la erosión en el talud.

- **Deslizamiento D-02:**

El deslizamiento está en un peligro muy alto, se recomienda el uso de geo mantas de control erosional para proteger la superficie del talud, así mismo se podría realizar el perfilado de la

superficie del talud con la finalidad de remover el material irregular en la superficie y de esta manera mantener una pendiente uniforme.

- **Deslizamiento D-03:**

Se encuentra en un peligro alto, se sugiere la construcción de muros de contención de concreto armado, realizar el perfilado de la superficie del talud con intención de remover algunas irregularidades en la superficie que no permiten una pendiente uniforme.

- **Deslizamiento D-04:**

Este deslizamiento a la actualidad presenta un muro de contención, pero se sugiere controlar las futuras construcciones en alrededores y cuidar la vegetación existente en la zona.

- **Deslizamiento D-05, D-06, D-07**

Su nivel de peligro es muy alto por lo que se recomienda el uso de geo mantas de control erosional, también se puede realizar el perfilado de la superficie del talud o realizar una conformación del terreno.

- **Deslizamiento D-08, D-09, D-10, D-11:**

Presentan un nivel de peligro alto, se plantea recubrir el deslizamiento con geo mantas de control erosional, a pesar de que hay la existencia de geo mantas, pero esta no es suficiente.

- **Deslizamiento D-12:**

Deslizamiento que presenta un peligro muy alto, se propone la construcción de muros de contención de concreto armado.

- **Deslizamiento D-13:**

Se encuentra en un peligro alto, este deslizamiento actualmente se encuentra cubierta con geo mantas y gaviones.

- **Deslizamiento D-14:**

El deslizamiento presenta peligro de alto a muy alto, se recomienda la construcción de muros de contención de muros de contención de concreto armado.

- **Deslizamiento D-15:**

Para este deslizamiento se propone la construcción de un muro de contención.

De manera general se propone el mantenimiento del canal de evacuación de aguas pluviales y se plantea la siembra de plantas en los deslizamientos debido a que estas ayudan en la estabilidad de taludes.

CONCLUSIONES

1. Los parámetros de evaluación son los volúmenes y la velocidad de los deslizamientos, se identificaron deslizamientos con volúmenes mayores a 15000 m^3 (D-5 y D-12), entre 10000 y 15000 m^3 (D-2, D-6, D-7 y D-14), entre 5000 y 10000 m^3 (D-1, D-3 y D-11), y entre 500 y 5000 m^3 (D-8, D-9, D-10 y D-15). En cuanto a la velocidad, todos los deslizamientos se consideraron extremadamente lentos debido a que el movimiento es imperceptible.
2. Los factores condicionantes en la quebrada Ayahuayco incluyen el grado de inestabilidad, las unidades geológicas, las pendientes y las unidades geomorfológicas. Entre ellos, el grado de inestabilidad es el más influyente, seguido por las unidades geológicas, la pendiente del terreno y las unidades geomorfológicas.
3. El factor desencadenante se estableció utilizando umbrales de precipitación de la estación Kayra, donde se registraron valores de 25.7 mm en el año 2010, clasificados como muy lluviosos (en el rango de $16.5 \text{ mm} < RR \leq 26.7 \text{ mm}$).
4. Los niveles de peligro para cada elemento expuesto fueron clasificados como muy alto, alto, medio y bajo. Así, los habitantes, los lotes, las vías, las redes de agua y desagüe están mayormente expuestos a peligros de nivel alto y muy alto. Estos resultados son fundamentales para implementar medidas de prevención y proteger tanto a la población como a la infraestructura.
5. Los parámetros del nivel de peligro muy alto varían entre los valores de 0.279 y 0.474 , abarcando el 15% (1.77 ha) de la zona de estudio. En el rango alto, varía de 0.141 a 0.279 , cubriendo el 30% (3.42 ha). El nivel medio varía entre 0.070 y 0.141 , abarcando el 39% (4.55 ha) de la zona de estudio. Finalmente, en el rango de peligro bajo, va de 0.036 a 0.070 , cubriendo el 16% (1.86 ha).

6. Las conclusiones anteriores confirman la hipótesis planteada, ya que el nivel de peligro, tanto muy alto como alto, abarcan un total de 5.19 Ha, representando el 45% de la zona de estudio. En estas áreas, residen 568 personas (59%) y se encuentran 101 lotes (61%) en peligro alto y muy alto ante deslizamientos.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta las medidas de estabilización de taludes propuestas para los deslizamientos de la quebrada Ayahuayco con el fin de disminuir el peligro.
2. Realizar monitoreos a los deslizamientos presentes en la quebrada Ayahuayco como medidas preventivas.
3. Capacitar mediante charlas a los dueños de las viviendas identificadas en peligro alto y muy alto para que conozcan los peligros existentes en su entorno.
4. Proporcionar los resultados de la investigación a los tres niveles de gobierno, así como también a las entidades encargadas de los temas de la gestión de riesgos de desastres para que la presente investigación sea tomada en cuenta en la toma de decisiones con respecto a futuras investigaciones que se realizarán en la zona de estudio.
5. Informar sobre las normativas de una construcción segura en zonas de taludes o laderas, así mismo los habitantes de la zona de estudio deben recibir asesorías de los peligros que se pueden desencadenar al realizar cortes de taludes, esto con el fin de evitar la autoconstrucción y la modificación natural de los taludes o laderas

BIBLIOGRAFÍA:

Alfaro, L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. Lima.

ASTM International. (2007). Metodo de prueba estándar ASTM D422 para análisis del tamaño de partículas.

Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50000 INGEMMET, Boletín, Serie A.

Carrillo, R. (2015). Evaluación de zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, aplicando el protocolo de CENEPRED. Tesis de grado Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Piura.

CENEPRED (2014), Manual Para La Evaluación De Riesgos Originados Por Fenómenos Naturales, 2da Versión. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – Dirección de Gestión de Procesos, 2014.

CENEPRED (s.f.). Lineamientos para la elaboración del informe de evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura educativa.

Cruden, D.M., Varnes D. J. (1996). “Landslide Types and Processes”. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247, National Academy Press, Washington D. C., pp 36-75.

Custodio & Llamas., (1983). Hidrología subterránea, Barcelona.

Del Catillo & Solano. (2021). Estabilización de suelos con uso de aditivos químicos del camino vecinal Pampas de Cochaya, Olaya – Mache – Otuzco..

Geotécnia facil. (s.f.). Geotécnia facil. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-corte-directo/>

Geotest. (2019). Estudio de mecánica de suelos para evaluación de taludes Ayahuayco - Camino Inca.

Gonzales de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid España: Prentice Hall.

Guevara. (s.f.). Geodinámica externa.

Hernández et al. (2014). Metodología de la investigación. Mexico: Mc Graw Hill Education.

INGEMMET. (2020). Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco. Cusco.

Leoni. (s.f.). Propiedades físicas de los suelos.

Medina, L., Nuñez, M., Vilchez, M., Peña, F., Gómez, H. y Sosa, N. (2021). Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco INGEMMET.

Municipalidad Provincial del Cusco: Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia del Cusco 2013-2023.

Municipalidad Provincial del Cusco: Informe de evaluación del riesgo de desastres por deslizamiento en la zona de reglamentación especial Cusco 07 – Sector Ayahuayco.

Rodríguez et al. (2018). Parque Nacional de Monfragüe. Guía geológica. España.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill Book Co: N.Y.

Sambrano, A. (2017). Evaluación del peligro de deslizamiento de suelos de la residencial magisterial de la ciudad de Chachapoyas. Tesis de grado Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Sanchez, M. (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. Simposio Latinoamericano de control de erosión. Colombia.

Suarez J. (2009), Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico

Torntwaite, C. (1931). The Climates of North America According to a New Classification. American Geographical Society. Geographical Review.

Unu Kamachiq. (2018). Servicio de estudio hidrológico e hidrogeológico en quebrada priorizada de Ayahuayco de las zonas de reglamentación especial del área urbana de la provincia de Cusco.

Vilchez et al. (2013). Estudio de riesgo geológico en la región Piura. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

Villota. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Colombia.

Washington D.C.: Landslides investigation and mitigation: Washington D.C. national Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.

Zuidam, V. (1986). Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping: Hague, Netherlands, Smits.

WEBGRAFÍA

https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOTER/Soter_Model.html

<http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigrid>

<https://www.geospatialworld.net/article/using-gis-rs-for-soil-erosion-mapping/>

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157802/Que-es-la-Geotecnia.pdf>

https://www.igme.es/librose/guiasgeo/monfrague_sp/28/

<http://igp.gob.pe>

<http://www.ingemmet.gob.pe/carta-geologica-nacional>.

