UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO – 2023

PRESENTADO POR:

BR. JONATHAN DANIEL BENITO PEREZ

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

ASESORA:

DRA. JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesistitulada: "EVALUACION DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLOGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO-2023"

Presentado por: JONATHAN DANIEL BENITO PEREZ DNI N° 72539417

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

.....

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 10 **%.**

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

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

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 03 de setiembre de 2025

.....

Firma

Post firma Josefina Escalante Gutiérrez

Nro. de DNI 23809533

ORCID del Asesor Nro. 0000-0001-9359-0481

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:490391858

Jonathan Benito

Evaluación de los niveles de Peligro y Vulnerabilidad para determinar los niveles de Riesgo Geológico

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:490391858

Fecha de entrega
2 sep 2025, 11:08 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
2 sep 2025, 11:19 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
Tesis Benito, Jonathan.pdf

Tamaño del archivo
15.9 MB

279 páginas

51.938 palabras

303.539 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

0% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
39 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres, Daniel y María Elena, por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis hermanos Mijaíl y Paola, con la esperanza de que vean en este logro un ejemplo de que todo esfuerzo vale la pena.

A Lys, por estar a mi lado en los momentos más desafiantes, por su apoyo y amor incondicional, su paciencia y su fe en mí cuando más lo necesitaba.

A mis abuelos, cuyo recuerdo vive en mí y me inspira a ser mejor cada día. Este logro es también un homenaje a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Jorge Henry Cuenca Sánchez, a quien recuerdo con profundo respeto y gratitud. Su guía en las etapas iniciales de este trabajo fue valiosa e inspiradora, y su partida dejó una huella que llevo con mucho cariño.

A mi asesora de tesis, Dr. Josefina Escalante Gutiérrez, por su compromiso, orientación y apoyo durante el desarrollo de esta tesis. Su acompañamiento ha sido clave para concretar este trabajo.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por compartir sus conocimientos y enseñanzas, que han sido fundamentales en mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros del código 2015-II, por su apoyo, compañía y por cada momento compartido que hizo este camino universitario más llevadero.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de peligro y vulnerabilidad para determinar los niveles de riesgo ante movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco.

La metodología de investigación tiene un enfoque mixto, método inductivo hipotético deductivo, nivel correlacional y diseño transversal.

La quebrada Hatun Huayco es susceptible a la ocurrencia de flujo de detritos, deslizamientos y caídas que pueden causar daños a los 766 predios ubicados en el área de influencia, motivo por el cual se decidió utilizar la metodología propuesta en el "Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales" del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Con este propósito, se llevaron a cabo actividades de pre-campo y campo para determinar las características del terreno y de los predios. Posteriormente, en pos-campo la información recopilada fue evaluada y digitalizada. Los datos obtenidos sirvieron para la evaluación de los niveles de peligro y vulnerabilidad, para luego determinar los niveles de riesgo asociados a dichos predios.

Finalmente, del análisis de síntesis de niveles de peligro se obtuvo como resultado que los niveles de peligro muy alto ocupan el 40% del área total, equivalente a 45.93 ha. Los niveles de peligro alto abarcan un 37% del área (42.96 ha). Los niveles de peligro medio ocupan un 21% del área (24.58 ha). Los niveles de peligro bajo ocupan un 1% del área (1.36 ha). Estos resultados evidencian una alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco.

Palabras clave: Peligro, vulnerabilidad, riesgo, movimientos en masa

ABSTRACT

This research aims to assess hazard and vulnerability levels to determine the risk levels for landslides in the Hatun Huayco Ravine.

The research methodology uses a mixed approach, a hypothetical-deductive inductive method, a correlational level, and a cross-sectional design.

The Hatun Huayco Ravine is susceptible to debris flows, landslides, and falls that can cause damage to the 766 properties located in its area of influence. For this reason, it was decided to use the methodology proposed in the "Manual for the Assessment of Risks Caused by Natural Phenomena" of the National Center for Disaster Risk Assessment, Prevention, and Reduction. For this purpose, pre-field and field activities were carried out to determine the characteristics of the terrain and the properties. Subsequently, the collected information was evaluated and digitized in the post-field. The data obtained was used to assess the hazard and vulnerability levels and subsequently determine the risk levels associated with these properties.

Finally, the analysis of hazard levels showed that very high hazard levels occupy 40% of the total area, equivalent to 45.93 ha. High hazard levels cover 37% of the area (42.96 ha). Medium hazard levels occupy 21% of the area (24.58 ha). Low hazard levels occupy 1% of the area (1.36 ha). These results demonstrate a high susceptibility to landslides in the Hatun Huayco ravine.

Keywords: Hazard, vulnerability, risk, mass movements

INTRODUCCIÓN

Los peligros geológicos por movimientos en masa son considerados como procesos de origen natural que afectan en distinto grado a los elementos expuestos como las poblaciones, vías de comunicación, infraestructura hidráulica, entre otros, lo que genera altos costos en trabajos de recuperación de las áreas afectadas, también puede causar pérdidas de vidas humanas y económicas; así mismo, la interrupción de las actividades socioeconómicas y comerciales; por esta razón, es muy importante su reconocimiento y evaluación.

La quebrada Hatun Huayco ubicada en el distrito de Saylla, provincia y departamento de Cusco, es una quebrada que constantemente presenta ocurrencias de movimientos en masa como flujos de detritos, deslizamientos y caídas, debido a sus características geomorfológicas, geológicas, estructurales, hidrológicas, hidrogeologías y climáticas. Estos movimientos en masa constituyen peligros que han ocasionado desastres en el pasado, y actualmente afectan constantemente en diferentes grados a elementos vulnerables de la población, vías de comunicación, infraestructuras y a la economía, por lo que es importante su evaluación.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de peligro y vulnerabilidad para determinar los niveles de riesgo ante movimientos en masa como flujo de detritos, deslizamientos y caídas en la quebrada Hatun Huayco, utilizando una metodología de investigación con un enfoque mixto, método inductivo hipotético deductivo, nivel correlacional y diseño transversal.

Esta investigación contribuye al conocimiento de las características geomorfológicas, geológicas, estructurales, hidrológicas, hidrogeologías y climáticas del área de la quebrada Hatun Huayco, y su relación con el origen de los movimientos en masa para poder determinar los niveles de peligro. También se analizan las características de los elementos expuestos de la población aledaña para determinar los niveles de vulnerabilidad que presentan; y finalmente se determinan los niveles de riesgo geológico. Este conocimiento permitirá proponer acciones de prevención y mitigación ante los peligros geológicos, además esta información puede constituir la base para el ordenamiento territorial y el desarrollo sostenible del distrito de Saylla.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES 1
1.1. Ubicación 1
1.1.1. Ubicación política *1*
1.1.2. Ubicación geográfica *1*
1.2. Vía de acceso 1
1.3. Planteamiento del problema 3
1.3.1. Descripción del problema *3*
1.3.2. Formulación del problema *3*
1.3.2.1 Problema general 3
1.3.2.2 Problemas específicos. 4
1.4. Justificación 4
1.5. Objetivos de la investigación 5
1.5.1. Objetivo general *5*
1.5.2. Objetivos específicos *5*
1.6. Marco teórico-conceptual 5
1.6.1. Antecedentes de la investigación *5*
1.6.1.1 Antecedentes internacionales 5
1.6.1.2 Antecedentes nacionales 7
1.6.1.3 Antecedentes regionales 7
1.6.1.4 Antecedentes locales 9
1.6.2. Marco conceptual *12*
1.6.2.1 Movimientos en masa 12
1.6.2.2 Clasificación de los movimientos en masa 12
1.6.2.3 Quebradas 21
1.6.2.4 Peligro 21
1.6.2.5 Determinación de peligros 21
1.6.2.6 Vulnerabilidad 22
1.6.2.7 Análisis de la vulnerabilidad 22
1.6.2.8 Riesgo de desastre 22
1.6.2.9 Análisis de riesgos 22
1.7. Hipótesis 22
1.7.1. Hipótesis general *22*

1.7.2. Hipótesis específicas *23*
1.8. Sistema de variables 24
1.8.1. Variables independientes *24*
1.8.2. Variable dependiente *24*
1.8.3. Operacionalización de variables *24*
1.9. Metodología de trabajo 25
1.9.1. Métodos que se emplearon en la investigación *25*
1.9.1.1 Enfoque de investigación 25
1.9.1.2 Método de investigación 26
1.9.1.3 Nivel de investigación 26
1.9.1.4 Diseño de investigación 26
1.9.2. Procedimiento *26*
1.9.2.1 Pre-campo 26
1.9.2.2 Trabajo de campo 26
1.9.2.3 Post campo (Gabinete) 27
CAPÍTULO II: GEOMORFOLOGÍA 28
2.1. Geomorfología regional 28
2.1.1. Altiplano *29*
2.1.1.1 La Depresión de Cusco-Huacarpay 30
2.1.1.2 Las Serranías de Vilcaconga 30
2.2. Geomorfología local 33
2.2.1. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional *33*
2.2.1.1 Unidad de montañas 33
2.2.1.1.1 Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) *33*
2.2.1.1.1 Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs) *34*
2.2.2. Geoformas de carácter depositacional y erosional *35*
2.2.2.1 Unidad de piedemonte 35
2.2.2.1.1 Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) *35*
2.2.2.1.2 Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) *36*
2.2.2.1.3 Vertiente coluvial de detritos (V-d) *37*
2.2.2.1.4 Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) *38*
2.2.2.2 Unidad de planicies, depresiones y otros 39
2.2.2.2.1 Terraza aluvial (T-al) *39*
2.2.2.2.2 Terraza fluvial (T-fl) *40*

2.2.2.2.3 Llanura lacustre (Ll-l) *41*
2.3. Pendientes del terreno 45
2.3.1. Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°) *45*
2.3.2. Pendiente moderada (5°-15°) *46*
2.3.3. Pendiente fuerte (15°-25°) *47*
2.3.4. Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) *47*
2.3.5. Pendiente muy escarpada (>45°) *48*
2.4. Cobertura vegetal 51
2.4.1. Arbórea (A) *52*
2.4.2. Área antropizada (Aa) *53*
2.4.3. Cuerpo de agua (Ca) *53*
2.4.4. Cultivo (C) *54*
2.4.5. Escasa cobertura (Ec) *54*
2.4.6. Matorral (M) *55*
2.4.7. Pastizal (P) *55*
2.4.8. Rodal (R) *56*
CAPITULO III: GEOLOGÍA 59
3.1. Geología Regional 59
3.1.1. Jurásico *59*
3.1.1.1 Formacion Pachatusan (Ji-pa) 59
3.1.2. Cretácico *59*
3.1.2.1 Formacion Huancané (Ki-hn) 59
3.1.2.1 Formacion Puquín (Ks-pu) 59
3.1.3. Paleógeno *59*
3.1.3.1 Formacion Quilque (Pp-qu) 59
3.1.3.2 Formacion Chilca (Pp-ch) 60
3.1.3.3 Formacion Kayra (Peo-ky) 60
3.1.3.1 Formacion Soncco (Peo-so) 60
3.1.4. Cuaternario *60*
3.1.4.1 Depósito glaciar (Q-gl) 60
3.1.4.2 Depósitos aluviales (Q-al) 60
3.1.4.1 Depósitos fluviales (Q-fl) 60
3.1.4.2 Depósitos coluviales (Q-co) 61
3.2. Geología Local 63

3.2.1. Unidades Litoestratigráficas ... *63*
3.2.1.1 Formación Quilque (Pp-qu) ... 63
3.2.1.1 Formación Chilca (Pp-ch) ... 64
3.2.1.2 Formación Kayra (Peo-ky) ... 64
3.2.1.3 Depósitos aluviales (Q-al) ... 65
3.2.1.4 Depósitos de deslizamiento (Q-dd) ... 66
3.2.1.5 Depósitos coluviales (Q-co) ... 66
3.2.1.6 Depósitos coluvio deluviales (Q-cd) ... 67
3.2.1.7 Depósitos fluviales (Q-fl) ... 68
3.2.1.8 Depósitos lacustres (Q-la) ... 68
3.2.1.9 Depósitos proluviales (Q-pl) ... 69
CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL ... 73
4.1. Geología Estructural Regional ... 73
4.1.1. Dominios estructurales ... *73*
4.1.1.1 Altiplano ... 73
4.1.2. Estructuras regionales ... *76*
4.1.2.1 Sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani (SFZCUS) ... 76
4.1.2.1.1 Falla Tambomachay ... *77*
4.1.2.1.2 Falla Cusco ... *77*
4.1.2.2 Anticlinal Saylla - Lucre ... 77
4.2. Geología Estructural Local ... 79
4.2.1. Plegamiento ... *79*
4.2.2. Fallas locales ... *79*
4.2.2.1 Falla 1 ... 80
4.2.2.1 Falla 2 ... 80
4.2.3. Diaclasas ... *81*
4.2.3.1 Ventana estructural 1 (VE-1) ... 82
4.2.3.2 Ventana estructural 2 (VE-2) ... 85
CAPITULO V: HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA ... 89
5.1. Hidrología ... 89
5.1.1. Ubicación hidrográfica ... *89*
5.1.2. Parámetros morfométricos ... *89*
5.1.2.1 Descripción general ... 89
5.1.2.2 Parámetros generales ... 90

5.1.2.3 Parámetros de forma 92
5.1.2.4 Parámetros de relieve 96
5.1.2.5 Parámetros de la red hidrológica 103
5.1.2.6 Resumen 108
5.1.3. Condiciones climatológicas 109
5.1.4. Información hidrometeorológica 109
5.1.4.1 Precipitación 109
5.1.4.2 Temperatura 113
5.2. Hidrogeología 115
5.2.1. Inventario de manantes 115
5.2.2. Clasificación de unidades hidrogeológicas 118
5.2.2.1 Acuífero 118
5.2.2.1.1 Acuífero poroso no consolidado 118
5.2.2.1.2 Acuífero fisurado sedimentario 119
5.2.2.2 Acuitardo 120
5.2.2.2.1 Acuitardo no consolidado 120
5.2.2.2.2 Acuitardo sedimentario 123
5.2.2.1 Acuicludo 125
5.2.2.1.1 Acuicludo no consolidado 125
5.2.3. Identificación del nivel freático 126
CAPITULO VI: GEODINÁMICA EXTERNA 131
6.1. Inventario de los movimientos en masa 131
6.1.1. Flujos de detritos 131
A. Flujos de detritos antiguos 131
B. Flujos de detritos recientes 133
6.1.2. Deslizamientos 133
C. Deslizamiento rotacional 1 (DR-1) 134
D. Deslizamiento rotacional 2 (DR-2) 138
E. Deslizamiento rotacional 3 (DR-3) 141
F. Deslizamiento rotacional 4 (DR-4) 144
G. Deslizamiento rotacional 5 (DR-5) 147
A. Deslizamiento rotacional 6 (DR-6) 150
Cálculo del factor de seguridad 153
6.1.3. Caídas 157

A. Caídas de rocas 157
B. Caídas de suelos 160
CAPITULO VII: PELIGROS GEOLÓGICOS 163
7.1. Metodología para la determinación del peligro 163
7.2. Identificación de los tipos de peligro a evaluar 163
7.3. Identificación y delimitación del área de influencia asociada al peligro 164
7.4. Susceptibilidad del ámbito de estudio 166
7.4.1. Factores condicionantes 166
7.4.1.1 Factores condicionantes de flujo de detritos 166
7.4.1.2 Factores condicionantes de deslizamientos 175
7.4.1.3 Factores condicionantes de caídas 183
7.4.2. Factor desencadenante 192
7.5. Ponderación de los parámetros de evaluación 193
7.5.1. Parámetros generales de evaluación de flujo de detritos 193
7.5.1.1 Velocidad del flujo 194
7.5.1.1 Altura del flujo 197
7.5.2. Parámetro general de evaluación de deslizamientos 199
7.5.2.1 Volumen de deslizamiento (m^3) 199
7.5.3. Parámetro general de evaluación de caídas 202
7.5.3.1 Altura relativa del talud (m) 202
7.6. Análisis de elementos expuestos 205
7.7. Definición de escenarios 205
7.8. Definición y estratificación de los niveles de peligro 205
7.8.1. Estratificación del nivel de peligro ante flujo de detritos 206
7.8.2. Estratificación del nivel de peligro ante deslizamientos 208
7.8.3. Estratificación del nivel de peligro ante caídas 210
7.9. Síntesis de niveles de peligro 212
7.9.1. Estratificación de síntesis de niveles de peligro 213
CAPITULO VIII: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD 216
8.1. Metodología para el análisis de la vulnerabilidad 216
8.2. Análisis de la vulnerabilidad 217
8.2.1. Análisis de la dimensión social 217
8.2.1.1 Análisis de la exposición social 218
8.2.1.2 Análisis de la fragilidad social 219

8.2.1.3 Análisis de la resiliencia social 220
8.2.2. Análisis de la dimensión económica 222
8.2.2.1 Análisis de la exposición económica 223
8.2.2.2 Análisis de la fragilidad económica 224
8.2.2.3 Análisis de la resiliencia económica 226
8.2.3. Análisis de la dimensión ambiental 228
8.2.3.1 Análisis de la exposición ambiental 229
8.2.3.2 Análisis de la fragilidad ambiental 230
8.2.3.3 Análisis de la resiliencia ambiental 231
8.3. Definición y estratificación de los niveles de vulnerabilidad 233
CAPITULO IX: ESTIMACIÓN O CALCULO DEL RIESGO 236
9.1. Metodología para el cálculo de riesgo 236
9.2. Análisis del riesgo 236
9.3. Determinación y estratificación de los niveles de riesgo 237
CONCLUSIONES 241
RECOMENDACIONES 246
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 247
ANEXOS 251
A. Registro de precipitación máxima del mes en 24 hrs. (mm) 251
B. Ficha de inventario de fuentes de aguas 252

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Ubicación política* 1
Tabla 2 *Coordenadas UTM de la zona de estudio* 1
Tabla 3 *Tipos de movimientos en masa* 13
Tabla 4 *Escala de velocidades* 14
Tabla 5 *Matriz de operacionalización de variables* 25
Tabla 6 *Subunidades geomorfológicas en la quebrada Hatun Huayco* 42
Tabla 7 *Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco* 48
Tabla 8 *Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco* 56
Tabla 9 *Unidades litoestratigráficas en la quebrada Hatun Huayco* 70
Tabla 10 *Datos de la falla 1* 80
Tabla 11 *Datos de la falla 2* 81
Tabla 12 *Ubicación de las ventanas estructurales* 82

Tabla 13 *Clasificación geomecánica RMR del macizo rocoso 1* 84
Tabla 14 *Clasificación geomecánica RMR del macizo rocoso 2* 87
Tabla 15 *Unidades litoestratigráficas en la quebrada Hatun Huayco* 89
Tabla 16 *Datos generales de la quebrada Hatun Huayco* 90
Tabla 17 *Clasificación de áreas* 90
Tabla 18 *Clasificación de cuencas* 91
Tabla 19 *Clasificación del coeficiente de compacidad o de Gravelius* 94
Tabla 20 *Índice de Gravelius para la evaluación de la forma* 94
Tabla 21 *Relación de forma de Horton (Rf)* 95
Tabla 22 *Clasificación del índice de alargamiento* 95
Tabla 23 *Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo con su pendiente (%)* 97
Tabla 24 *Clases de pendiente del cauce principal (%)* 98
Tabla 25 *Etapas de una cuenca* 99
Tabla 26 *Clasificación de las corrientes de una cuenca* 104
Tabla 27 *Factores de densidad de drenaje de cuencas según Strahler / Horton* 105
Tabla 28 *Clasificación de cuencas por su densidad de drenaje* 105
Tabla 29 *Tipo de orden de corriente* 107
Tabla 30 *Clases de tiempo de concentración (min)* 108
Tabla 31 *Datos de la estación meteorológica Granja Kayra* 109
Tabla 32 *Datos de precipitación máxima diaria* 110
Tabla 33 *Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual* 111
Tabla 34 *Umbrales de precipitación para la estación: Granja Kayra* 112
Tabla 35 *Inventario de manantes* 115
Tabla 36 *Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco* 128
Tabla 37 *Resumen del factor de seguridad* 153
Tabla 38 *Parámetros - Factores condicionantes de flujo de detritos* 166
Tabla 39 *Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de flujo de detritos* 166
Tabla 40 *Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de flujo de detritos* 167
Tabla 41 *Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de flujo de detritos* 167
Tabla 42 *Clasificación de las subunidades geomorfológicas* 167
Tabla 43 *Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas* 168
Tabla 44 *Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas* 168
Tabla 45 *Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas* 169
Tabla 46 *Clasificación de las unidades litoestratigráficas* 169

Tabla 47 *Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas* 169
Tabla 48 *Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas* 170
Tabla 49 *Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas* 170
Tabla 50 *Clasificación de unidades hidrogeológicas* 170
Tabla 51 *Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas* 171
Tabla 52 *Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas* 171
Tabla 53 *Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas* 171
Tabla 54 *Clases de pendientes del terreno* 172
Tabla 55 *Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno* 172
Tabla 56 *Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno* 173
Tabla 57 *Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno* 173
Tabla 58 *Clasificación de unidades de cobertura vegetal* 173
Tabla 59 *Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal* 174
Tabla 60 *Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal* 174
Tabla 61 *Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal* 174
Tabla 62 *Parámetros - Factores condicionantes de deslizamientos* 175
Tabla 63 *Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de deslizamientos* 175
Tabla 64 *Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de deslizamientos* 176
Tabla 65 *Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de deslizamientos* 176
Tabla 66 *Clasificación de las subunidades geomorfológicas* 176
Tabla 67 *Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas* 177
Tabla 68 *Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas* 177
Tabla 69 *Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas* 178
Tabla 70 *Clasificación de las unidades litoestratigráficas* 178
Tabla 71 *Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas* 178
Tabla 72 *Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas* 179
Tabla 73 *Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas* 179
Tabla 74 *Clases de pendientes del terreno* 179
Tabla 75 *Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno* 180
Tabla 76 *Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno* 180
Tabla 77 *Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno* 180
Tabla 78 *Clasificación de unidades de cobertura vegetal* 181
Tabla 79 *Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal* 181
Tabla 80 *Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal* 181

Tabla 81 *Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal* 182
Tabla 82 *Clasificación de unidades hidrogeológicas* 182
Tabla 83 *Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas* 182
Tabla 84 *Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas* 183
Tabla 85 *Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas* 183
Tabla 86 *Parámetros - Factores condicionantes de caídas* 183
Tabla 87 *Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de caídas* 184
Tabla 88 *Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de caídas* 184
Tabla 89 *Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de caídas* 185
Tabla 90 *Clases de pendientes del terreno* 185
Tabla 91 *Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno* 185
Tabla 92 *Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno* 186
Tabla 93 *Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno* 186
Tabla 94 *Clasificación de las subunidades geomorfológicas* 186
Tabla 95 *Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas* 187
Tabla 96 *Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas* 187
Tabla 97 *Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas* 188
Tabla 98 *Clasificación de las unidades litoestratigráficas* 188
Tabla 99 *Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas* 188
Tabla 100 *Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas* 189
Tabla 101 *Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas* 189
Tabla 102 *Clasificación de unidades de cobertura vegetal* 189
Tabla 103 *Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal* 190
Tabla 104 *Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal* 190
Tabla 105 *Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal* 190
Tabla 106 *Clasificación de unidades hidrogeológicas* 191
Tabla 107 *Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas* 191
Tabla 108 *Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas* 191
Tabla 109 *Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas* 192
Tabla 110 *Clasificación de umbrales de precipitación* 192
Tabla 111 *Matriz de comparación de pares – Umbrales de precipitación* 192
Tabla 112 *Matriz de normalización de pares – Umbrales de precipitación* 193
Tabla 113 *Índice y relación de consistencia – Umbrales de precipitación* 193
Tabla 114 *Parámetros generales de evaluación - Flujo de detritos* 194

Tabla 115 *Parámetros – Velocidad del flujo (m/s)* 194
Tabla 116 *Matriz de comparación de pares - Velocidad del flujo (m/s)* 194
Tabla 117 *Matriz de normalización de pares - Velocidad del flujo (m/s)* 195
Tabla 118 *Índice y relación de consistencia – Velocidad del flujo (m/s)* 195
Tabla 119 *Parámetros – Altura del flujo (m)* 197
Tabla 120 *Matriz de comparación de pares - Altura del flujo (m)* 197
Tabla 121 *Matriz de normalización de pares - Altura del flujo (m)* 197
Tabla 122 *Índice y relación de consistencia – Altura del flujo (m)* 197
Tabla 123 *Parámetros generales de evaluación – Deslizamientos* 199
Tabla 124 *Parámetros – Volumen de deslizamiento (m3)* 199
Tabla 125 *Matriz de comparación de pares - Volumen de deslizamiento (m3)* 200
Tabla 126 *Matriz de normalización de pares - Volumen de deslizamiento (m3)* 200
Tabla 127 *Índice y relación de consistencia – Volumen de deslizamiento (m3)* 200
Tabla 128 *Parámetros generales de evaluación – Caídas* 202
Tabla 129 *Parámetros – Altura relativa del talud (m)* 202
Tabla 130 *Matriz de comparación de pares - Altura relativa del talud (m)* 202
Tabla 131 *Matriz de normalización de pares – Altura relativa del talud (m)* 203
Tabla 132 *Índice y relación de consistencia – Altura relativa del talud (m)* 203
Tabla 133 *Cantidad de predios expuestos* 205
Tabla 134 *Niveles de peligro ante flujo de detritos* 206
Tabla 135 *Estrato nivel de peligro ante flujo de detritos* 206
Tabla 136 *Niveles de peligro ante deslizamientos* 208
Tabla 137 *Estrato nivel de peligro ante deslizamientos* 208
Tabla 138 *Niveles de peligro ante caídas* 210
Tabla 139 *Estrato nivel de peligro ante caídas* 210
Tabla 140 *Parámetros – Síntesis de niveles de peligro* 212
Tabla 141 *Matriz de comparación de pares - Síntesis de niveles de peligro* 212
Tabla 142 *Matriz de normalización de pares - Síntesis de niveles de peligro* 213
Tabla 143 *Índice y relación de consistencia – Síntesis de niveles de peligro* 213
Tabla 144 *Síntesis de niveles de peligro* 213
Tabla 145 *Matriz de comparación de pares – Dimensión social* 217
Tabla 146 *Matriz de normalización de pares - Dimensión social* 218
Tabla 147 *Índice y relación de consistencia – Dimensión social* 218
Tabla 148 *Matriz de comparación de pares – Número de habitantes* 218

Tabla 149 *Matriz de normalización de pares - Número de habitantes* 219
Tabla 150 *Índice y relación de consistencia – Número de habitantes* 219
Tabla 151 *Matriz de comparación de pares – Acceso a servicios básicos* 219
Tabla 152 *Matriz de normalización de pares - Acceso a servicios básicos* 220
Tabla 153 *Índice y relación de consistencia – Acceso a servicios básicos* 220
Tabla 154 *Matriz de comparación de pares – Conocimiento en temas de GRD* 220
Tabla 155 *Matriz de normalización de pares - Conocimiento en temas de GRD* 221
Tabla 156 *Índice y relación de consistencia – Conocimiento en temas de GRD* 221
Tabla 157 *Matriz de comparación de pares – Organización de la población* 221
Tabla 158 *Matriz de normalización de pares - Organización de la población* 222
Tabla 159 *Índice y relación de consistencia – Organización de la población* 222
Tabla 160 *Matriz de comparación de pares – Dimensión económica* 222
Tabla 161 *Matriz de normalización de pares - Dimensión económica* 223
Tabla 162 *Índice y relación de consistencia – Dimensión económica* 223
Tabla 163 *Matriz de comparación de pares – Localización del predio* 223
Tabla 164 *Matriz de normalización de pares - Localización del predio* 224
Tabla 165 *Índice y relación de consistencia – Localización del predio* 224
Tabla 166 *Matriz de comparación de pares – Material de construcción* 224
Tabla 167 *Matriz de normalización de pares - Material de construcción* 225
Tabla 168 *Índice y relación de consistencia – Material de construcción* 225
Tabla 169 *Matriz de comparación de pares – Estado de conservación de la edificación* 225
Tabla 170 *Matriz de normalización de pares - Estado de conservación de la edificación* 226
Tabla 171 *Índice y relación de consistencia – Estado de conservación de la edificación* 226
Tabla 172 *Matriz de comparación de pares – Residencia en el predio* 226
Tabla 173 *Matriz de normalización de pares - Residencia en el predio* 227
Tabla 174 *Índice y relación de consistencia – Residencia en el predio* 227
Tabla 175 *Matriz de comparación de pares – Ingreso familiar mensual promedio* 227
Tabla 176 *Matriz de normalización de pares - Ingreso familiar mensual promedio* 228
Tabla 177 *Índice y relación de consistencia – Ingreso familiar mensual promedio* 228
Tabla 178 *Matriz de comparación de pares – Dimensión ambiental* 228
Tabla 179 *Matriz de normalización de pares - Dimensión ambiental* 229
Tabla 180 *Índice y relación de consistencia – Dimensión ambiental* 229
Tabla 181 *Matriz de comparación de pares – Deforestación* 229
Tabla 182 *Matriz de normalización de pares - Deforestación* 230

Tabla 183 *Índice y relación de consistencia – Deforestación* 230
Tabla 184 *Matriz de comparación de pares – Degradación de suelos* 230
Tabla 185 *Matriz de normalización de pares - Degradación de suelos* 231
Tabla 186 *Índice y relación de consistencia – Degradación de suelos* 231
Tabla 187 *Matriz de comparación de pares – Conservación y protección de áreas verdes* 231
Tabla 188 *Matriz de normalización de pares - Conservación y protección de áreas verdes* 232
Tabla 189 *Índice y relación de consistencia – Conservación y protección de áreas verdes* 232
Tabla 190 *Matriz de comparación de pares – Conocimientos en temas ambientales* 232
Tabla 191 *Matriz de normalización de pares - Conocimientos en temas ambientales* 233
Tabla 192 *Índice y relación de consistencia – Conocimientos en temas ambientales* 233
Tabla 193 *Niveles de vulnerabilidad* 233
Tabla 194 *Estrato nivel de vulnerabilidad* 234
Tabla 195 *Cálculo de los niveles de riesgo* 237
Tabla 196 *Niveles de riesgo* 237
Tabla 197 *Estrato nivel de riesgo* 238

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio* 2
Figura 2 *Esquema de una caída de rocas* 15
Figura 3 *Esquema de un deslizamiento traslacional* 16
Figura 4 *Esquema de un deslizamiento en cuña* 17
Figura 5 *Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento* 18
Figura 6 *Esquema de un deslizamiento compuesto en rocas sedimentarias* 18
Figura 7 *Esquema de un flujo de detritos* 20
Figura 8 *Flujo de lodo* 21
Figura 9 *Unidades geomorfológicas regionales de Cusco* 28
Figura 10 *Subunidades geomorfológicas de Cusco* 29
Figura 11 *Subunidades del Altiplano en la quebrada Hatun Huayco* 30
Figura 12 *Vista del Altiplano en el centro poblado de Saylla* 31
Figura 13 *Mapa geomorfológico regional* 32
Figura 14 *Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)* 34
Figura 15 *Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)* 35
Figura 16 *Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)* 36
Figura 17 *Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) en la margen izquierda de la quebrada* 37
Figura 18 *Vertiente coluvial de detritos (V-d)* 38

Figura 19 *Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) en el fondo de la quebrada Hatun Huayco*.... 39
Figura 20 *Terraza aluvial (T-al)*.... 40
Figura 21 *Terraza fluvial (T-fl)* 41
Figura 22 *Llanura lacustre (Ll-l) en época de precipitación*.... 41
Figura 23 *Área (ha) de las subunidades geomorfológicas locales* 43
Figura 24 *Área (%) de las subunidades geomorfológicas locales*.... 43
Figura 25 *Mapa geomorfológico local* 44
Figura 26 *Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°) en depósitos proluviales*.... 46
Figura 27 *Pendiente moderada (5°-15°) en depósitos proluviales* 46
Figura 28 *Pendiente fuerte (15°-25°) en depósitos coluviales*.... 47
Figura 29 *Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en depósitos de deslizamientos (Q-dd)* 47
Figura 30 *Pendiente muy escarpada (>45°) en laderas de la Formación Chilca (Pp-ch)*.... 48
Figura 31 *Área (ha) de las clases de pendientes*.... 49
Figura 32 *Área (%) de las clases de pendientes* 49
Figura 33 *Mapa de pendientes*.... 50
Figura 34 *Cobertura arbórea (A)*.... 52
Figura 35 *Área antropizada* 53
Figura 36 *Cuerpo de agua* 53
Figura 37 *Áreas de cultivo* 54
Figura 38 *Zonas de escasa cobertura* 54
Figura 39 *Matorral* 55
Figura 40 *Pastizal*.... 55
Figura 41 *Rodal* 56
Figura 42 *Área (ha) de las unidades de cobertura vegetal*.... 57
Figura 43 *Área (%) de las unidades de cobertura vegetal*.... 57
Figura 44 *Mapa de cobertura vegetal*.... 58
Figura 45 *Unidades litoestratigráficas regionales* 61
Figura 46 *Mapa geológico regional*.... 62
Figura 47 *Formación Quilque (Pp-qu)* 63
Figura 48 *Formación Chilca (Pp-ch) en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco* 64
Figura 49 *Formación Kayra (Peo-ky)*.... 65
Figura 50 *Deposito aluvial (Q-al)*.... 65
Figura 51 *Depósito de deslizamiento (Q-dd)* 66
Figura 52 *Vista de depósitos coluviales (Q-co)* 67

Figura 53 *Depósitos coluvio deluviales (Q-cd) en la margen izquierda de la quebrada Hatun Huayco* .. 67
Figura 54 *Depósitos fluviales (Q-fl) en el cauce del río Huatanay* 68
Figura 55 *Depósitos lacustres (Q-la) en época de precipitación*..... 68
Figura 56 *Depósitos proluviales (Q-pl)* 69
Figura 57 *Área (ha) de las unidades litoestratigráficas* 70
Figura 58 *Área (%) de las unidades litoestratigráficas* 71
Figura 59 *Mapa geológico local* 72
Figura 60 *Dominios estructurales del cuadrángulo de Cusco (28-s)* 74
Figura 61 *Mapa estructural que muestra la dirección de esquistosidad* S_1 75
Figura 62 *Mapa estructural que muestra la dirección de esquistosidad* S_2 76
Figura 63 *Mapa estructural regional* 78
Figura 64 *Vista del anticlinal Saylla-Lucre en la quebrada Hatun Huayco* 79
Figura 65 *Falla normal en areniscas de la Formación Chilca* 80
Figura 66 *Plano de falla en areniscas y lutitas de la Fm. Quilque* 81
Figura 67 *Distribución de la nube de concentración de las discontinuidades (VE-1)* 82
Figura 68 *Roseta de vientos para reconocer la dirección predominante de las discontinuidades (VE-1)* 83
Figura 69 *Ventana estructural 1* 83
Figura 70 *Distribución de la nube de concentración de las discontinuidades (VE-2)* 85
Figura 71 *Roseta de vientos para reconocer la dirección predominante de las discontinuidades (VE-2)* 85
Figura 72 *Ventana estructural 2* 86
Figura 73 *Mapa estructural local* 88
Figura 74 *Valores de Kc para diferentes formas de cuencas* 93
Figura 75 *Tipos de curvas hipsométricas*..... 100
Figura 76 *Curva hipsométrica* 101
Figura 77 *Diagrama de frecuencias altimétricas*..... 102
Figura 78 *Perfil longitudinal del cauce principal (SW-NE)* 106
Figura 79 *Hietograma de Precipitaciones Máximas Registradas en 24 horas, Estación Granja Kayra* 110
Figura 80 *Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual* 111
Figura 81 *Hietograma de precipitaciones (mm) máximas en 24 horas – Estación Kayra* 113
Figura 82 *Promedio de temperatura de la estación meteorológica Granja Kayra.* 113
Figura 83 *Mapa hidrológico* 114
Figura 84 *Aforo – 01* 116
Figura 85 *Aforo – 02* 116
Figura 86 *Aforo - 03*..... 117

Figura 87 *Aforo - 04* 117
Figura 88 *Aforo - 05* 118
Figura 89 *Acuífero fluvial (APNC-fl)* 119
Figura 90 *Acuífero Kayra (AFS-ky)* 120
Figura 91 *Acuitardo proluvial (ATNC-pl)* 121
Figura 92 *Acuitardo coluvial (ATNC-co)* 122
Figura 93 *Acuitardo aluvial (ATNC-al)* 123
Figura 94 *Acuitardo Quilque (ATS-qu)* 124
Figura 95 *Acuitardo Chilca (ATS-ch)* 125
Figura 96 *Acuicludo lacustre (ACNC-la)* 126
Figura 97 *Nivel freático en la desembocadura de la quebrada Hatun Huayco* 126
Figura 98 *Nivel freático en la parte media de la quebrada Hatun Huayco* 127
Figura 99 *Nivel freático en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco* 127
Figura 100 *Área (ha) de las Unidades Hidrogeológicas* 128
Figura 101 *Área (%) de las Unidades Hidrogeológicas* 129
Figura 102 *Mapa hidrogeológico* 130
Figura 103 *Depósitos de flujos de detritos antiguos* 132
Figura 104 *Abanico de detritos de la quebrada Hatun Huayco* 132
Figura 105 *Flujos de detritos recientes en la quebrada Hatun Huayco* 133
Figura 106 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-1* 135
Figura 107 *Agrietamientos longitudinales* 136
Figura 108 *Desplazamientos verticales* 136
Figura 109 *Deslizamiento DR-1 en agosto-2023* 137
Figura 110 Partes del deslizamiento DR-1 137
Figura 111 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-2* 139
Figura 112 Deslizamiento DR-2 140
Figura 113 Partes del deslizamiento DR-2 140
Figura 114 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-3* 142
Figura 115 Deslizamiento DR-3 143
Figura 116 Partes del deslizamiento DR-3 143
Figura 117 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-4* 145
Figura 118 Deslizamiento DR-4 146
Figura 119 Partes del deslizamiento DR-4 146
Figura 120 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-5* 148

Figura 121 Deslizamiento DR-5 149
Figura 122 Partes del deslizamiento DR-5 149
Figura 123 *Proceso evolutivo del deslizamiento DR-6* 151
Figura 124 Deslizamiento DR-6 152
Figura 125 Partes del deslizamiento DR-6 152
Figura 126 *Factor de seguridad – deslizamiento 01* 154
Figura 127 *Factor de seguridad – deslizamiento 02* 154
Figura 128 *Factor de seguridad – deslizamiento 03* 155
Figura 129 *Factor de seguridad – deslizamiento 04* 155
Figura 130 *Factor de seguridad – deslizamiento 05* 156
Figura 131 *Factor de seguridad – deslizamiento 06* 156
Figura 132 *Laderas muy escarpadas en areniscas y lutitas de la Fm. Chilca* 157
Figura 133 *Simulación de caídas de rocas* 158
Figura 134 *Laderas muy escarpadas en areniscas y lutitas de la Fm. Chilca* 159
Figura 135 *Simulación de caídas de rocas* 159
Figura 136 *Taludes muy escarpados en depósitos proluviales antiguos* 160
Figura 137 *Simulación de caídas de suelos* 161
Figura 138 *Mapa de geodinámica externa* 162
Figura 139 *Metodología general para determinar los niveles de peligro.* 163
Figura 140 *Mapa de área de influencia de la quebrada Hatun Huayco* 165
Figura 141 *Mapa de velocidad del flujo* 196
Figura 142 *Mapa de altura del flujo* 198
Figura 143 *Mapa de volumen de deslizamiento* 201
Figura 144 *Mapa de alturas relativas* 204
Figura 145 *Mapa de niveles de peligro por flujos de detritos* 207
Figura 146 *Mapa de niveles de peligro por deslizamientos* 209
Figura 147 *Mapa de niveles de peligro por caídas* 211
Figura 148 *Mapa de síntesis de niveles de peligro* 214
Figura 149 *Mapa de elementos expuestos* 215
Figura 150 *Metodología del análisis de vulnerabilidad* 217
Figura 151 *Mapa de niveles de vulnerabilidad* 235
Figura 152 *Mapa de niveles de riesgo* 240

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación

1.1.1. Ubicación política

La quebrada Hatun Huayco está ubicada al sureste de la ciudad de Cusco, en el distrito de Saylla, provincia y departamento de Cusco. Dentro de la zona de estudio se encuentran las siguientes agrupaciones urbanas: A.P.V. Ferroviarios y la comunidad campesina de Anawarque (ver Tabla 1).

Tabla 1

Ubicación política

País	Perú
Departamento	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	Saylla

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Ubicación geográfica

La quebrada Hatun Huayco en el sistema de coordenadas WGS 84 se encuentra en la zona 19L, estando su cabecera a una altura de 3765 m.s.n.m. y la desembocadura a 3156 m.s.n.m. (ver Tabla 2).

Tabla 2

Coordenadas UTM de la zona de estudio

Quebrada Hatun Huayco	Coordenadas UTM			Altura (m.s.n.m.)
	Zona	Este	Norte	
Cabecera	19 L	192385	8496996	3765
Punto de desembocadura	19 L	193478	8498349	3156

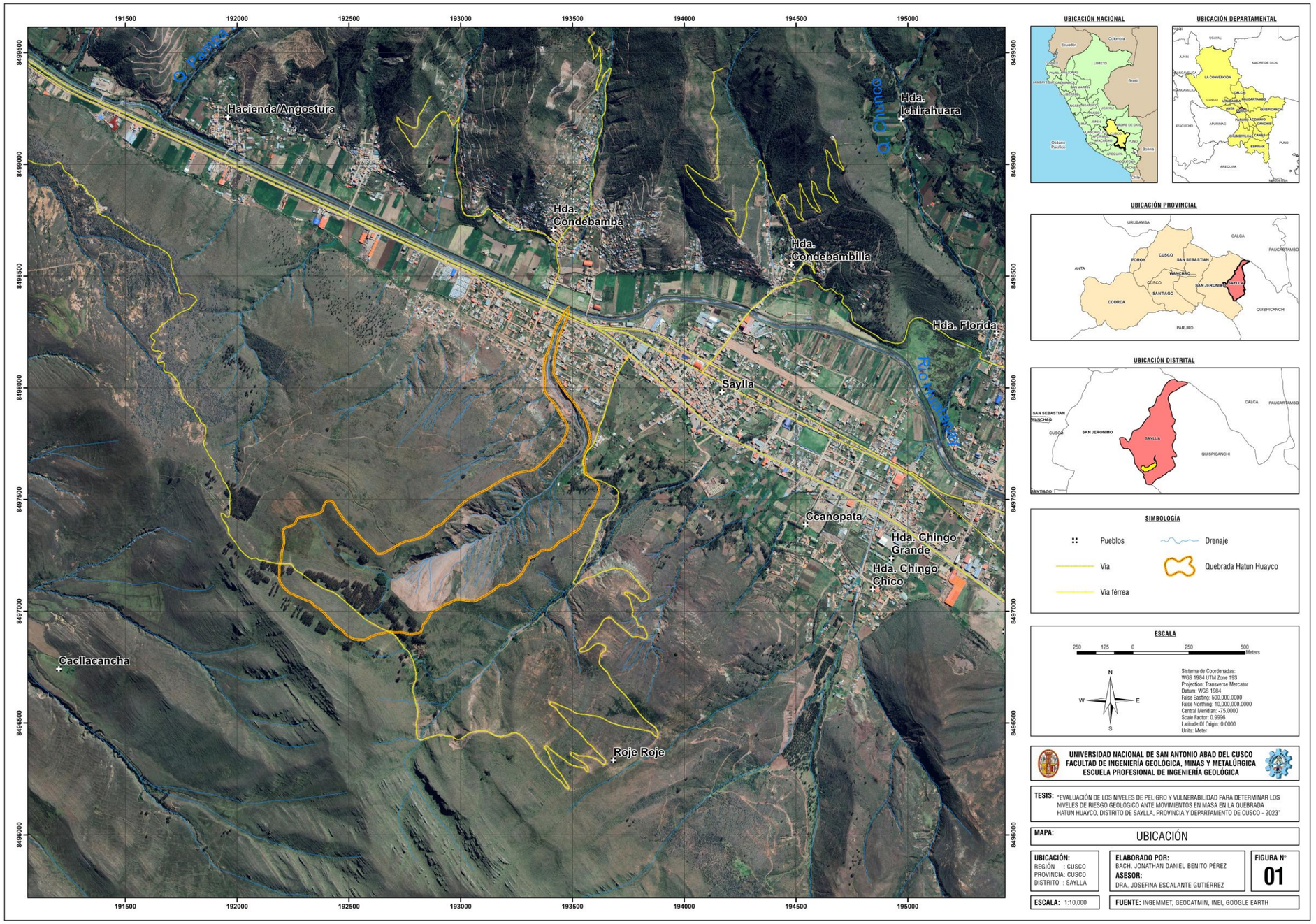
Fuente: Elaboración propia.

1.2. Vía de acceso

El acceso a la quebrada Hatun Huayco se efectúa mediante la siguiente ruta: inicia en el óvalo Pachacútec con dirección hacia el óvalo Libertadores a través de la avenida 28 de Julio. El recorrido continúa por la Vía Expresa hasta la rotonda, donde se toma el desvío hacia la Vía de Evitamiento. Desde allí, se prosigue hasta incorporarse a la carretera Cusco–Sicuani, donde se continua el trayecto hasta el paradero Condebamba, ubicado en el distrito de Saylla.

Figura 1

Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Descripción del problema

La quebrada Hatun Huayco debido a sus características geomorfológicas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, asociadas con las condiciones climáticas de la zona, presenta frecuentes eventos de movimientos en masa de origen natural ocasionados por la geodinámica externa tales como: flujos de detritos, deslizamientos y caídas.

Se registraron flujos de detritos en los años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994, y en enero y junio del 2001. Estos eventos ocasionaron daños a los terrenos de cultivo y viviendas de la comunidad campesina de Anawarque, también afectaron viviendas de Saylla, y en una ocasión se produjo el embalse del río Huatanay, la destrucción de un colegio, daños a viviendas y a la carretera Cusco – Sicuani (Vilchez et al., 2020). También se tiene el registro de la ocurrencia de eventos de tipo deslizamientos, flujos de detritos, caídas y erosión de laderas ocurridos el sábado 18 de noviembre del 2019, que afectó a viviendas y terrenos de cultivo aledaños (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2020). Así mismo según reportes de la Municipalidad Distrital de Saylla la quebrada Hatun Huayco presentó ocurrencias de movimientos en masa en los meses de enero y febrero del 2020, 2021 y 2022, desencadenadas por el incremento de la precipitación. Además, en el 2023 y 2024, se registraron eventos de movimientos en masa, como flujos de detritos, deslizamientos y caídas en visitas de campo a la zona de evaluación.

Estos movimientos en masa constituyen peligros geológicos que afectan a zonas que tienen elementos vulnerables como predios, construcciones, cultivos y canteras, ubicadas en la parte baja de la quebrada y zonas aledañas, de los cuales los flujos de detritos son los que generan mayor riesgo a la población, debido a su constante ocurrencia.

1.3.2. Formulación del problema

1.3.2.1 Problema general.

¿Cuáles son los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco?

1.3.2.2 Problemas específicos.

- ¿Qué unidades geomorfológicas se encuentran en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Qué unidades litoestratigráficas afloran en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Qué unidades estructurales se encuentran en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Cuáles son las características hidrológicas de la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Qué unidades hidrogeológicas existen en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Qué tipos de movimientos en masa se encuentran en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Cuáles son los niveles de peligro ocasionados por movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Cuáles son los niveles de vulnerabilidad de los predios ubicados en el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco?
- ¿Cuáles son los niveles de riesgo ante movimientos en masa de los predios ubicados en la zona de estudio de la quebrada Hatun Huayco?

1.4. Justificación

El distrito de Saylla tiene una gran importancia económica para la provincia del Cusco, ya que, en su gran mayoría, los pobladores se dedican al comercio, además de presentar la vía Cusco-Sicuani, que permite el traslado de la población y productos de otras provincias a la ciudad del Cusco, y también se encuentra una cantera de minerales no metálicos en la parte baja de la quebrada Hatun Huayco. Estos elementos mencionados anteriormente, son vulnerables frente a eventos de movimientos en masa de la quebrada Hatun Huayco, que constituyen peligros geológicos, y de ocurrir un evento de gran intensidad causaría grandes pérdidas materiales y económicas al departamento de Cusco, así como la posible pérdida de vidas humanas.

Mediante la determinación de los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco se podrá delimitar las áreas con niveles de riesgo bajo, medio, alto y muy alto, así este trabajo de investigación podrá ayudar a las autoridades competentes a intervenir y

establecer medidas de prevención y reducción del riesgo de desastre en las zonas con niveles de riesgo alto y muy alto. Contribuyendo de esta forma en el desarrollo y crecimiento del distrito de Saylla.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

1. Evaluar los niveles de peligro y vulnerabilidad para determinar los niveles de riesgo ante movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco, distrito de Saylla, provincia y departamento de Cusco

1.5.2. Objetivos específicos

1. Identificar las unidades geomorfológicas en la quebrada Hatun Huayco
2. Identificar las unidades litoestratigráficas
3. Identificar las unidades estructurales
4. Determinar las características hidrológicas
5. Identificar las unidades hidrogeológicas
6. Identificar y describir los tipos de movimientos en masa
7. Evaluar los niveles de peligro ante movimientos en masa en el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco
8. Evaluar los niveles de vulnerabilidad de los predios ubicados en área de influencia de la quebrada Hatun Huayco
9. Determinar los niveles de riesgo ante movimientos en masa de los predios expuestos

1.6. Marco teórico-conceptual

1.6.1. Antecedentes de la investigación

1.6.1.1 Antecedentes internacionales

Antecedente internacional 1: Martínez (2022)

Título: *Aplicación y comparación modelos de flujos detríticos, FLO-2D y HEC-RAS a quebradas Acerilla y La Mesilla, cuenca del río Huasco, eventos marzo 2015.*

Esta investigación tuvo como objetivo comparar la aplicación y resultados de los modelos de flujo detrítico FLO-2D y HEC-RAS a los eventos de marzo 2015 en las quebradas Acerilla y La Mesilla, cuenca del río Huasco, región de Atacama, Chile.

La construcción de los modelos para las quebradas Acerillas y La Mesilla se realizó utilizando HEC-RAS versión 6.1 y FLO-2D versión 19.07.21, este último integrado mediante un complemento en QGIS versión 3.18.2.

En conclusión, la aplicación de ambos modelos es similar, requiriendo la entrada de datos como topografía, grilla de modelación, tamaño de celda, número de Manning y condiciones de borde. Los flujos detríticos fueron modelados utilizando la ecuación cuadrática de O'Brien, disponible en FLO-2D y como opción en HEC-RAS. Los resultados obtenidos en ambos programas no presentan diferencias significativas, aunque las variaciones en los resultados se explican por la calibración de los parámetros reológicos, el método de cálculo del área de inundación en HEC-RAS y la forma en que cada modelo implementa la ecuación cuadrática.

Antecedente internacional 2: Freire (2024)

Título: *Cartografía de susceptibilidad a movimientos en masa con la aplicación del método heurístico, caso de estudio del barrio Santa Rosa de Pomasqui.*

El objetivo de este trabajo fue estudiar los movimientos en masa en el barrio Santa Rosa de Pomasqui en Ecuador, a través de la evaluación de la susceptibilidad con el Método Heurístico y el cálculo del factor de seguridad estático.

La elaboración del mapa de susceptibilidad utilizando el Método Heurístico se llevó a cabo mediante la sumatoria de píxeles en la calculadora ráster, integrando los mapas temáticos reclasificados de litología, geomorfología, uso del suelo y pendientes.

En conclusión, el Barrio Santa Rosa de Pomasqui se encuentra en una zona altamente susceptible a movimientos en masa (MM) debido a factores condicionantes como la litología, geomorfología, uso del suelo y pendientes pronunciadas, así como a factores agravantes como la urbanización acelerada. Los deslizamientos traslacionales, originados en las cabeceras de las quebradas, pueden desencadenar flujos de

escombros, como ocurrió en el aluvión de octubre de 2013, cuando el desbordamiento de la quebrada Santa Teresa, causado por el taponamiento de un colector, provocó inundaciones en la zona.

1.6.1.2 Antecedentes nacionales

Antecedente nacional 1: Lara (2023)

Título: *Estudio de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima.*

El objetivo general fue identificar los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla Lima que podrían generar daños en la población, viviendas y obras de infraestructura.

El tipo de estudio realizado es descriptivo y aplicado. La recolección de los datos se realizó en la microcuenca Huaycán. Mientras que el diseño de la investigación es de tipo no experimental porque no se realizó la manipulación de las variables independientes.

Los peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán, según su origen corresponden a movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos. Los movimientos en masa corresponden a flujo (flujos de detritos) y caída (caída de rocas y derrumbes). Mientras que los peligros geohidrológicos involucran inundaciones y erosiones fluviales. Finalmente, los denominados otros peligros corresponden a erosión de laderas (cárcavas y surcos).

Antecedente nacional 2: Vega (2023)

Título: *Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho.*

El objetivo general de esta investigación fue conocer el grado de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona turística Millpu.

Se empleó el diseño descriptivo y correlacional del método científico.

Se concluyó que el 35% del área de estudio tiene alta susceptibilidad y 30% muy alta susceptibilidad. Por otro lado, se tiene que más del 80% de las áreas donde ocurrió algún tipo de movimiento en masa presentan alto a muy alto grado de susceptibilidad.

1.6.1.3 Antecedentes regionales

Antecedente regional 1: Vilchez, Sosa, Pari, & Peña (2020)

Título: *Peligro Geológico en la Región Cusco.*

Este boletín tuvo como objetivo contribuir al conocimiento de los peligros geológicos en la región Cusco; complementar el cartografiado y el inventario de los peligros geológicos, geohidrológicos y otros peligros naturales; establecer zonas críticas que puedan ser afectadas por peligros naturales (movimientos en masa y geohidrológicos); y establecer las medidas que se deben tomar para la prevención de los peligros naturales.

La metodología empleada para el presente estudio constó de 3 etapas: Gabinete I, Campo I y Gabinete II.

Se concluyó que la región Cusco presenta eventos asociados a peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos, por ejemplo, la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos, reptación de suelos, movimientos complejos, y procesos de inundación fluvial. Se determinaron dos grandes grupos de unidades geomorfológicas: geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional, y geoformas de carácter depositacional y agradacional. Según la caracterización hidrogeológica, se han identificado acuíferos, acuitardos y acuicludos. El trabajo de inventario de peligros (1682 ocurrencias) muestra una mayor ocurrencia de caídas (28.48%), luego de deslizamientos (23.25 %), flujos (17.06 %), procesos de erosión de laderas (12.25 %), erosión fluvial (8.44 %), reptación de suelos (4.28 %), inundación fluvial (3.03 %), movimientos complejos (2.5 %), hundimientos (0.48 %), inundación lagunar (0.18 %) y, por último, vuelcos (0.05 %).

Finalmente, en la quebrada Hatun Huayco se registró la ocurrencia de flujo de detritos en los años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994, y enero y junio del 2001.

Antecedente regional 2: Arias & Chacón (2022)

Título: *Evaluación del riesgo geológico de la carretera Yaurisque - Ranraccasa - Paruro, tramo Ranraccasa - Paruro, (km 8+900 – 25+900) Paruro-Cusco.*

Esta investigación tuvo como objetivo realizar la evaluación del riesgo geológico en la carretera Yaurisque - Ranraccasa - Paruro, tramo Ranraccasa - Paruro, ocasionado por fenómenos geodinámicos externos, para prevenirlos y/o mitigarlos.

La metodología de investigación aplicada fue descriptiva-analítica-deductiva.

Los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo ocasionados por los fenómenos geodinámicos externos se determinaron según el método Heurístico y el método multicriterio desarrollado por Thomas L. Saaty.

Antecedente regional 3: Condorhuacho & Suni (2023)

Título: *Evaluación de riesgos por deslizamiento en la quebrada Saqramayo – en los distritos de Cusco, provincia y región del Cusco 2020.*

Esta investigación buscó determinar los niveles de riesgos por deslizamiento de los lotes ubicados en la Quebrada Saqramayo. El tipo de investigación tuvo un enfoque mixto, con un método secuencial, de nivel descriptivo, según su tipo por su fuente es de campo y diseño no experimental.

La determinación del nivel de riesgo en el área de estudio se basó en la metodología del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales (CENEPRED, 2014). El nivel de peligro se calculó a partir de información recolectada en pre-campo, verificada durante el trabajo de campo y procesada posteriormente con software SIG. Para evaluar la vulnerabilidad, se aplicaron encuestas a cada lote, cuyos resultados fueron analizados en gabinete.

El análisis del nivel de peligro por deslizamientos determinó que 115 lotes están en peligro muy alto, 57 en alto, 30 en medio y 39 en bajo. En cuanto a la vulnerabilidad, se identificaron 38 lotes con nivel muy alto, 125 con alto, 45 con medio y 33 con bajo. Según ambas variables, se concluyó que 109 lotes presentan un riesgo muy alto, 61 alto, 36 medio y 35 bajo.

1.6.1.4 Antecedentes locales

Antecedente local 1: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020)

Título: *Evaluación de Peligros Geológicos en la Quebrada Hatunhuayco.*

El informe técnico tuvo como objetivos identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afectan al sector A.P.V. Ferroviarios; y determinar los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de movimientos en masa.

Esta evaluación técnica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo, y el cartografiado geológico y geodinámico.

En conclusión, en la quebrada Hatunhuayco se identificaron deslizamientos, derrumbes y erosión de ladera en cárcavas, desarrollados sobre depósitos coluviales y rocas fuertemente fracturadas y meteorizadas, además de la pendiente empinada que limitan la quebrada referida. La activación o reactivación natural de deslizamientos pueden producir el represamiento de la quebrada Hatunhuayco, el desembalse podría generar un flujo de detritos (huayco), esto afectaría a la población asentada en la parte baja, infraestructuras y tramos carreteros. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta esta quebrada, es considerada como zona de peligro muy alto a movimientos en masa. Los peligros por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores: Material de fácil erosión - remoción (depósito coluvial principalmente), substratos rocosos fuertemente fracturados y con intensa meteorización; lo que permite mayor infiltración y retención de agua en su cuerpo, laderas con pendientes empinadas (20° a 70°), lo que facilita el escurrimiento de agua y la presencia de agua subterránea y acción de las aguas de escorrentía. Finalmente, el factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

Antecedente local 2: Ramírez & Quintana (2021)

Título: *Análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco – A.P.V. Ferroviarios en el distrito de Saylla, provincia de Cusco*

En esta investigación el objetivo principal fue determinar las características que influyen en el suceso de flujo de detritos o huaycos en la quebrada Hatun Huayco; como objetivos específicos tuvo determinar la precipitación máxima, determinar las características del suelo y evaluar los parámetros topográficos que generen un flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco.

La metodología empleada en esta investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo – correlacional, método de investigación hipotético deductivo y el diseño metodológico fue cuasi experimental. Esto consistió en hacer levantamientos topográficos a detalle utilizando un dron para obtener

la fotografía aérea; la obtención de curvas de nivel de un DEM ALOS-PALSAR de 12.5 m.; la delimitación de la quebrada; la recolección de muestras de suelo para su análisis en laboratorio y la recopilación de datos hidrológicos. Por último, todos los datos obtenidos anteriormente sirvieron para calcular los parámetros de un flujo de detritos ocurrido en la quebrada Hatun Huayco utilizando el software RAMMS: DEBRIS FLOW.

Los resultados obtenidos fueron que la intensidad del flujo de detritos en la zona afectada es alta, mostrando un volumen de flujo de detritos de 28,060.5 m^3; la precipitación máxima hallada para 100 años de periodo de retorno según el hietograma es de 7.52 mm y según el cálculo en el software HEC-HMS el caudal máximo es de 2.6 m^3/s; el estudio de suelos según SUCS da como resultado un suelo de tipo arena pobremente graduada (SP); y el factor topográfico que favorece el origen de flujo de detritos en la zona de evaluación es la pendiente, ya que en la quebrada Hatun Huayco predominan las pendientes muy escarpadas o abruptas del orden de 80% a 100% o >45°.

Antecedente local 3: Cavero (2022)

Título: *Informe de Evaluación de Riesgos de Desastres por Flujo de Detritos del Sector de Hatunhuayco, Distrito de Saylla, Provincia de Cusco y Departamento de Cusco.*

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar los niveles de riesgo por flujo de detritos en el sector de Hatunhuayco; sus objetivos específicos fueron identificar y determinar los niveles de peligro, elaborar el mapa de peligros, analizar y determinar los niveles de vulnerabilidad de la población, elaborar el mapa de vulnerabilidad, y elaborar el mapa de riesgos evaluando la aceptabilidad o tolerabilidad del riesgo.

Para el desarrollo de este informe de evaluación de riesgos se aplicó la metodología del "Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales" (Versión 02). Primero se analizó y evaluó la peligrosidad, luego se analizó los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos al fenómeno en función a su fragilidad y resiliencia, y se culminó con el cálculo de niveles de riesgo. Todo ello establecido en el marco de la Ley N°29664 del SINAGERD y su reglamento.

Se concluyó que el sector de Hatunhuayco presentó un nivel de peligro alto y muy alto ante la ocurrencia de flujo de detritos; los niveles de vulnerabilidad para los lotes evaluados fueron: 11 en nivel muy alto, 52 en nivel alto, 29 en nivel medio y 22 en nivel bajo. Los niveles de riesgo para los lotes evaluados fueron: 22 en nivel muy alto, 46 en nivel alto, 38 en nivel medio y 10 en nivel bajo.

1.6.2. Marco conceptual

1.6.2.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa son todos aquellos desplazamientos de una masa de roca, tierra o detritos hacia abajo de una ladera por efectos de la gravedad (Cruden D. , 1991).

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre crean el relieve y definen la morfología de las laderas, esta forma va modificándose a lo largo del tiempo para poder adaptarse a nuevas condiciones geológicas o climáticas. Por lo general, las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio; ante un cambio de las condiciones, su morfología se modifica buscando el nuevo equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

1.6.2.2 Clasificación de los movimientos en masa

Las clasificaciones de movimientos en masa de Varnes (1958, 1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y, en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos (ver Tabla 3). Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra. De esta manera, presenta definiciones para varias posibles combinaciones de tipo de movimiento y material (PMA, 2007).

Tabla 3

Tipos de movimientos en masa

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

Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.3), por Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional No. 4.

Es importante tener en cuenta que en la práctica es difícil asignar un movimiento en masa a una clase en particular, debido a que la mayoría de los procesos son bastante complejos y presentan diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria, debido a las propiedades de los materiales involucrados, mencionadas antes. Además, hay factores externos que influyen en el tipo de movimiento, por ejemplo, mientras que una determinada ladera pudiera fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (Glade, Anderson, & Crozier, 2005).

A continuación, se presentan la clasificación y definiciones para las siguientes clases de movimientos en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones; también se describe cierto tipo de deformaciones gravitacionales profundas. Para cada tipo de movimiento

en masa se describe el rango de velocidades (ver Tabla 4), el cual es un parámetro importante ya que se relaciona con la intensidad de los movimientos en masa y la amenaza que pueden significar (PMA, 2007).

Tabla 4

Escala de velocidades

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

Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.4), 2007.

A. Caída (Fall)

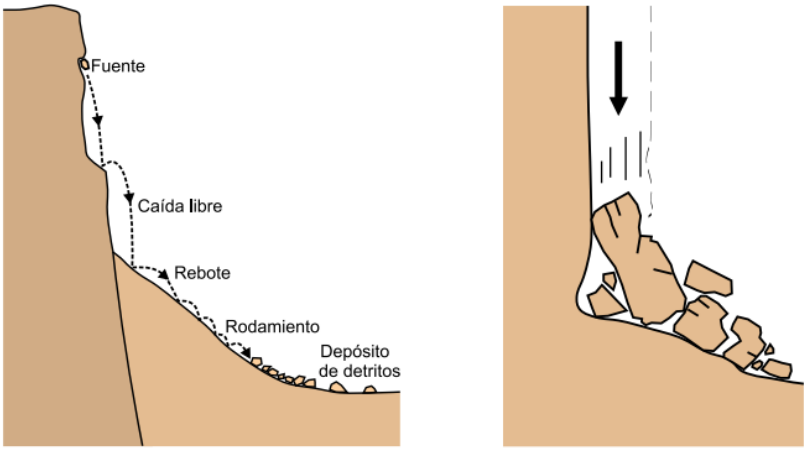
La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (ver Figura 2). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento. Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta (PMA, 2007).

En la Figura 2, (a) se observa una caída de rocas de la superficie de un talud efectuando golpes, rebotes y rodamiento, y en (b) se observa el colapso de un material.

Figura 2

Esquema de una caída de rocas



Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.6), 2007.

B. Deslizamiento (Slide)

Es un desplazamiento descendente de masa de suelo o roca que ocurre principalmente a lo largo de una superficie de falla, o en una delgada zona donde ocurre una gran deformación cortante.

Para (Varnes, 1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir en varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988).

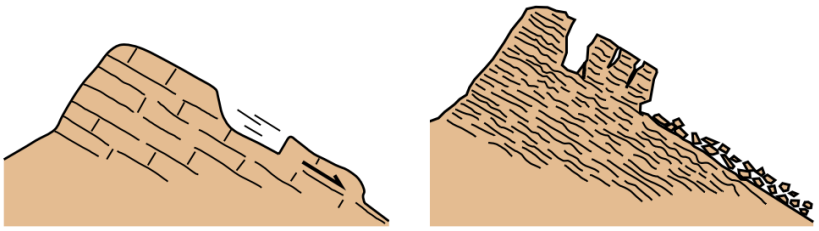
- **Deslizamiento traslacional (Translational slide)**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada (ver Figura 3). En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad

geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981).

Figura 3

Esquema de un deslizamiento traslacional

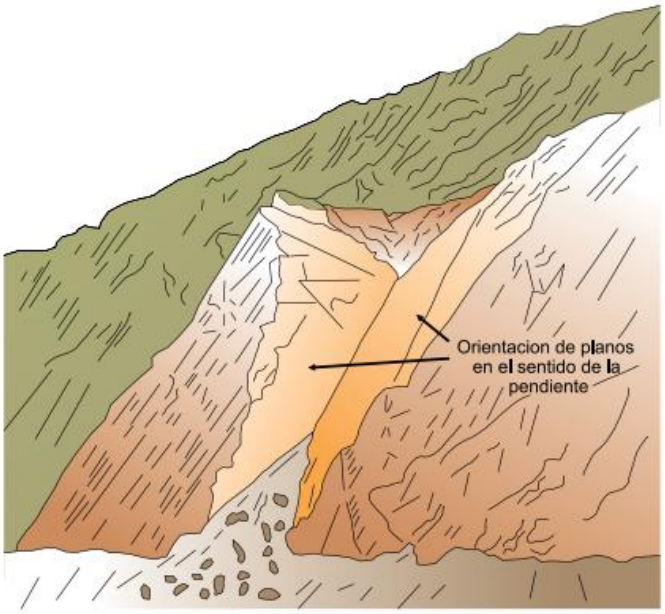


Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.10), 2007.

Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. En el deslizamiento planar la traslación se realiza a través de un sólo plano (Hoek & Bray, 1981). El deslizamiento en cuña (wedge slide), es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que intersecan entre si e intersecan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos (ver Figura 4). La velocidad de los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida (PMA, 2007).

Figura 4

Esquema de un deslizamiento en cuña



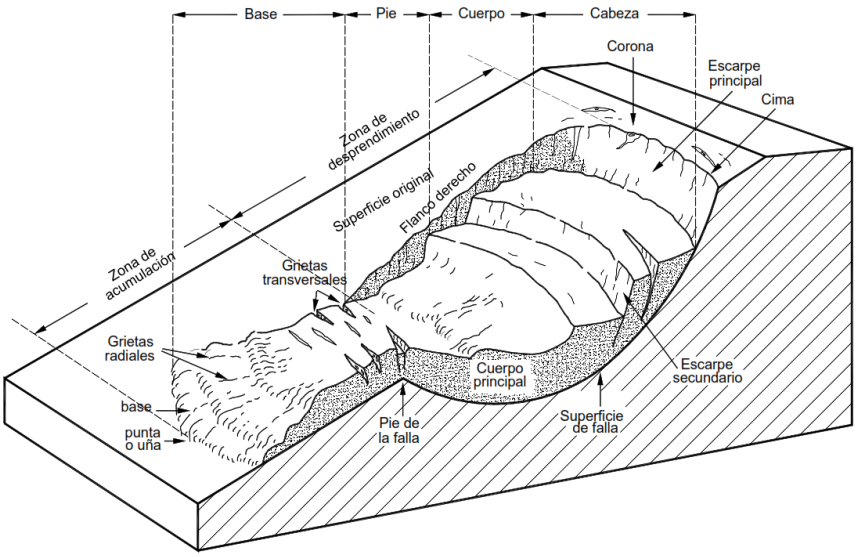
Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.11), 2007.

- **Deslizamiento rotacional (Rotational slide, Slump)**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (ver Figura 5). Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s (PMA, 2007).

Figura 5

Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento



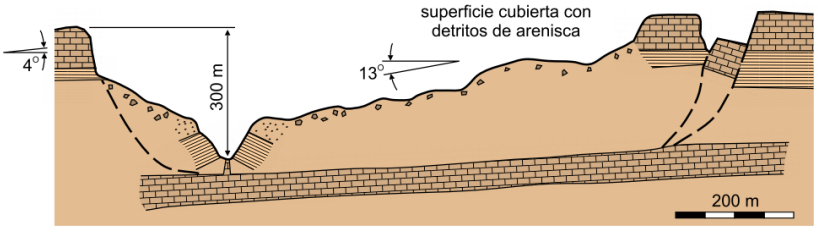
Fuente: Deslizamientos: Análisis Geotécnico (p.4), por Suárez J., 2009.

- **Deslizamientos compuestos**

Son deslizamientos que tienen superficies de falla que no son ni rotacionales ni planares. La superficie de ruptura se desarrolla a lo largo de planos de plegamiento, o por la intersección de varias discontinuidades planares o por la combinación de superficies de ruptura y de planos de debilidad de la roca (ver Figura 6). El movimiento a lo largo de superficies de deslizamiento compuestas no es cinemáticamente posible sin que ocurra cizalla interna significativa en el cuerpo del deslizamiento (Hutchinson, 1988).

Figura 6

Esquema de un deslizamiento compuesto en rocas sedimentarias



Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.15), 2007.

El tipo más común de deslizamiento compuesto incluye movimiento rotacional a lo largo de un escarpe principal seguido de un desplazamiento a lo largo de una superficie de debilidad casi horizontal, usualmente paralela a la estratificación en rocas sedimentarias. Usualmente los deslizamientos compuestos se caracterizan por pequeños escarpes y la formación de estructuras de "graben" o fosa, lo cual los diferencia morfológicamente de los deslizamientos rotacionales. Las propiedades mecánicas del cuerpo del deslizamiento juegan un papel importante en los deslizamientos compuestos. Ocurren súbitamente y con velocidades altas, por lo cual están entre los deslizamientos más amenazantes y difíciles de analizar y predecir. Este tipo de movimiento usualmente se transforma en caída de roca, si son de magnitud pequeña, o en avalanchas de roca cuando son de gran magnitud (PMA, 2007).

C. Flujo (Flow)

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Los flujos se clasifican de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles (Hungr et al., 2001).

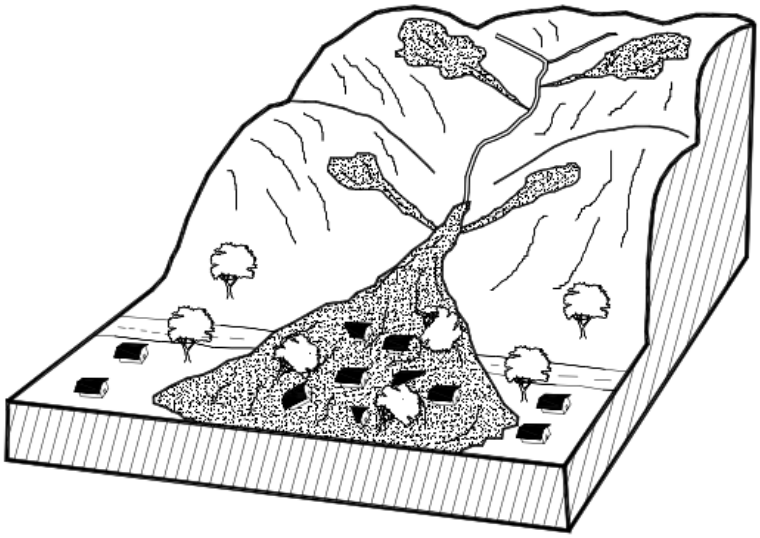
- **Flujo de detritos (Debris flows)**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (ver Figura 7). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de u, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda (PMA, 2007). Este tipo de evento se distingue también porque el agua del cauce se incorpora al cuerpo del flujo de detritos, incrementando su contenido de agua. Además, el confinamiento lateral ayuda

a mantener la profundidad del flujo, facilitando un cierto tipo de ordenamiento de las partículas sólidas y el desarrollo de oleaje. El ordenamiento se refiere a que los clastos más grandes tienden a quedar cerca de la superficie del flujo, lo que se conoce como gradación inversa. Por otra parte, el caudal pico que presentan estos flujos puede ser hasta 40 veces mayor que aquellos que causan una inundación (Hungr, Evans, Bovis y Hutchinson, 2001). La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido y por su naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (PMA, 2007).

Figura 7

Esquema de un flujo de detritos



Fuente: Deslizamientos - Análisis Geotécnico (p.24), por Suárez J., 2009.

- **Flujo de lodo (Mud flow)**

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. En algunos países de Sudamérica se denomina flujo o torrente de barro (Hungr, Evans, Bovis y Hutchinson, 2001).

En la Figura 8 se observa un flujo de lodo en Cerro Yantajirca, Yanahuanca, Pasco, Perú.

Figura 8

Flujo de lodo

Fuente: Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (p.24), 2007.

1.6.2.3 Quebradas

Hendiduras en montañas, cuyo fondo contiene una corriente natural de agua de caudal bajo, que puede desaparecer durante la época de estiaje (ANA, 2020).

1.6.2.4 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 (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2014).

1.6.2.5 Determinación de peligros

Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se identifica y caracteriza los peligros, se evalúa la susceptibilidad de los peligros, se define los escenarios, se determina el nivel de peligrosidad y se elabora el mapa del nivel de peligrosidad (CENEPRED, 2014).

1.6.2.6 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, Fragilidad y Resiliencia. Se expresa en términos de 0 a 1 (CENEPRED, 2014).

1.6.2.7 Análisis de la vulnerabilidad

Es la etapa de la evaluación de riesgos, en la que se analiza los factores de exposición, fragilidad y la resiliencia en función al nivel de peligrosidad determinada, se evalúa el nivel de vulnerabilidad y se elabora el mapa del nivel de vulnerabilidad de la unidad física, social o ambiental evaluada (CENEPRED, 2014).

1.6.2.8 Riesgo de desastre

El riesgo de desastre es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro (CENEPRED, 2014).

1.6.2.9 Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es el procedimiento técnico, que permite identificar y caracterizar los peligros, analizar las vulnerabilidades, calcular, controlar, manejar y comunicar los riesgos, para lograr un desarrollo sostenido mediante una adecuada toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014).

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

La quebrada Hatun Huayco presenta niveles de peligro muy altos debido a las características geomorfológicas, geológicas, estructurales, hidrológicas, hidrogeológicas y geodinámicas del terreno. Estas características hacen a la quebrada Hatun Huayco muy susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa, como flujos de detritos, deslizamientos y caídas. Asimismo, los predios ubicados en la parte inferior de la quebrada y en zonas aledañas presentan niveles de vulnerabilidad muy altos debido a sus características sociales, económicas y ambientales. Por consiguiente, los predios ubicados en el ámbito de influencia se encuentran en niveles de riesgo muy altos frente a movimientos en masa.

1.7.2. Hipótesis específicas

HE 1: La quebrada Hatun Huayco está constituida por vertientes o piedemonte aluvio-torrencial, coluvial de detritos, y una montaña en roca sedimentaria. Estas subunidades geomorfológicas forman laderas con pendientes muy escarpadas (>45°) en ambas márgenes de la quebrada. Estas geoformas favorecen a la ocurrencia de movimientos en masa.

HE 2: La quebrada Hatun Huayco está constituida por depósitos cuaternarios y rocas sedimentarias como lutitas y areniscas de la Fm. Quilque, Chilca y Kayra. Los depósitos cuaternarios corresponden a suelos inconsolidados de fácil erosión ante precipitaciones pluviales intensas. Por otro lado, la intercalación de lutitas y areniscas permite mayor infiltración de las precipitaciones pluviales, y por consiguiente incrementa la inestabilidad de las laderas de ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco.

HE 3: Las rocas sedimentarias que afloran en la quebrada Hatun Huayco se encuentran altamente fracturadas debido a la presencia del anticlinal de Saylla – Lucre y a fallas locales. Por lo tanto, son macizos rocosos de muy mala calidad.

HE 4: Según las características hidrológicas de la quebrada Hatun Huayco, esta corresponde una unidad hidrográfica muy pequeña con tendencia a la escorrentía y erosión.

HE 5: Debido a las características litoestratigráficas y estructurales de los macizos rocosos, estos se clasifican como acuitardos sedimentarios, ya que almacenan agua, pero su capacidad de transmitirla es lenta.

HE 6: En la quebrada Hatun Huayco ocurren distintos movimientos en masa a lo largo de su cauce. En la parte alta, donde predominan las laderas con pendientes muy escarpadas (>45°) son frecuentes las caídas de rocas. En la parte media predominan los deslizamientos en ambas márgenes de la quebrada. Finalmente, en la parte baja, principalmente en la desembocadura, se identificaron flujos de detritos.

HE 7: La quebrada Hatun Huayco presenta niveles de peligro muy altos frente a movimientos en masa como flujos de detritos, deslizamientos y caídas, principalmente por la alta susceptibilidad del terreno. Esta alta susceptibilidad está asociada a las características geomorfológicas, geológicas, estructurales, hidrológicas, hidrogeológicas y geodinámicas de la quebrada. Asimismo, la ocurrencia eventual de

precipitaciones pluviales extraordinarias puede actuar como un factor desencadenante de estos eventos de geodinámica externa.

HE 8: Los predios ubicados en la parte inferior de la quebrada y en zonas aledañas dentro del ámbito de influencia presentan niveles de vulnerabilidad muy altos. Esta clasificación se debe a la combinación de parámetros como la alta exposición a peligros, la fragilidad y resiliencia de los elementos expuestos en las dimensiones sociales, económicas y ambientales respectivamente.

HE 9: Los predios ubicados dentro del ámbito de influencia presentan niveles de riesgo muy altos. Esta clasificación se debe a su exposición a peligros como flujos de detritos, deslizamientos y caídas, y a las condiciones individuales de vulnerabilidad de cada predio.

1.8. Sistema de variables

1.8.1. Variables independientes

- Niveles de peligro
- Niveles de vulnerabilidad

1.8.2. Variable dependiente

- Niveles de riesgo

1.8.3. Operacionalización de variables

En la tabla 5 se muestra la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
NIVELES DE RIESGO	NIVELES DE PELIGRO	Geomorfología	Unidades geomorfológicas
			Clases de pendientes
			Cobertura vegetal
		Geología	Unidades litoestratigráficas
		Geología Estructural	Estructuras geológicas
		Hidrología	Parámetros morfométricos de la quebrada
			Condiciones climatológicas
			Información hidrometeorológica
		Hidrogeología	Inventario de manantes
			Clasificación de unidades hidrogeológicas
	NIVELES DE VULNERABILIDAD	Exposición	Social
			Económico
			Ambiental
		Fragilidad	Social
			Económico
			Ambiental
		Resiliencia	Social
			Económico
			Ambiental

Fuente: Elaboración propia.

1.9. Metodología de trabajo

1.9.1. Métodos que se emplearon en la investigación

1.9.1.1 Enfoque de investigación

El enfoque de esta investigación es Mixto, ya que consta de un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para responder el planteamiento del problema.

Según (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) indican que los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el

análisis de datos cuantitativos y cualitativos; así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.

1.9.1.2 Método de investigación

La metodología de investigación es inductivo hipotético deductivo porque combina tres fases: inducción, formulación de hipótesis y deducción. Primero, se observan hechos específicos para identificar patrones, luego se formula una hipótesis explicativa, y finalmente, se derivan predicciones que se verifican mediante nuevos datos.

1.9.1.3 Nivel de investigación

El nivel del trabajo de investigación es correlacional porque se enfoca en estudiar la relación entre dos o más variables sin manipularlas.

1.9.1.4 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es transversal porque se observan los fenómenos o acontecimientos en un momento especifico.

1.9.2. Procedimiento

1.9.2.1 Pre-campo

En esta primera etapa se elaboró el plan de trabajo y se llevó a cabo la recopilación y evaluación de información bibliográfica. Posteriormente, se generó la cartografía base y se preparó el modelo digital del terreno. A partir de ello, se desarrollaron los mapas preliminares de geomorfología, pendientes, geología, geología estructural, hidrología e hidrogeología. Asimismo, se realizó el análisis e interpretación de fotografías aéreas, y la interpretación y cartografiado preliminar de peligros geológicos.

1.9.2.2 Trabajo de campo

En esta segunda etapa se realizó el mapeo local de la geomorfología, geología, geología estructural, hidrología e hidrogeología del área de estudio. También se realizó el inventario y caracterización de los peligros geológicos por movimientos en masa, para así poder analizar los niveles de peligro en gabinete.

Para la recolección de datos en campo se usó instrumentos como brújula, picota, GPS, lupa, lápiz rayador, tablero, cuaderno de campo, flexómetro, bolsas de muestreo, etiquetas para muestras, marcadores indelebles, bolígrafos, cinta adhesiva, balde de 4 litros y cronómetro.

Para la recolección de datos de los elementos expuestos como la población y los predios se utilizaron fichas de encuestas, y posteriormente se realizó el análisis de vulnerabilidad en gabinete.

1.9.2.3 Post campo (Gabinete)

En esta tercera etapa se realizó el procesamiento de la información obtenida en gabinete y en campo, seguidamente se hizo la preparación de la base de datos de la geomorfología, pendientes, geología, geología estructural, hidrología e hidrogeología. Luego, se elaboraron los mapas temáticos finales de la geomorfología, pendientes, geología, geología estructural, hidrología e hidrogeología. A continuación, se realizó el análisis de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad, para finalmente realizar el cálculo del nivel de riesgo geológico.

Las técnicas usadas para el procedimiento y análisis de los datos obtenidos en las salidas de campo fueron la síntesis de la información para la elaboración de los mapas de geomorfología, geología, geología estructural, hidrología, hidrogeología y el inventario de los movimientos en masa en el software ArcGIS 10.8.1. para analizar el peligro. Con respecto al análisis de la vulnerabilidad y riesgo se procesará la información obtenida en Microsoft Excel.

La base para el análisis de los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo será el “Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales”.

CAPÍTULO II: GEOMORFOLOGÍA

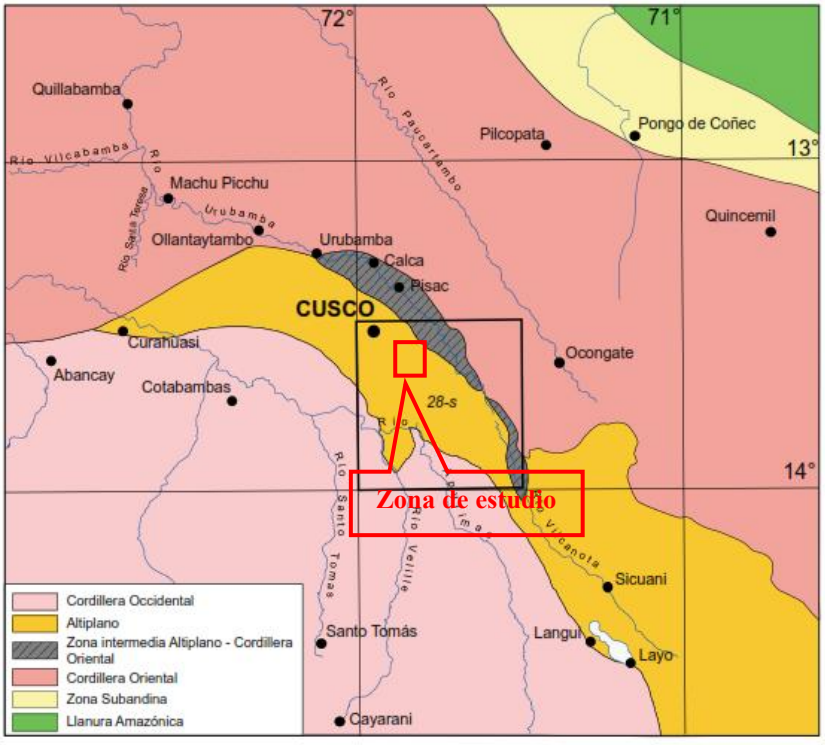
La geomorfología proporciona información detallada sobre la forma del terreno a evaluar y las clases de pendientes, así como los procesos geodinámicos relacionados con estos. El reconocimiento y caracterización de la geomorfología de la quebrada Hatun Huayco es muy importante para el análisis de la susceptibilidad a peligros geológicos. En este capítulo se describen las unidades geomorfológicas regionales y locales, las clases de pendientes del terreno y la cobertura vegetal.

2.1. Geomorfología regional

La zona de estudio se encuentra en la unidad regional del Altiplano según la Geología del cuadrangulo de Cusco-28s (ver Figura 9).

Figura 9

Unidades geomorfológicas regionales de Cusco



Fuente: Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011.

2.1.1. Altiplano

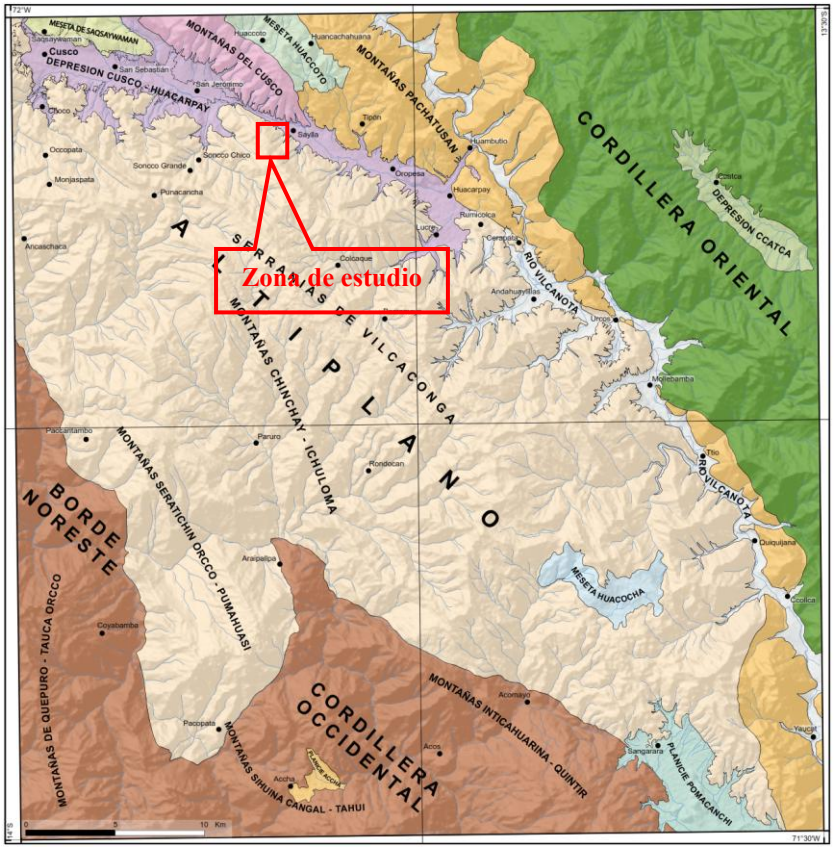
Esta unidad geomorfológica se caracteriza por ser una altiplanicie con altitudes que varían entre 3800 y 4000 msnm. Esta unidad está disectada por numerosos ríos y por la acción glaciar, que le dan una configuración muy agreste, a pesar de ser parte del Altiplano (Carlotto et al., 2011).

En la unidad geomorfológica del Altiplano de Cusco se han distinguido las siguientes subunidades geomorfológicas: Depresión de Cusco-Huacarpay, Meseta de Saqsaywaman, Montañas del Cusco, Serranías de Vilcaconga, Montañas de Ancaschaca, Montañas Chinchay-Ichuloma, Montañas de Seratichin Orcco-Pumahuasi, la meseta de Huacocha y la planicie de Pomacanchi.

La zona de estudio se encuentra en la depresión de Cusco-Huacarpay y las Serranías de Vilcaconga (ver Figura 10).

Figura 10

Subunidades geomorfológicas de Cusco



Fuente: Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011.

2.1.1.1 La Depresión de Cusco-Huacarpay

La Depresión de Cusco-Huacarpay es alargada, con dirección NO-SE, con alturas que van de 3150 a 3400 msnm; esta subunidad corresponde al actual valle del río Huatanay. El material de relleno es aluvial, lacustre y fluvial de edad pliocuaternaria. En realidad, corresponde a una cuenca de origen tectónico, ya que está controlada por las fallas aún activas de Cusco y Tambomachay. Esta depresión tiene una terminación brusca que corresponde al volcán monogenético de Rumicolca que represó el río Huatanay y formó un gran lago denominado Morkill en el Pliocuaternario (Gregory, 1916).

En la figura 11 se observa la quebrada Hatun Huayco, donde la desembocadura o la parte inferior se encuentra en la Depresión Cusco – Huacarpay, y la cabecera o parte superior en las Serranías de Vilcaconga

Figura 11

Subunidades del Altiplano en la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.2 Las Serranías de Vilcaconga

Las Serranías de Vilcaconga se ubican al sur de la depresión de Cusco-Huacarpay y están conformadas por cumbres alineadas en dirección NO-SE. Aquí afloran ampliamente las capas rojas del Grupo San Jerónimo que se hallan plegadas. Los relieves son relativamente accidentados cuando están

cortados por el río Huatanay, así como por las quebradas transversales NE-SO (como en la quebrada Hatun Huayco), si no es así, el relieve es bastante ondulado (Carlotto et al., 2011).

En la figura 12 se observa la depresión Cusco – Huacarpay, en donde se encuentra el poblado de Saylla, entre las montañas del Cusco y las Serranías de Vilcaconga.

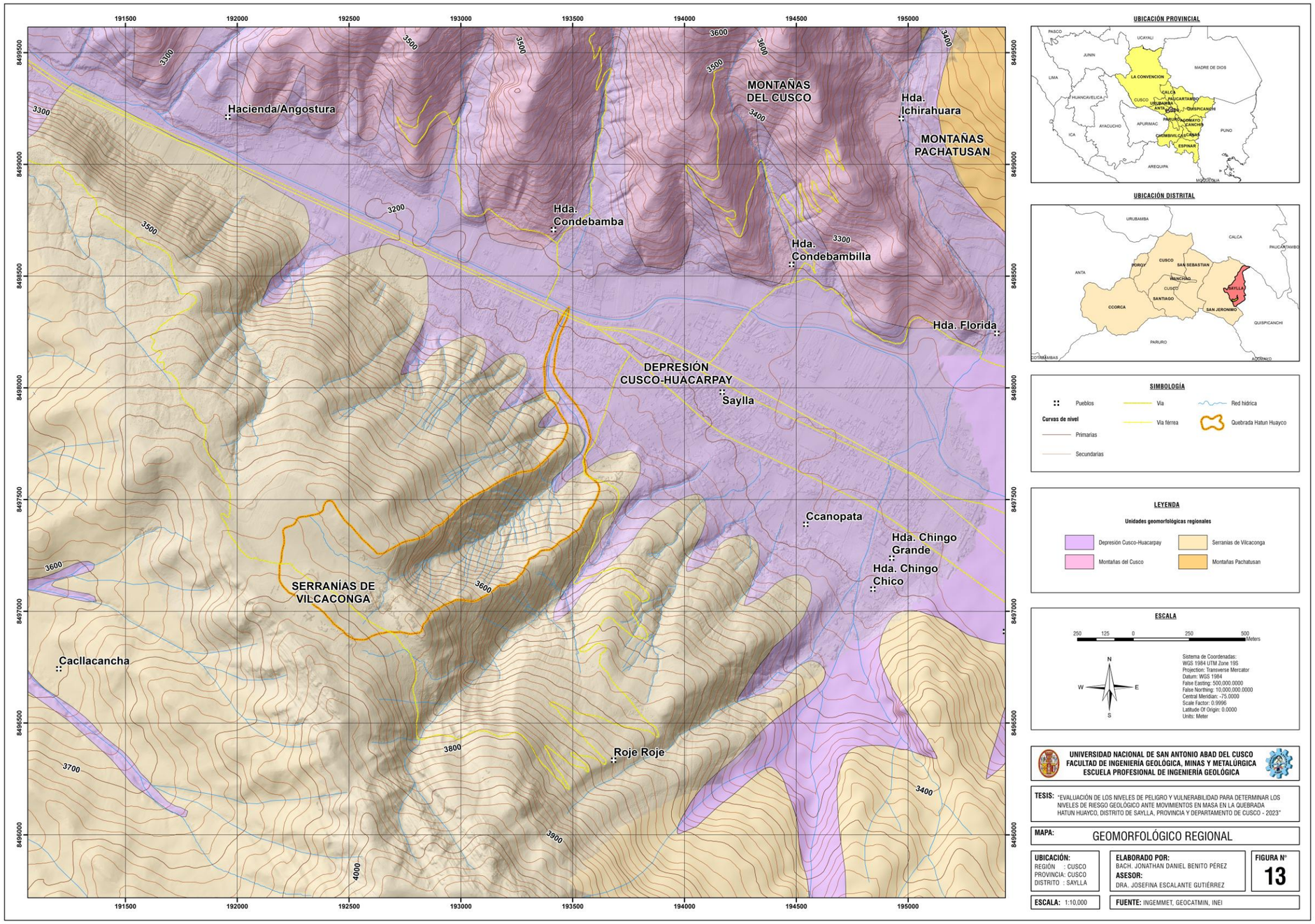
Figura 12

Vista del Altiplano en el centro poblado de Saylla

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Mapa geomorfológico regional



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Geomorfología local

Las unidades geomorfológicas locales se dividen en dos grandes grupos de geoformas como son: geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional y geoformas de carácter depositacional y erosional.

A continuación, se detallan cada unidad de geoformas locales encontradas en el área de estudio.

2.2.1. Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional

Estas geoformas son el resultado del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales. Estos procesos conducen a modificaciones parciales o totales a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Medina et al., 2021).

Las unidades morfológicas resultantes de los procesos denudativos forman parte de cadenas montañosas, colinas, planicies, etc.

En el área de estudio se encuentra la unidad de montañas, que a continuación se detalla.

2.2.1.1 Unidad de montañas

Las montañas son geoformas que alcanzan alturas mayores a 3000 m.s.n.m. en la quebrada Hatun Huayco. Comprenden las siguientes subunidades.

2.2.1.1.1 Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Esta subunidad geomorfológica corresponde a las formaciones geológicas Quilque y Chilca.

Está compuesta por laderas con pendientes entre 15° a 45°.

En la figura 14 se observa la subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs) en una pendiente muy fuerte (25°-45°) de la Formación Quilque.

Figura 14

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1.1 Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

La morfología de esta subunidad geomorfológica se debe al plegamiento de las rocas sedimentarias de la Formación Kayra, aun se puede observar rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos denudacionales (Medina et al., 2021).

Está compuesta por laderas con pendientes entre 15° a 45°.

En la figura 15 se observa la subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs) en una pendiente muy fuerte (25°-45°) de la formación Kayra.

Figura 15

Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Geoformas de carácter depositacional y erosional

Estas geoformas son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía, viento, etc. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales solidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Vilchez et al., 2020).

Las unidades morfológicas resultantes son la unidad de piedemonte y la unidad de planicies, depresiones y otros, a continuación, se detallan cada una.

2.2.2.1 Unidad de piedemonte

Esta unidad esta comprende las siguientes subunidades:

2.2.2.1.1 Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes de tipo deslizamiento (Medina et al., 2021).

Está compuesta por laderas de pendientes entre 25° a 45°.

En la figura 16 se observa la subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) en una pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) de la Formación Chilca.

Figura 16

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Fuente: Elaboración propia.

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

Las características geológicas, climáticas y tectónicas en el área de estudio han provocado la ocurrencia de movimientos en masa como caídas. Las geoformas originadas por estos procesos varían de pequeños a grandes dimensiones, posiblemente desencadenados por lluvias excepcionales o asociados a eventos sísmicos importantes.

Esta subunidad geomorfológica corresponde a las acumulaciones de material fino y detrítico originados por movimientos en masa antiguos y recientes, así como también movilizados por escorrentía superficial, que se acumulan lentamente en las laderas (Medina et al., 2021).

Está conformado generalmente por depósitos inconsolidados a ligeramente consolidados, muestran una composición litológica homogénea, son depósitos de corto a mediano recorrido.

Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada con relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Está compuesta por laderas de pendientes mayores a 25°.

En la figura 17 se observa la subunidad de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) en una pendiente muy escarpada (>45°) de la formación Chilca.

Figura 17

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) en la margen izquierda de la quebrada

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.1.3 Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Esta subunidad geomorfológica se formó por la acumulación de depósitos inconsolidados al pie de laderas escarpadas en forma de talus de detritos de origen coluvial de edad reciente.

Se encuentran cerca de su fuente de origen, por esa razón presentan una naturaleza litológica homogénea, pero con granulometría variable, compuesta por fragmentos angulosos y de grado de compacidad bajo (no consolidado). Está asociada a pequeñas ocurrencias sucesivas de caídas (Medina et al., 2021).

Está compuesta por laderas de pendientes mayores a 25°.

En la figura 18 se observa la subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-cd) en una pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) de la formación Chilca.

Figura 18

Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Fuente: Elaboración propia.

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

Esta subunidad corresponde a una planicie inclinada extendida en el fondo de la quebrada hasta su desembocadura, formada por el acarreo de material proluvial o aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional, en ocasiones a manera de flujos de detritos (Medina et al., 2021) (ver Figura 19).

Se depositan en la desembocadura de la quebrada y están asociados a lluvias con umbrales de precipitación mayores a RR>26.7 mm.

Está compuesta por terrenos con pendientes entre 5° a 25°.

Figura 19

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) en el fondo de la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2 Unidad de planicies, depresiones y otros

Esta unidad comprende las siguientes subunidades:

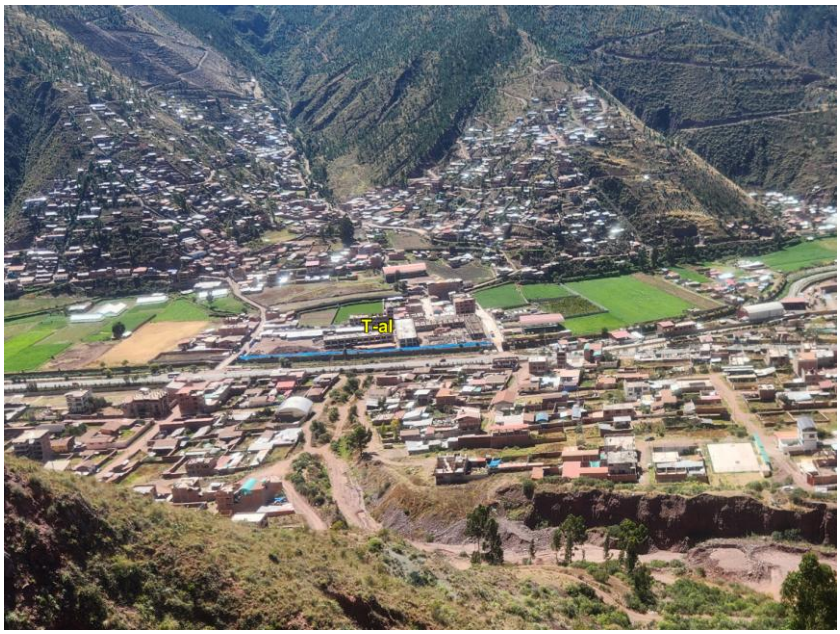
2.2.2.2.1 Terraza aluvial (T-al)

Esta subunidad corresponde a terrenos alargados con pendiente suave (<5°) que se encuentran dispuestas a los costados del cauce principal del río Huatanay. Su composición litológica es el resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferentes granulometrías (bolos, cantos, gravas en matriz areno limosa) que corresponden principalmente a rocas polimícticas. Estos materiales fueron acarreados y depositados por el caudal del río Huatanay y sus afluentes (Medina et al., 2021).

En la figura 20 se observa la subunidad terraza aluvial (T-al) en pendientes suaves (<5°), a los costados del cauce principal de río Huatanay.

Figura 20

Terraza aluvial (T-al)



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2.2 Terraza fluvial (T-fl)

Corresponde a una subunidad geomorfológica modelada por el río Huatanay en la actualidad, y que fue modificada por la actividad antropogénica a través del tiempo (Medina et al., 2021).

Comprende el lecho del río Huatanay, el cual se encuentra en la parte más baja de la zona de estudio compuesto por un terreno con pendientes menores a 15°

En la figura 21 se observa la subunidad terraza fluvial (T-fl) en pendientes suaves (<5°), en el cauce principal de río Huatanay.

Figura 21

Terraza fluvial (T-fl)

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2.3 Llanura lacustre (Ll-l)

Esta subunidad geomorfológica corresponde a depósitos lacustres antiguos, generalmente con pendientes suaves, asociados a lagunas, que en muchos casos han desaparecido (Medina et al., 2021). Compuesto por un terreno con pendiente suave (<5°) (ver Figura 22).

Figura 22

Llanura lacustre (Ll-l) en época de precipitación

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra el área de las subunidades geomorfológicas locales. Los resultados indican que la subunidad predominante en la quebrada Hatun Huayco es la Montaña estructural en roca sedimentaria (RMR-rs) con un 29.44% del área total, seguida de la Montaña en roca sedimentaria con un 27.80% del área total (ver Figuras 23 y 24).

Tabla 6

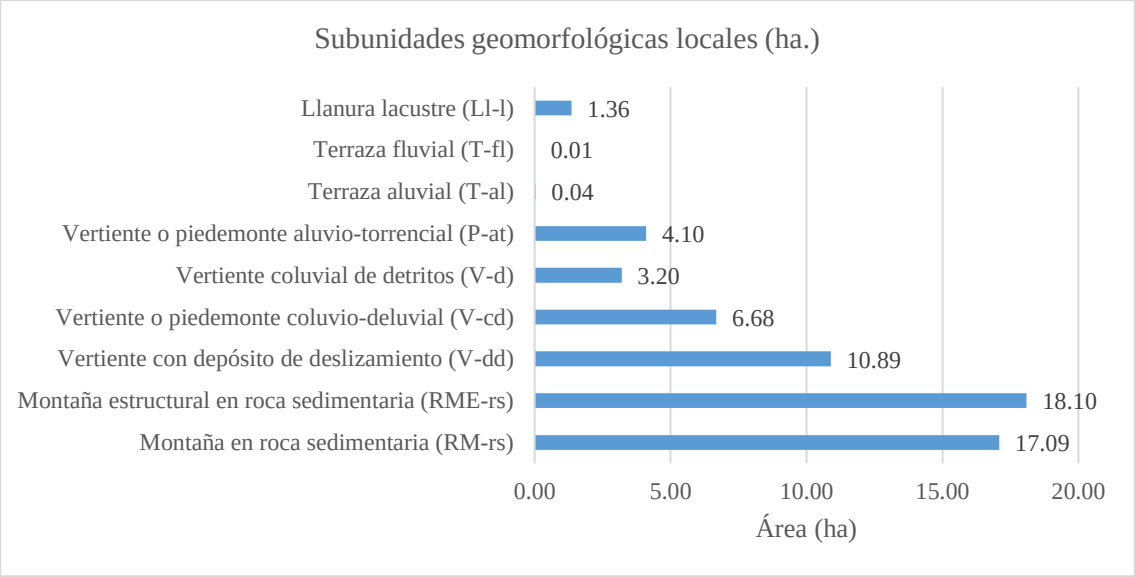
Subunidades geomorfológicas en la quebrada Hatun Huayco

Geoforma	Subunidades geomorfológicas	Simbología	Área (m^2)	Área (ha)	Área (%)
Geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional	Montaña en roca sedimentaria	RM-rs	170,915.32	17.09	27.80
	Montaña estructural en roca sedimentaria	RME-rs	180,961.35	18.10	29.44
Geoformas de carácter depositacional y erosional	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd	108,939.47	10.89	17.72
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd	66,802.74	6.68	10.87
	Vertiente coluvial de detritos	V-d	32,025.93	3.20	5.21
	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	P-at	41,044.11	4.10	6.68
	Terraza aluvial	T-al	400.82	0.04	0.07
	Terraza fluvial	T-fl	50.26	0.01	0.01
	Llanura lacustre	Ll-l	13,597.32	1.36	2.21
	Total		**614,737.31**	**61.47**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

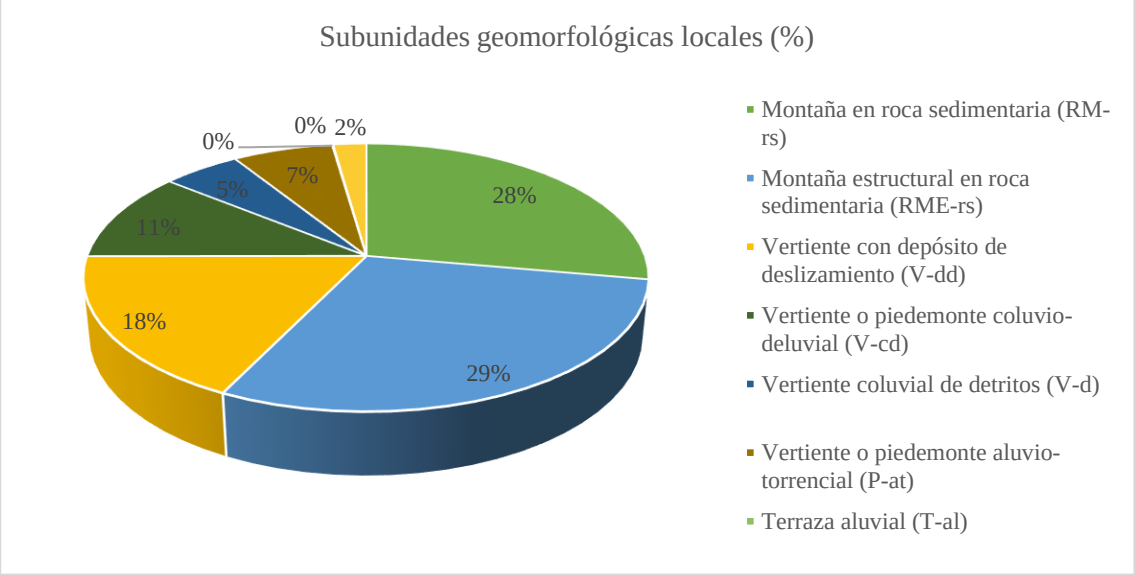
Área (ha) de las subunidades geomorfológicas locales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

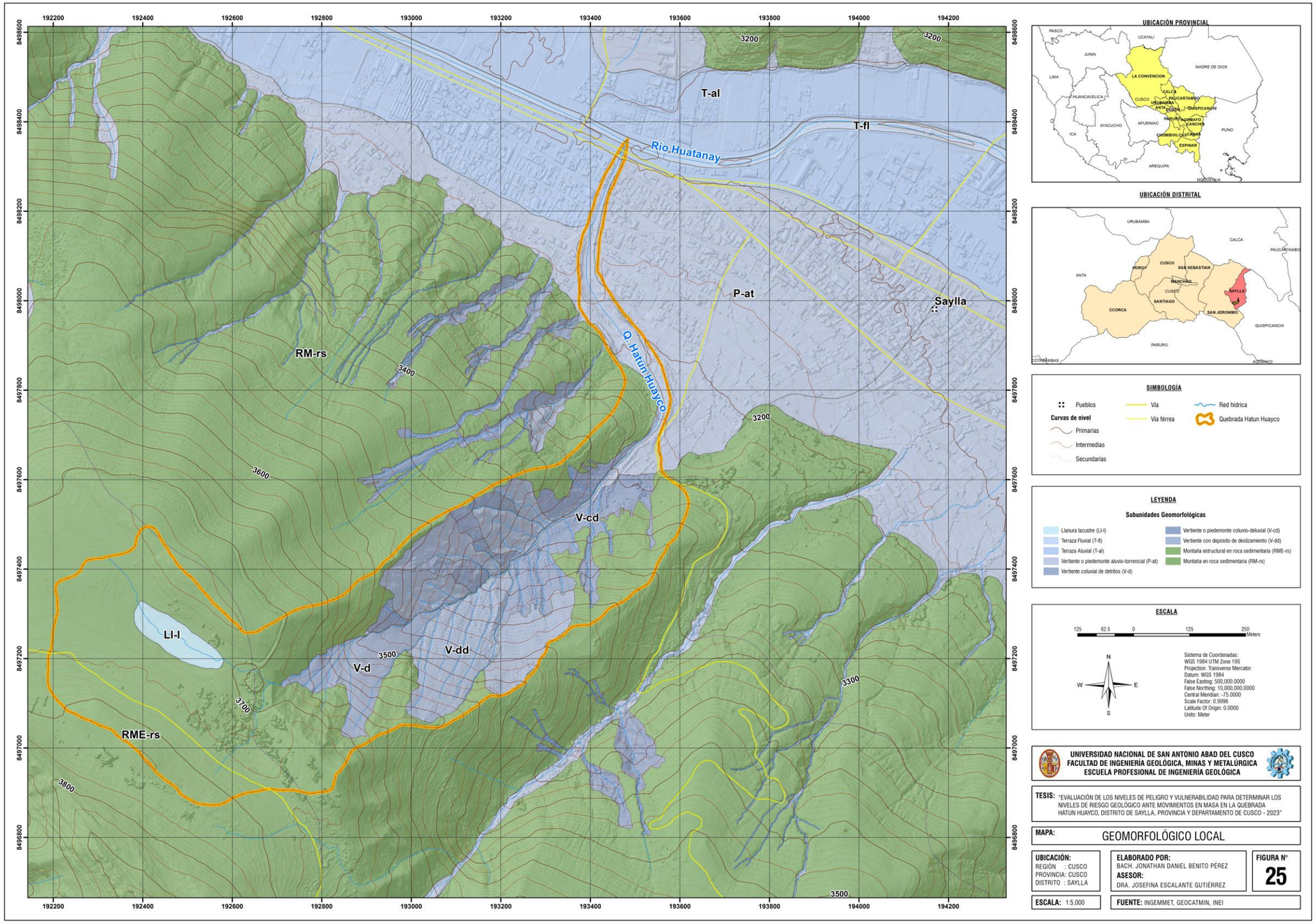
Área (%) de las subunidades geomorfológicas locales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Mapa geomorfológico local



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es uno de los principales factores dinámicos y particulares en la ocurrencia de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable. Además, es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante (Medina et al., 2021).

Se puede decir que es más propenso que ocurran movimientos en masa en laderas y cauces cuyas pendientes son mayores a 30º. También, es más alta la erosión de 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 (Medina et al., 2021).

Sin embargo, algunos procesos lentos como la reptación de suelos y algunos deslizamientos ocurren con un mínimo de pendiente. En el caso de las inundaciones y erosión fluvial, el factor condicionante es la pendiente suave, además de influir otros factores netamente geomorfológicos y dinámicos (Medina et al., 2021).

Para la clasificación de las pendientes del terreno se consideraron 5 clases según el grado de las pendientes: terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°), pendiente moderada (5°-15°), pendiente fuerte (15°-25°), pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) y pendiente muy escarpada (>45°) (Medina et al., 2021).

A continuación, se describen estas clases.

2.3.1. Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)

Estas pendientes se encuentran principalmente en el fondo y desembocadura de la quebrada, comprenden un terreno plano con sectores ondulados (ver Figura 26).

Algunas de estas áreas son susceptibles a flujos de detritos. También se encuentran en los márgenes del cauce principal del río Huatanay.

Figura 26

Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°) en depósitos proluviales

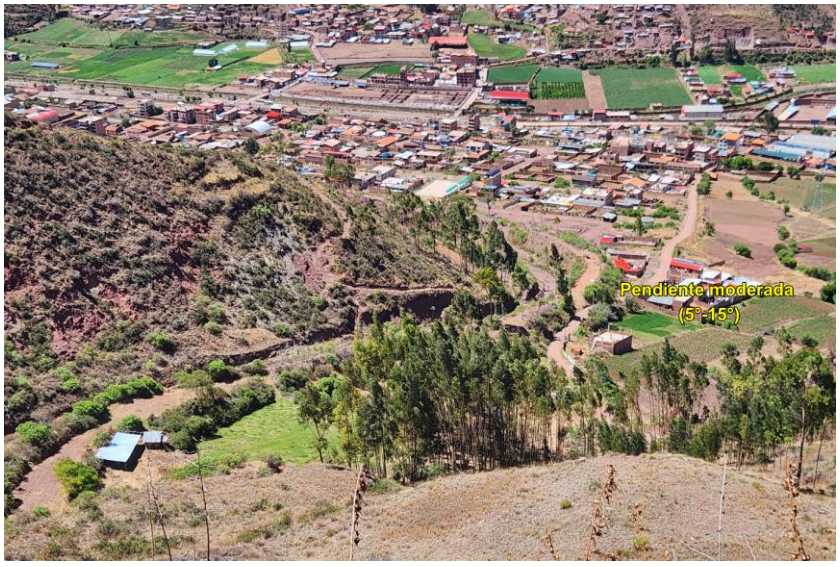
Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Pendiente moderada (5°-15°)

Se encuentra principalmente en la cabecera y la desembocadura de la quebrada, donde corresponde a depósitos cuaternarios formados por flujos de detritos (ver Figuras 27).

Figura 27

Pendiente moderada (5°-15°) en depósitos proluviales



Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Pendiente fuerte (15°-25°)

Se encuentran en la parte superior de la quebrada en las laderas de las montañas en rocas sedimentarias y en el fondo de la quebrada en los depósitos cuaternarios originados por movimientos en masa antiguos y recientes (ver Figura 28).

Figura 28

Pendiente fuerte (15°-25°) en depósitos coluviales

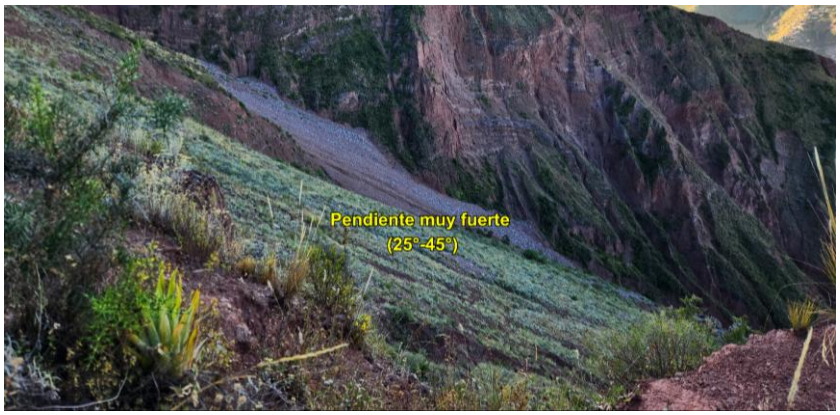
Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)

Se encuentran en las laderas de montañas en rocas sedimentarias y en las laderas de la quebrada donde ocurren movimientos en masa como deslizamientos y caídas (ver Figura 29).

Figura 29

Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en depósitos de deslizamientos (Q-dd)



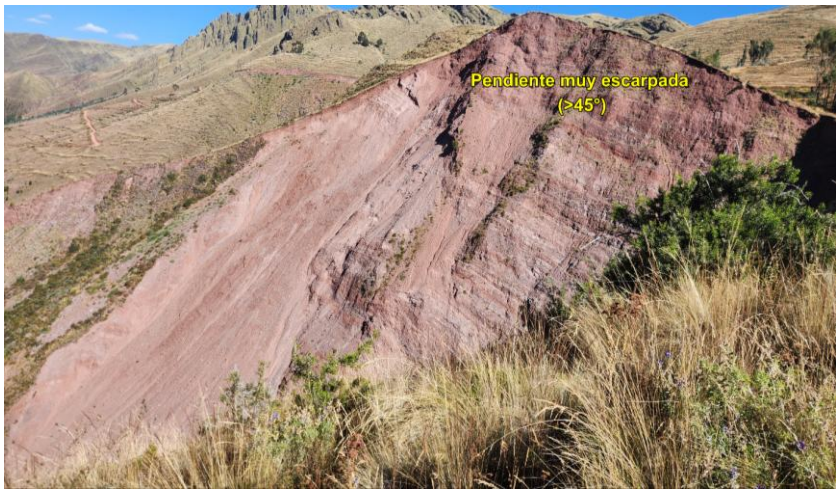
Fuente: Elaboración propia.

2.3.5. Pendiente muy escarpada (>45°)

Se encuentra en las laderas de montañas en rocas sedimentarias de la quebrada y corresponden a los depósitos cuaternarios originados por movimientos en masa como deslizamientos y caídas antiguas y recientes (ver Figura 30).

Figura 30

Pendiente muy escarpada (>45°) en laderas de la Formación Chilca (Pp-ch)



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra el área de las unidades de pendientes. Los resultados indican que la clase de pendiente predominante en la quebrada Hatun Huayco es la pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°), con un 40.57% del área total, seguida de la pendiente muy escarpada con un 21.91% del área total (ver Figuras 31 y 32).

Tabla 7

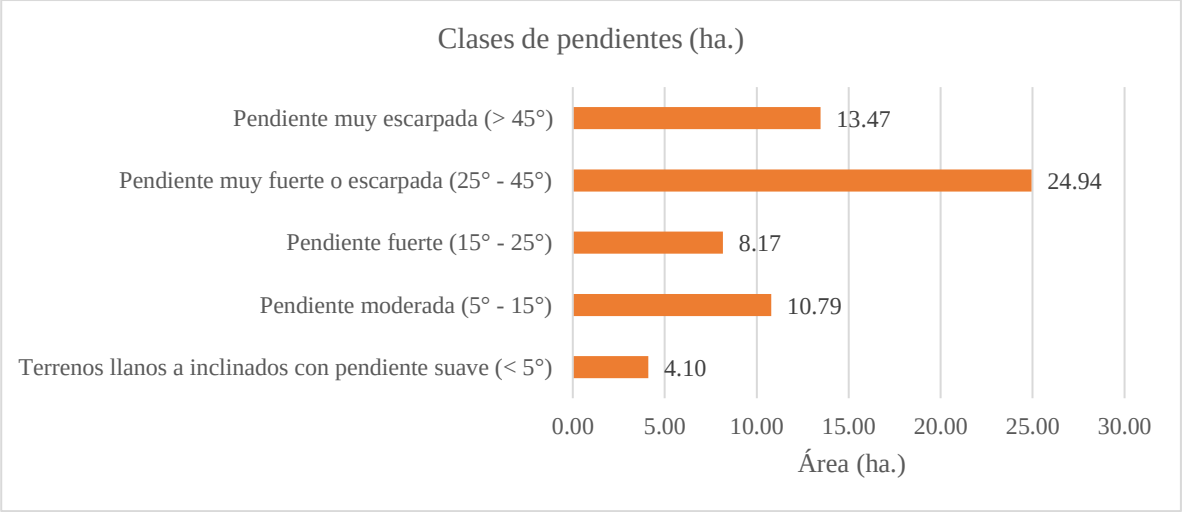
Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco

Clases de pendientes	Rangos	Área (m^2)	Área (ha)	Área (%)
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave	< 5°	41,001.43	4.10	6.67
Pendiente moderada	5° - 15°	107,942.16	10.79	17.56
Pendiente fuerte	15° - 25°	81,690.78	8.17	13.29
Pendiente muy fuerte o escarpada	25° - 45°	249,419.30	24.94	40.57
Pendiente muy escarpada	> 45°	134,683.65	13.47	21.91
Total		**614,737.31**	**61.47**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31

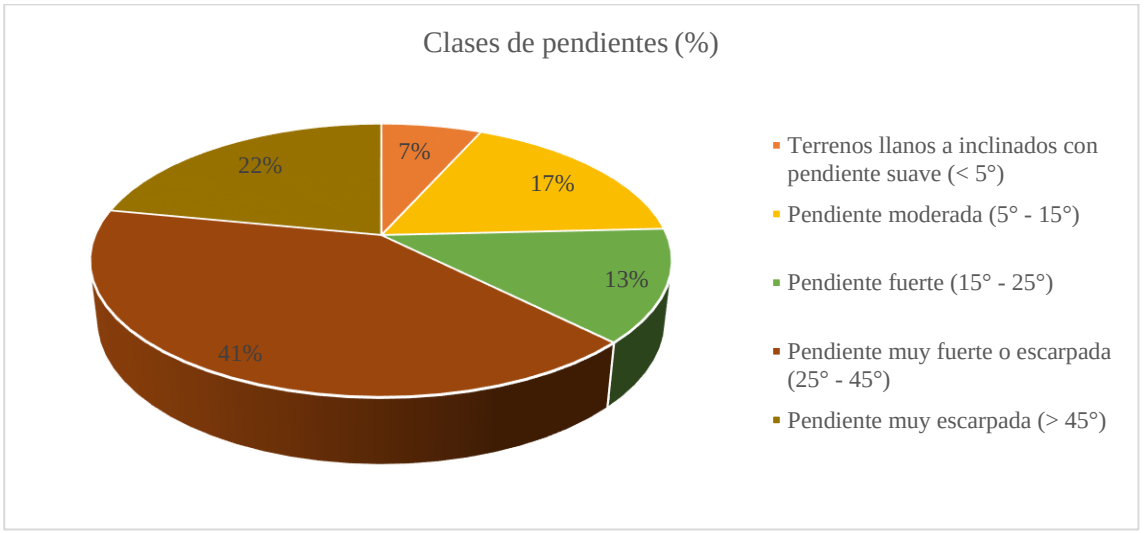
Área (ha) de las clases de pendientes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

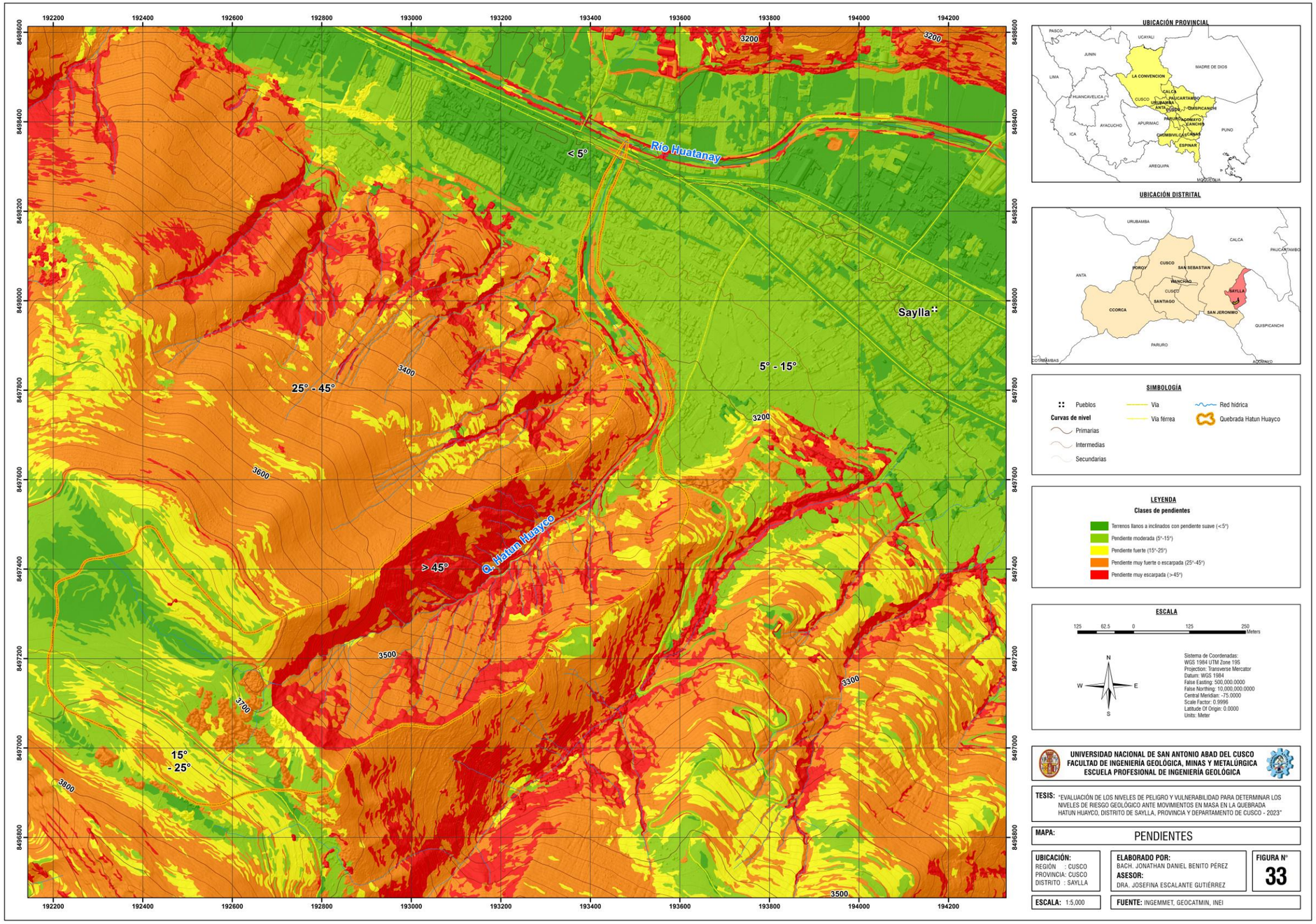
Área (%) de las clases de pendientes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Mapa de pendientes



Fuente: Elaboración propia.

2.4. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se refiere a la comunidad de plantas que crecen sobre la superficie del suelo (Ministerio del Ambiente – MINAM, 2018).

La cobertura vegetal cumple efectos protectores importantes, protege contra la erosión y afecta los procesos de evapotranspiración y de infiltración de agua. Las condiciones hidrológicas de los taludes son afectadas directamente por la vegetación. La vegetación también cumple un efecto de estabilización por el refuerzo del suelo (la acción de las raíces) y por la producción de materia orgánica, tales como las zonas arbóreas, herbazales, matorrales y pastizales. El tipo de vegetación que cubre las laderas es un parámetro importante para su estabilidad.

La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces. Como controlador de infiltraciones tiene efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir (Suárez J. , 2009).

Los factores más importantes de la cobertura vegetal son:

- Intercepta la lluvia
- Aumenta la capacidad de infiltración
- Extrae la humedad del suelo
- Grietas por desecación
- Raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al cortante
- Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
- Aumentan el peso sobre el talud
- Transmiten al suelo fuerza del viento
- Retienen las partículas del suelo, disminuyendo susceptibilidad a la erosión

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

- Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial
- Se elimina el factor de refuerzo de las raíces

- Se facilita la infiltración masiva de agua

De acuerdo con un estudio realizado por Hudec y Wharton (1993) en Trinidad, el 64.9% de los deslizamientos analizados están relacionados con alteraciones arriba de la corona, de los cuales el 38.3% corresponde a áreas de cultivos y el 35.1% a deforestación.

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en áreas de depósitos coluviales en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

Se clasificó la cobertura vegetal a nivel de sus formaciones vegetales, según el Mapa nacional de cobertura vegetal (MINAM, 2015), los cuales están relacionaos con su forma predominante, como:

2.4.1. Arbórea (A)

En esta unidad predominan los árboles. Se pueden encontrar áreas arbóreas en la cabecera, laderas y la parte baja de la quebrada Hatun Huayco (ver Figura 34).

Figura 34

Cobertura arbórea (A)

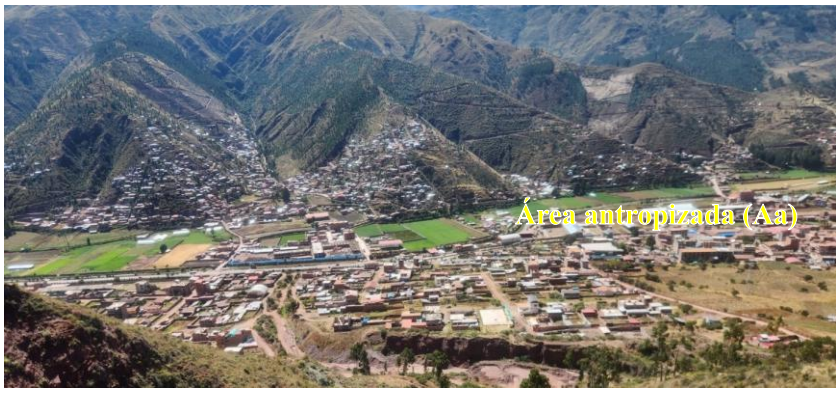
Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Área antropizada (Aa)

Esta unidad se caracteriza porque predomina la transformación que ejerce el ser humano en el suelo. Se encuentra principalmente en la parte baja de la quebrada, en el centro poblado de Saylla y en la parte alta, correspondiente a las vías y a un canal presente (ver Figura 35).

Figura 35

Área antropizada



Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Cuerpo de agua (Ca)

En esta unidad predominan los ríos, manantiales, lagunas, etc. En el área de estudio se encuentra un cuerpo de agua correspondiente a un humedal que se encuentra en la cabecera de la quebrada (ver Figura 36).

Figura 36

Cuerpo de agua

Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Cultivo (C)

En esta unidad predominan las parcelas de cultivo. En la quebrada Hatun Huayco se pueden encontrar áreas de cultivo en la parte alta y baja (ver Figura 37).

Figura 37

Áreas de cultivo

Fuente: Elaboración propia.

2.4.5. Escasa cobertura (Ec)

Esta unidad se caracteriza porque predomina la escasa vegetación. En el ámbito de estudio se pueden encontrar zonas de escasa cobertura en las laderas y en el fondo de la quebrada (ver Figura 38).

Figura 38

Zonas de escasa cobertura

Fuente: Elaboración propia.

2.4.6. Matorral (M)

En esta unidad predominan los arbustos leñosos. Estas áreas se encuentran principalmente en las laderas de la margen derecha de la quebrada (ver Figura 39).

Figura 39

Matorral

Fuente: Elaboración propia.

2.4.7. Pastizal (P)

Esta unidad se caracteriza por la predominancia de los pajonales, Ichu y otras especies vegetales. En la quebrada se puede encontrar esta cobertura vegetal principalmente en la cabecera (ver Figura 40).

Figura 40

Pastizal

Fuente: Elaboración propia.

2.4.8. Rodal (R)

En esta unidad predominan los arbustos o hierbas perennes. Estas áreas se encuentran principalmente en las laderas de la margen izquierda de la quebrada (ver Figura 41).

Figura 41

Rodal

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se muestra el área de las unidades de cobertura vegetal. Los resultados indican que la unidad predominante en la quebrada Hatun Huayco es la Escasa Cobertura (Ec) con 26.59% del área total, seguida de los Pastizales con un 24.33% del área total (ver Figura 42 y 43).

Tabla 8

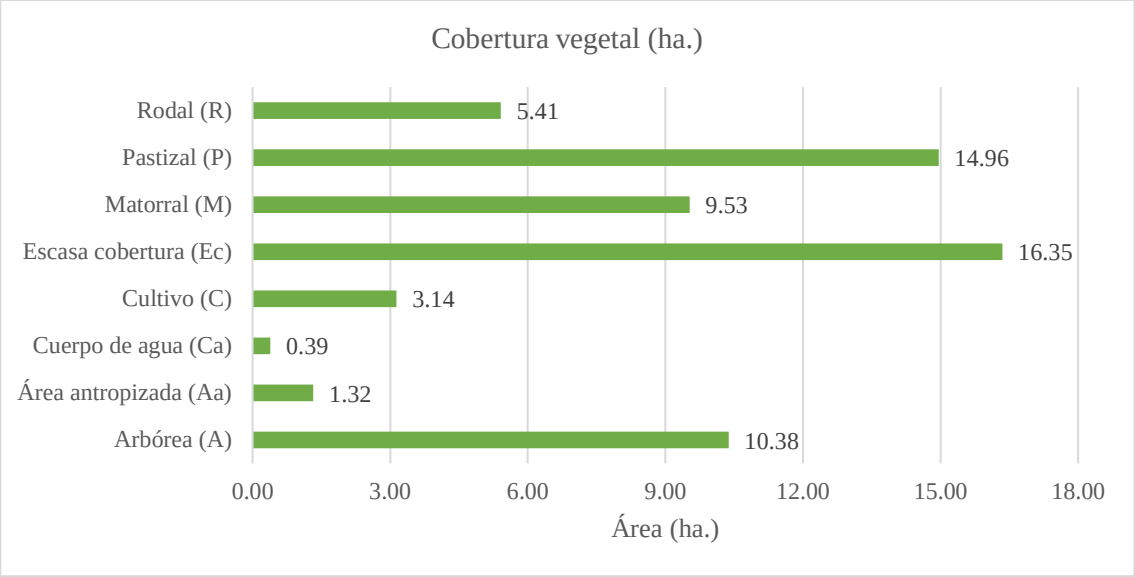
Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco

Unidades de cobertura vegetal	Simbología	Área (m^2)	Área (ha.)	Área (%)
Arbórea	A	103,804.37	10.38	16.89
Área antropizada	Aa	13,225.21	1.32	2.15
Cuerpo de agua	Ca	3,850.36	0.39	0.63
Cultivo	C	31,370.72	3.14	5.10
Escasa cobertura	Ec	163,474.25	16.35	26.59
Matorral	M	95,296.72	9.53	15.50
Pastizal	P	149,580.70	14.96	24.33
Rodal	R	54,134.97	5.41	8.81
Total		**614,737.31**	**61.47**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

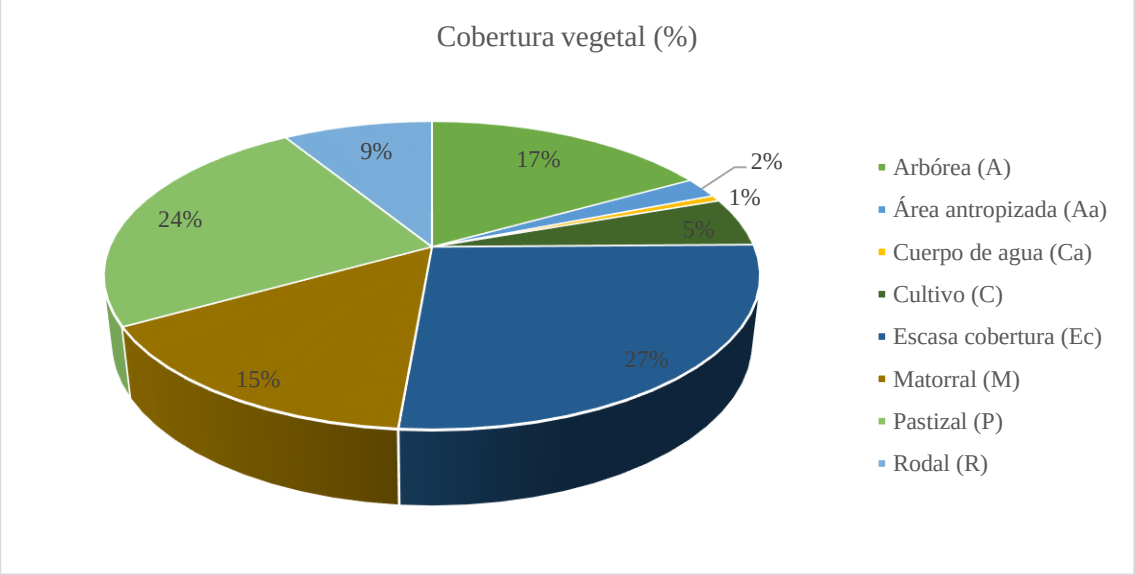
Área (ha) de las unidades de cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

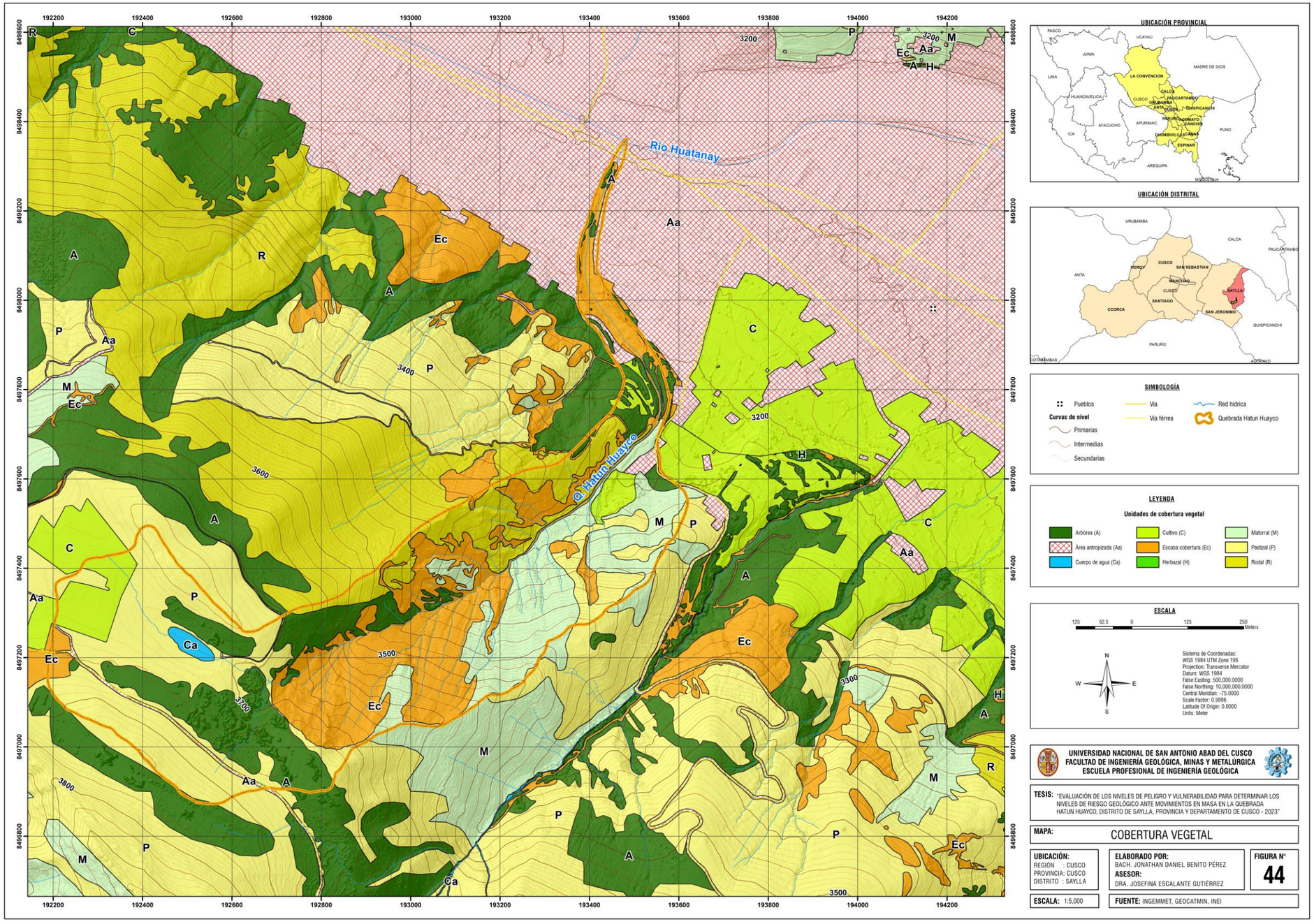
Área (%) de las unidades de cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

Mapa de cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: GEOLOGÍA

La identificación y caracterización de las unidades litoestratigráficas es importante para el análisis de la susceptibilidad a peligros geológicos. A continuación, se describen las distintas unidades litoestratigráficas regionales y locales de la zona de estudio.

3.1. Geología regional

Regionalmente en el area de estudio se encuentran unidades litoestratigraficas del Jurásico, Cretácico, Paleogeno y depósitos cuaternarios del Holoceno.

3.1.1. Jurásico

3.1.1.1 Formacion Pachatusan (Ji-pa)

La Formación Pachatusan esta constituida por brechas, aglomerados, coladas volcanicas de basaltos y en ocasiones riolitas e ignimbritas. Estas rocas volcanicas estan intercaladas con rocas sedimentarias y se caracterizan por su color rojo violáceo. (Carlotto et al., 2011).

3.1.2. Cretácico

3.1.2.1 Formacion Huancané (Ki-hn)

Esta unidad esta constituida por areniscas cuarzosas con laminaciones oblicuas fluviales y eólicas, en la base se encuentran microconglomerados de cuarcitas (Carlotto et al., 2011).

3.1.2.1 Formacion Puquín (Ks-pu)

Esta unidad esta constituida por lutitas rojas y moradas lacustres con carofitas, yesos, lutitas negras marinas muy poco profundas y areniscas fluviales (Carlotto et al., 2011).

3.1.3. Paleógeno

3.1.3.1 Formacion Quilque (Pp-qu)

La Formación Quilque aflora en los flancos del anticlinal de Saylla-Lucre, y esta constitudia por lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas y calizas (Carlotto et al., 2011).

3.1.3.2 Formacion Chilca (Pp-ch)

La Formacion Chilca se encuentra en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque, aunque en la mayoría de los casos se halla erosionada parcialmente. Esta formación se encuentra en discordancia erosional sobre la Formación Quilque (Paleoceno inferior) y bajo la Formación Kayra (Eoceno inferior) (Carlotto et al., 2011).

Este unidad está constituida por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas, que pasan gradualmente a areniscas rojas feldespáticas de un sistema fluvial de canales entrelazados (Carlotto et al., 2011).

3.1.3.3 Formacion Kayra (Peo-ky)

La Formación Kayra está constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación (Carlotto et al., 2011).

3.1.3.1 Formacion Soncco (Peo-so)

Esta unidad esta constituida por lutitas y margas rojas con intercalaciones de yesos, areniscas feldespaticas fluviales blancas y verdosas, y conglomerados fluviales (Carlotto et al., 2011).

3.1.4. Cuaternario

3.1.4.1 Depósito glaciar (Q-gl)

Los depósitos glaciares (morrenas) corresponden a depósitos de gravas y bloques de diferentes tamaños con matriz variable, con limos arenosos y arcillas (Carlotto et al., 2011).

3.1.4.2 Depósitos aluviales (Q-al)

En los depósitos aluviales se consideran a los conos aluviales y a los conos de deyección adosados a la desembocadura de las quebradas adyacentes al río Huatanay, y están conformados por bloques y gravas de areniscas y lutitas envueltos por una matriz areno-arcillosa (Carlotto et al., 2011).

3.1.4.1 Depósitos fluviales (Q-fl)

Este tipo de depósitos se encuentran reconocidos en el fondo del valle del río Huatanay. Estan conformados por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas (Carlotto et al., 2011).

3.1.4.2 Depósitos coluviales (Q-co)

Los depósitos coluviales corresponden a los depósitos de pendiente producto de los movimientos en masa como deslizamientos y caidas (Carlotto et al., 2011).

En la Figura 45 se observa las unidades litoestratigráficas regionales en la quebrada Hatun Huayco.

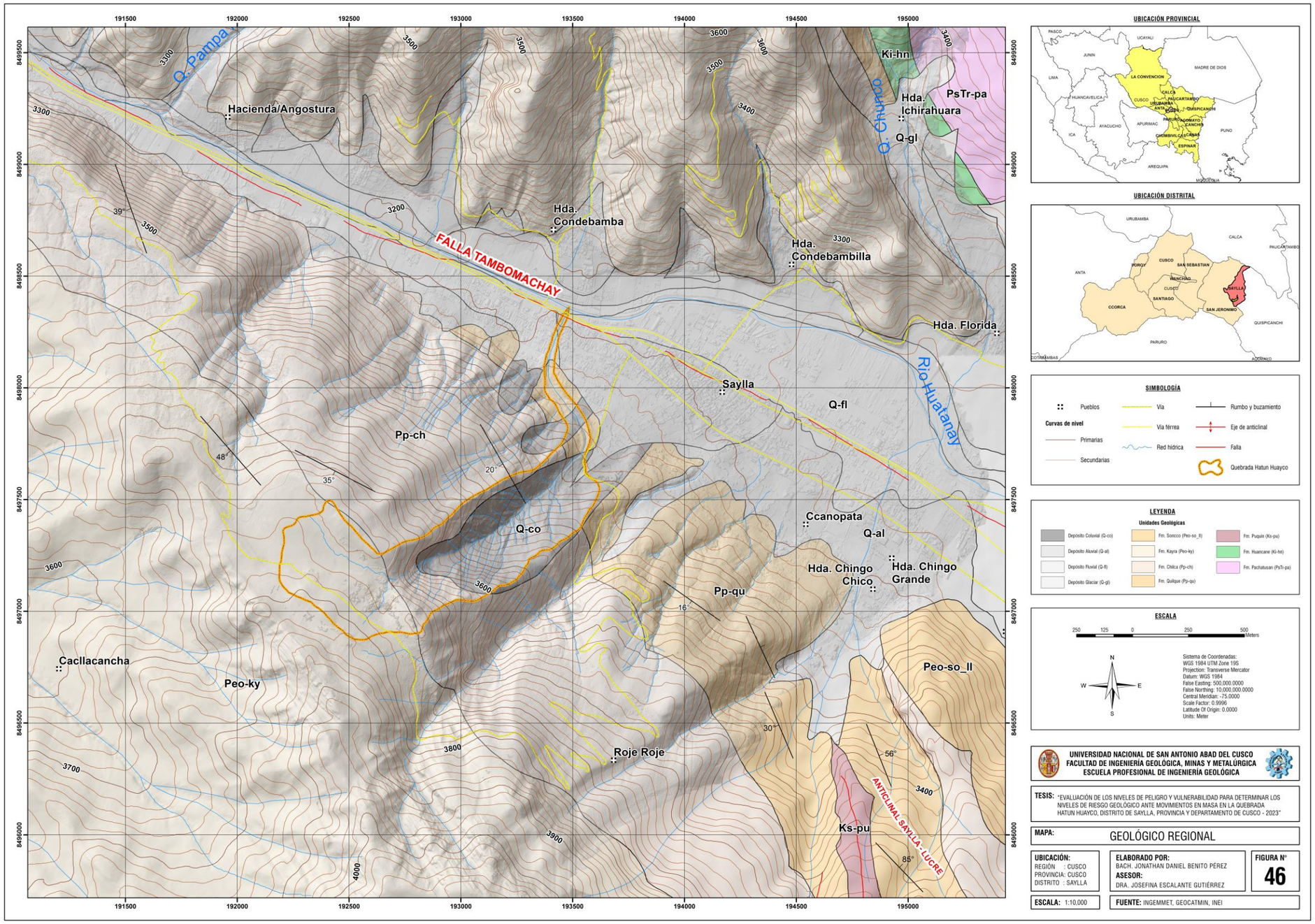
Figura 45

Unidades litoestratigráficas regionales

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Mapa geológico regional



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Geología local

Se identificó las unidades litoestratigráficas de la quebrada Hatun Huayco teniendo como fuente principal el Cuadrángulo Geológico de Cusco 28-s (Carlotto et al., 2011), donde anteriormente se describieron rocas sedimentarias del Paleógeno y depósitos cuaternarios del Holoceno. Este trabajo se complementó con observaciones de imágenes satelitales de la zona y descripciones en salidas de campo.

3.2.1. Unidades Litoestratigráficas

En la quebrada Hatun Huayco se identificaron unidades litoestratigráficas de origen sedimentario conformadas por las formaciones Quilque, Chilca y Kayra, además de depósitos cuaternarios lacustres, coluviales, coluvio-deluviales, de deslizamiento, proluviales, aluviales y fluviales, los cuales son descritos a continuación.

3.2.1.1 Formación Quilque (Pp-qu)

La Formación Quilque aflora en la zona inferior de la quebrada Hatun Huayco. Está compuesta por una intercalación de lutitas lacustres rojo moradas, areniscas y microconglomerados fuertemente fracturadas y meteorizadas (Carlotto et al., 2011). Esta unidad origina movimientos en masa como caídas y es susceptible a la formación de cárcavas (ver Figura 47).

Figura 47

Formación Quilque (Pp-qu)

Fuente: Elaboración propia.

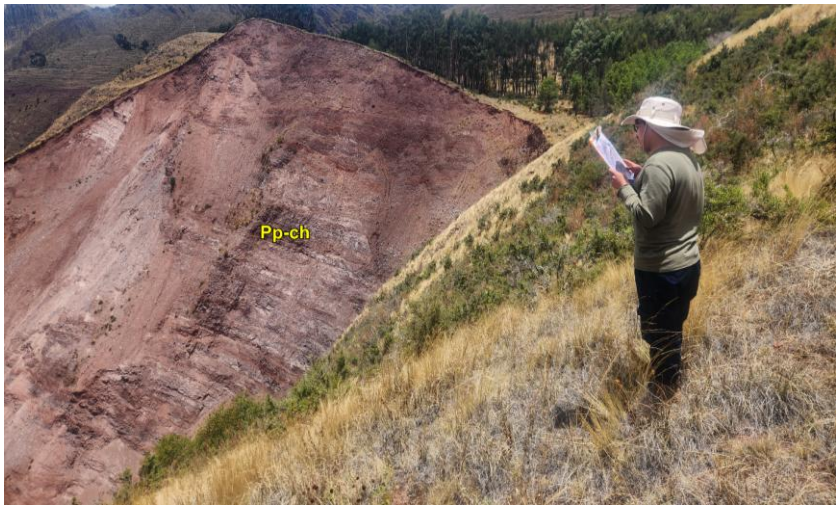
3.2.1.1 Formación Chilca (Pp-ch)

Esta formación aflora en la parte media y superior de la quebrada Hatun Huayco, está compuesta por lutitas y margas de color rojo ladrillo con intercalaciones delgadas de láminas de yeso, y areniscas altamente fracturadas y meteorizadas (Carlotto et al., 2011).

Estas rocas son consideradas de mala calidad geotécnica ya que originan movimientos en masa como deslizamientos y caídas, y es susceptible a la formación de cárcavas (ver Figura 48).

Figura 48

Formación Chilca (Pp-ch) en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Formación Kayra (Peo-ky)

Esta formación aflora en la parte superior de la quebrada Hatun Huayco y está compuesta por intercalaciones de areniscas feldespáticas con niveles de lutitas rojas, y conglomerados. En el área de estudio estas rocas forman laderas estables (ver Figura 49) (Carlotto et al., 2011).

Figura 49

Formación Kayra (Peo-ky)

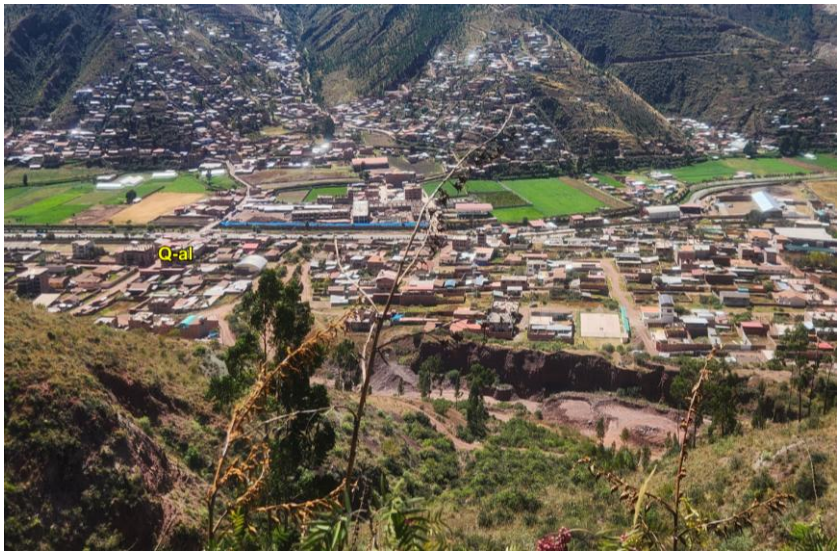
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3 Depósitos aluviales (Q-al)

Estos depósitos se encuentran dispuestos en las márgenes del río Huatanay, están conformados por fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantos y bloques) en una matriz areno arcillosa. Sobre este depósito de encuentra ubicado el distrito de Saylla y se desarrollan terrenos de cultivo (Medina et al., 2021) (ver Figura 50).

Figura 50

Deposito aluvial (Q-al)



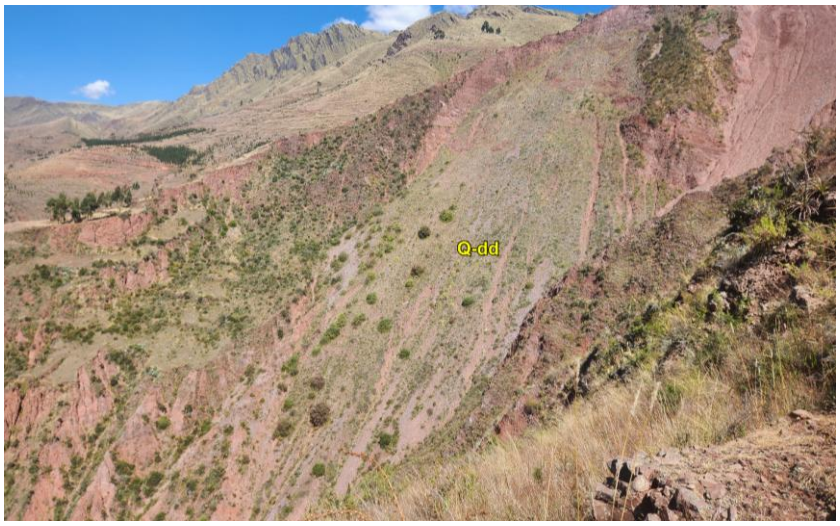
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Depósitos de deslizamiento (Q-dd)

Estos depósitos se encuentran en laderas de pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°). Corresponden a depósitos cuaternarios que han sufrido movimiento o proceso de reacomodo lento o escurrimiento rápido y bajo el influjo de la fuerza de la presión de carga por saturación (Medina et al., 2021) (ver Figura 51).

Figura 51

Depósito de deslizamiento (Q-dd)



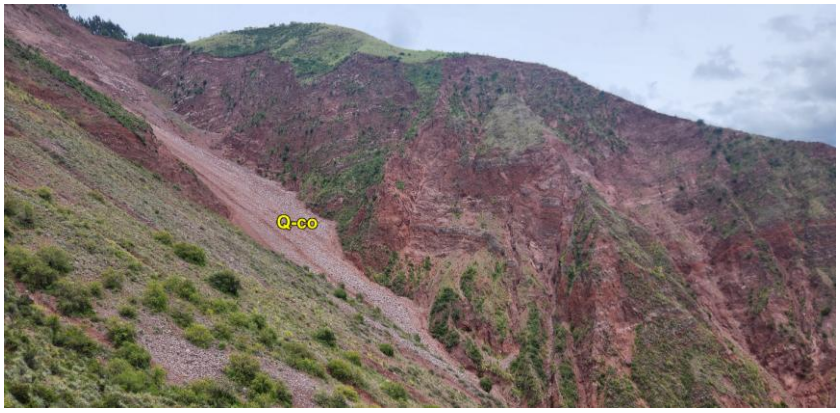
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5 Depósitos coluviales (Q-co)

Estos depósitos se encuentran dispuestos en las laderas de pendiente muy escarpada (>45°) de la quebrada Hatun Huayco. Están conformados por bloques angulosos heterométricos acumulados al pie de taludes, carecen de relleno, están sueltos y sin cohesión. Son taludes de reposo poco estables, producto de los movimientos en masa ocurridos como caídas (Medina et al., 2021) (ver Figura 52).

Figura 52

Vista de depósitos coluviales (Q-co)



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6 Depósitos coluvio deluviales (Q-cd)

Son depósitos de suelos acumulados por diversos movimientos en masa, donde el principal agente de transporte fue la gravedad y la sobresaturación de los materiales; su composición va de bloques con matriz de arcillas y limos. Estos depósitos se originan por la acumulación de materiales transportados por la gravedad y la sobresaturación de los materiales. Están conformados por bloques angulosos heterométricos en una matriz de arcillas y limos (Medina et al., 2021) (ver Figura 53).

Figura 53

Depósitos coluvio deluviales (Q-cd) en la margen izquierda de la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.7 Depósitos fluviales (Q-fl)

Estos depósitos se encuentran en el fondo del valle del río Huatanay. Estan conformados por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas (Medina et al., 2021) (ver Figura 54).

Figura 54

Depósitos fluviales (Q-fl) en el cauce del río Huatanay

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.8 Depósitos lacustres (Q-la)

Este depósito se encuentra en la parte superior de la quebrada Hatun Huayco, donde se encuentra un depósito de agua natural. Está conformado principalmente por sedimentos finos como arcillas con niveles de turba (Medina et al., 2021) (ver Figura 55).

Figura 55

Depósitos lacustres (Q-la) en época de precipitación

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.9 Depósitos proluviales (Q-pl)

Este depósito cuaternario se encuentra depositado en el fondo de la quebrada Hatun Huayco. Está conformado por fragmentos angulosos heterométricos (cantos y bloques) en una matriz limo arenosa-arcillosa. Son el resultado de la deposición de flujos de lodo antiguos y recientes en la desembocadura de la quebrada (Medina et al., 2021) (ver Figura 56).

Figura 56

Depósitos proluviales (Q-pl)

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se muestra el área de las unidades litoestratigráficas locales. Los resultados indican que la unidad predominante en la quebrada Hatun Huayco es la formación Kayra (Peo-ky) con 29.44% del área total, seguida de la formación Chilca con un 25.89% del área total (ver Figura 57 y 58).

Tabla 9

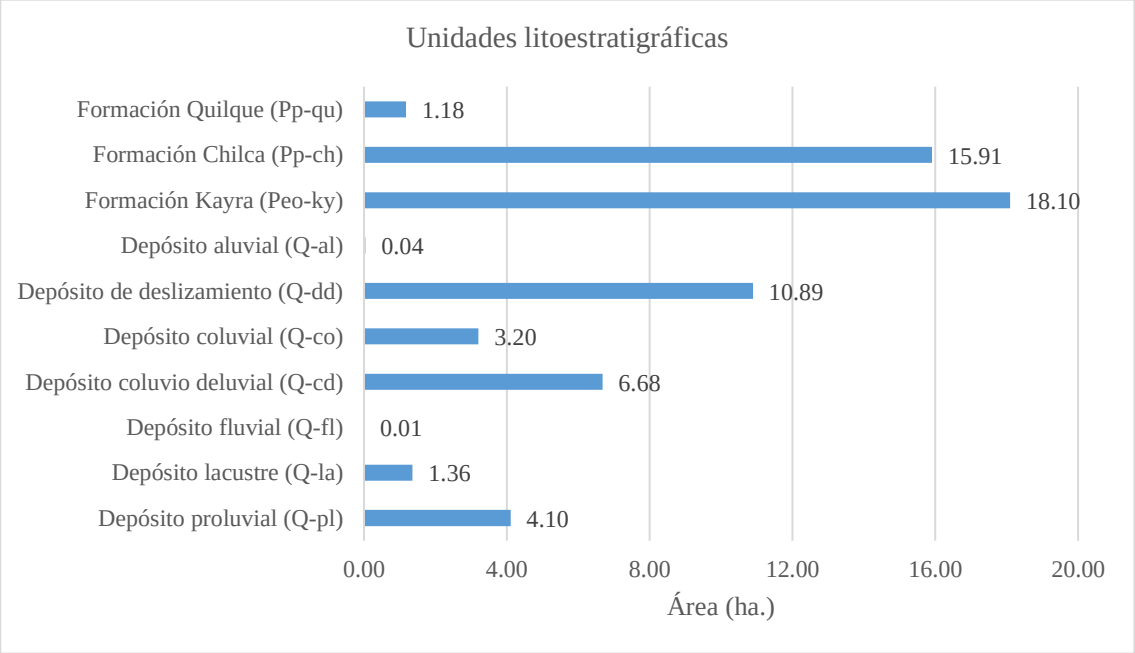
Unidades litoestratigráficas en la quebrada Hatun Huayco

Unidades litoestratigráficas	Simbología	Área (m^2)	Área (ha)	Área (%)
Depósito proluvial	Q-pl	41,044.11	4.10	6.68
Depósito lacustre	Q-la	13,597.32	1.36	2.21
Depósito fluvial	Q-fl	50.26	0.01	0.01
Depósito coluvio deluvial	Q-cd	66,802.74	6.68	10.87
Depósito coluvial	Q-co	32,025.93	3.20	5.21
Depósito de deslizamiento	Q-dd	108,939.47	10.89	17.72
Depósito aluvial	Q-al	400.82	0.04	0.07
Formación Kayra	Peo-ky	180,961.35	18.10	29.44
Formación Chilca	Pp-ch	159,127.78	15.91	25.89
Formación Quilque	Pp-qu	11,787.54	1.18	1.92
Total		**614,737.31**	**61.47**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57

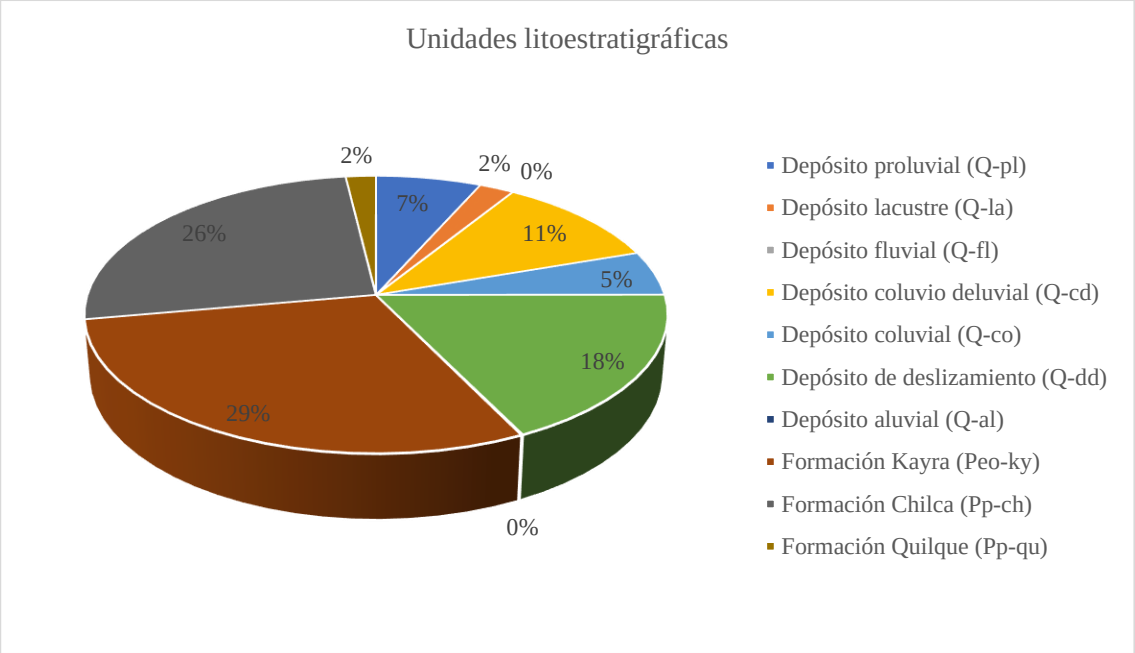
Área (ha) de las unidades litoestratigráficas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58

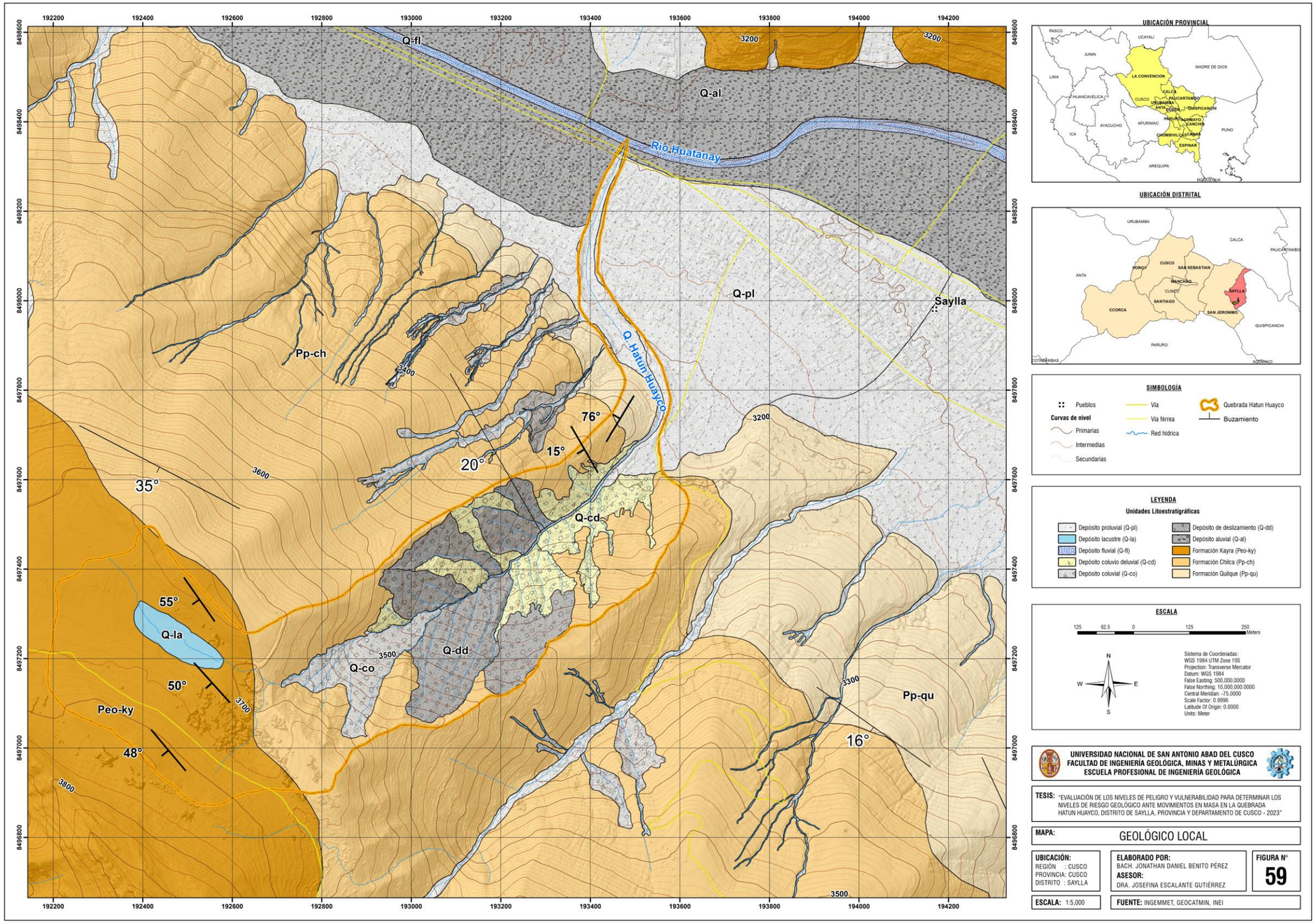
Área (%) de las unidades litoestratigráficas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59

Mapa geológico local



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El territorio peruano se encuentra ubicado en la parte occidental-centro de América del Sur, cerca de sus costas, la Placa Tectónica de Nazca subduce bajo la Placa Tectónica Sudamericana, este fenómeno ha hecho del territorio peruano una zona de mucha actividad tectónica que se traduce en varios sistemas de fallas y pliegues muy complejos que se extienden por todo el territorio. En la zona de estudio se encuentran fallas y pliegues muy importantes como la falla Tambomachay, Falla Cusco y el Anticlinal de Saylla – Lucre.

Estas estructuras geológicas controlan la evolución tectónica y sedimentaria de la zona de estudio, causando la actividad geodinámica externa presente en la quebrada Hatun Huayco.

4.1. Geología Estructural Regional

Según la Geología del cuadrángulo de Cusco (Hoja 28-s) existen cuatro dominios estructurales: Cordillera Oriental, zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, Altiplano y borde de la Cordillera Occidental.

La zona de estudio se encuentra en el dominio estructural del Altiplano.

4.1.1. Dominios estructurales

4.1.1.1 Altiplano

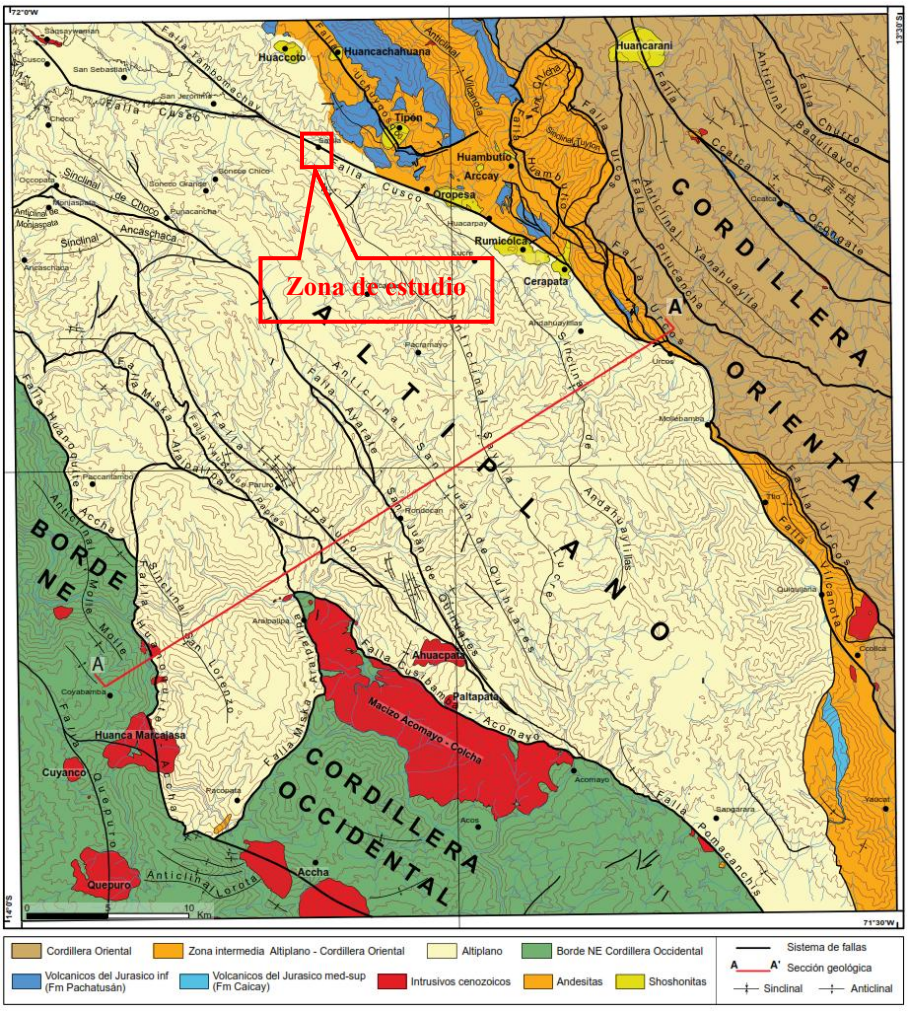
Su límite al noreste es la falla Vilcanota, parte de la falla Cusco y parte de la falla Uchuyqosqo, todas de dirección NO-SE. Al sur el Altiplano está separado de la Cordillera Occidental mediante las fallas NO-SE Pomacanchi y Cusibamba-Acomayo, así como las fallas N-S y NNO-SSE de Miska-Araipallpa y Huanoquite-Accha, los que constituyen parte del sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo (C-L-M) (Carlotto et al., 2011).

Entre estos dos grandes sistemas, el Altiplano muestra un conjunto de pliegues NO-SE que afectan a las capas rojas del Grupo San Jerónimo, la Formación Punacancha, la Formación Paccaritambo y la Formación Paruro; además de su substrato mesozoico. Resaltan los sinclinales de San Juan de Quihuares y de Andahuaylillas, separados por el anticlinal de Saylla-Lucre. Estos pliegues están abiertos y en el caso

del anticlinal de Saylla-Lucre muestra forma de cofre. Todos los pliegues son interpretados como de amortiguamiento (Carlotto, 2006) (ver Figura 60).

Figura 60

Dominios estructurales del cuadrángulo de Cusco (28-s)

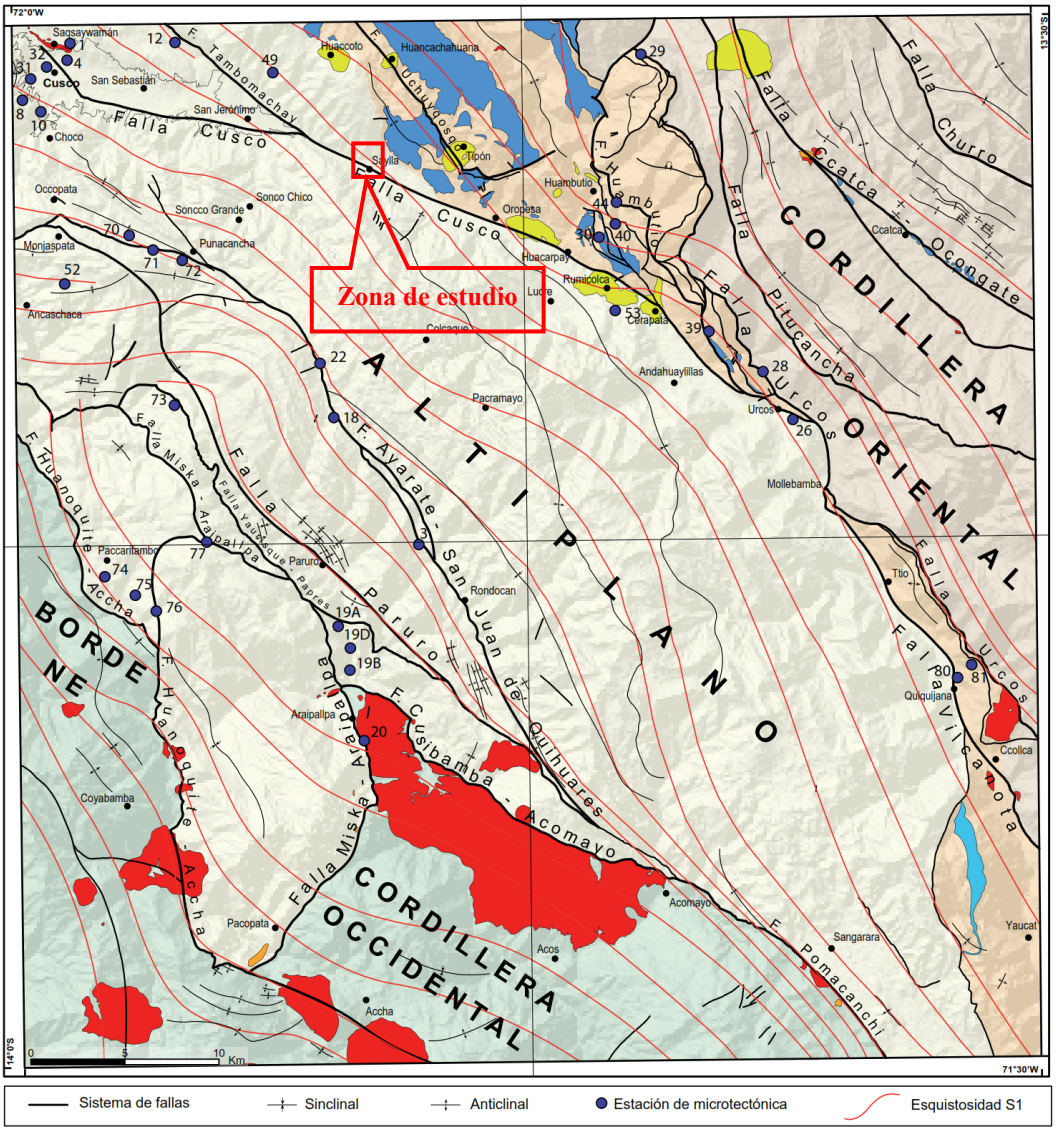


Fuente: Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011.

La cartografía muestra pliegues de dirección NE-SO, ya que se forman pliegues de interferencia como se nota en el núcleo del anticlinal de Saylla-Lucre y la deformación de los ejes de los pliegues NO-SE. Los pliegues muestran dos sistemas de esquistosidad de fractura, una S_1 de dirección NO-SE paralelo a los pliegues de primera generación (ver Figura 61) y S_2 de dirección NE-SO paralela a los de segunda generación (ver Figura 62) (Carlotto et al., 2011).

Figura 61

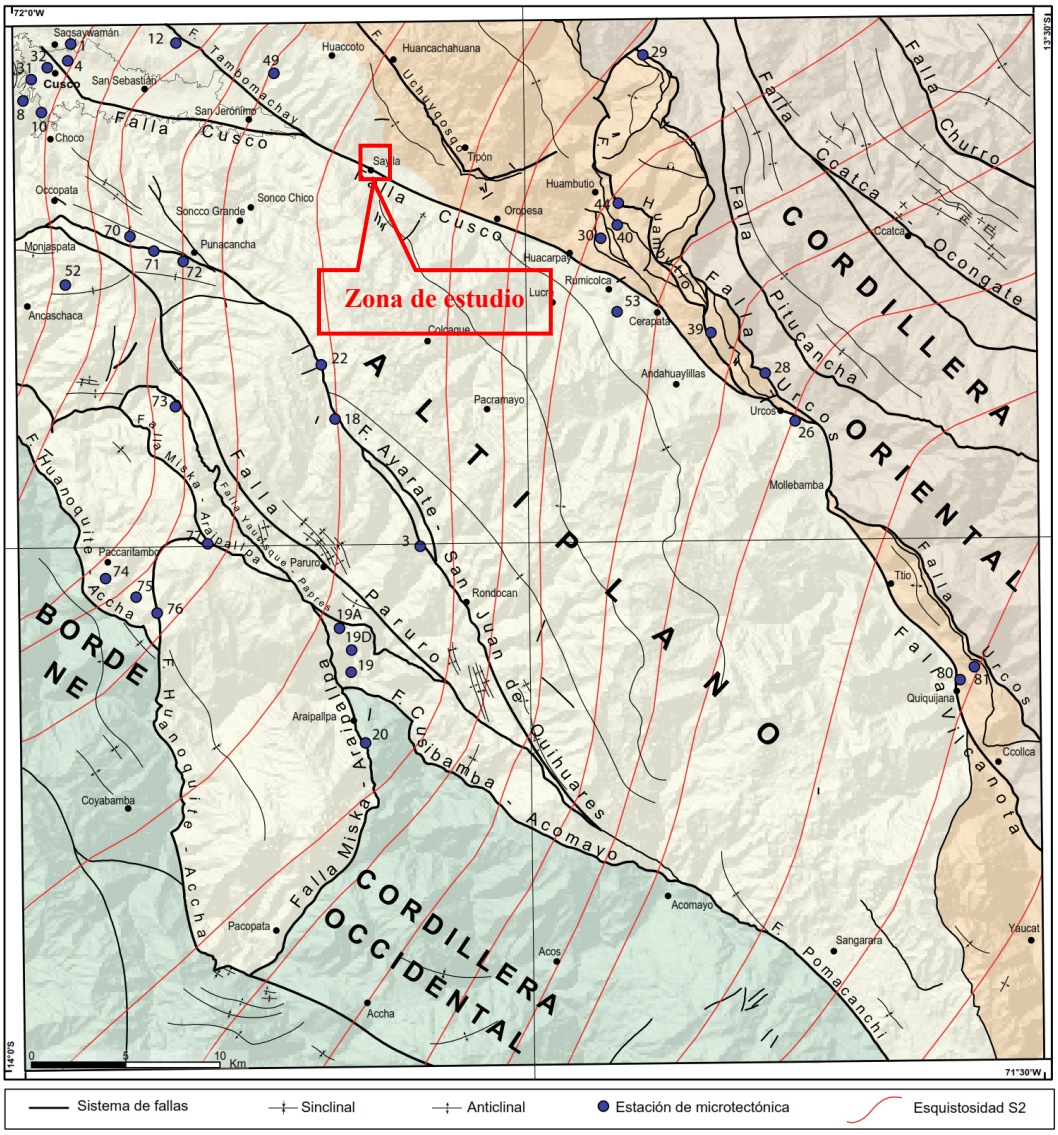
Mapa estructural que muestra la dirección de esquistosidad S_1



Fuente: Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011.

Figura 62

Mapa estructural que muestra la dirección de esquistosidad S_2



Fuente: Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011.

4.1.2. Estructuras regionales

4.1.2.1 Sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani (SFZCUS)

El sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani se desarrolla en una longitud aproximada de 220 kilómetros con una dirección aproximada de N 140° E, limita hacia el oeste con el Altiplano oriental y hacia el este con la cordillera Oriental, en su prolongación hacia el norte presenta una notable deflexión,

adoptando una dirección aproximada este-oeste. A lo largo de este sistema de fallas, aparentemente de geometría subvertical, se observan escarpes de fallas que cortan depósitos cuaternarios, indicando su actividad o reactivación por segmentos (Benavente et al., 2013).

4.1.2.1.1 Falla Tambomachay

Se encuentra ubicada en el borde norte de la ciudad del Cusco. Se extiende con dirección N 120° E a lo largo de 20 kilómetros, limitando una cuenca rellena por depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Su ubicación adyacente a la ciudad del Cusco (4 kilómetros) la convierte en un peligro latente (Benavente et al., 2013).

4.1.2.1.2 Falla Cusco

El valle del Cusco tiene una orientación noroeste-sureste, las imágenes satelitales de la microcuenca del río Huatanay muestran un lineamiento con la misma dirección, que se prolonga hasta Oropesa por el sur y la pampa de Anta por el norte (Benavente et al., 2013).

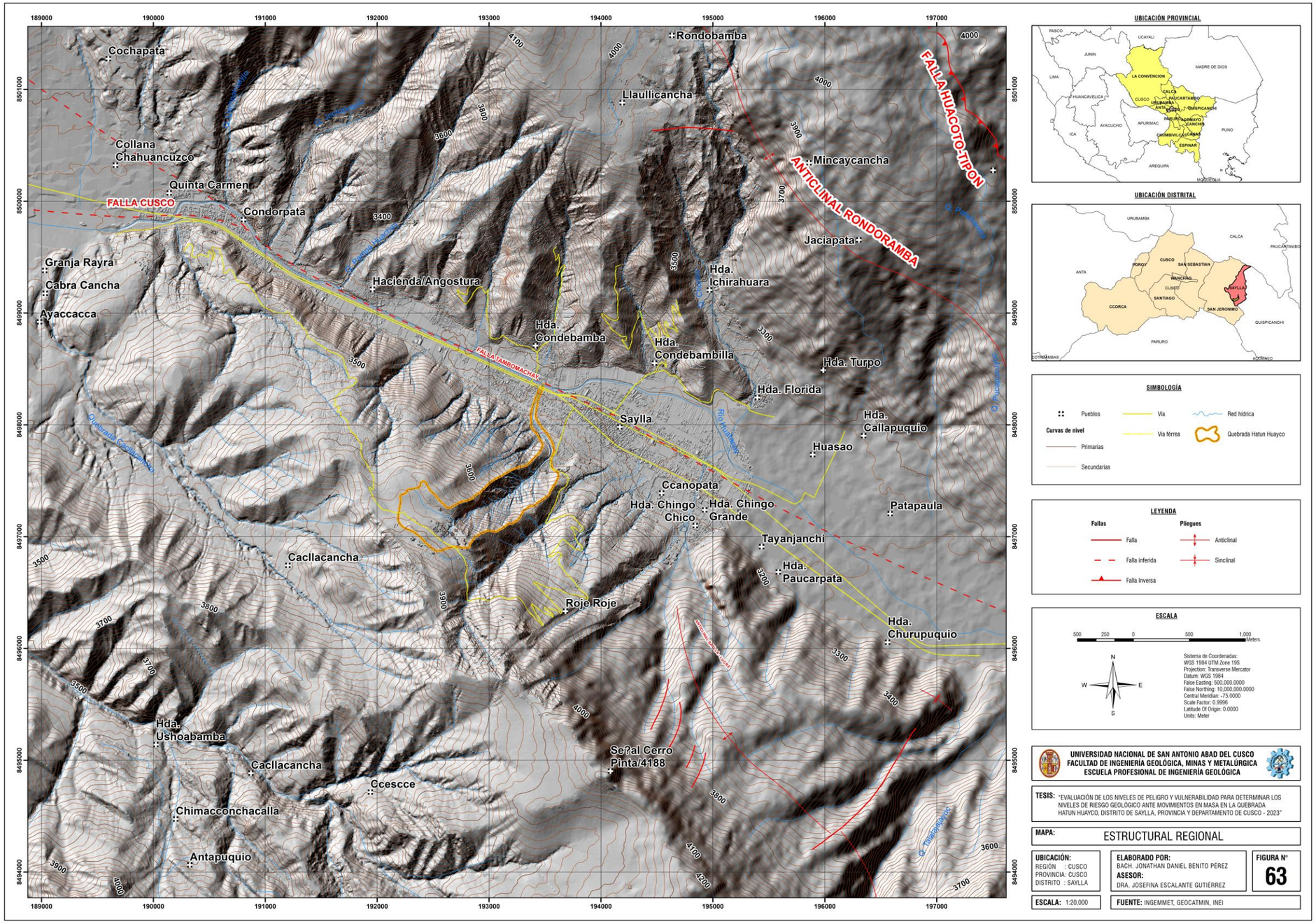
Por el sur, esta estructura parece conectarse con segmentos de la falla Tambomachay y del sistema de fallas de Pachatusan, para luego conformar o ser parte del sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani (Benavente et al., 2013).

4.1.2.2 Anticlinal Saylla - Lucre

En el área de estudio domina el anticlinal de Saylla – Lucre de dirección NO-SE y dimensiones kilométricas. En su núcleo aflora la Formación Puquín (Cretácico superior) perteneciente al Grupo Yuncaypata. En los flancos se encuentran las lutitas y limolitas de las Formaciones Quilque y Chilca del Paleoceno (ver Figura 63).

Figura 63

Mapa estructural regional



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Geología Estructural Local

La geología estructural local de la quebrada Hatun Huayco se distingue por mostrar evidencias de actividad tectónica, como pliegues y fallas, que pueden identificarse por el cambio de rumbo y buzamiento de las estratificaciones.

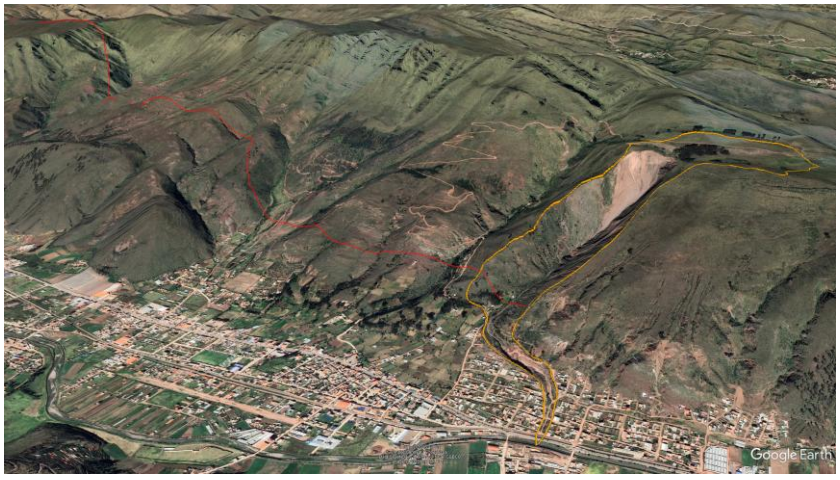
4.2.1. Plegamiento

Anticlinal Saylla – Lucre

Las rocas de la zona de estudio forman parte del anticlinal de Saylla – Lucre de dirección NO-SE. El eje del anticlinal atraviesa por la parte media de la quebrada Hatun Huayco, lo que hace que las rocas estén fuertemente fracturadas y muy deleznables. Las fracturas muestran dos direcciones principales NW-SE y NE-SW (ver Figura 64).

Figura 64

Vista del anticlinal Saylla-Lucre en la quebrada Hatun Huayco



Fuente: Google Earth.

4.2.2. Fallas locales

Las fallas identificadas se encuentran en la parte media de la quebrada Hatun huayco son locales y sin desplazamientos importantes. A continuación, se muestran las fallas cartografiadas.

4.2.2.1 Falla 1

Se identificó esta falla de tipo dextral normal según el pitch de 17° con dirección NE-SW en las lutitas y areniscas de la Formación Chilca (ver Tabla 10 y Figura 65).

Tabla 10

Datos de la falla 1

Falla	Coordenadas		Azimut	Buzamiento	Pitch
	E	N			
Dextral Normal	193395	8497682	N199°	80°NW	17°

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65

Falla normal en areniscas de la Formación Chilca

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.1 Falla 2

Esta falla dextral normal se encuentra en areniscas y lutitas de la Fm. Quilque. Se identificó un plano de falla con dirección NW-SE donde se observan las estrías y escalones de falla, definiendo un sentido de movimiento dextral normal según el pitch de 40° (ver Tabla 11 y Figura 66).

Tabla 11

Datos de la falla 2

Falla	Coordenadas		Azimut	Buzamiento	Pitch
	E	N			
Dextral Normal	193538	8497711	N330°	83°NE	40°

Fuente: Elaboración propia.

Figura 66

Plano de falla en areniscas y lutitas de la Fm. Quilque

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Diaclasas

Para un análisis más detallado de las fracturas en los macizos rocosos, se ha realizado la recolección de datos de rumbos y buzamientos de las diaclasas en campo y características de los macizos rocosos para su respectiva clasificación geomecánica de RMR.

Se realizaron dos ventanas estructurales, donde se identificaron tres familias de diaclasas (ver Tabla 12).

Tabla 12

Ubicación de las ventanas estructurales

Ventana estructural	Coordenadas		Altura
	E	N	
VE-1	193379	8497663	3313
VE-2	193508	8497679	3240

Fuente: Elaboración propia.

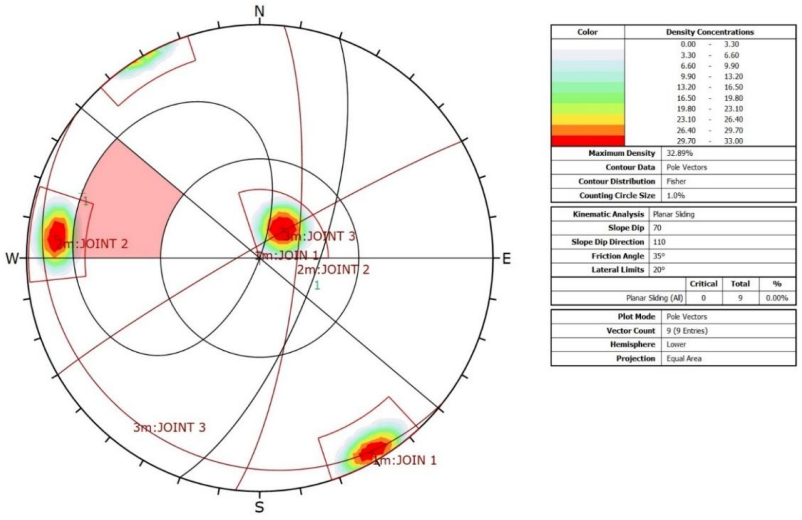
4.2.3.1 Ventana estructural 1 (VE-1)

Se realizó la medición de planos de diaclasas en areniscas de la Formación Chilca, donde se identificaron 3 familias de diaclasas y una dirección predominante de NE-SW (ver Figuras 67, 68 y 69).

Según la clasificación RMR el macizo rocoso tiene una calidad regular (ver Tabla 13)

Figura 67

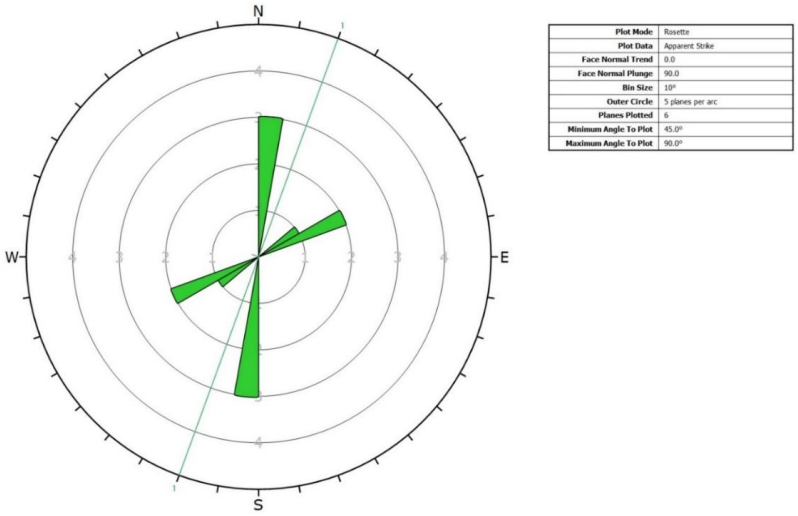
Distribución de la nube de concentración de las discontinuidades (VE-1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68

Roseta de vientos para reconocer la dirección predominante de las discontinuidades (VE-1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69

Ventana estructural 1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Clasificación geomecánica RMR del macizo rocoso 1

	Parámetros		**Rango de valores**						
1	Resistencia de la matriz rocosa	Compresión simple (Mpa)	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciamiento		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Condición de juntas o discontinuidades	Persistencia	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Cerrada	<0.1 mm	0.1 - 1 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	2	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Limpia	Duro <5 mm	Duro >5 mm	Suave <5 mm	Suave >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Meteorización	Sana	Ligeramente Meteorizada	Moderadamente Meteorizada	Muy Meteorizada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua subterránea		Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por orientación de las discontinuidades			Muy favorable	favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Orientación de rumbo y buzamiento		Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
VALOR DEL RMR									
RMR básico					55				
RMR ajustado					50				
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR									
RMR			100-81	80-61	60-41	40-21	20-0		
Descripción			I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala		

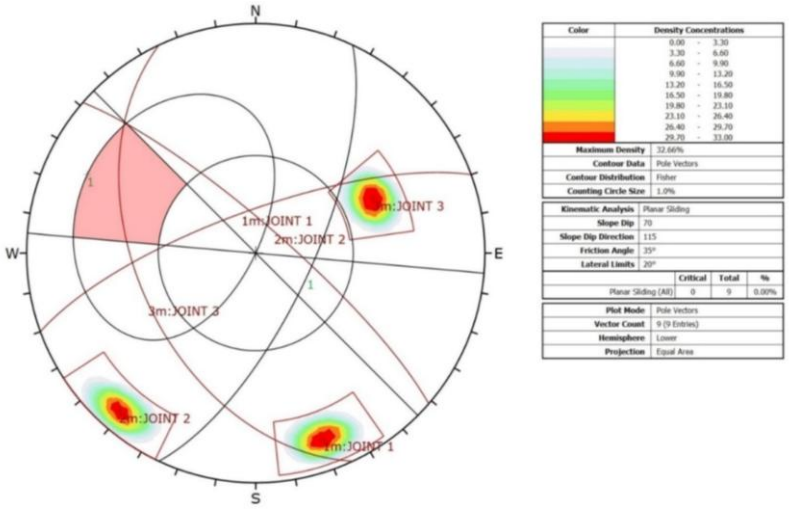
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Ventana estructural 2 (VE-2)

Se realizó la medición de planos de diaclasas en areniscas de la formación Quilque, donde se identificaron 3 familias de diaclasas y una dirección predominante de NW-SE (ver Figuras 70, 71 y 72). Según la clasificación RMR el macizo rocoso tiene una calidad mala (ver Tabla 14).

Figura 70

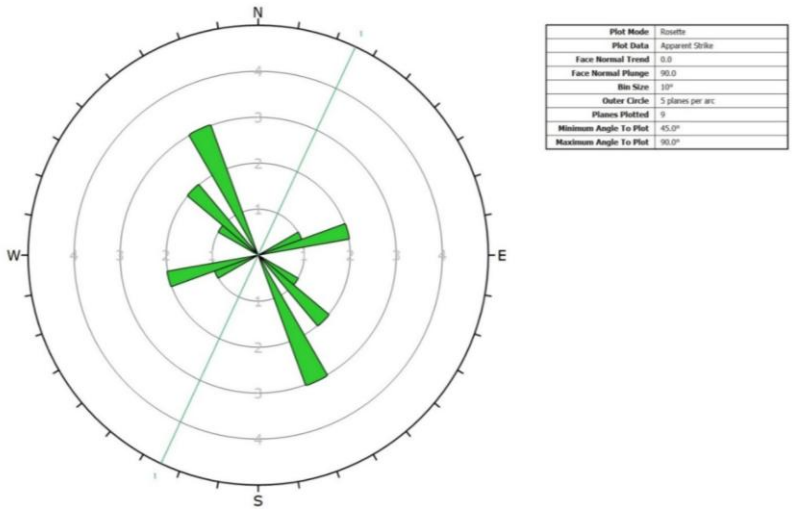
Distribución de la nube de concentración de las discontinuidades (VE-2)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 71

Roseta de vientos para reconocer la dirección predominante de las discontinuidades (VE-2)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 72

Ventana estructural 2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Clasificación geomecánica RMR del macizo rocoso 2

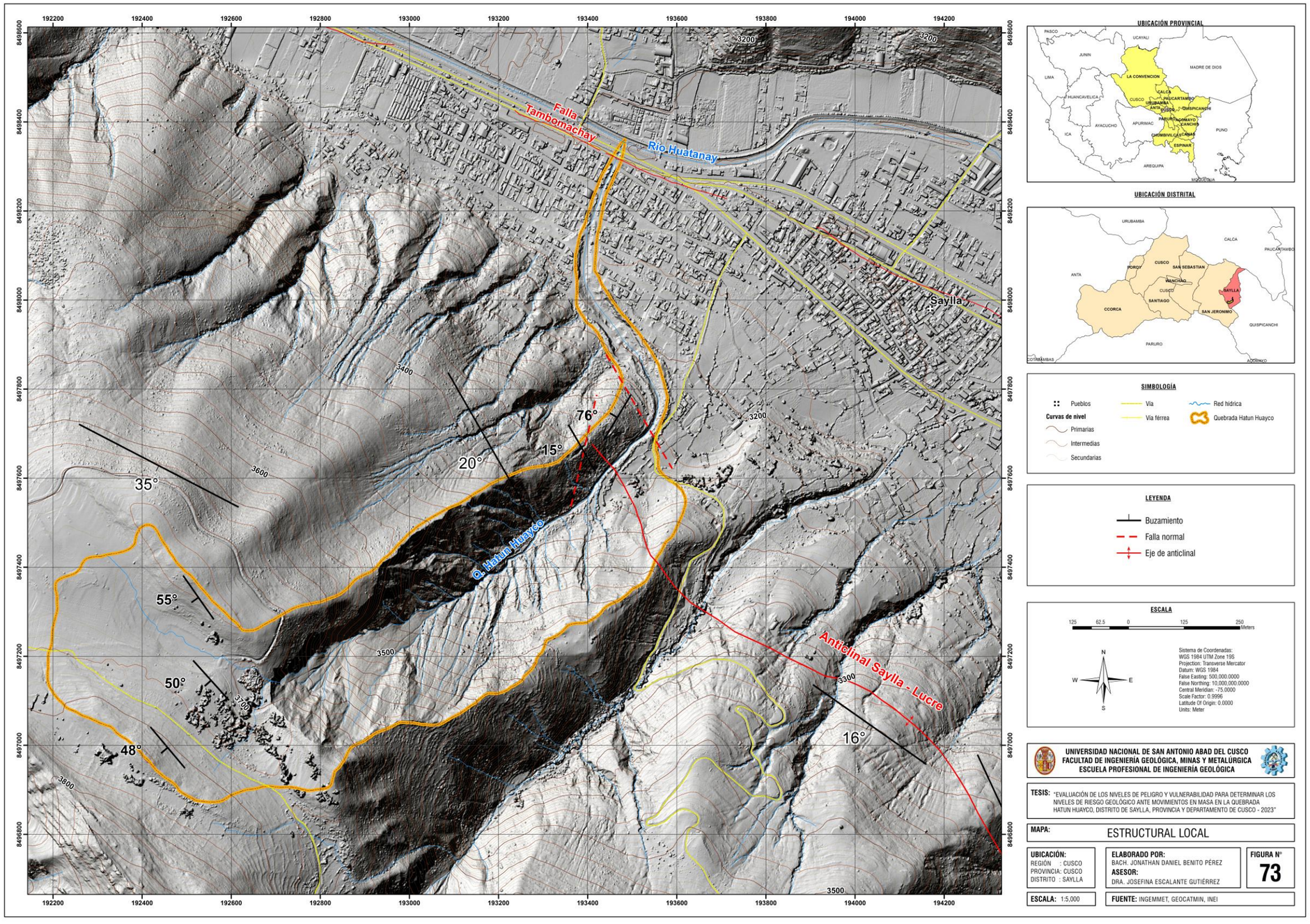
	Parámetros		**Rango de valores**						
1	Resistencia de la matriz rocosa	Compresión simple (Mpa)	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciamiento		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Condición de juntas o discontinuidades	Persistencia	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Cerrada	<0.1 mm	0.1 - 1 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Puntuación	6	5	2	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Limpia	Duro <5 mm	Duro >5 mm	Suave <5 mm	Suave >5 mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Meteorización	Sana	Ligeramente Meteorizada	Moderadamente Meteorizada	Muy Meteorizada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua subterránea		Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por orientación de las discontinuidades			Muy favorable	favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Orientación de rumbo y buzamiento		Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
VALOR DEL RMR									
RMR básico					57				
RMR ajustado					32				
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR									
RMR			100-81	80-61	60-41	40-21	20-0		
Descripción			I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala		

Fuente: Elaboración propia.

En las ventanas estructurales se observó los dos sistemas de esquistosidades de fractura, S1 de dirección NO-SE paralelo a los pliegues de primera generación y S2 de dirección NE-SO paralela a los de segunda generación.

Figura 73

Mapa estructural local



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V: HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

5.1. Hidrología

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).

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).

5.1.1. Ubicación hidrográfica

La quebrada Hatun Huayco se encuentra ubicada en la microcuenca Saylla-Huacarpay, esta cuenca según la metodología de Pfafstetter, se ubica hidrográficamente en la Intercuenca hidrográfica 499497943 de nivel 9 (ver Tabla 15).

Tabla 15

Unidades litoestratigráficas en la quebrada Hatun Huayco

Cuenca (Unidad Hidrográfica)	Nivel	Código Pfafstetter
Cuenca hidrográfica del río Amazonas	1	4
Intercuenca hidrográfica Alto Amazonas	2	49
Intercuenca Hidrográfica del río Ucayali	3	499
Cuenca hidrográfica del río Urubamba - Vilcanota	4	4994
Intercuenca hidrográfica Alto Urubamba	5	49949
Intercuenca hidrográfica del río Vilcanota	6	499497
Intercuenca hidrográfica	7	4994979
Cuenca hidrográfica del río Huatanay	8	49949794
Intercuenca hidrográfica	9	499497943

Fuente: Arqque y Quispe, 2023.

5.1.2. Parámetros morfométricos

5.1.2.1 Descripción general

La quebrada Hatun Huayco se localiza en el distrito de Saylla, provincia y departamento de Cusco. Hidrológicamente pertenece a la microcuenca Saylla-Huacarpay (ver Tabla 16).

Tabla 16

Datos generales de la quebrada Hatun Huayco

Nombre	Ubicación	Altura (msnm)		Punto de desfogue	
		Mínima	Máxima	Este	Norte
Quebrada Hatun Huayco	Distrito: Saylla Provincia: Cusco Departamento: Cusco	3145.56	3779.99	193481	8498355

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Parámetros generales

Los parámetros generales constituyen la información principal que se debe analizar para conocer la naturaleza y comportamiento de una cuenca hidrográfica. Según Ibañez et al. (2011), los parámetros generales son el área, perímetro, longitud axial, longitud total de cauces, longitud del cauce principal, longitud de cauces secundarios, ancho de la cuenca y desnivel altitudinal.

A. Área (A): 0.61 km^2

El área de una cuenca es la característica morfométrica e hidrológica más importante. Está definida por la divisoria de aguas, que permite definir el tamaño expresado en km^2 (Zhicay, 2020).

Según Jiménez y Materón (1986) la quebrada Hatun Huayco se clasifica como una unidad (ver Tabla 17) y según Campos (1998) como una cuenca muy pequeña (ver Tabla 18).

Tabla 17

Clasificación de áreas

ÁREA (km^2)	NOMBRE
< 5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Fuente: Jiménez y Materón, 1986.

Tabla 18

Clasificación de cuencas

Tamaño de la cuenca (km^2)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 50000	Grande
> 50000	Muy grande

Fuente: Campos, 1998.

B. Perímetro (P): 5.24 km

El perímetro de una cuenca se refiere a la medición de la divisoria de aguas expresada en km (Gutiérrez et al., 1986).

C. Longitud axial (La): 1.79 km

Es la distancia entre los extremos de una cuenca, desde la parte más alta hasta la parte más baja o la desembocadura, medidos en línea recta (Tacusi y Hacha, 2015).

D. Longitud total de cauces (Ltc): 7.23 km

Es la sumatoria total de las longitudes de los ríos (Carvallo y Delgado, 2013).

E. Longitud del cauce principal (Lcp): 2.33 km

Es la longitud del río principal desde el punto más distante de la cuenca hasta su desembocadura (Gaspari et al., 2012).

F. Longitud de cauces secundarios (Lcs): 4.90 km

Es la sumatoria total de todos los ríos tributarios al río principal (Carvallo y Delgado, 2013).

G. Ancho de la cuenca (W): 0.34 km

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud axial (La) de la cuenca (Tacusi y Hacha, 2015). Se calcula con la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{W = \frac{A}{La}}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (km^2)

La: Longitud axial (km)

$$\mathrm{W} = \frac{0.61\ \mathrm{km2}}{1.79\ \mathrm{km}}$$

Am = 0.34 km.

H. Desnivel altitudinal (DA): 634.43 msnm.

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta y la más baja de la cuenca (Carvallo y Delgado, 2013). Se calcula con la siguiente ecuación.

DA = HM – Hm

Donde:

HM: Cota máxima (msnm)

Hm: Cota mínima (msnm)

DA = 3779.99 – 3145.56

DA = 634.43 msnm

5.1.2.3 Parámetros de forma

La forma de una cuenca es determinante en su comportamiento hidrológico. Cuencas con la misma área, pero de diferentes formas presentan respuestas hidrológicas e hidrogramas diferentes.

Según Ibáñez et al. (2011), los parámetros de forma son el coeficiente compacidad o de Gravelius, factor de forma de Horton, índice de alargamiento y razón de elongación.

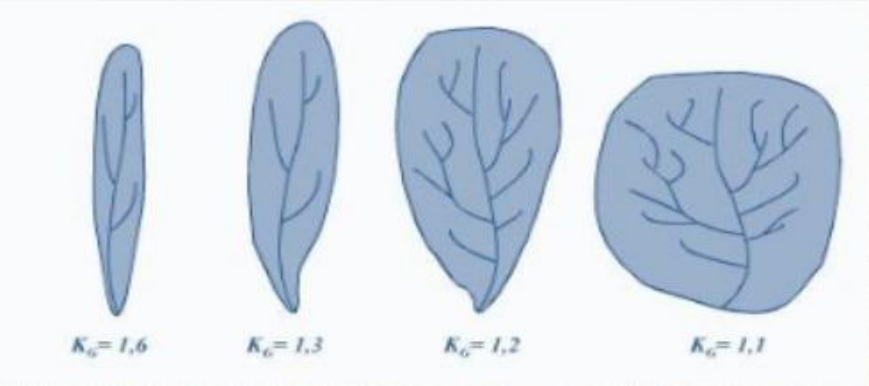
A. Coeficiente de compacidad o de Gravelius (Kc): 1.87

Define la forma y la superficie que abarca la cuenca, teniendo influencia directa sobre la escorrentía, y, por lo tanto, en la marcha y geometría del hidrograma resultante de la precipitación. Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Camino et al., 2018).

En este valor adimensional, los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua (Alcántara, 2015) (ver Figura 74).

Figura 74

Valores de Kc para diferentes formas de cuencas



Fuente: Musy, 2001.

A medida que Kc tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas (Gaspari et al., 2012). Se calcula con la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Kc = 0.28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad o de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km^2)

$$Kc = 0.28\left(\frac{5.24\ Km}{\sqrt{0.61\ Km2}}\right)$$

$$\boldsymbol{Kc = 1.87}$$

Según Villela y Mattos la quebrada Hatun Huayco por su coeficiente de compacidad se clasifica como alargada y no es propensa a las inundaciones (ver Tabla 19), y según Ortiz la tendencia a crecidas es baja (ver Tabla 20).

Tabla 19

Clasificación del coeficiente de compacidad o de Gravelius

Kc	Clasificación	Interpretación ambiental
1 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda	Alta tendencia a inundaciones
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval-alargada	Mediana tendencia a inundaciones
1.5 a 1.75	Oval alargada a alargada	Baja tendencia a la inundación
> 1.75	Alargada	Cuencas propensas a la conservación

Fuente: Villela y Mattos, 1975.

Tabla 20

Índice de Gravelius para la evaluación de la forma

Clase	Rango	Descripción	Tendencia a crecida
Kc_1	1.00 a 1.25	Forma casi redonda a oval-redonda	Alta
Kc_2	1.25 a 1.50	Forma oval-redonda a oval-alargada	Media
Kc_3	1.50 a 1.75	Forma oval-alargada a alargada	Baja

Fuente: Ortiz, 2004.

B. Factor de forma de Horton (Rf): 0.19

El factor de forma de Horton relaciona el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud axial de la misma (La) (A. Ramírez et al., 2015). Se calcula con la siguiente ecuación.

$$R_f = \frac{A}{{L_a}^2}$$

Donde:

Rf: Factor de forma

A: Área de la cuenca en (km^2)

La: Longitud axial (km)

$$R_f = \frac{0.61\ Km2}{(1.79\ Km)^2}$$

$$\boldsymbol{K_f = 0.19}$$

Según Strahler la quebrada Hatun Huayco es muy alargada (ver Tabla 21).

Tabla 21

Relación de forma de Horton (Rf)

Rango de valores	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.12	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Strahler, 1957.

C. Índice de alargamiento (Ia): 5.26

Este índice propuesto por Horton relaciona la longitud máxima de la cuenca con su ancho máximo medio que es perpendicular a la dimensión anterior (Cañibano et al., 2016).

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{Ia = \left(\frac{La}{W}\right)}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento

La: Longitud axial de la cuenca (km)

W: Ancho de la cuenca (km)

$$Ia = \left(\frac{1.79\ Km}{0.34\ Km}\right)$$

$$\boldsymbol{Ia = 5.26}$$

Según Cañibano et al., la quebrada Hatun Huayco es muy alargada (ver Tabla 22).

Tabla 22

Clasificación del índice de alargamiento

Rangos de Ia	Clases de alargamiento
0 – 1.4	Poco alargada
1.5 – 2.8	Moderadamente alargada
> 2.9	Muy alargada

Fuente: Cañibano et al., 2016.

D. Razón de elongación (Re): 0.38

Definida por Schumm (1956) como la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y la longitud máxima de la misma (Camino et al., 2018).

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Re} = \left(\frac{1.128\sqrt{A}}{Lcp}\right)$$

Donde:

Re: Razón de elongación

Lcp: Longitud del cauce principal (km)

A: Área de la cuenca (km^2)

$$\text{Re} = \left(\frac{1.128\sqrt{0.61}}{2.33}\right)$$

$$\mathbf{Re = 0.38}$$

Para valores de Re inferiores a 1, implicará formas alargadas, y cuanto menor sea Re más alargada será la forma de la cuenca. Valores próximos a 1 determinara a una cuenca con una forma redonda (Jardi, 1985).

Según Jardi, la quebrada Hatun Huayco es alargada.

5.1.2.4 Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores (Ibáñez et al., 2011).

A. Pendiente media de la cuenca (J): 59.59%

Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de una cuenca hidrográfica, tiene relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces (Tipán, 2018).

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$J = 100\left(\frac{Ltcn * Eq}{A}\right)$$

Donde

J: Pendiente media de la cuenca (%)

Ltcn: Longitud total de curvas a nivel (km)

Eq: Equidistancia entre curvas a nivel (km)

A: Área (km^2)

$$J = 100\left(\frac{72.70 * 0.005}{0.61}\right)$$

$$\boldsymbol{J = 59.59\ \%}$$

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal (Suarez, 2010).

La pendiente tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. La pendiente es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa con relación a la magnitud de las crecidas (Villon, 2004).

Según Alcántara, la quebrada Hatun Huayco es muy empinada (ver Tabla 23).

Tabla 23

Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo con su pendiente (%)

Rangos de pendiente (%)	Descripción
00 – 4	Nula o casi a nivel
4 – 8	Ligeramente inclinada
8 – 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15 – 25	Moderadamente empinada
25 – 50	Empinada
50 – 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

Fuente: Alcántara, 2015.

B. Pendiente media del cauce principal (j): 27%

La pendiente media del cauce se obtiene a partir del desnivel topográfico que se presenta sobre el cauce principal y la longitud de este. Se expresa en porcentaje. Al aumentar la pendiente aumenta la velocidad del agua por la red hidrográfica, lo que hace que la cuenca sea más susceptible a procesos erosivos y al arrastre de materiales (Ramírez, 2015).

Este parámetro es definido como la corriente de mayor longitud dentro de la cuenca; medida desde su inicio, tomando en cuenta la altura máxima hasta 1a finalización del cauce; ósea la altura mínima (Viramontes, et al. 2012).

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$j = 100 \left(\frac{DA}{L}\right)$$

Donde:

DA: Desnivel Altitudinal (km)

L: Longitud del cauce principal (km)

$$j = 100 \left(\frac{0.63}{2.33}\right)$$

$$\mathbf{j = 27\%}$$

Según Baldeon, la pendiente media del cauce principal de la quebrada Hatun Huayco es moderada (ver Tabla 24).

Tabla 24

Clases de pendiente del cauce principal (%)

Rangos de pendiente	Clases
< 10	Suave
10 – 30	Moderada
> 30	Fuerte

Fuente: Baldeon, 2016.

C. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica, permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Se obtiene colocando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca y, en las abscisas, los valores acumulados de las áreas expresadas en porcentaje (Strahler, 1952).

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca en función de la superficie dominante. (Villon, 2002).

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas (Ibáñez et al., 2011) (ver Tabla 25).

En las cuencas pueden presentarse diferentes tipos de curvas hipsométricas debido a su evolución (edad del río), que permite definir características fisiográficas (Aguilar y Naranjo, 2018) (ver Figura 75).

Tabla 25

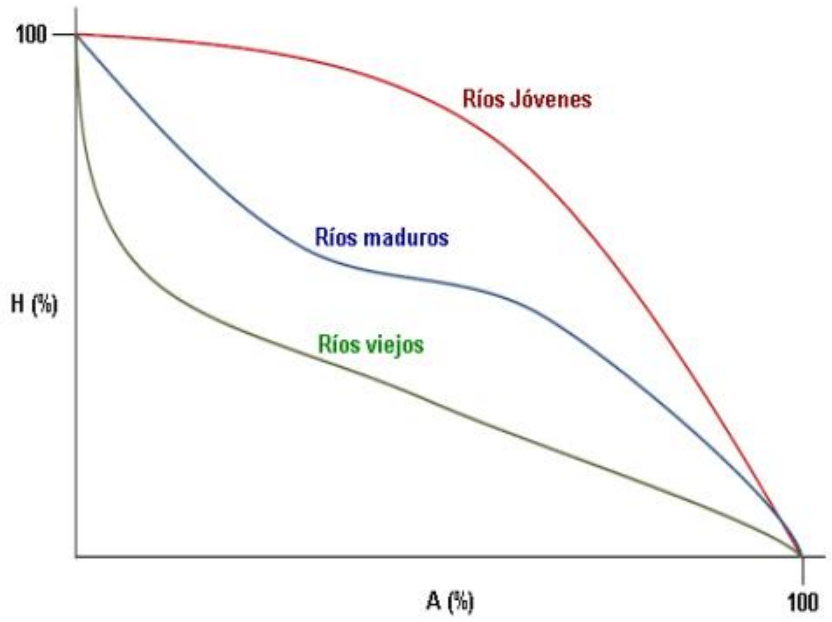
Etapas de una cuenca

Etapas	Características
Etapa de desequilibrio	Es una cuenca con ríos jóvenes, presentan gran potencial erosivo (fase de juventud)
	Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas
	Cuenca geológicamente joven (cuenca de montaña)
Etapa de equilibrio	Cuencas con ríos maduros, se encuentran en estado de equilibrio (fase de madurez)
	Cuenca geológicamente madura (cuenca de transición)
Cuenca erosionada	Cuencas con ríos viejos, son sedimentarios (fase de vejez)
	Zona caracterizada por la deposición de sedimentos
	Cuenca geológicamente en forma de valle o planicie

Fuente: Adaptado de Aguilar y Naranjo, 2018; Llamas, 1993 y Campos, 1998.

Figura 75

Tipos de curvas hipsométricas



Fuente: Ibáñez et al., 2011.

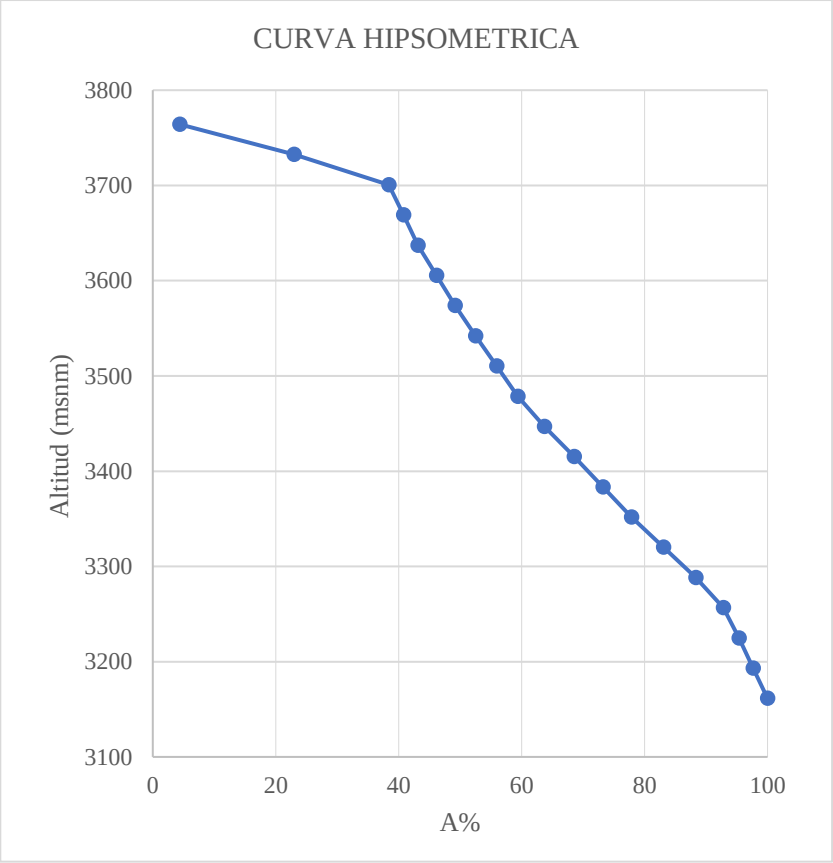
La curva hipsométrica permite estimar la etapa de la cuenca en su desarrollo geomorfológico y analizar la cuenca según niveles altitudinales. En este sentido, se puede relacionar la altitud con la distribución de la precipitación sobre el territorio (Carvallo y Delgado, 2013).

Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, ello puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos. (Racca, 2007).

La quebrada Hatun Huayco se encuentra en una etapa de desequilibrio, presenta un río joven con gran potencial erosivo (fase de juventud), es una cuenca geológicamente joven (cuenca de montaña) y predomina la producción de sedimentos (ver Figura 76).

Figura 76

Curva hipsométrica



Fuente: Elaboración propia.

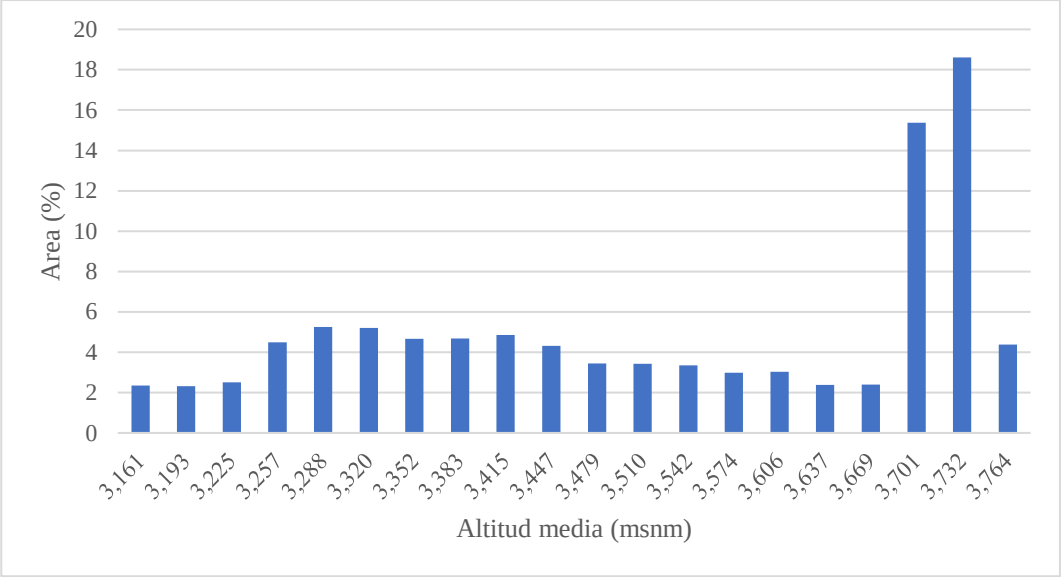
D. Histograma de frecuencias altimétricas

Es la representación de la superficie, en km^2 o en porcentaje, comprendida entre dos cotas, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. La representación de varios niveles da lugar al histograma, que puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente la curva hipsométrica y el histograma contienen la misma información, pero con una representación diferente, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca (Ibáñez et al., 2011).

Del histograma de frecuencias altimétricas se concluye que las alturas con mayor frecuencia son 3732 y 3701 msnm (ver Figura 77).

Figura 77

Diagrama de frecuencias altimétricas



Fuente: Elaboración propia.

E. Coeficiente de masividad (Km): 5,783.41 m/km2

Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca expresada en metros y su superficie (Clavijo y Perez, 2016). Se calcula con la siguiente ecuación.

$$K_m = \frac{Hm}{A}$$

Donde:

Km: Coeficiente de masividad

Hm: Altura media en msnm

A: Área en km^2

$$K_m = \frac{3527.88}{0.61}$$

$$\boldsymbol{K_m = 5,783.41}$$

El coeficiente de masividad crece, mientras que la altura media del relieve aumenta y la superficie proyectada de la cuenca disminuye. Por lo que toma valores bastante grandes para cuencas muy pequeñas

y montañosas; disminuyendo para cuencas extensas y de baja pendiente. Es un indicador de la vulnerabilidad a la degradación (Ortiz, 2016).

Según Ortiz, la quebrada Hatun Huayco es una cuenca pequeña y montañosa, por ende, es altamente vulnerable a la degradación y presenta un relieve accidentado.

F. Altitudes características

La altura o elevación media de la cuenca tiene importancia principalmente en zonas montañosas, pues nos da una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona. La elevación promedio está referida al nivel del mar. La elevación media de la cuenca se obtiene a partir de la curva hipsométrica, que equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca (Apaclla, 2010).

Las variaciones de altitud en el interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido, las diferencias de temperatura, como consecuencia de la altitud, tienen un efecto importante en las pérdidas de agua por evaporación (Llamas, 1993).

Altitud media (Am): 3527.88 msnm

Altitud más frecuente (Af): 3732 msnm

5.1.2.5 Parámetros de la red hidrológica

Estos parámetros representan el sistema de jerarquía de los cauces, que va desde los pequeños surcos hasta los ríos, que al confluir unos con otros se forma un colector principal de toda la cuenca (Demetrio, 2016).

La red de drenaje de una cuenca es el sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de proporcionar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca. (Campos, A. 1998).

Las corrientes comúnmente se clasifican en tres tipos: permanentes, intermitentes y efímeras, en base a la constancia de su escurrimiento o flujo, el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. (Campos, A. 1998) (ver Tabla 26).

Tabla 26

Clasificación de las corrientes de una cuenca

Tipo de corriente	Descripción
Permanentes	Conducen agua todo el tiempo
Intermitentes	Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvia
Efímeras	Solo conduce agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas

Fuente: Campos, 1998.

A. Densidad de la red de drenaje (Dd): 11.85 km/km2

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene (Ibáñez et al., 2011).

La densidad de drenaje expresa las características geo-ecológicas del territorio de la cuenca (ver Tabla 27). Los factores que controlan la densidad de la cuenca son:

- Litología del sustrato
- Permeabilidad del suelo y capacidad de infiltración
- Cobertura vegetal y tipo de esta

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde:

Dd: Densidad de la red de drenaje (km/km^2)

L: Longitud total de cauces (km)

A: Área (km^2)

$$K_m = \frac{7.23}{0.61}$$

$$\boldsymbol{K_m = 11.85}$$

Tabla 27

Factores de densidad de drenaje de cuencas según Strahler / Horton

Densidad de drenaje (km/km^2)	Categoría	Interpretación Ambiental
< 1	Baja	Baja la escorrentía y aumenta la infiltración
1 – 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
2 – 3	Alta	Alta tendencia a fluir y a las inundaciones
> 3	Muy alta	Alta tendencia a la escorrentía y a la erosión

Fuente: Horton, 1945 y Strahler, 1957.

"Los materiales geológicos duros y resistentes tales como el granito, gneis, arenisca y cuarcitas, tienden a originar BAJAS DENSIDADES de drenaje. Esto es debido a que la erosión fluvial es difícil (...) En materiales blandos, tales como Margas y arcillas, las cuencas por pequeñas que sean pueden suministrar la escorrentía suficiente como para erosionar el cauce (...) Los materiales muy permeables, como las arenas o las gravas tienden a originar altas densidades de drenaje, dado que la infiltración es grande (...) Una roca débil producirá mucha menos densidad de drenaje en un clima húmedo. donde una espesa cobertura vegetal protege el material subyacente que, en una región árida, donde no existe dicha cobertura". (Strahler, 1964).

La densidad de la red de drenaje según Strahler y Horton es muy alta y presenta una alta tendencia a la escorrentía y a la erosión. Según Fuentes y Suarez, la quebrada Hatun Huayco es una cuenca bien drenada de fácil erosión (ver Tabla 28).

Tabla 28

Clasificación de cuencas por su densidad de drenaje

Valor Dd (km/km^2)	Descripción	Características	Tipos de roca
0.1 – 1.8	Regularmente drenada	Altamente resistentes a la erosión	Gneis, arenisca y cuarcita
1.9 – 3.6	Normalmente drenada	Poco resistente a la erosión	Margas y arcillas
3.7 – 5.6	Cuencas bien drenadas	Fácilmente erosionable	Arenas y gravas

Fuente: Fuentes, 2004 y Suarez, 2010.

B. Perfil longitudinal del río

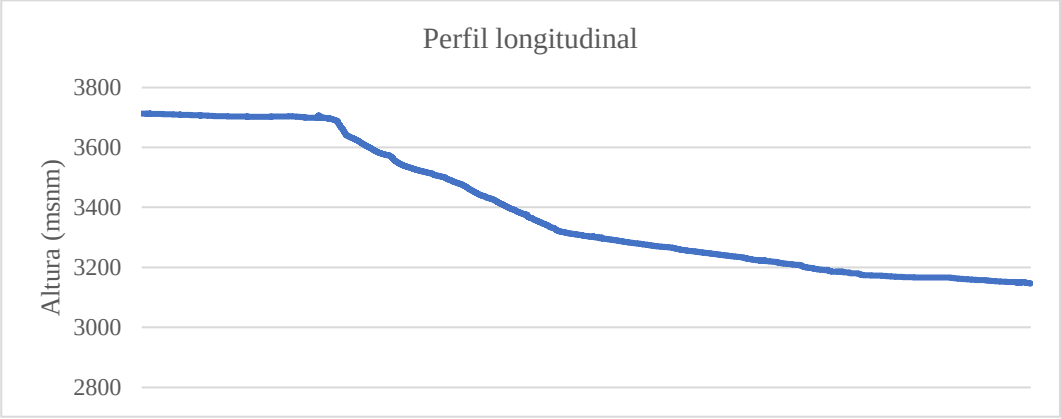
El perfil longitudinal de un rio es la línea obtenida al representar las diferentes alturas desde su nacimiento a su desembocadura. Generalmente, los ríos tienen un perfil longitudinal cóncavo, aunque en ocasiones aparecen partes aplanadas y abruptas a causa de afloramientos de rocas duras, actividad tectónica reciente o cambios súbitos de la pendiente (Ibáñez et al., 2011).

Los ríos en equilibrio tienen una forma cóncava de modo que las pendientes del lecho disminuyen conforme aumenta la distancia medida a partir de la divisoria (Pastor, 2013).

En la Figura 78 se observa que el perfil longitudinal del cauce principal inicia con una pendiente suave (esto corresponde a la cabecera de la quebrada), luego se observa un cambio a pendientes muy escarpadas, que progresivamente cambian a pendientes fuertes y moderadas, para finalmente cambiar a pendientes suaves en la desembocadura de la quebrada Hatun Huayco.

Figura 78

Perfil longitudinal del cauce principal (SW-NE)



Fuente: Elaboración propia.

C. Orden de la red hídrica (O): 3

El orden de la corriente es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Campos, 1998). Donde mayor sea el número de orden, será mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también la escorrentía directa que otra cuenca

de igual área, también se puede determinar que cuanto más alto es el orden de la cuenca mayor es su grado de desarrollo fluvial (Demetrio,2016).

Según Rizo, el orden de la red hídrica de la quebrada Hatun Huayco es medio (ver Tabla 29).

Tabla 29

Tipo de orden de corriente

Rangos de órdenes	Tipo
1 – 2	Bajo
2.1 – 4	Medio
4.1 - 6	Alto

Fuente: Rizo et al., 2011.

D. Tiempo de concentración (Tc): 43.90 minutos

El tiempo de concentración se define como el tiempo mínimo necesario para que todo el sistema (todos los puntos de la cuenca) este aportando agua de escorrentía (agua que cae y se transporta por el lecho del río) de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre (Ospina y Mancipe, 2016).

Esta determinado por el tiempo que tarda una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más lejano de la cuenca hasta que llegue al punto de salida de la misma (Botero y Vélez, 2010).

Ecuación de Témez:

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

S: Pendiente total del cauce principal (%)

$$T_c = 0.30 \left(\frac{2.33}{0.27^{0.25}}\right)^{0.76}$$

$$T_c = 0.73 \text{ horas}$$

$$T_c = 43.90 \; minutos$$

Según Rizo, el tiempo de concentración en la quebrada Hatun Huayco es moderado (ver Tabla 30).

Tabla 30

Clases de tiempo de concentración (min)

Rangos de Tc	Clases
< 40	Rápido
40 - 80	Moderado
> 80	Lento

Fuente: Rizo et al., 2011.

5.1.2.6 Resumen

Parámetros morfométricos		Nomenclatura	Valor	Unidad	Descripción
Parámetros generales	Área	A	0.61	km^2	Unidad/Cuenca muy pequeña
	Perímetro	P	5.24	km	
	Longitud axial	La	1.79	km	
	Longitud total de cauces	Ltc	7.23	km	
	Longitud del cauce principal	Lcp	2.33	km	
	Longitud de cauces secundarios	Lcs	4.9	km	
	Ancho de la cuenca	W	0.34	km	
	Desnivel altitudinal	DA	634.43	msnm	
Parámetros de forma	Coeficiente de compacidad o de Gravelius	Kc	1.87		Alargada
	Factor de forma de Horton	Rf	0.19		Muy alargada
	Índice de alargamiento	Ia	5.26		Muy alargada
	Razón de elongación	Re	0.38		Alargada
Parámetros de relieve	Pendiente media de la cuenca	J	59.59	%	Muy empinada
	Pendiente media del cauce principal	j	27	%	Moderada
	Coeficiente de masividad	Km	5783.41	m/km2	Montañosa con relieve accidentado
	Altitud media	Am	3527.88	m.s.n.m.	
	Altitud más frecuente	Af	3732	m.s.n.m.	
Parámetros de la red hidrológica	Densidad de la red de drenaje	Dd	11.85	km/km2	Muy alta con tendencia a la escorrentía y erosión
	Orden de la red hídrica	O	3		Medio
	Tiempo de concentración	Tc	43.9	minutos	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Condiciones climatológicas

Las características climáticas según la clasificación climática de Thornthwaite (1931), elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para la zona de estudio corresponde a un Clima seco semifrío con invierno seco.

Este clima presenta una precipitación anual de 500 a 1000 mm y una temperatura media anual de 12 a 14 °C. Los meses de mayor intensidad de precipitaciones pluviales son de diciembre a marzo y un periodo seco entre los meses de mayo a julio. Se encuentra entre los 3000 a 3600 metros de altitud.

5.1.4. Información hidrometeorológica

Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos de la base de datos de la estación meteorológica Granja Kayra del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

5.1.4.1 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 Granja Kayra instalada en el distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco. (ver Tabla 31).

Tabla 31

Datos de la estación meteorológica Granja Kayra

Tipo	Estación	Provincia	Distrito	Altitud	Latitud	Longitud
Convencional-Meteorológica	Granja Kayra	Cusco	San Jerónimo	3214	13°33’24’’	71°52' 31”

Fuente: SENAMHI.

A. Precipitación diaria máxima

Debido a la mayor cercanía a la zona en estudio, para el análisis de precipitaciones máximas se ha utilizado los datos de la Estación Granja Kayra, cuyo registro de Precipitación Máxima en 24 horas, se muestran en la Tabla 32 y Figura 79.

Tabla 32

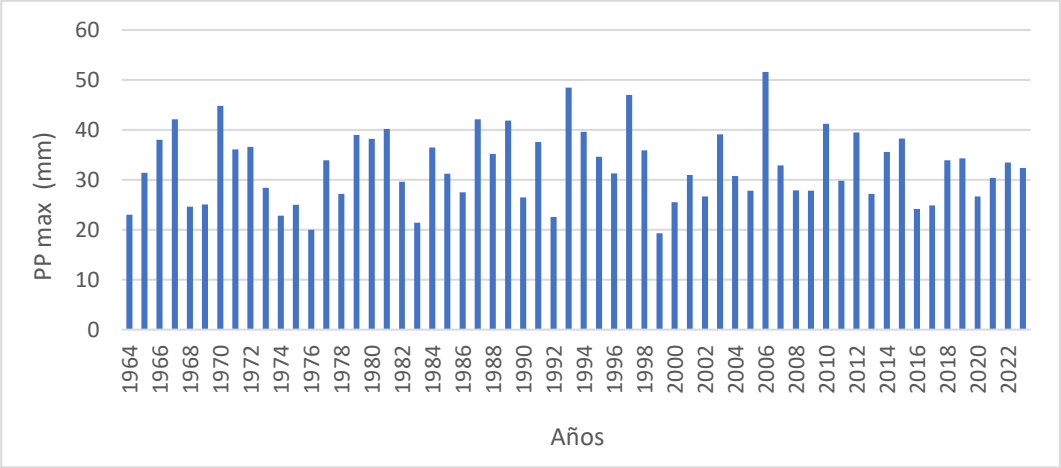
Datos de precipitación máxima diaria

Año	PP máx. (mm.)	Año	PP máx. (mm.)	Año	PP máx. (mm.)
1964	23	1984	36.5	2004	30.8
1965	31.4	1985	31.2	2005	27.8
1966	38	1986	27.5	2006	51.6
1967	42.1	1987	42.1	2007	32.9
1968	24.6	1988	35.2	2008	27.9
1969	25.1	1989	41.9	2009	27.8
1970	44.8	1990	26.5	2010	41.2
1971	36.1	1991	37.6	2011	29.8
1972	36.6	1992	22.6	2012	39.5
1973	28.4	1993	48.5	2013	27.2
1974	22.8	1994	39.6	2014	35.6
1975	25	1995	34.6	2015	38.3
1976	20	1996	31.3	2016	24.2
1977	33.9	1997	47	2017	24.9
1978	27.2	1998	35.9	2018	33.9
1979	39	1999	19.3	2019	34.3
1980	38.2	2000	25.5	2020	26.7
1981	40.2	2001	31	2021	30.4
1982	29.6	2002	26.7	2022	33.5
1983	21.4	2003	39.1	2023	32.4

Fuente: Adaptado de SENAMHI.

Figura 79

Hietograma de Precipitaciones Máximas Registradas en 24 horas, Estación Granja Kayra



Fuente: Adaptado de SENAMHI.

B. Régimen de la precipitación estacional

Las características estacionales del clima en el ámbito de evaluación se manifiestan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones. En la siguiente tabla se presenta el promedio multi-mensual de la precipitación total de la estación que se encuentra en el ámbito de influencia, asimismo en el Gráfico 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 considerada en la presente evaluación, de acuerdo con los periodos de lluvia, y meses de transición (ver Tabla 33).

Tabla 33

Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual

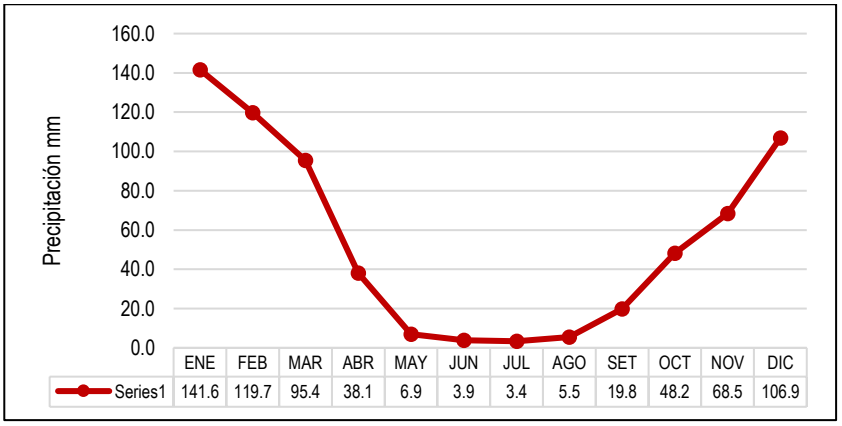
PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN (MM)					
ENE	141.6	MAY	6.9	SEP	19.8
FEB	119.7	JUN	3.9	OCT	48.2
MAR	95.4	JUL	3.4	NOV	68.5
ABR	38.1	AGO	5.5	DIC	106.9
		TOTAL			658.0

Fuente: Adaptado de SENAMHI.

En la Figura 80 se presenta la precipitación promedio anual de 658 mm, así mismo se evidencia los meses con mayor precipitación en los meses de octubre a abril.

Figura 80

Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual



Fuente: Adaptado de SENAMHI.

C. 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>1mm) son considerados como días lluviosos; muy lluviosos las precipitaciones que superan el percentil 95. Mientras que extremadamente lluvioso (Extremadamente fuertes), los que superan el percentil 99. Esta clasificación es mas 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.

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 34).

Tabla 34

Umbrales de precipitación para la estación: Granja Kayra

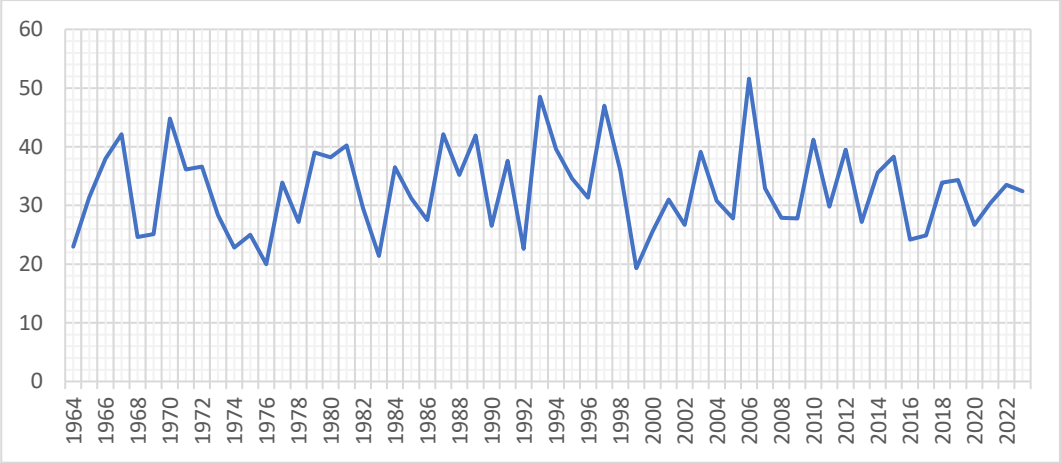
UMBRALES DE PRECIPITACIÓN	Caracterización de las lluvias extremas	Umbrales calculados para la estación Granja Kayra
RR/día>99p	Extremadamente lluvioso	RR>26.7 mm
95p<RR/día≤99p	Muy lluvioso	16.5 mm<RR≤ 26.7 mm
90p<RR/día≤95p	Lluvioso	12.5 mm<RR≤ 16.5 mm
75p<RR/día≤90p	Moderadamente lluvioso	6.8 mm<RR ≤ 12.5 mm
RR/día≤75p	Escasamente lluvioso	RR≤ 6.8 mm

Fuente: Adaptado de SENAMHI.

Del análisis del registro de precipitaciones máximas en 24 horas (PPmax 24h) de la estación meteorológica Granja Kayra en el periodo 1964 – 2023, se ha considerado un evento de precipitación máxima diaria de 51.6 mm que ocurrió el mes de febrero del año 2006 (ver Figura 81). Este evento corresponde a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación de RR>26.7mm con percentil entre RR/día>99p.

Figura 81

Hietograma de precipitaciones (mm) máximas en 24 horas – Estación Kayra



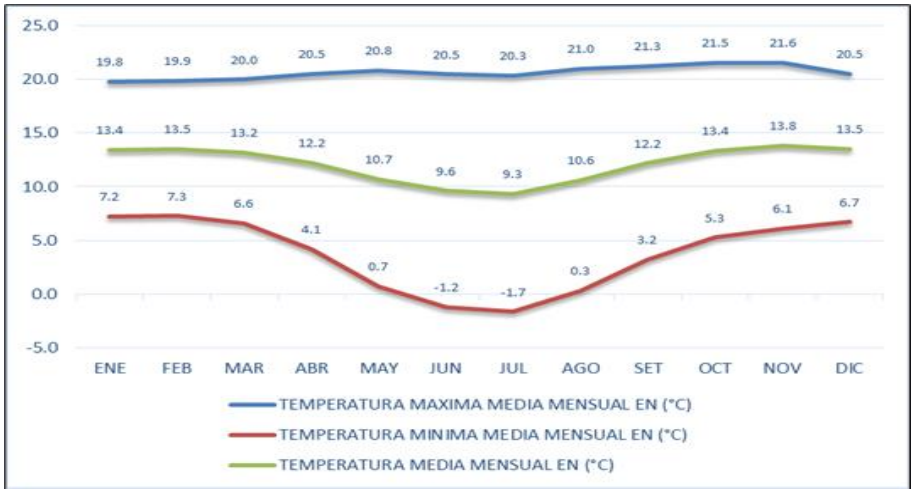
Fuente: Adaptado de SENAMHI.

5.1.4.2 Temperatura

Según el registro de temperatura de la estación meteorología Granja Kayra, que data del año 1964 al 2018, el mayor valor de la temperatura máxima media mensual corresponde al mes de noviembre con 21.6°C; el menor valor de la temperatura mínima media mensual corresponde al mes de julio con -1.7°C. El valor promedio de la temperatura media mensual es de 12.1°C (ver Figura 82).

Figura 82

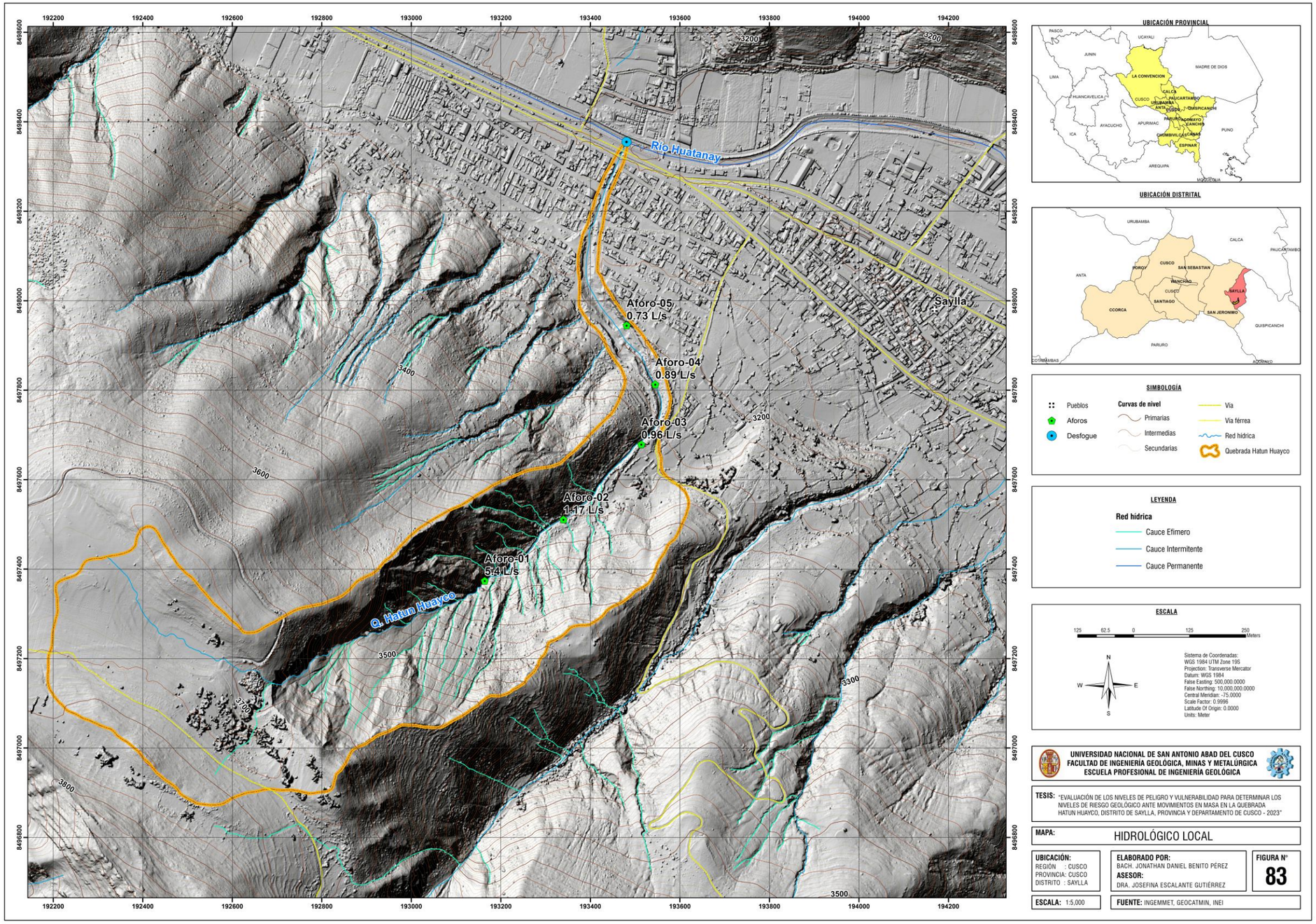
Promedio de temperatura de la estación meteorológica Granja Kayra.



Fuente: Adaptado de SENAMHI.

Figura 83

Mapa hidrológico



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Hidrogeología

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)

5.2.1. Inventario de manantes

Se realizó el inventario de manantes en la quebrada Hatun Huayco en época de precipitaciones, debido a que en época de estiaje disminuye progresivamente el caudal hasta secarse completamente.

Se identifico un manante en el cauce de la quebrada, el cual se encuentra en rocas sedimentarias de la Fm. Chilca y se ubica debajo de los deslizamientos.

El 07 de mayo del 2023 se registró una precipitación diaria de 32.4 mm, los datos de aforo fueron registrados el 10 de mayo luego de esta precipitación máxima usando el método volumétrico. Se determinó que el caudal medido va disminuyendo a medida que avanza en el cauce de la quebrada debido a la infiltración de agua en los depósitos cuaternarios presentes en el fondo de la quebrada (ver Tabla 35 y Figuras 84, 85, 86, 87 y 88).

Tabla 35

Inventario de manantes

Código	WGS 84 UTM Zona 19L			Tipo	Q(lts/seg)	Régimen	Uso
	E	N	Altitud				
Aforo-01	193164	8497374	3330	Manante	5.40	Estacional	Riego de terreno de cultivos
Aforo-02	193340	8497511	3281	Manante	1.17		
Aforo-03	193514	8497679	3233	Manante	0.96		
Aforo-04	193545	8497813	3204	Manante	0.89		
Aforo-05	193481	8497945	3186	Manante	0.73		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 84

Aforo – 01

Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

Aforo – 02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 86

Aforo - 03

Fuente: Elaboración propia.

Figura 87

Aforo - 04

Fuente: Elaboración propia.

Figura 88

Aforo - 05

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Clasificación de unidades hidrogeológicas

Se realizó la clasificación hidrogeológica de acuerdo con las características litoestratigráficas y estructurales de cada unidad.

5.2.2.1 Acuífero

5.2.2.1.1 Acuífero poroso no consolidado

A. Acuífero fluvial (APNC-fl)

Los acuíferos porosos no consolidados fluviales se localizan en sedimentos cuaternarios del piso de valle y corresponden a gravas y arenas fluviales, que ocupan paleocauces y terrazas actuales o subactuales del río Huatanay. Son acuíferos de mediana a alta profundidad y por estar alimentados continuamente por los ríos, tienen buena cantidad de reservas, constituyéndose en acuíferos de alto potencial (ver Figura 89).

Figura 89

Acuífero fluvial (APNC-fl)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2 Acuífero fisurado sedimentario

A. Acuífero Kayra (AFS-ky)

El acuífero Kayra se encuentran en rocas sedimentarias constituidas por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles lutitas rojas de medio fluviales, al techo conglomerados fluviales y en la base bancos arenosos, a los cuales les denominamos acuíferos fisurados sedimentarios, por que poseen gran cantidad de fracturas, las mismas que le otorgan porosidad secundaria importante, que facilita la infiltración de las aguas de la lluvia, la percolación en profundidad y el almacenamiento en lo reservorios acuíferos (ver Figura 90).

Figura 90

Acuífero Kayra (AFS-ky)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2 Acuitardo

5.2.2.2.1 Acuitardo no consolidado

A. Acuitardo proluvial (ATNC-pl)

El acuitardo proluvial se encuentra en conos aluviales y está constituido por depósitos detríticos de baja permeabilidad generalmente no consolidados. Son acuitardos de interés hidrogeológico puntual, generalmente impermeables por la matriz fina (ver Figura 91).

Figura 91

Acuitardo proluvial (ATNC-pl)

Fuente: Elaboración propia.

B. Acuitardo coluvial (ATNC-co)

El acuitardo coluvial está constituido por depósitos detríticos de baja permeabilidad generalmente no consolidados. Son acuitardos de escaso interés hidrogeológico, generalmente se encuentran en laderas de pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°), de mínimo espesor y volumen (ver Figura 92).

Figura 92

Acuitardo coluvial (ATNC-co)

Fuente: Elaboración propia.

C. Acuitardo aluvial (ATNC-al)

El acuitardo aluvial se encuentra adyacente al cauce del río Huatanay y está constituido por depósitos detríticos de baja permeabilidad generalmente no consolidados. Son acuitardos de interés hidrogeológico puntual, generalmente impermeables por la matriz fina (ver Figura 93).

Figura 93

Acuitardo aluvial (ATNC-al)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.2 Acuitardo sedimentario

A. Acuitardo Quilque (ATS-qu)

El acuitardo Quilque se encuentra en rocas sedimentarias constituidas por lutitas lacustres rojo moradas, areniscas y microconglomerados fluviales con clastos calcáreos en medios fluviales, los cuales presentan baja permeabilidad o son impermeables. En profundidad, pueden tener secuencias estratigráficas que forman acuíferos confinados o productivos en extensión regional que aún no han sido estudiados o descubiertos. Son acuitardos de escaso interés hidrogeológico, presentan extensión local y pueden presentar la surgencia de aguas en diversos manantiales (ver Figura 94).

Figura 94

Acuitardo Quilque (ATS-qu)

Fuente: Elaboración propia.

B. Acuitardo Chilca (ATS-ch)

El acuitardo Chilca se encuentra en rocas sedimentarias constituidas por lutitas y margas rojo ladrillo con intercalaciones delgadas de yesos de medio lacustre y areniscas fluviales hacia la parte superior, los cuales presentan baja permeabilidad o son impermeables. En profundidad, pueden tener secuencias estratigráficas que forman acuíferos confinados o productivos en extensión regional que aún no han sido estudiados o descubiertos. Son acuitardos de escaso interés hidrogeológico, presentan extensión local y pueden presentar la surgencia de aguas en diversos manantiales (ver Figura 95).

Figura 95

Acuitardo Chilca (ATS-ch)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1 Acuicludo

5.2.2.1.1 Acuicludo no consolidado

A. Acuicludo lacustre (ACNC-la)

El acuicludo lacustre se encuentra en la cabecera de la quebrada y está constituido por depósitos detríticos porosos, pero no permeables como las arcillas. En esta unidad hidrogeológica no es posible su aprovechamiento, por lo tanto, son de nulo interés hidrogeológico (ver Figura 96).

Figura 96

Acuicludo lacustre (ACNC-la)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Identificación del nivel freático

Según el trabajo en campo se identificó el nivel freático en el humedal presente en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco y en el acuitardo Chilca. El caudal de este manante disminuye progresivamente a medida que discurre en el cauce de la quebrada debido a la infiltración del agua en depósitos cuaternarios inconsolidados presentes (ver Figuras 97, 98 y 99).

Figura 97

Nivel freático en la desembocadura de la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

Figura 98

Nivel freático en la parte media de la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

Figura 99

Nivel freático en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 36 se muestra el área de las unidades hidrogeológicas locales. Los resultados indican que la unidad predominante en la quebrada Hatun Huayco es el Acuitardo Coluvial con 33.80% del área total, seguido del Acuífero Kayra con un 29.44% del área total (ver Figura 100 y 101).

Tabla 36

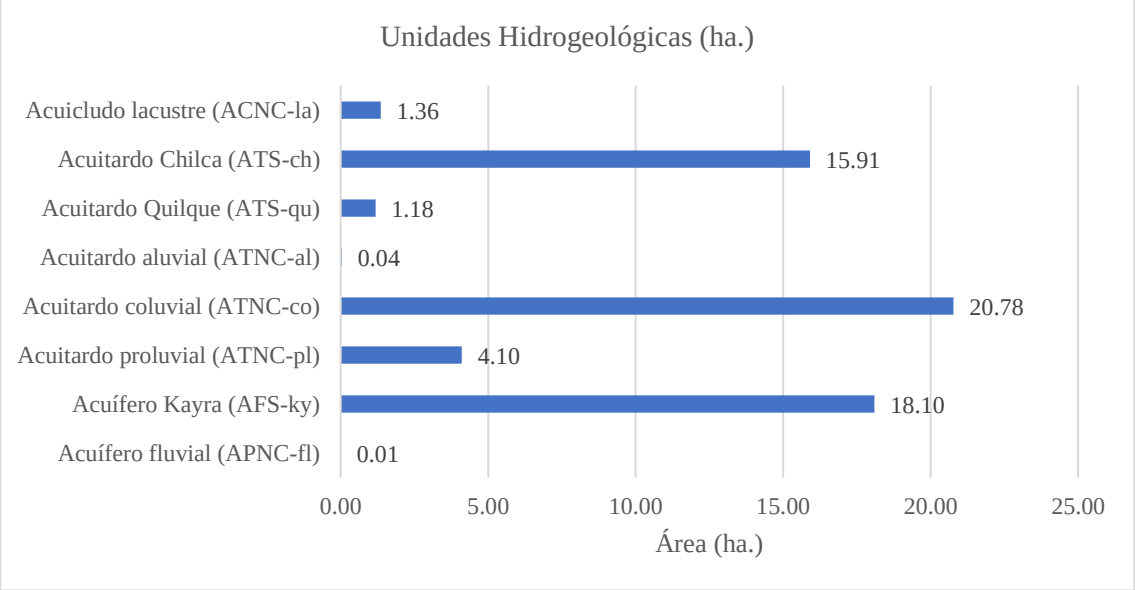
Unidades de pendientes en la quebrada Hatun Huayco

Unidades Hidrogeológicas	Clases	Área (m^2)	Área (ha)	Área (%)
Acuífero fluvial	APNC-fl	50.26	0.01	0.01
Acuífero Kayra	AFS-ky	180,961.35	18.10	29.44
Acuitardo proluvial	ATNC-pl	41,044.11	4.10	6.68
Acuitardo coluvial	ATNC-co	207,768.13	20.78	33.80
Acuitardo aluvial	ATNC-al	400.82	0.04	0.07
Acuitardo Quilque	ATS-qu	11,788.43	1.18	1.92
Acuitardo Chilca	ATS-ch	159,126.89	15.91	25.89
Acuicludo lacustre	ACNC-la	13,597.32	1.36	2.21
Total		**614,737.31**	**61.47**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 100

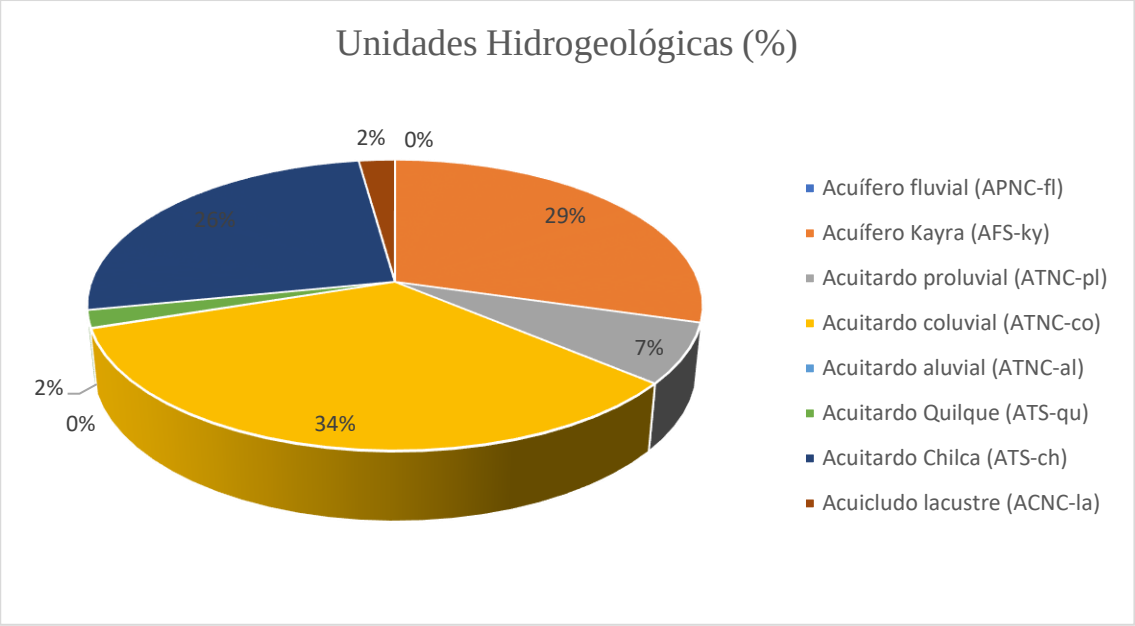
Área (ha) de las Unidades Hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 101

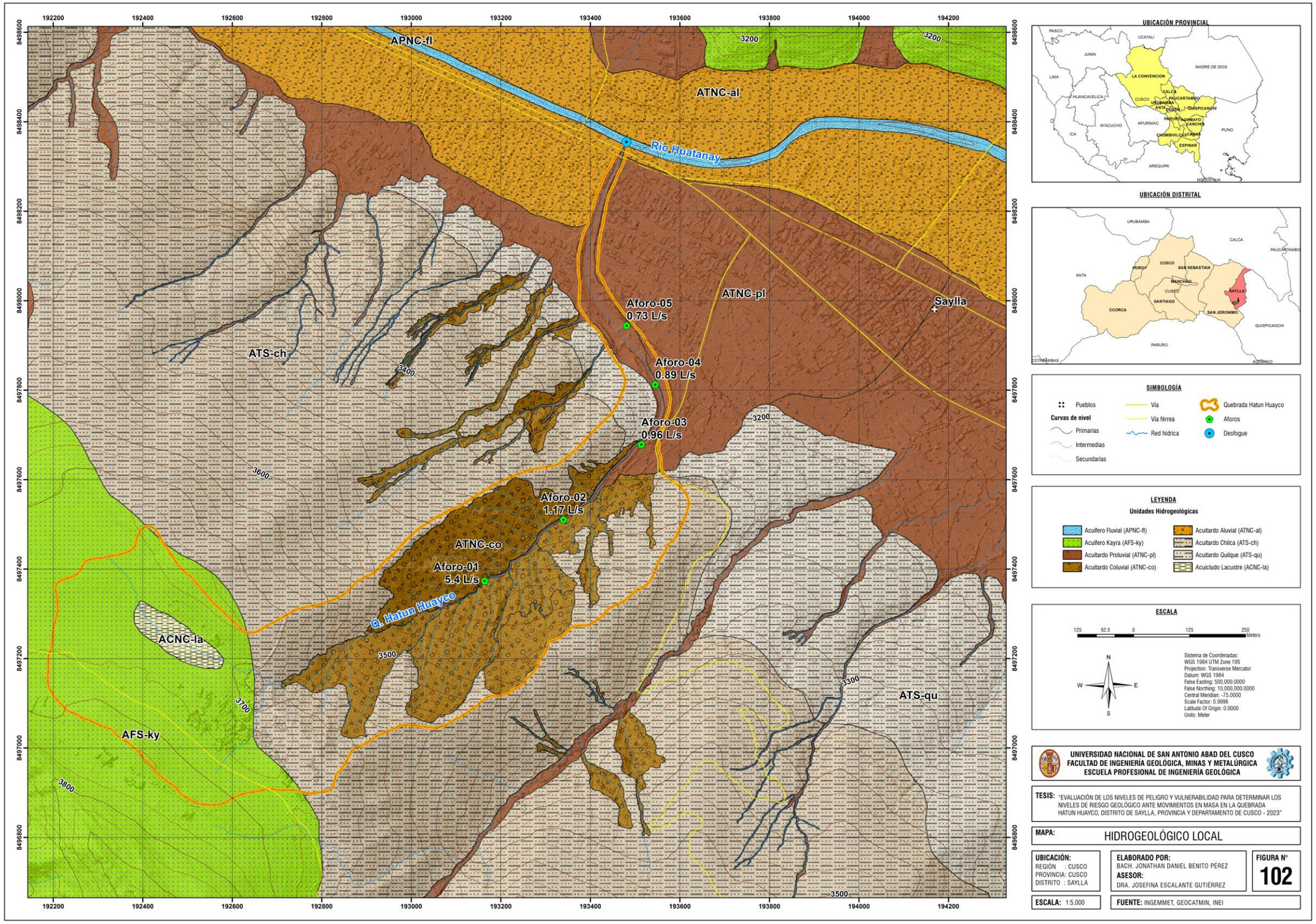
Área (%) de las Unidades Hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 102

Mapa hidrogeológico



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VI: GEODINÁMICA EXTERNA

Los movimientos en masa son procesos geológicos destructivos que afectan a los seres humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrrod,1989). Los movimientos en masa producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. El volumen total de daños es superior al de los sismos y las inundaciones. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por movimientos en masa son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan las medidas de prevención o control (Suárez J. , 2009).

6.1. Inventario de los movimientos en masa

La quebrada Hatun Huayco presenta una geodinámica externa muy activa, representada principalmente por flujos de detritos, deslizamientos y caídas.

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial – subterráneo y la cobertura vegetal. El factor desencadenante de estos eventos es la precipitación pluvial periódica y extraordinaria que caen en la zona, así como la sismicidad.

6.1.1. Flujos de detritos

Se identificaron flujos de detritos en el cauce de la quebrada Hatun Huayco. Estos eventos ocurren en épocas de intensas precipitaciones pluviales y se caracteriza por ser un flujo muy rápido de detritos saturados, no plásticos. Estos flujos incorporan gran cantidad de material saturado y agua en su trayectoria al descender en el cauce y finalmente depositan el material en vertientes aluvio-torrenciales con depósitos proluviales en forma de abanicos de detritos en la desembocadura de la quebrada.

A. Flujos de detritos antiguos

Se identificó depósitos proluviales antiguos en forma de abanico en la desembocadura de la quebrada Hatun Huayco, donde actualmente se asienta el poblado de Saylla. Estos depósitos son el resultado de la ocurrencia de eventos de flujos de detritos antiguos y forman taludes de más de 10 metros de altura (ver Figuras 103 y 104).

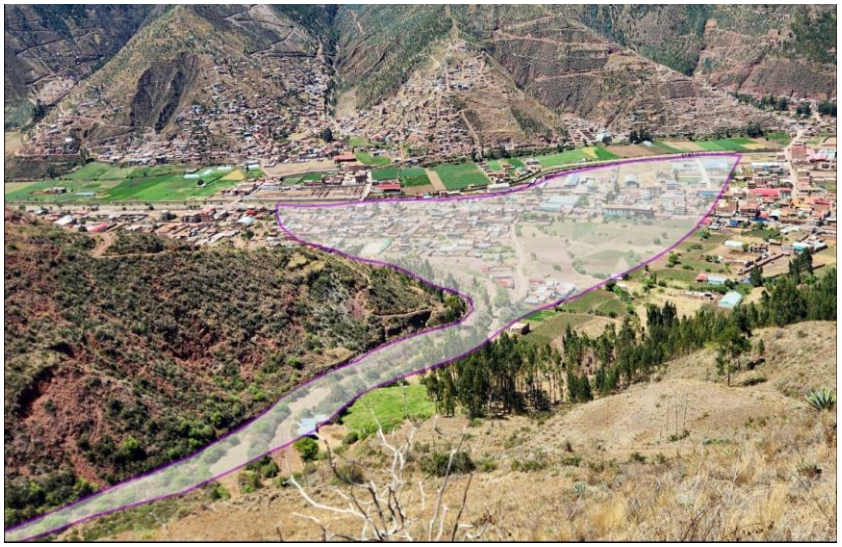
Figura 103

Depósitos de flujos de detritos antiguos

Fuente: Elaboración propia.

Figura 104

Abanico de detritos de la quebrada Hatun Huayco



Fuente: Elaboración propia.

B. Flujos de detritos recientes

Se identificó la ocurrencia de flujos de detritos recientes en época de precipitaciones. Estos flujos se producen anualmente en diferente magnitud y se depositan en la actual desembocadura de la quebrada, que corresponde a un desvío antrópico para evitar su desembalse (ver Figura 105).

Figura 105

Flujos de detritos recientes en la quebrada Hatun Huayco

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Deslizamientos

Se identificaron deslizamientos rotaciones en las laderas de ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco. Estos eventos son desplazamientos descendentes de masas de suelo o roca que ocurren a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava.

Los deslizamientos fueron originados por la infiltración de precipitación pluvial a través de fracturas presentes en el macizo rocoso, así como por la alternancia de rocas de diferente competencia. Estas características generaron un aumento en la presión de poros, lo que disminuyó la resistencia del macizo rocoso al disminuir la fricción entre las partículas, originando así la inestabilidad en el material.

Se identificó 3 deslizamientos rotacionales en las laderas de la margen derecha de la quebrada Hatun Huayco y 4 deslizamientos rotacionales en las laderas de la margen izquierda.

C. Deslizamiento rotacional 1 (DR-1)

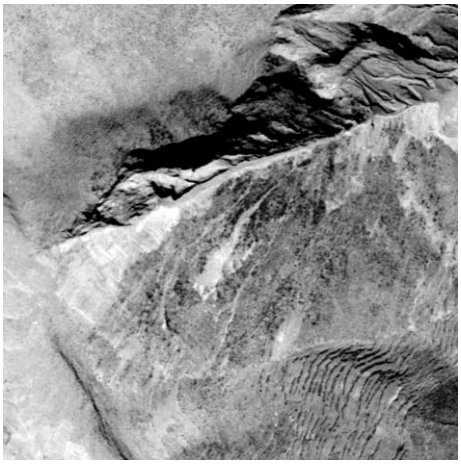
Este deslizamiento está localizado en la margen derecha de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en intercalaciones de areniscas y lutitas fracturadas de la Fm. Chilca con acumulaciones de depósitos coluviales en la base.

Se llevó a cabo una comparación de imágenes del deslizamiento correspondientes a distintos años con el objetivo de analizar su evolución. A partir de esta revisión, se identificó un proceso de carácter retrogresivo, evidenciado por la aparición de agrietamientos longitudinales y desplazamientos verticales localizados en la parte posterior del escarpe, lo cual sugiere una propagación hacia atrás del deslizamiento con el paso del tiempo.

En la figura 106 se observa el proceso evolutivo retrogrado del deslizamiento a través de los años. En la imagen de 1956 se evidencia poco movimiento en comparación con la de 2011, lo cual indica la ocurrencia de reactivaciones del deslizamiento durante ese periodo. Estas reactivaciones están relacionadas con los eventos registrados en los años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994 y 2001. Asimismo, se identificó reactivaciones constantes en los años posteriores, como lo demuestran las imágenes del año 2011, 2016, 2020, 2022 y 2023.

Figura 106

Proceso evolutivo del deslizamiento DR-1



Junio - 1956

Junio – 2011

Junio - 2016

Junio - 2020

Julio - 2022

Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la figura 107 se observa agrietamientos longitudinales de 5 cm a 25 cm, localizados aproximadamente a 5 m del escarpe del deslizamiento.

Figura 107

Agrietamientos longitudinales

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 108 se observa desplazamientos verticales de 10 cm a 50 cm aproximadamente, localizados a 5 m del escarpe del deslizamiento.

Figura 108

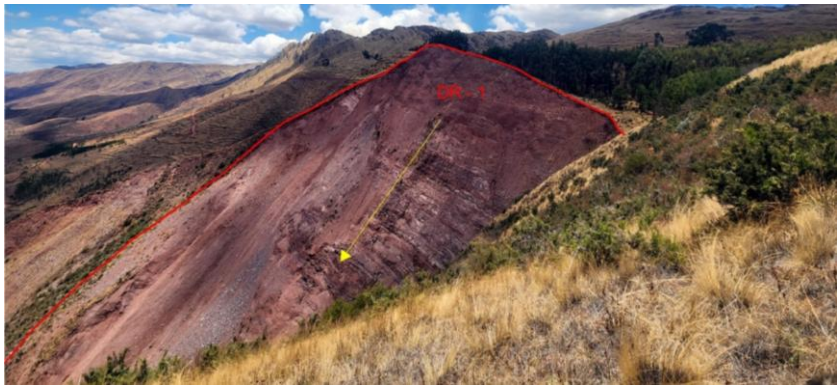
Desplazamientos verticales

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 109 y 110 se observa las partes del deslizamiento rotacional 1 (DR-1), donde se distingue un escarpe muy pronunciado y agrietamientos en la corona. Este deslizamiento tiene una longitud de 400 m y ancho de 150 m aproximadamente.

Figura 109

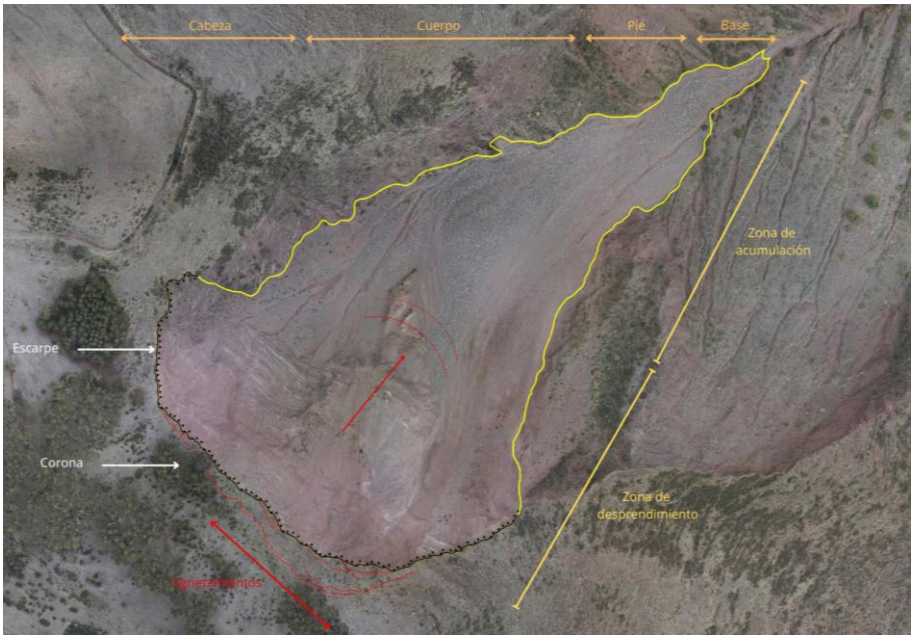
Deslizamiento DR-1 en agosto-2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura 110

Partes del deslizamiento DR-1



Fuente: Elaboración propia.

D. Deslizamiento rotacional 2 (DR-2)

Este deslizamiento está localizado en la margen derecha de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en vertientes con depósito de deslizamiento. Se realizó un análisis comparativo con imágenes del deslizamiento captadas en diferentes años, con el fin de entender cómo ha evolucionado con el tiempo. Esta revisión permitió identificar reactivaciones del deslizamiento y periodos de latencia.

La figura 111 permite determinar el proceso evolutivo del deslizamiento a través de los años. En la fotografía correspondiente a 1956 se puede notar que el movimiento inició en la base y fue extendiéndose progresivamente hasta alcanzar la corona, como se confirma en la imagen del año 2011. Este comportamiento guarda relación con distintos eventos registrados en los años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994 y 2001, los cuales han influido en la dinámica del fenómeno. Por otro lado, a partir de 2016 hasta 2023 se observa un aumento en la cobertura vegetal, lo que podría asociarse a periodos de inactividad o estabilidad temporal en el deslizamiento.

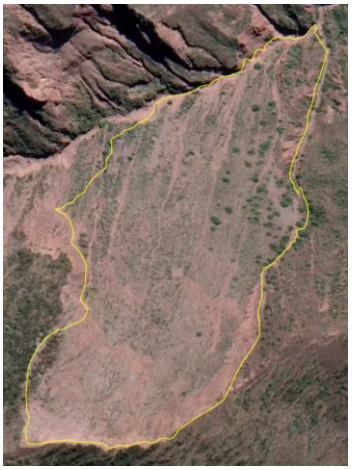
Figura 111

Proceso evolutivo del deslizamiento DR-2

Junio - 1956

Junio – 2011

Junio – 2016



Junio - 2020

Julio - 2022

Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la Figura 112 y 113 se observa las partes del deslizamiento rotacional 2 (DR-2), donde se distingue un escarpe muy pronunciado. Este deslizamiento tiene una longitud de 300 m y ancho de 130 m aproximadamente.

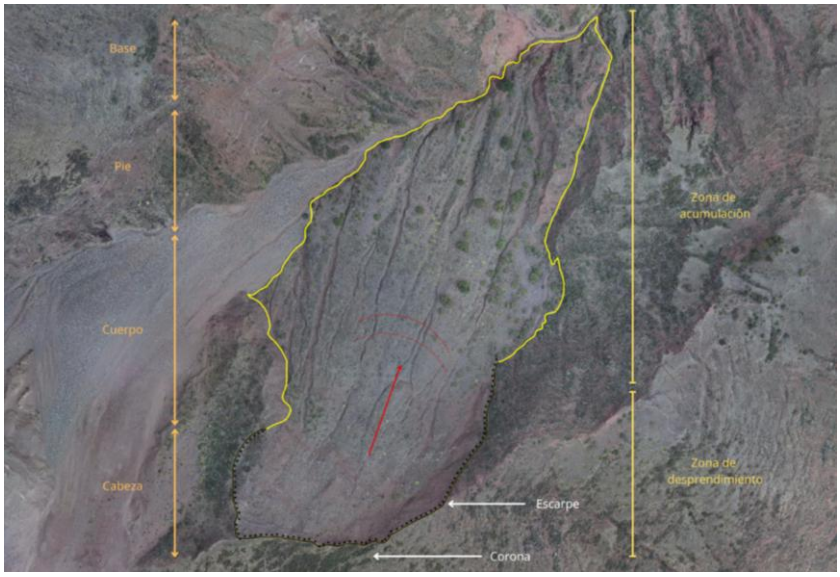
Figura 112

Deslizamiento DR-2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 113

Partes del deslizamiento DR-2



Fuente: Elaboración propia.

E. Deslizamiento rotacional 3 (DR-3)

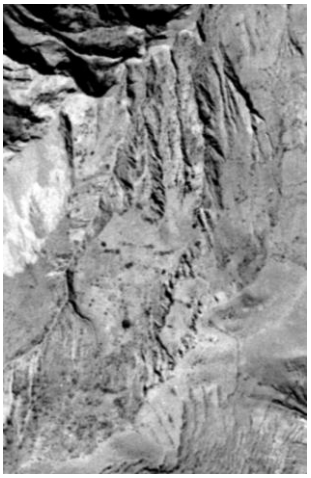
Este deslizamiento antiguo está localizado en la margen derecha de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en vertientes con depósito de deslizamiento.

Se realizó un análisis comparativo utilizando imágenes históricas del deslizamiento captadas en diferentes años, con el objetivo de interpretar su evolución a lo largo del tiempo. Esta revisión visual permitió identificar etapas de aparente estabilidad, también denominadas periodos de latencia, durante las cuales el movimiento del deslizamiento se detuvo o mostró una disminución considerable.

La figura 114 evidencia la evolución progresiva del deslizamiento a lo largo del tiempo. En la imagen correspondiente al año 1956 se identifican indicios de actividad en la base, con movimientos incipientes y la presencia de un escarpe en la cabecera. En contraste, las imágenes comprendidas entre los años 2011 y 2023 muestran un incremento en la cobertura vegetal de la ladera, lo cual podría estar relacionado con una fase de inactividad o estabilidad temporal del deslizamiento, posiblemente influenciada por una disminución en las condiciones que favorecen la inestabilidad de la ladera.

Figura 114

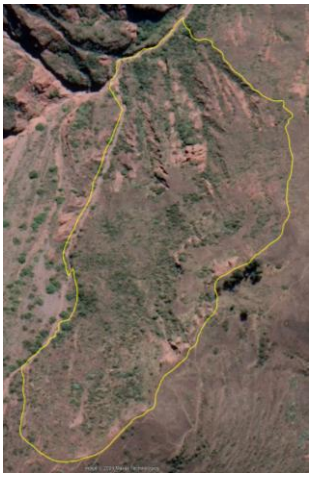
Proceso evolutivo del deslizamiento DR-3



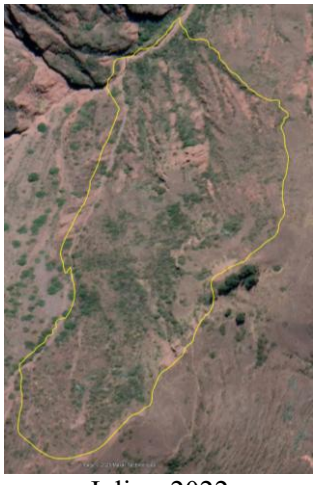
Junio - 1956

Junio – 2011

Junio – 2016



Junio - 2020



Julio - 2022

Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la Figura 115 y 116 se observa las partes del deslizamiento rotacional 3 (DR-3), donde se distingue un escarpe antiguo. Este deslizamiento tiene una longitud de 200 m y ancho de 150 m aproximadamente.

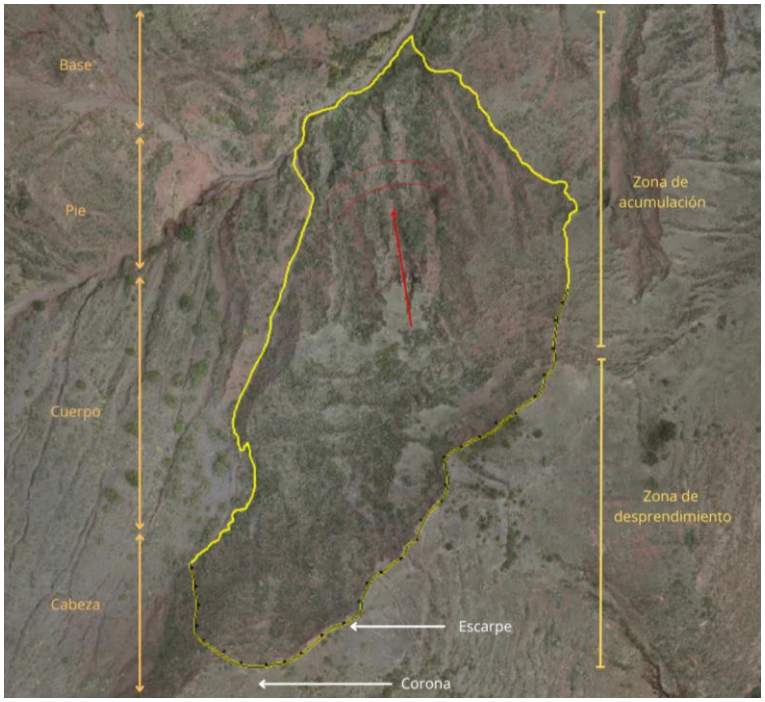
Figura 115

Deslizamiento DR-3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 116

Partes del deslizamiento DR-3



Fuente: Elaboración propia.

F. Deslizamiento rotacional 4 (DR-4)

Este deslizamiento está localizado en la margen izquierda de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en vertientes con depósito de deslizamiento.

Se llevó a cabo un análisis comparativo a partir de imágenes del deslizamiento registradas en distintos años, con el objetivo de comprender su evolución temporal. Este análisis permitió identificar fases de reactivación del movimiento, así como periodos de latencia en los que el deslizamiento mostró signos de inactividad o estabilidad relativa.

La figura 117 permite analizar la evolución temporal del deslizamiento a lo largo de los años. En la imagen de 1956 se observa que el movimiento se originó en la base y se fue extendiendo de manera progresiva hasta alcanzar la corona, lo cual se aprecia con mayor claridad en la fotografía de 2011. Esta dinámica estaría relacionada con distintos eventos registrados en los años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994 y 2001, los cuales habrían influido en la reactivación del deslizamiento en diversos momentos. Sin embargo, entre 2016 y 2023 se evidencia un aumento en la cobertura vegetal sobre la zona afectada, lo que podría interpretarse como un signo de inactividad o de una fase de relativa estabilidad en el comportamiento del deslizamiento.

Figura 117

Proceso evolutivo del deslizamiento DR-4

Junio - 1956

Junio – 2011

Junio – 2016

Junio - 2020

Julio - 2022

Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la Figura 118 y 119 se observa las partes del deslizamiento rotacional 4 (DR-4), donde se distingue un escarpe pronunciado. Este deslizamiento tiene una longitud de 170 m y ancho de 210 m aproximadamente.

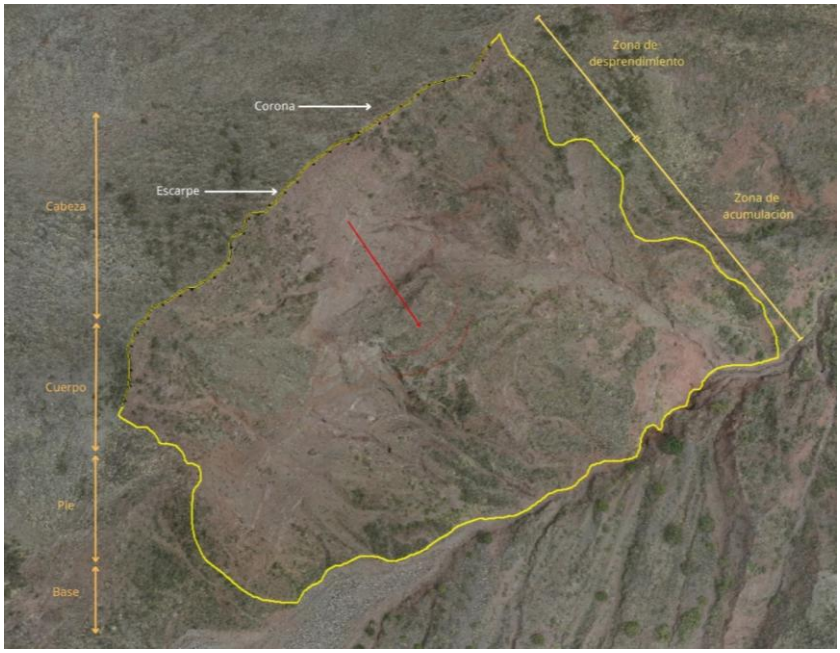
Figura 118

Deslizamiento DR-4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 119

Partes del deslizamiento DR-4



Fuente: Elaboración propia.

G. Deslizamiento rotacional 5 (DR-5)

Este deslizamiento está localizado en la margen izquierda de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en vertientes con depósito de deslizamiento.

Se realizó un análisis comparativo con imágenes del deslizamiento captadas en diferentes años, con el fin de entender cómo ha evolucionado con el tiempo. Esta revisión permitió identificar reactivaciones del deslizamiento y periodos de latencia.

La figura 120 permite analizar la evolución temporal del deslizamiento a lo largo de los años. En la imagen de 1956 se observa que el movimiento tuvo su origen en la base y fue progresivamente extendiéndose hasta alcanzar la corona, lo cual se evidencia claramente en la fotografía del año 2011. Sin embargo, entre 2016 y 2023 se distingue un incremento en la cobertura vegetal sobre el área superficial del deslizamiento, lo que podría interpretarse como un indicio de inactividad o de una fase de relativa estabilidad en el deslizamiento.

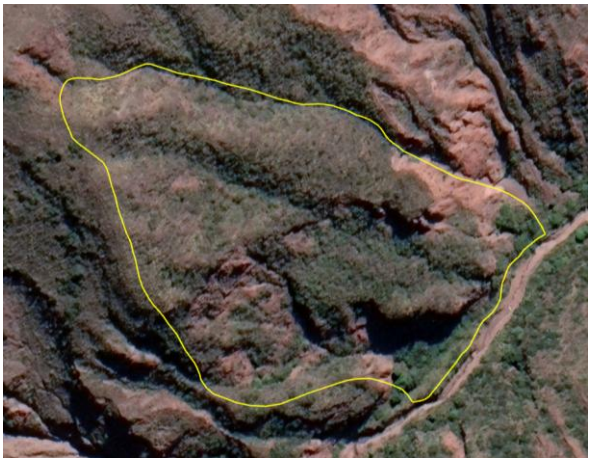
Figura 120

Proceso evolutivo del deslizamiento DR-5

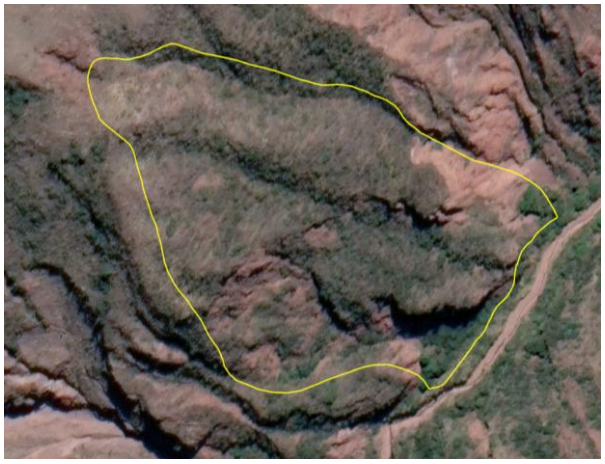
Junio - 1956

Junio – 2011

Junio – 2016



Junio - 2020



Julio - 2022

Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la Figura 121 y 122 se observa las partes del deslizamiento rotacional 5 (DR-5), donde se distingue un escarpe pronunciado. Este deslizamiento tiene una longitud de 150 m y ancho de 100 m aproximadamente.

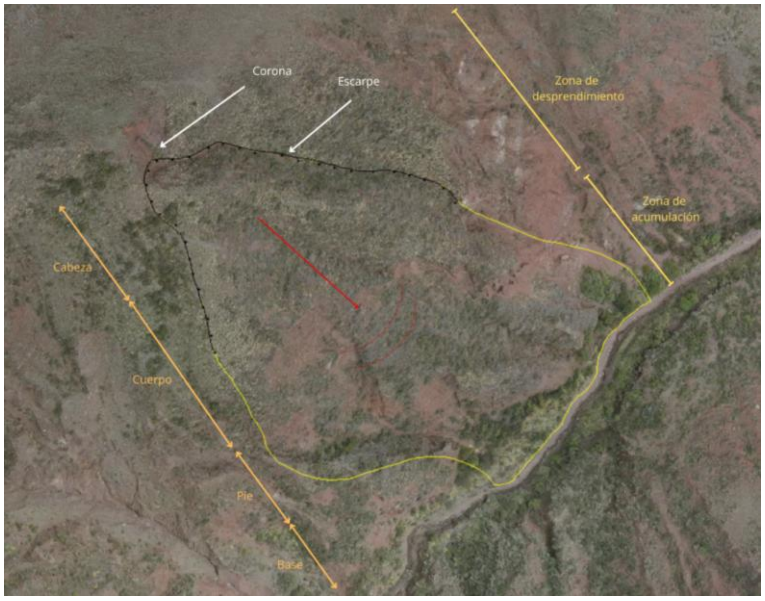
Figura 121

Deslizamiento DR-5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 122

Partes del deslizamiento DR-5



Fuente: Elaboración propia.

A. Deslizamiento rotacional 6 (DR-6)

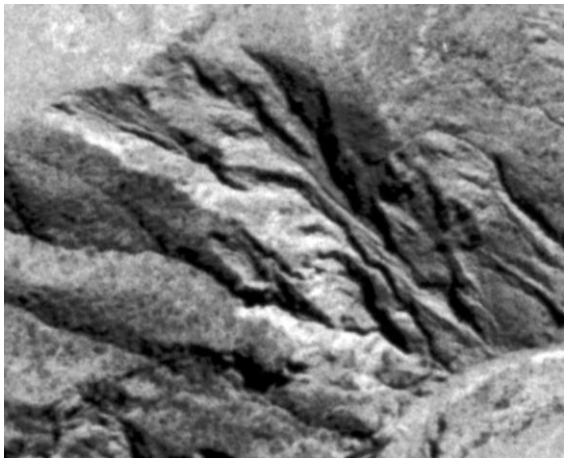
Este deslizamiento está localizado en la margen izquierda de la quebrada Hatun Huayco. Se encuentra en una ladera con pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°) en vertientes con depósito de deslizamiento.

Se realizó un análisis comparativo con imágenes del deslizamiento captadas en diferentes años, con el fin de entender cómo ha evolucionado con el tiempo. Esta revisión permitió identificar reactivaciones del deslizamiento y periodos de latencia.

En la Figura 123 se observa la evolución temporal del deslizamiento a lo largo de los años. En la imagen de 1956 se aprecia que el movimiento se originó en la base y se fue extendiendo progresivamente hasta alcanzar la corona, lo cual se evidencia con mayor claridad en la fotografía de 2011. No obstante, entre 2016 y 2023 se observa un incremento en la cobertura vegetal en el área afectada, lo que podría interpretarse como un indicio de inactividad o de una fase de relativa estabilidad del fenómeno.

Figura 123

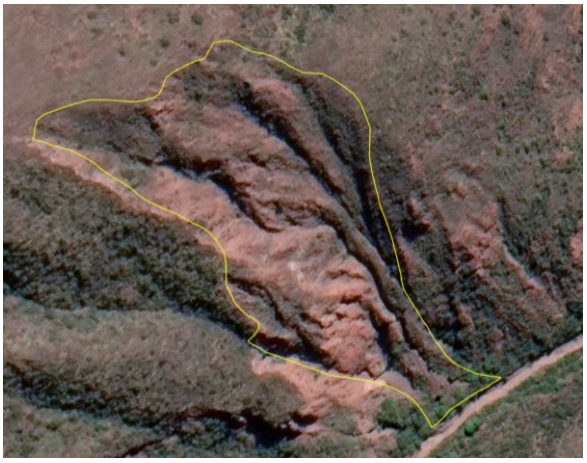
Proceso evolutivo del deslizamiento DR-6



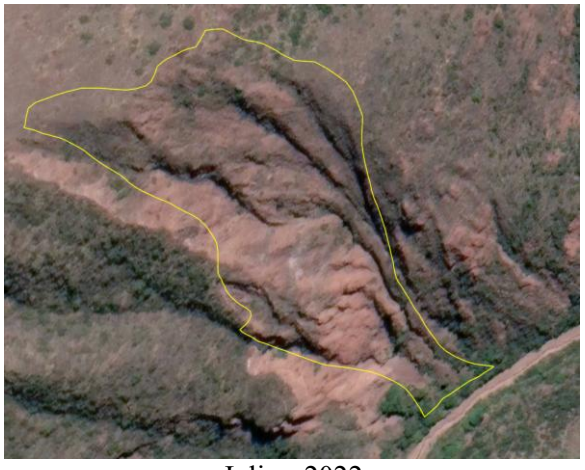
Junio - 1956

Junio – 2011

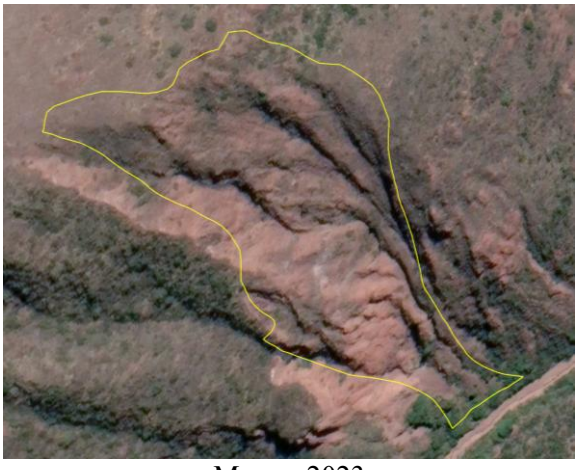
Junio – 2016



Junio - 2020



Julio - 2022



Mayo - 2023

Fuente: Google Earth.

En la Figura 124 y 125 se observa las partes del deslizamiento rotacional 6 (DR-6), donde se distingue un escarpe pronunciado. Este deslizamiento tiene una longitud de 130 m y ancho de 50 m aproximadamente.

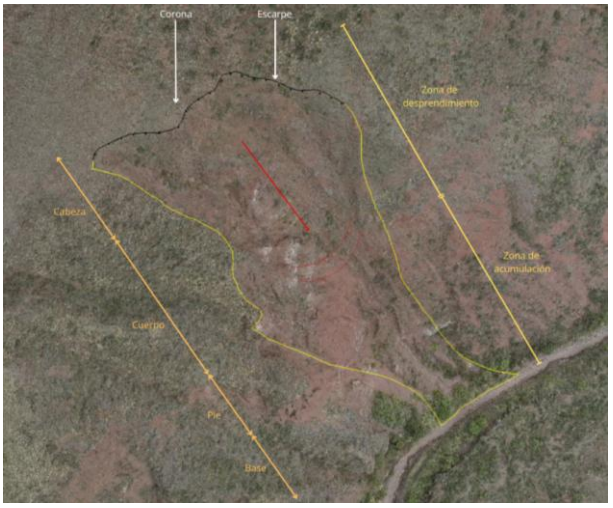
Figura 124

Deslizamiento DR-6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 125

Partes del deslizamiento DR-6



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se usó el software Slide con apoyo del software Civil 3D. Se tomó como base el levantamiento topográfico para crear secciones transversales en el Civil 3D, tratando de abarcar las laderas dentro de la zona de estudio para un mejor análisis.

De acuerdo con el cálculo de factor de seguridad todas las laderas analizadas son inestables en diferentes grados. El deslizamiento más inestable es el deslizamiento rotacional 1 y el menos inestable es el deslizamiento rotacional 3 (ver Tabla 37).

Tabla 37

Resumen del factor de seguridad

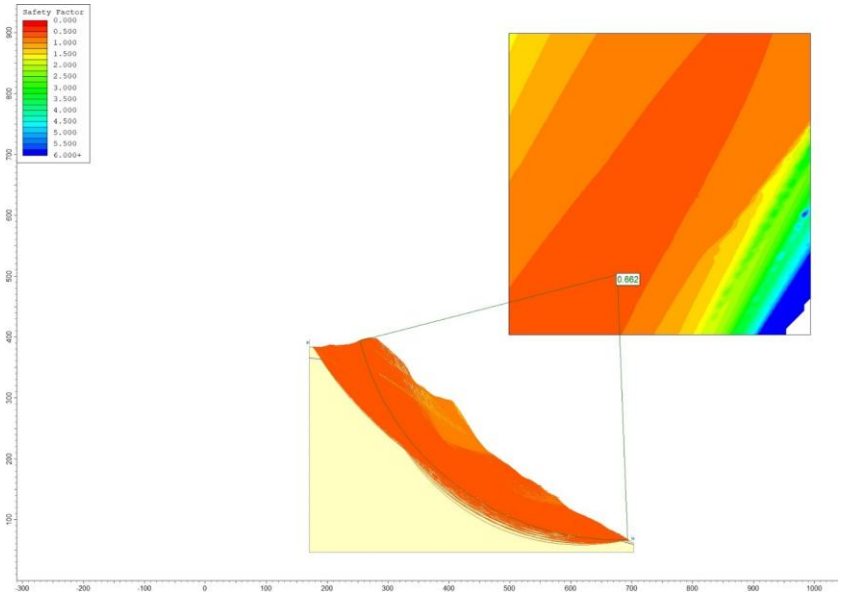
Deslizamiento	Factor de seguridad (F.S.)
DR - 1	0.662
DR – 2	0.736
DR – 3	0.922
DR - 4	0.650
DR – 5	0.729
DR - 6	0.678

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los perfiles elaborados en 6 laderas con deslizamientos de la quebrada Hatun Huayco.

Figura 126

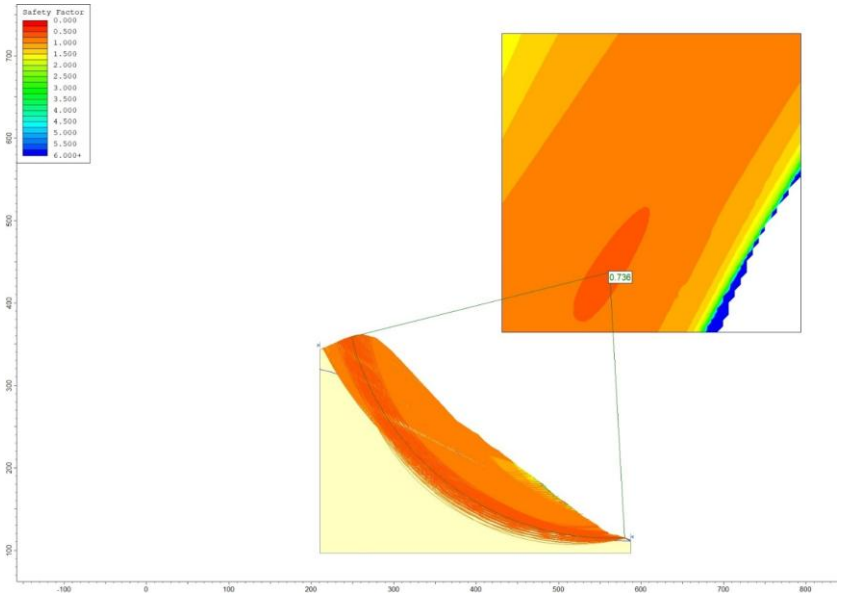
Factor de seguridad – deslizamiento 01



Fuente: Elaboración propia.

Figura 127

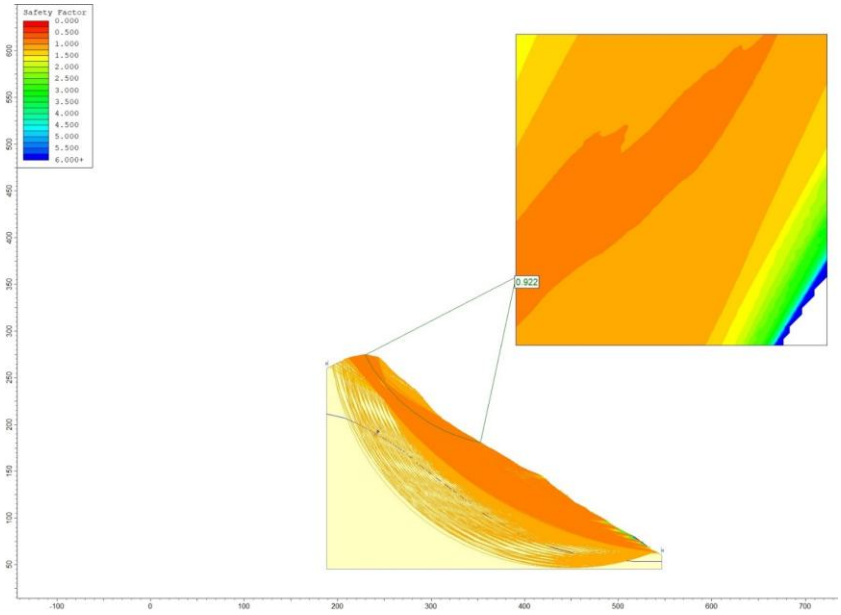
Factor de seguridad – deslizamiento 02



Fuente: Elaboración propia.

Figura 128

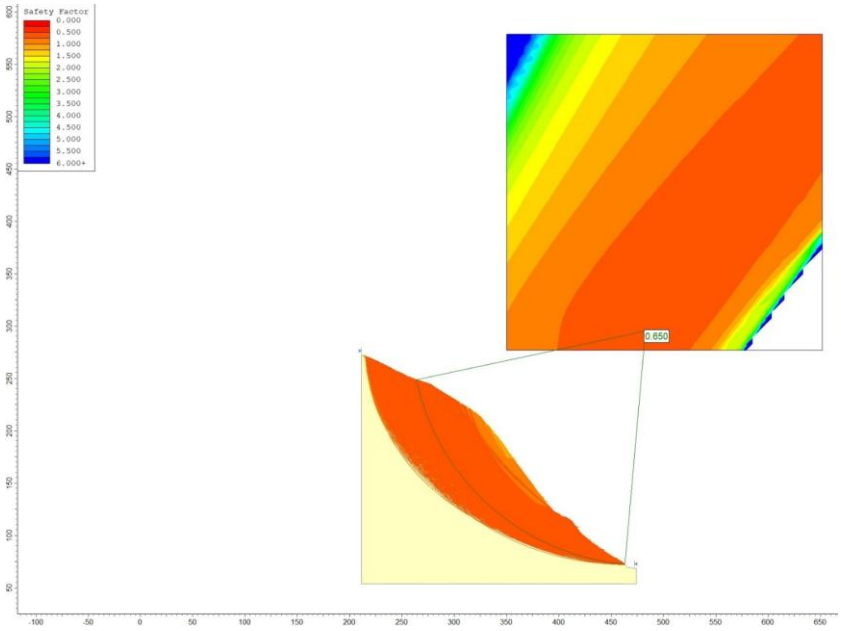
Factor de seguridad – deslizamiento 03



Fuente: Elaboración propia.

Figura 129

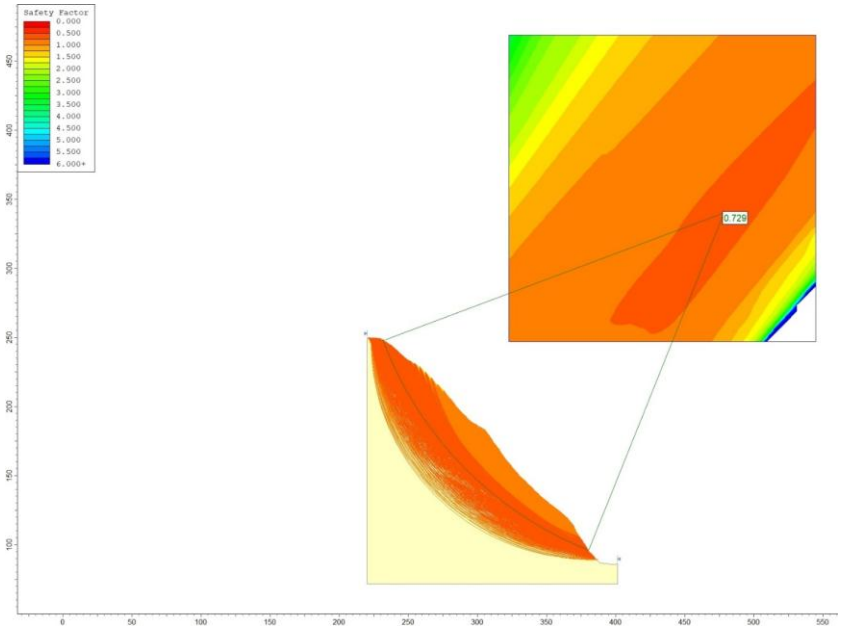
Factor de seguridad – deslizamiento 04



Fuente: Elaboración propia.

Figura 130

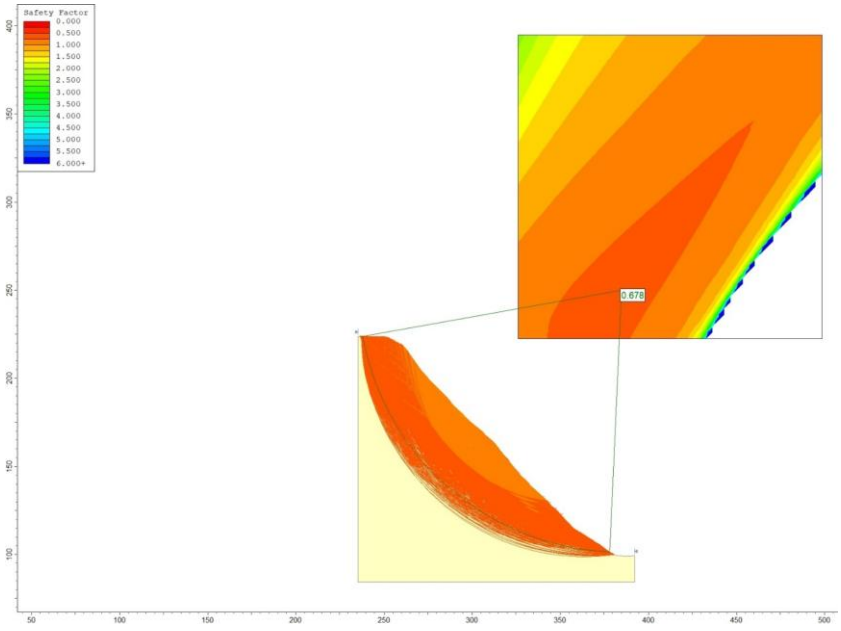
Factor de seguridad – deslizamiento 05



Fuente: Elaboración propia.

Figura 131

Factor de seguridad – deslizamiento 06



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3. Caídas

Las caídas en la quebrada Hatun Huayco se presentan en zonas con pendientes muy escarpadas, como, por ejemplo, las laderas de rocas sedimentarias en la parte media de la quebrada y los taludes de depósitos proluviales antiguos formados en la cantera que se encuentra en la parte baja.

A. Caídas de rocas

Las caídas de rocas fueron registradas en la parte media de la quebrada, específicamente en laderas con alturas mayores a 20 metros de ambas márgenes. Estas laderas están conformadas por afloramientos de rocas sedimentarias con escasa cobertura vegetal y pendientes muy escarpadas (>45°).

Aunque estos eventos se producen de forma periódica, su ubicación se encuentra considerablemente alejada del centro poblado de Saylla, lo que reduce su nivel de afectación directa (ver Figura 132).

Figura 132

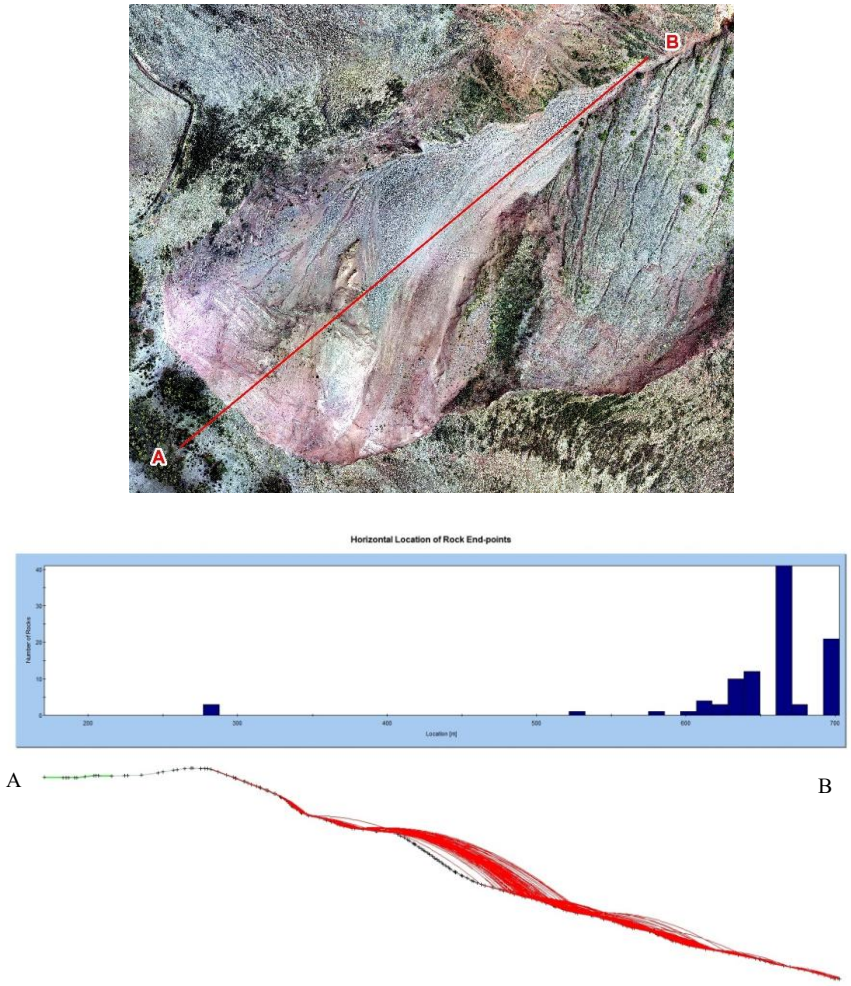
Laderas muy escarpadas en areniscas y lutitas de la Fm. Chilca

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 133 se observa una simulación de caída de rocas en el software RocFall en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco. Se determinó que las caídas de rocas producidas rebotan en la ladera hasta alcanzar el cauce de la quebrada, donde se acumulan y posteriormente pueden generar un flujo de detritos.

Figura 133

Simulación de caídas de rocas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 134

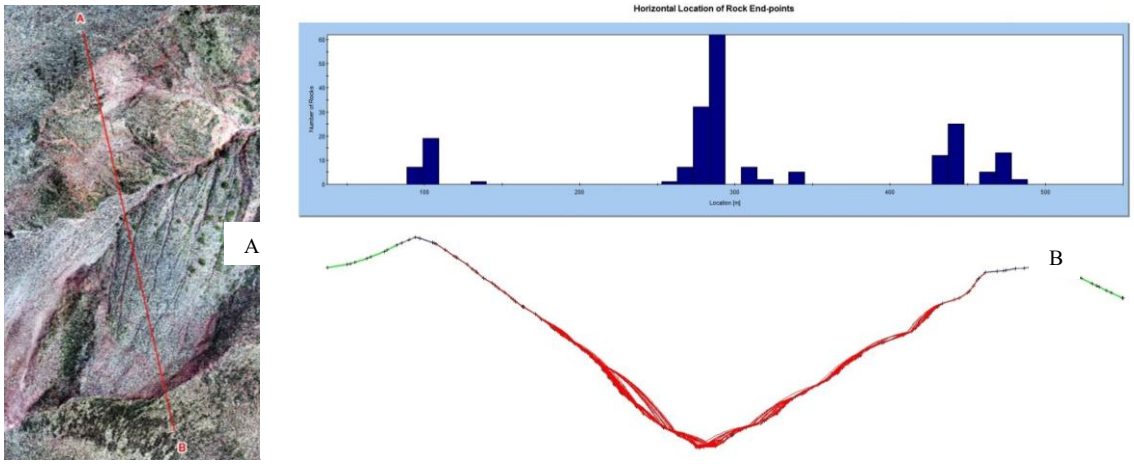
Laderas muy escarpadas en areniscas y lutitas de la Fm. Chilca

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 135 se observa la simulación de una caída de rocas en la parte media de la quebrada Hatun Huayco. Se observa gran acumulación de caída de rocas en el cauce.

Figura 135

Simulación de caídas de rocas



Fuente: Elaboración propia.

B. Caídas de suelos

La desembocadura actual de la quebrada Hatun Huayco es utilizada como una cantera no metálica, debido a los depósitos cuaternarios presentes en la zona. Esta actividad antrópica ha generado taludes con pendientes muy escarpadas (> 45°), alturas superiores a 10 metros y escasa cobertura vegetal. Si bien estos taludes se ubican cerca al centro poblado de Saylla, no se identificaron viviendas dentro del cauce de la quebrada (ver Figura 136).

Figura 136

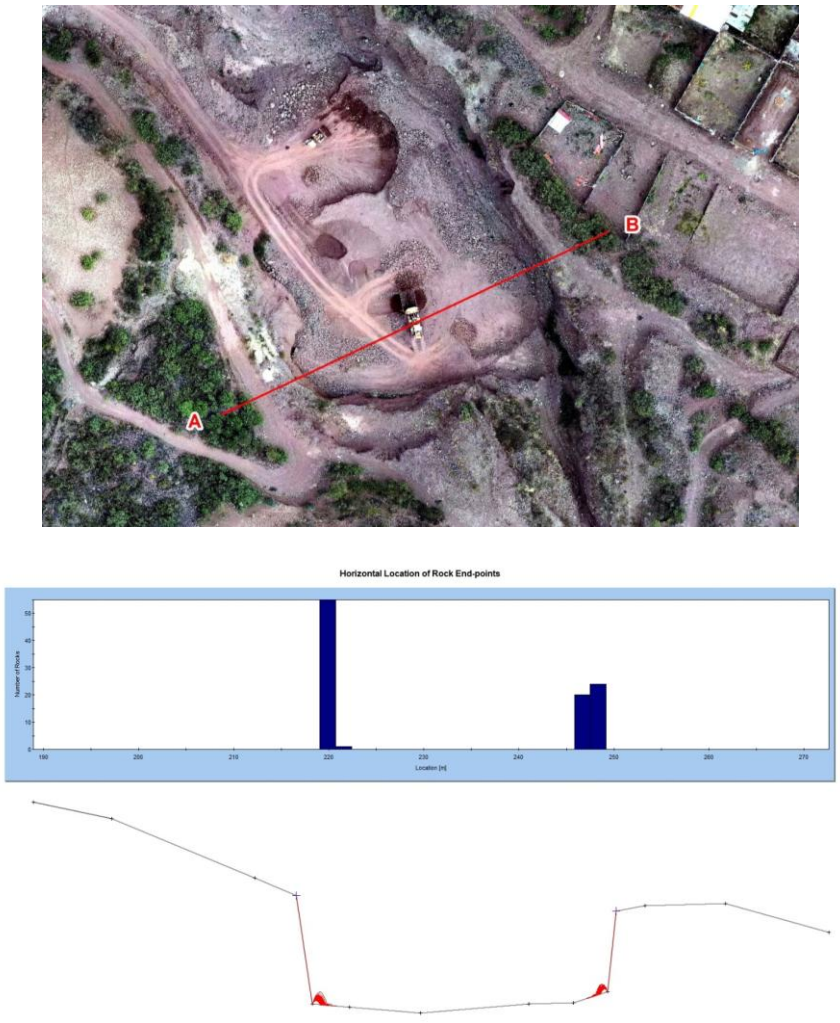
Taludes muy escarpados en depósitos proluviales antiguos

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 137 se observa la simulación de una caída de suelos en la parte baja de la quebrada Hatun Huayco. Se observa la acumulación de caída de rocas en el cauce, donde actualmente radica una cantera no metálica

Figura 137

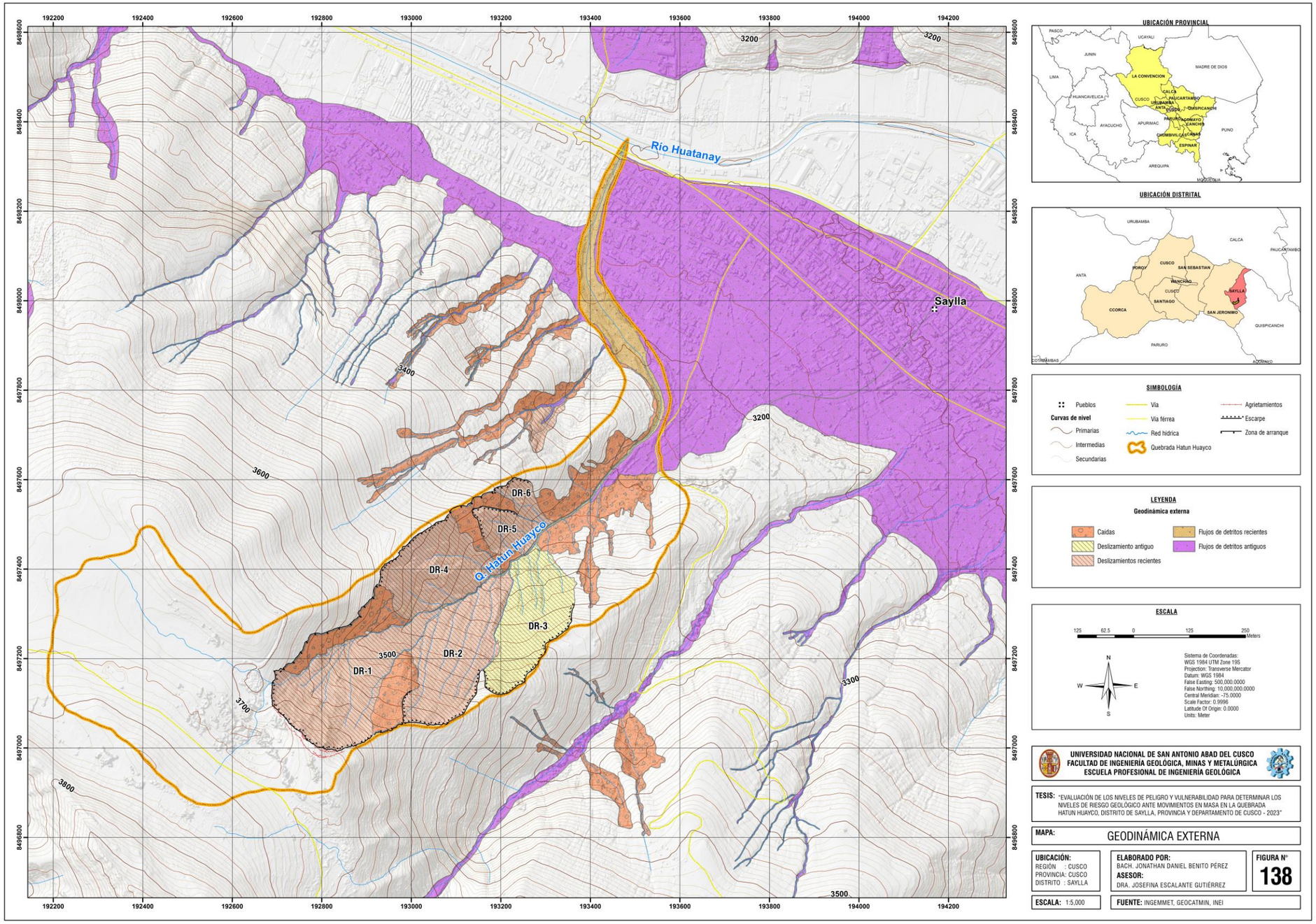
Simulación de caídas de suelos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 138

Mapa de geodinámica externa



Fuente: Elaboración propia.

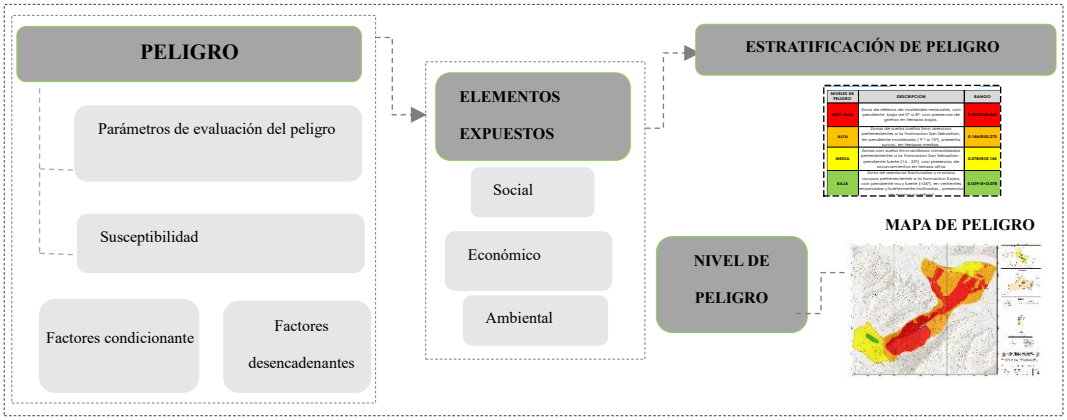
CAPITULO VII: PELIGROS GEOLÓGICOS

7.1. Metodología para la determinación del peligro

Para determinar los niveles de peligro por flujo de detritos, deslizamientos y caídas en la quebrada Hatun Huayco, se utilizó la metodología propuesta por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres (CENEPRED) en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2015), para identificar y caracterizar la peligrosidad (parámetros de evaluación, la susceptibilidad en función de los factores condicionantes y desencadenantes y los elementos expuestos). Para su determinación se consideró los parámetros y descriptores correspondientes, ponderándolos mediante el método SAATY (ver Figura 139).

Figura 139

Metodología general para determinar los niveles de peligro.



Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED, 2014).

7.2. Identificación de los tipos de peligro a evaluar

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos (flujos de detritos o huaicos) y caídas (suelos o rocas). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el

curso de los ríos (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 2020).

Los tipos de peligros corresponden a los peligros generados por fenómenos de origen natural. Del análisis de la información recopilada y las salidas de campo se evidenció manifestaciones de flujo de detritos, deslizamientos y caídas en la quebrada Hatun Huayco.

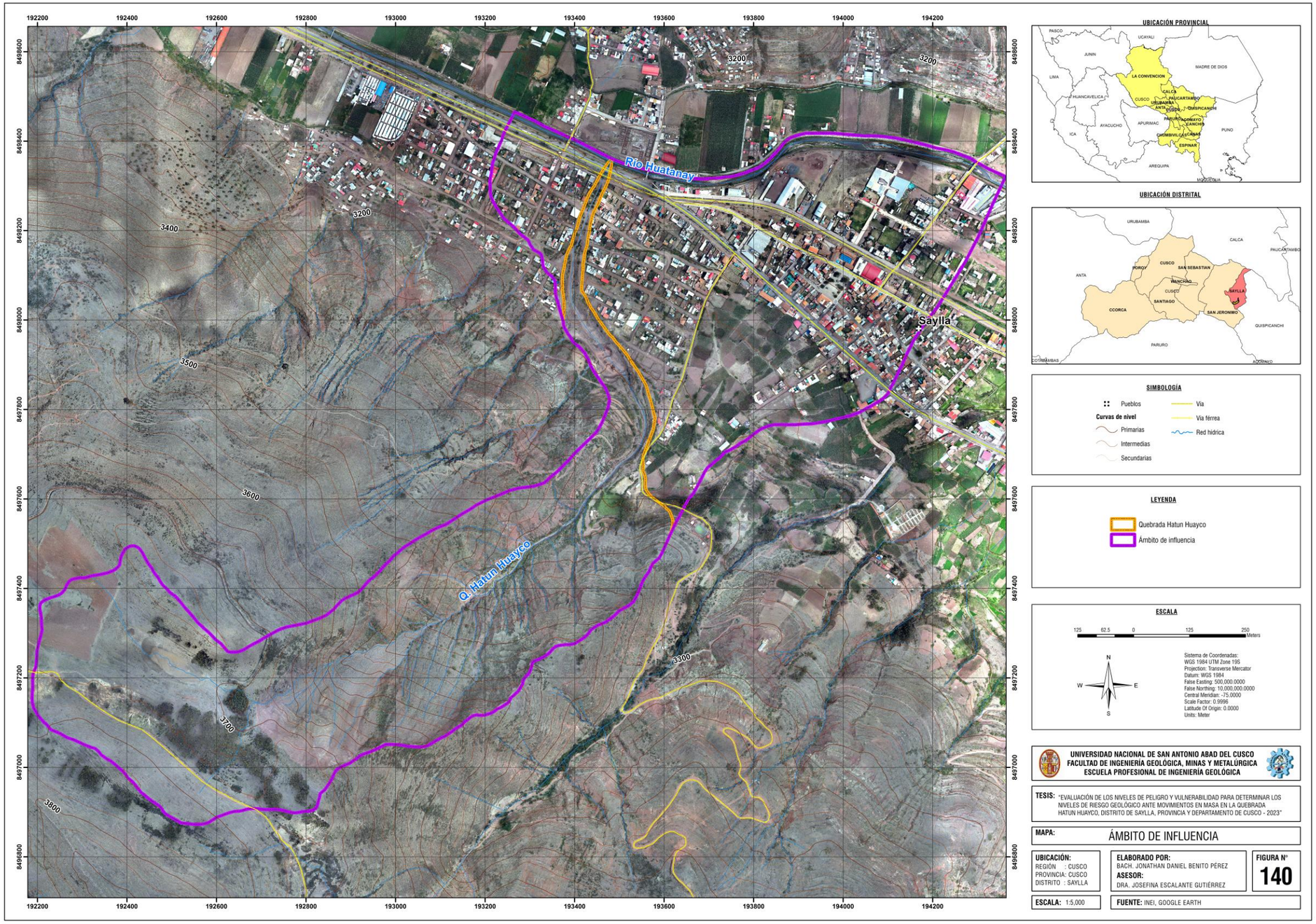
Según la información recopilada en campo y visitas al ámbito de influencia, se ha observado que existen deslizamientos activos en ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco, así como materiales inestables que pueden generar caídas de suelo o roca, existe la posibilidad de que estos materiales se acumulen en el cauce de la quebrada formando así flujos de detritos que podrían afectar a los predios e infraestructuras de la A.P.V. Ferroviarios ubicadas en la parte baja de la quebrada Hatun Huayco.

7.3. Identificación y delimitación del área de influencia asociada al peligro

El área de influencia para los procesos de geodinámica externa ocurridos en la quebrada Hatun Huayco se delimitó en campo tomando en cuenta el cauce de la quebrada antigua y el nuevo cauce generado de forma antrópica para desviar el recorrido de los flujos de detritos (ver Figura 140).

Figura 140

Mapa de área de influencia de la quebrada Hatun Huayco



Fuente: Elaboración propia.

7.4. Susceptibilidad del ámbito de estudio

7.4.1. Factores condicionantes

Son parámetros propios del ámbito de estudio, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo del fenómeno de origen natural, así como su distribución espacial.

7.4.1.1 Factores condicionantes de flujo de detritos

Ponderación de los parámetros de susceptibilidad

Tabla 38

Parámetros - Factores condicionantes de flujo de detritos

Parámetro	Desc
Subunidades geomorfológicas	P1
Unidades litoestratigráficas	P2
Unidades hidrogeológicas	P3
Clases de pendientes del terreno	P4
Cobertura vegetal	P5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de flujo de detritos

Parámetro	Subunidades geomorfológicas	Unidades litoestratigráficas	Unidades hidrogeológicas	Clases de pendientes del terreno	Cobertura vegetal
Subunidades geomorfológicas	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
Unidades litoestratigráficas	0.33	1.00	3.00	4.00	5.00
Unidades hidrogeológicas	0.25	0.33	1.00	2.00	3.00
Clases de pendientes del terreno	0.20	0.25	0.50	1.00	2.00
Cobertura vegetal	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.93	4.78	8.83	12.50	18.00
1/SUMA	0.52	0.21	0.11	0.08	0.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40

Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de flujo de detritos

Parámetro	Subunidades geomorfológicas	Unidades litoestratigráficas	Clases de pendientes del terreno	Unidades hidrogeológicas	Cobertura vegetal	Vector Priorización
Subunidades geomorfológicas	0.519	0.627	0.453	0.400	0.389	0.478
Unidades litoestratigráficas	0.173	0.209	0.340	0.320	0.278	0.264
Unidades hidrogeológicas	0.130	0.070	0.113	0.160	0.167	0.128
Clases de pendientes del terreno	0.104	0.052	0.057	0.080	0.111	0.081
Unidades de cobertura vegetal	0.074	0.042	0.038	0.040	0.056	0.050
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de flujo de detritos

Índice de consistencia (IC)	0.035
Relación de consistencia (RC)	0.032

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 1: Subunidades geomorfológicas

Tabla 42

Clasificación de las subunidades geomorfológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Subunidades geomorfológicas	D1	5	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
	D2		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento
	D3		Montaña en roca sedimentaria
	D4		Terraza aluvial
	D5		Terraza fluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptor	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	Montaña en roca sedimentaria	Terraza aluvial	Terraza fluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	1.00	3.00	5.00	6.00	7.00
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
Montaña en roca sedimentaria	0.20	0.33	1.00	2.00	3.00
Terraza aluvial	0.17	0.20	0.50	1.00	2.00
Terraza fluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria	0.14	0.17	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.84	4.70	9.83	14.50	19.00
1/SUMA	0.54	0.21	0.10	0.07	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptor	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	Montaña en roca sedimentaria	Terraza aluvial	Terraza fluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria	Vector priorización
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	0.543	0.638	0.508	0.414	0.368	0.494
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	0.181	0.213	0.305	0.345	0.316	0.272
Montaña en roca sedimentaria	0.109	0.071	0.102	0.138	0.158	0.115
Terraza aluvial	0.090	0.043	0.051	0.069	0.105	0.072
Terraza fluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria	0.078	0.035	0.034	0.034	0.053	0.047
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas

Índice de consistencia (IC)	0.038
Relación de consistencia (RC)	0.034

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 2: Unidades litoestratigráficas

Tabla 46

Clasificación de las unidades litoestratigráficas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades litoestratigráficas	D1	5	Depósito proluvial
	D2		Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento
	D3		Fm. Quilque y Fm. Chilca
	D4		Depósito aluvial
	D5		Depósito fluvial, lacustre y Fm. Kayra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Depósito proluvial	Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	Fm. Quilque y Fm. Chilca	Depósito aluvial	Depósito fluvial, lacustre y Fm. Kayra
Depósito proluvial	1.00	3.00	5.00	6.00	7.00
Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	0.33	1.00	3.00	4.00	5.00
Fm. Quilque y Fm. Chilca	0.20	0.33	1.00	2.00	4.00
Depósito aluvial	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Depósito fluvial, lacustre y Fm. Kayra	0.14	0.20	0.25	0.50	1.00
SUMA	1.84	4.78	9.75	13.50	19.00
1/SUMA	0.54	0.21	0.10	0.07	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48

Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Depósito proluvial	Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	Fm. Quilque y Fm. Chilca	Depósito aluvial	Depósito fluvial, lacustre y Fm. Kayra	Vector priorización
Depósito proluvial	0.543	0.627	0.513	0.444	0.368	0.499
Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	0.181	0.209	0.308	0.296	0.263	0.251
Fm. Quilque y Fm. Chilca	0.109	0.070	0.103	0.148	0.211	0.128
Depósito aluvial	0.090	0.052	0.051	0.074	0.105	0.075
Depósito fluvial, lacustre y Fm. Kayra	0.078	0.042	0.026	0.037	0.053	0.047
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49

Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas

Índice de consistencia (IC)	0.043
Relación de consistencia (RC)	0.039

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 3: Unidades hidrogeológicas

Tabla 50

Clasificación de unidades hidrogeológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades hidrogeológicas	D1	5	Acuitardo proluvial
	D2		Acuitardo coluvial
	D3		Acuitardo Quilque y Chilca
	D4		Acuitardo aluvial
	D5		Acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51

Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas

Descriptores	Acuitardo proluvial	Acuitardo coluvial	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuitardo aluvial	Acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra
Acuitardo proluvial	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Acuitardo coluvial	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Acuitardo Quilque y Chilca	0.20	0.33	1.00	2.00	3.00
Acuitardo aluvial	0.14	0.20	0.50	1.00	3.00
Acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra	0.11	0.14	0.33	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.83	15.33	23.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas

Descriptores	Acuitardo proluvial	Acuitardo coluvial	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuitardo aluvial	Acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra	Vector Priorización
Acuitardo proluvial	0.560	0.642	0.508	0.457	0.391	0.511
Acuitardo coluvial	0.187	0.214	0.305	0.326	0.304	0.267
Acuitardo Quilque y Chilca	0.112	0.071	0.102	0.130	0.130	0.109
Acuitardo aluvial	0.080	0.043	0.051	0.065	0.130	0.074
Acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra	0.062	0.031	0.034	0.022	0.043	0.038
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53

Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas

Índice de consistencia (IC)	0.040
Relación de consistencia (RC)	0.036

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 4: Clases de pendientes del terreno

Tabla 54

Clases de pendientes del terreno

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Clases de pendientes del terreno	D1	5	Pendiente muy escarpada (>45°)
	D2		Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)
	D3		Pendiente fuerte (15°-25°)
	D4		Pendiente moderada (5°-15°)
	D5		Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55

Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)
Pendiente muy escarpada (>45°)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.20	0.33	1.00	2.00	3.00
Pendiente moderada (5°-15°)	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	0.11	0.14	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.83	15.50	22.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	Vector Priorización
Pendiente muy escarpada (>45°)	0.560	0.642	0.508	0.452	0.409	0.514
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.187	0.214	0.305	0.323	0.318	0.269
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.112	0.071	0.102	0.129	0.136	0.110
Pendiente moderada (5°-15°)	0.080	0.043	0.051	0.065	0.091	0.066
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	0.062	0.031	0.034	0.032	0.045	0.041
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno

Índice de consistencia (IC)	0.026
Relación de consistencia (RC)	0.023

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 5: Unidades de cobertura vegetal

Tabla 58

Clasificación de unidades de cobertura vegetal

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades de cobertura vegetal	D1	5	Escasa cobertura
	D2		Área antropizada
	D3		Cultivo y pastizal
	D4		Matorral y rodal
	D5		Arbórea

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59

Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea
Escasa cobertura	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Área antropizada	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Cultivo y pastizal	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Matorral y rodal	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Rodal y arbórea	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 60

Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea	Vector Priorización
Escasa cobertura	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Área antropizada	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Cultivo y pastizal	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Matorral y rodal	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Rodal y arbórea	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 61

Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

7.4.1.2 Factores condicionantes de deslizamientos

Ponderación de los parámetros de susceptibilidad

Tabla 62

Parámetros - Factores condicionantes de deslizamientos

Parámetro	Desc
Subunidades geomorfológicas	P1
Unidades litoestratigráficas	P2
Clases de pendientes del terreno	P3
Cobertura vegetal	P4
Unidades hidrogeológicas	P5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63

Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de deslizamientos

Parámetro	Subunidades geomorfológicas	Unidades litoestratigráficas	Clases de pendientes del terreno	Cobertura vegetal	Unidades hidrogeológicas
Subunidades geomorfológicas	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Unidades litoestratigráficas	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Clases de pendientes del terreno	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Cobertura vegetal	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Unidades hidrogeológicas	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 64

Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de deslizamientos

Parámetro	Subunidades geomorfológicas	Unidades litoestratigráficas	Clases de pendientes del terreno	Cobertura vegetal	Unidades hidrogeológicas	Vector Priorización
Subunidades geomorfológicas	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Unidades litoestratigráficas	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Clases de pendientes del terreno	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Cobertura vegetal	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Unidades hidrogeológicas	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 65

Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de deslizamientos

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 1: Subunidades geomorfológicas

Tabla 66

Clasificación de las subunidades geomorfológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Subunidades geomorfológicas	D1	5	Vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos
	D2		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria
	D3		Montaña estructural en roca sedimentaria
	D4		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
	D5		Llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67

Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptor	Vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria	Montaña estructural en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial
Vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos	1.00	3.00	5.00	6.00	7.00
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
Montaña estructural en roca sedimentaria	0.20	0.33	1.00	2.00	3.00
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	0.17	0.20	0.50	1.00	2.00
Llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial	0.14	0.17	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.84	4.70	9.83	14.50	19.00
1/SUMA	0.54	0.21	0.10	0.07	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68

Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptor	Vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria	Montaña estructural en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial	Vector priorización
Vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos	0.543	0.638	0.508	0.414	0.368	0.494
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria	0.181	0.213	0.305	0.345	0.316	0.272
Montaña estructural en roca sedimentaria	0.109	0.071	0.102	0.138	0.158	0.115
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	0.090	0.043	0.051	0.069	0.105	0.072
Llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial	0.078	0.035	0.034	0.034	0.053	0.047
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69

Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas

Índice de consistencia (IC)	0.047
Relación de consistencia (RC)	0.042

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 2: Unidades litoestratigráficas

Tabla 70

Clasificación de las unidades litoestratigráficas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades litoestratigráficas	D1	5	Depósito de deslizamiento y depósito coluvial
	D2		Depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca
	D3		Fm. Kayra
	D4		Depósito proluvial
	D5		Depósito lacustre, aluvial y fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Depósito de deslizamiento y depósito coluvial	Depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca	Fm. Kayra	Depósito proluvial	Depósito lacustre, aluvial y fluvial
Depósito de deslizamiento y depósito coluvial	**1.00**	3.00	5.00	7.00	9.00
Depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca	0.33	**1.00**	3.00	5.00	7.00
Fm. Kayra	0.20	0.33	**1.00**	3.00	5.00
Depósito proluvial	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
Depósito lacustre, aluvial y fluvial	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 72

Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Depósito de deslizamiento y depósito coluvial	Depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca	Fm. Kayra	Depósito proluvial	Depósito lacustre, aluvial y fluvial	Vector Priorización
Depósito de deslizamiento y depósito coluvial	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Fm. Kayra	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Depósito proluvial	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Depósito lacustre, aluvial y fluvial	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 73

Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 3: Clases de pendientes del terreno

Tabla 74

Clases de pendientes del terreno

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Clases de pendientes del terreno	D1	5	Pendiente muy escarpada (>45°)
	D2		Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)
	D3		Pendiente fuerte (15°-25°)
	D4		Pendiente moderada (5°-15°)
	D5		Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75

Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)
Pendiente muy escarpada (>45°)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Pendiente moderada (5°-15°)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	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 76

Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	Vector Priorización
Pendiente muy escarpada (>45°)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Pendiente moderada (5°-15°)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	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 77

Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 4: Unidades de cobertura vegetal

Tabla 78

Clasificación de unidades de cobertura vegetal

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades de cobertura vegetal	D1	5	Escasa cobertura
	D2		Área antropizada
	D3		Cultivo y pastizal
	D4		Matorral y rodal
	D5		Arbórea

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79

Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea
Escasa cobertura	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Área antropizada	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Cultivo y pastizal	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Matorral y rodal	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Rodal y arbórea	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 80

Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea	Vector Priorización
Escasa cobertura	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Área antropizada	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Cultivo y pastizal	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Matorral y rodal	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Rodal y arbórea	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 81

Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 5: Unidades hidrogeológicas

Tabla 82

Clasificación de unidades hidrogeológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades hidrogeológicas	D1	5	Acuitardo coluvial
	D2		Acuitardo Quilque y Chilca
	D3		Acuífero Kayra
	D4		Acuitardo proluvial
	D5		Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas

Descriptores	Acuitardo coluvial	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuífero Kayra	Acuitardo proluvial	Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial
Acuitardo coluvial	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Acuitardo Quilque y Chilca	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Acuífero Kayra	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Acuitardo proluvial	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	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 84

Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas

DESCRIPTORES	Acuitardo coluvial	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuífero Kayra	Acuitardo proluvial	Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	Vector Priorización
Acuitardo coluvial	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Acuitardo Quilque y Chilca	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Acuífero Kayra	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Acuitardo proluvial	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	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 85

Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

7.4.1.3 Factores condicionantes de caídas

Ponderación de los parámetros de susceptibilidad

Tabla 86

Parámetros - Factores condicionantes de caídas

Parámetro	Desc
Clases de pendientes del terreno	P1
Subunidades geomorfológicas	P2
Unidades litoestratigráficas	P3
Cobertura vegetal	P4
Unidades hidrogeológicas	P5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87

Matriz de comparación de pares - Factores condicionantes de caídas

Parámetro	Clases de pendientes del terreno	Subunidades geomorfológicas	Unidades litoestratigráficas	Cobertura vegetal	Unidades hidrogeológicas
Clases de pendientes del terreno	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
Subunidades geomorfológicas	0.33	1.00	3.00	4.00	5.00
Unidades litoestratigráficas	0.25	0.33	1.00	2.00	3.00
Cobertura vegetal	0.20	0.25	0.50	1.00	2.00
Unidades hidrogeológicas	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.93	4.78	8.83	12.50	18.00
1/SUMA	0.52	0.21	0.11	0.08	0.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88

Matriz de normalización de pares - Factores condicionantes de caídas

Parámetro	**Clases de pendientes del terreno**	**Subunidades geomorfológicas**	**Unidades litoestratigráficas**	**Cobertura vegetal**	**Unidades hidrogeológicas**	**Vector Priorización**
Clases de pendientes del terreno	0.519	0.627	0.453	0.400	0.389	**0.478**
Subunidades geomorfológicas	0.173	0.209	0.340	0.320	0.278	**0.264**
Unidades litoestratigráficas	0.130	0.070	0.113	0.160	0.167	**0.128**
Cobertura vegetal	0.104	0.052	0.057	0.080	0.111	**0.081**
Unidades hidrogeológicas	0.074	0.042	0.038	0.040	0.056	**0.050**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89

Índice y relación de consistencia – Factores condicionantes de caídas

Índice de consistencia (IC)	0.035
Relación de consistencia (RC)	0.032

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 1: Clases de pendientes del terreno

Tabla 90

Clases de pendientes del terreno

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Clases de pendientes del terreno	D1	5	Pendiente muy escarpada (>45°)
	D2		Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)
	D3		Pendiente fuerte (15°-25°)
	D4		Pendiente moderada (5°-15°)
	D5		Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91

Matriz de comparación de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)
Pendiente muy escarpada (>45°)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Pendiente moderada (5°-15°)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	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 92

Matriz de normalización de pares – Clases de pendientes del terreno

Descriptores	Pendiente muy escarpada (>45°)	Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	Pendiente fuerte (15°-25°)	Pendiente moderada (5°-15°)	Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	Vector Priorización
Pendiente muy escarpada (>45°)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°)	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Pendiente fuerte (15°-25°)	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Pendiente moderada (5°-15°)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°)	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 93

Índice y relación de consistencia – Clases de pendientes del terreno

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 2: Subunidades geomorfológicas

Tabla 94

Clasificación de las subunidades geomorfológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Subunidades geomorfológicas	D1	5	Montaña en roca sedimentaria
	D2		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento
	D3		Montaña estructural en roca sedimentaria
	D4		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
	D5		Llanura lacustre, terraza aluvial y fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95

Matriz de comparación de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptores	Montaña en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	Montaña estructural en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Llanura lacustre, terraza aluvial y fluvial
Montaña en roca sedimentaria	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Montaña estructural en roca sedimentaria	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
Llanura lacustre, terraza aluvial y fluvial	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.50	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96

Matriz de normalización de pares – Subunidades geomorfológicas

Descriptores	Montaña en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	Montaña estructural en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	Llanura lacustre, terraza aluvial y fluvial	Vector Priorización
Montaña en roca sedimentaria	0.560	0.642	0.524	0.424	0.375	0.505
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento	0.187	0.214	0.315	0.303	0.292	0.262
Montaña estructural en roca sedimentaria	0.112	0.071	0.105	0.182	0.208	0.136
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	0.080	0.043	0.035	0.061	0.083	0.060
Llanura lacustre, terraza aluvial y fluvial	0.062	0.031	0.021	0.030	0.042	0.037
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97

Índice y relación de consistencia – Subunidades geomorfológicas

Índice de consistencia (IC)	0.047
Relación de consistencia (RC)	0.042

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 3: Unidades litoestratigráficas

Tabla 98

Clasificación de las unidades litoestratigráficas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades litoestratigráficas	D1	5	Fm. Quilque y Fm. Chilca
	D2		Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento
	D3		Fm. Kayra
	D4		Depósito proluvial
	D5		Depósito lacustre, aluvial y fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99

Matriz de comparación de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Fm. Quilque y Fm. Chilca	Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	Fm. Kayra	Depósito proluvial	Depósito lacustre, aluvial y fluvial
Fm. Quilque y Fm. Chilca	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Fm. Kayra	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Depósito proluvial	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Depósito lacustre, aluvial y fluvial	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 100

Matriz de normalización de pares – Unidades litoestratigráficas

Descriptores	Fm. Quilque y Fm. Chilca	Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	Fm. Kayra	Depósito proluvial	Depósito lacustre, aluvial y fluvial	Vector Priorización
Fm. Quilque y Fm. Chilca	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Fm. Kayra	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Depósito proluvial	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Depósito lacustre, aluvial y fluvial	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 101

Índice y relación de consistencia – Unidades litoestratigráficas

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 4: Unidades de cobertura vegetal

Tabla 102

Clasificación de unidades de cobertura vegetal

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades de cobertura vegetal	D1	5	Escasa cobertura
	D2		Área antropizada
	D3		Cultivo y pastizal
	D4		Matorral y rodal
	D5		Arbórea

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103

Matriz de comparación de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea
Escasa cobertura	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Área antropizada	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Cultivo y pastizal	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Matorral y rodal	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Rodal y arbórea	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 104

Matriz de normalización de pares – Unidades de cobertura vegetal

Descriptores	Escasa cobertura	Área antropizada	Cultivo y pastizal	Matorral y rodal	Rodal y arbórea	Vector Priorización
Escasa cobertura	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Área antropizada	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Cultivo y pastizal	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Matorral y rodal	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Rodal y arbórea	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 105

Índice y relación de consistencia – Unidades de cobertura vegetal

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETRO 5: Unidades hidrogeológicas

Tabla 106

Clasificación de unidades hidrogeológicas

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Unidades hidrogeológicas	D1	5	Acuitardo Quilque y Chilca
	D2		Acuitardo coluvial
	D3		Acuífero Kayra
	D4		Acuitardo proluvial
	D5		Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 107

Matriz de comparación de pares – Unidades hidrogeológicas

Descriptores	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuitardo coluvial	Acuífero Kayra	Acuitardo proluvial	Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial
Acuitardo Quilque y Chilca	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Acuitardo coluvial	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Acuífero Kayra	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Acuitardo proluvial	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	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 108

Matriz de normalización de pares – Unidades hidrogeológicas

Descriptores	Acuitardo Quilque y Chilca	Acuitardo coluvial	Acuífero Kayra	Acuitardo proluvial	Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	Vector Priorización
Acuitardo Quilque y Chilca	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Acuitardo coluvial	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Acuífero Kayra	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Acuitardo proluvial	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial	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 109

Índice y relación de consistencia – Unidades hidrogeológicas

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Fuente: Elaboración propia.

7.4.2. Factor desencadenante

PARÁMETRO 1: Umbrales de precipitación

Tabla 110

Clasificación de umbrales de precipitación

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Precipitación concentrada en menos de 4 horas	D1	5	Extremadamente lluvioso RR>26.7mm
	D2		Muy lluvioso 16.5mm<RR≤26.7mm
	D3		Lluvioso 12.5mm<RR≤16.5mm
	D4		Moderadamente lluvioso 6.8mm<RR≤12.5mm
	D5		Ligeramente lluvioso RR≤ 6.8mm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 111

Matriz de comparación de pares – Umbrales de precipitación

Descriptores	Extremadamente lluvioso RR>26.7mm	Muy lluvioso 16.5mm<RR≤26.7mm	Lluvioso 12.5mm<RR≤16.5mm	Moderadamente lluvioso 6.8mm<RR≤12.5 mm	Ligeramente lluvioso RR≤ 6.8mm
Extremadamente lluvioso RR>26.7mm	**1.00**	3.00	5.00	7.00	9.00
Muy lluvioso 16.5mm<RR≤26.7 mm	0.33	**1.00**	3.00	5.00	7.00
Lluvioso 12.5mm<RR≤16.5 mm	0.20	0.33	**1.00**	3.00	4.00
Moderadamente lluvioso 6.8mm<RR≤12.5m m	0.14	0.20	0.33	**1.00**	2.00
Ligeramente lluvioso RR≤ 6.8mm	0.11	0.14	0.25	0.50	**1.00**
SUMA	1.79	4.68	9.58	16.50	23.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112

Matriz de normalización de pares – Umbrales de precipitación

Descriptores	Extremadamente lluvioso RR>26.7mm	Muy lluvioso 16.5mm<RR≤26.7mm	Lluvioso 12.5mm<RR≤16.5mm	Moderadamente lluvioso 6.8mm<RR≤12.5mm	Ligeramente lluvioso RR≤ 6.8mm	Vector Priorización
Extremadamente lluvioso RR>26.7mm	0.560	0.642	0.522	0.424	0.391	0.508
Muy lluvioso 16.5mm<RR≤26.7mm	0.187	0.214	0.313	0.303	0.304	0.264
Lluvioso 12.5mm<RR≤16.5mm	0.112	0.071	0.104	0.182	0.174	0.129
Moderadamente lluvioso 6.8mm<RR≤12.5 mm	0.080	0.043	0.035	0.061	0.087	0.061
Ligeramente lluvioso RR≤ 6.8mm	0.062	0.031	0.026	0.030	0.043	0.039
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 113

Índice y relación de consistencia – Umbrales de precipitación

Índice de consistencia (IC)	0.041
Relación de consistencia (RC)	0.037

Fuente: Elaboración propia.

7.5. Ponderación de los parámetros de evaluación

Se evaluaron los parámetros de evaluación para flujo de detritos, deslizamientos y caídas tomando en cuanto el trabajo en campo, la contrastación con la ortofoto y las simulaciones realizadas en software especializados.

7.5.1. Parámetros generales de evaluación de flujo de detritos

Para el parámetro general de evaluación de flujo de detritos se tomaron en cuenta dos factores: velocidad del flujo y altura del flujo. Estos factores se calcularon realizando una simulación de flujo de detritos en la quebrada Hatun Huayco en el software Flo2D.

Tabla 114

Parámetros generales de evaluación - Flujo de detritos

Parámetro	Desc	Peso
Velocidad del flujo	P1	0.5
Altura del flujo	P2	0.5

Fuente: Elaboración propia.

7.5.1.1 Velocidad del flujo

Ponderación de los descriptores del parámetro general velocidad del flujo para un periodo de 200 años

Tabla 115

Parámetros – Velocidad del flujo (m/s)

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Velocidad del flujo	D1	5	Mayor a 1.0 m/s
	D2		0.5 m/s a 1.0 m/s
	D3		0.25 m/s a 0.5 m/s
	D4		0.10 m/s a 0.25 m/s
	D5		Menor a 0.10 m/s

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 116

Matriz de comparación de pares - Velocidad del flujo (m/s)

Descriptor	Mayor a 1.0 m/s	0.5 m/s a 1.0 m/s	0.25 m/s a 0.5 m/s	0.10 m/s a 0.25 m/s	Menor a 0.10 m/s
Mayor a 1.0 m/s	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
0.5 m/s a 1.0 m/s	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
0.25 m/s a 0.5 m/s	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
0.10 m/s a 0.25 m/s	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Menor a 0.10 m/s	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 117

Matriz de normalización de pares - Velocidad del flujo (m/s)

Descriptor	Mayor a 1.0 m/s	0.5 m/s a 1.0 m/s	0.25 m/s a 0.5 m/s	0.10 m/s a 0.25 m/s	Menor a 0.10 m/s	Vector de Priorización
Mayor a 1.0 m/s	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
0.5 m/s a 1.0 m/s	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
0.25 m/s a 0.5 m/s	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
0.10 m/s a 0.25 m/s	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Menor a 0.10 m/s	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 118

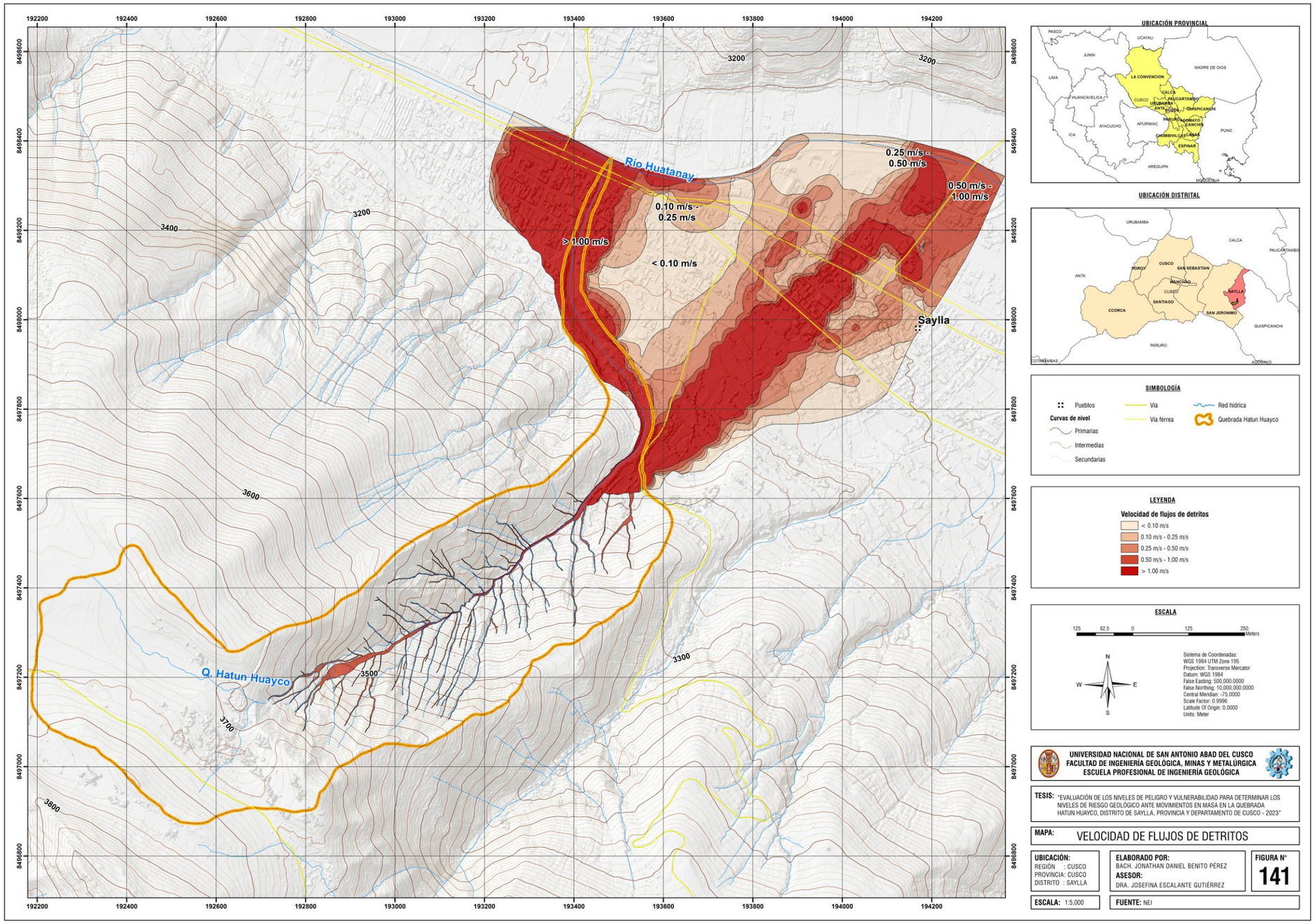
Índice y relación de consistencia – Velocidad del flujo (m/s)

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 141

Mapa de velocidad del flujo



Fuente: Elaboración propia.

7.5.1.1 Altura del flujo

Ponderación de los descriptores del parámetro general altura del flujo para un periodo de 200 años

Tabla 119

Parámetros – Altura del flujo (m)

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Altura del flujo	D1	5	Mayor a 1.0 m.
	D2		0.5 m. a 1.0 m.
	D3		0.25 m. a 0.5 m.
	D4		0.10 m. a 0.25 m.
	D5		Menor a 0.10 m.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 120

Matriz de comparación de pares - Altura del flujo (m)

Descriptor	Mayor a 1.0 m.	0.5 m. a 1.0 m.	0.25 m. a 0.5 m.	0.10 m. a 0.25 m.	Menor a 0.10 m.
Mayor a 1.0 m.	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
0.5 m. a 1.0 m.	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
0.25 m. a 0.5 m.	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
0.10 m. a 0.25 m.	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Menor a 0.10 m.	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 121

Matriz de normalización de pares - Altura del flujo (m)

Descriptor	Mayor a 1.0 m.	0.5 m. a 1.0 m.	0.25 m. a 0.5 m.	0.10 m. a 0.25 m.	Menor a 0.10 m.	Vector de Priorización
Mayor a 1.0 m.	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
0.5 m. a 1.0 m.	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
0.25 m. a 0.5 m.	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
0.10 m. a 0.25 m.	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Menor a 0.10 m.	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 122

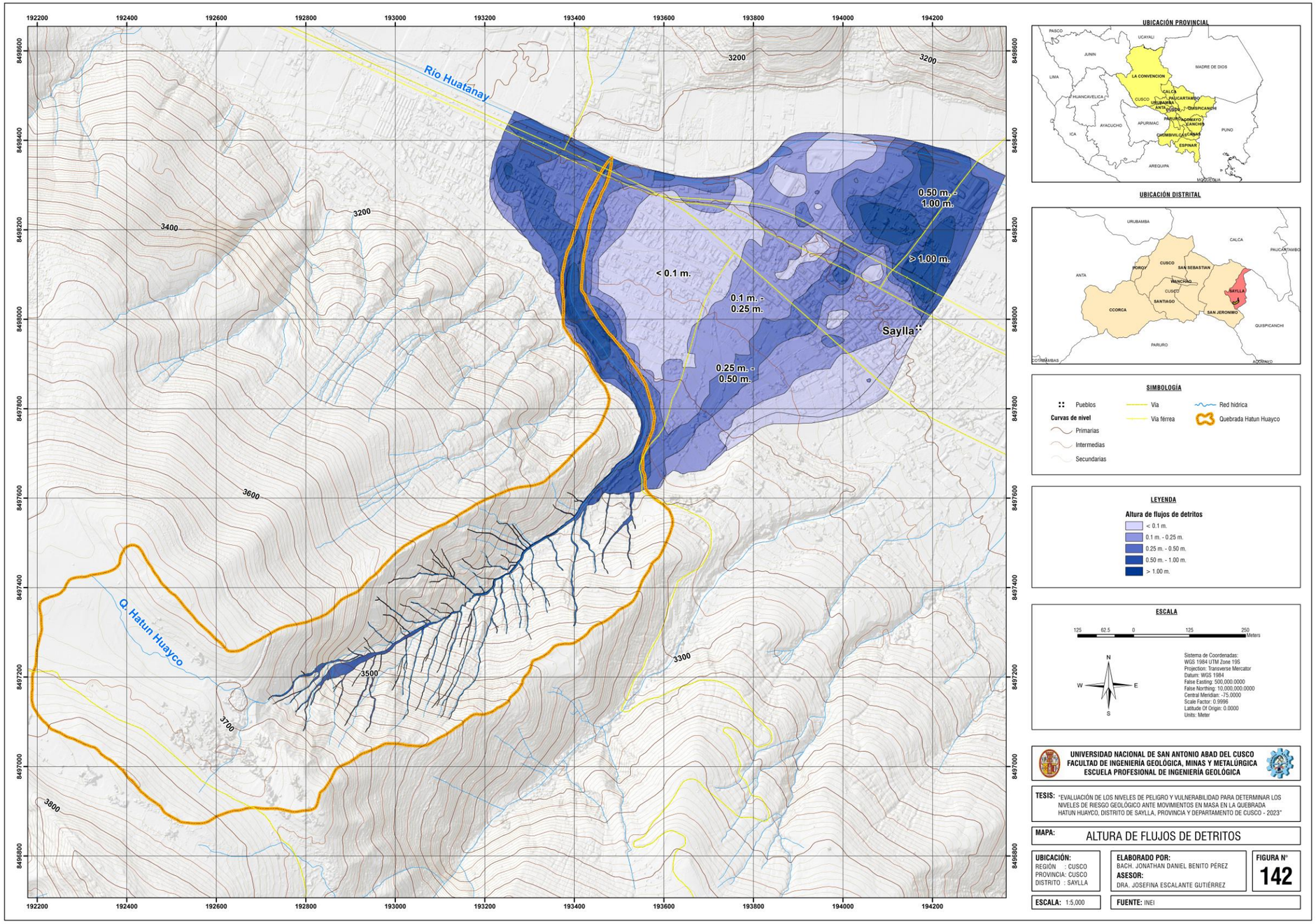
Índice y relación de consistencia – Altura del flujo (m)

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 142

Mapa de altura del flujo



Fuente: Elaboración propia.

7.5.2. Parámetro general de evaluación de deslizamientos

Se identificó como parámetro general de evaluación al volumen de los deslizamientos en base al análisis de estabilidad de taludes en el software Slide, el cual determina la superficie de falla en relación con el factor de seguridad. Para el cálculo de volumen se tomo en cuenta el modelo conceptual de un deslizamiento y la siguiente ecuación propuesta por Jaime Suarez.

$$Vol_{des} = (\frac{1}{6}\pi D_r x W_r x L_r) F_{ex}$$

Donde:

D_r: Profundidad de la superficie de falla

W_r: Ancho de la superficie de falla

L_r: Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona

F_{ex}: Factor de expansión del suelo al ser perturbado

Tabla 123

Parámetros generales de evaluación – Deslizamientos

Parámetro	Desc	Peso
Volumen (m^3)	P1	1

Fuente: Elaboración propia.

7.5.2.1 Volumen de deslizamiento (m^3)

Ponderación de los descriptores del parámetro general Volumen de deslizamiento (m^3)

Tabla 124

Parámetros – Volumen de deslizamiento (m3)

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Volumen de deslizamiento (m3)	D1	5	Muy grande (> 1 000 000 m^3)
	D2		Grande (500 000 m^3 a 1 000 000 m^3)
	D3		Medianamente grande (250 000 m^3 a 500 000 m^3)
	D4		Mediano (50 000 m^3 a 250 000 m^3)
	D5		Pequeño (< 50 000 m^3)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 125

Matriz de comparación de pares - Volumen de deslizamiento (m3)

Descriptor	Muy grande	Grande	Medianamente grande	Mediano	Pequeño
Muy grande	**1.00**	3.00	5.00	7.00	9.00
Grande	0.33	**1.00**	3.00	5.00	7.00
Medianamente grande	0.20	0.33	**1.00**	3.00	5.00
Mediano	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
Pequeño	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 126

Matriz de normalización de pares - Volumen de deslizamiento (m3)

Descriptor	Muy grande	Grande	Medianamente grande	Mediano	Pequeño	**Vector de Priorización**
Muy grande	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	**0.503**
Grande	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	**0.260**
Medianamente grande	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	**0.134**
Mediano	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	**0.068**
Pequeño	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 127

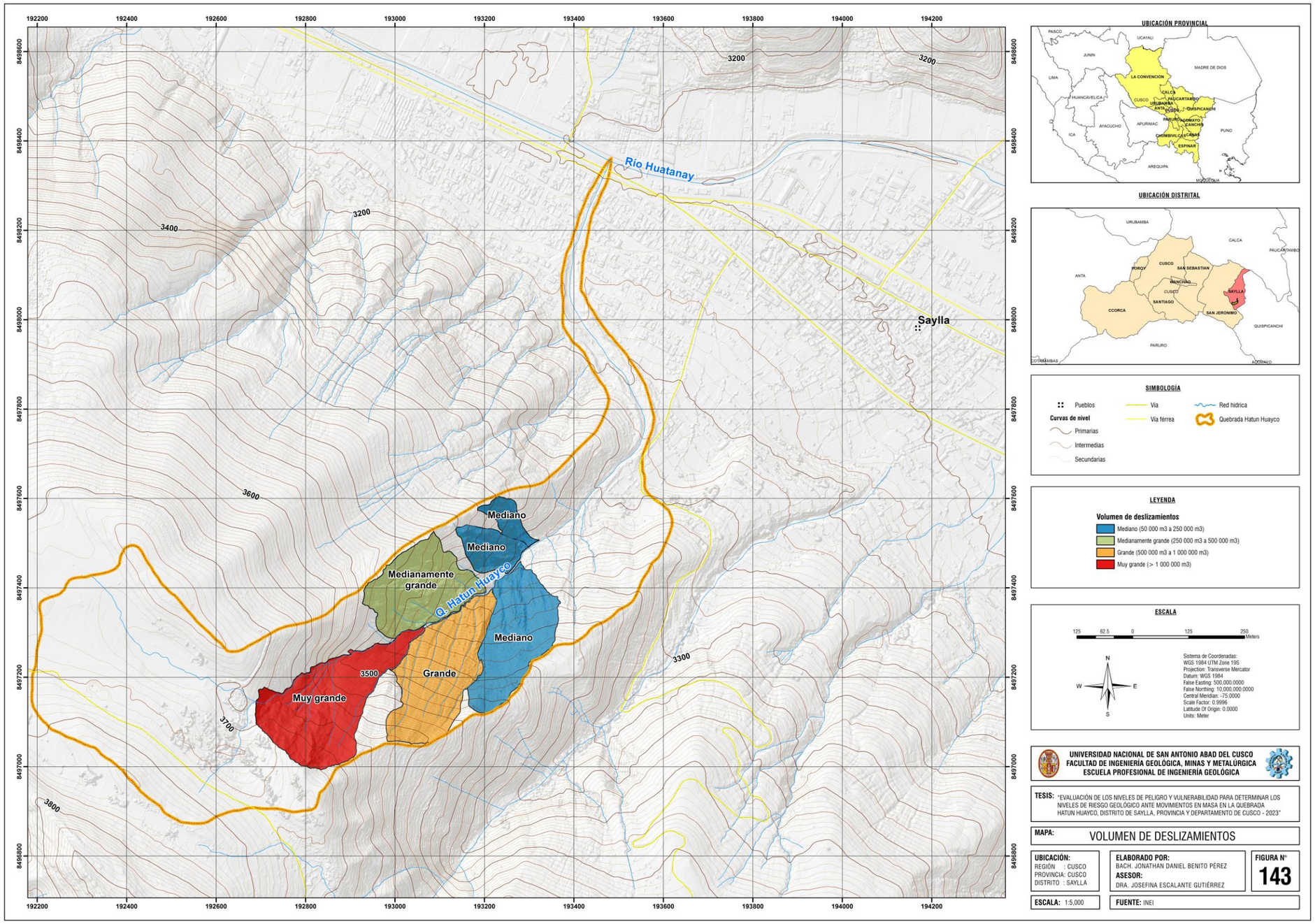
Índice y relación de consistencia – Volumen de deslizamiento (m3)

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 143

Mapa de volumen de deslizamiento



Fuente: Elaboración propia.

7.5.3. Parámetro general de evaluación de caídas

Se identificó como parámetro general de evaluación a las alturas relativas de los taludes, medidas en el trabajo de campo.

Tabla 128

Parámetros generales de evaluación – Caídas

Parámetro	Desc	Peso
Altura del talud (m)	P1	1

Fuente: Elaboración propia.

7.5.3.1 Altura relativa del talud (m)

Ponderación de los descriptores del parámetro general: Altura relativa del talud (m)

Tabla 129

Parámetros – Altura relativa del talud (m)

Parámetro	Descriptor	N° de descriptores	Descriptores
Altura del talud (m)	D1	5	> 20 m.
	D2		10m. - 20m.
	D3		5m. - 10m.
	D4		2m. - 5m.
	D5		1m. - 2m.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 130

Matriz de comparación de pares - Altura relativa del talud (m)

Descriptores	> 20 m.	10m. - 20m.	5m. - 10m.	2m. - 5m.	1m. - 2m.
> 20 m.	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
10m. - 20m.	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
5m. - 10m.	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
2m. - 5m.	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
1m. - 2m.	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 131

Matriz de normalización de pares – Altura relativa del talud (m)

Descriptores	> 20 m.	10m. - 20m.	5m. - 10m.	2m. - 5m.	1m. - 2m.	Vector de Priorización
> 20 m.	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
10m. - 20m.	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
5m. - 10m.	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
2m. - 5m.	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
1m. - 2m.	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 132

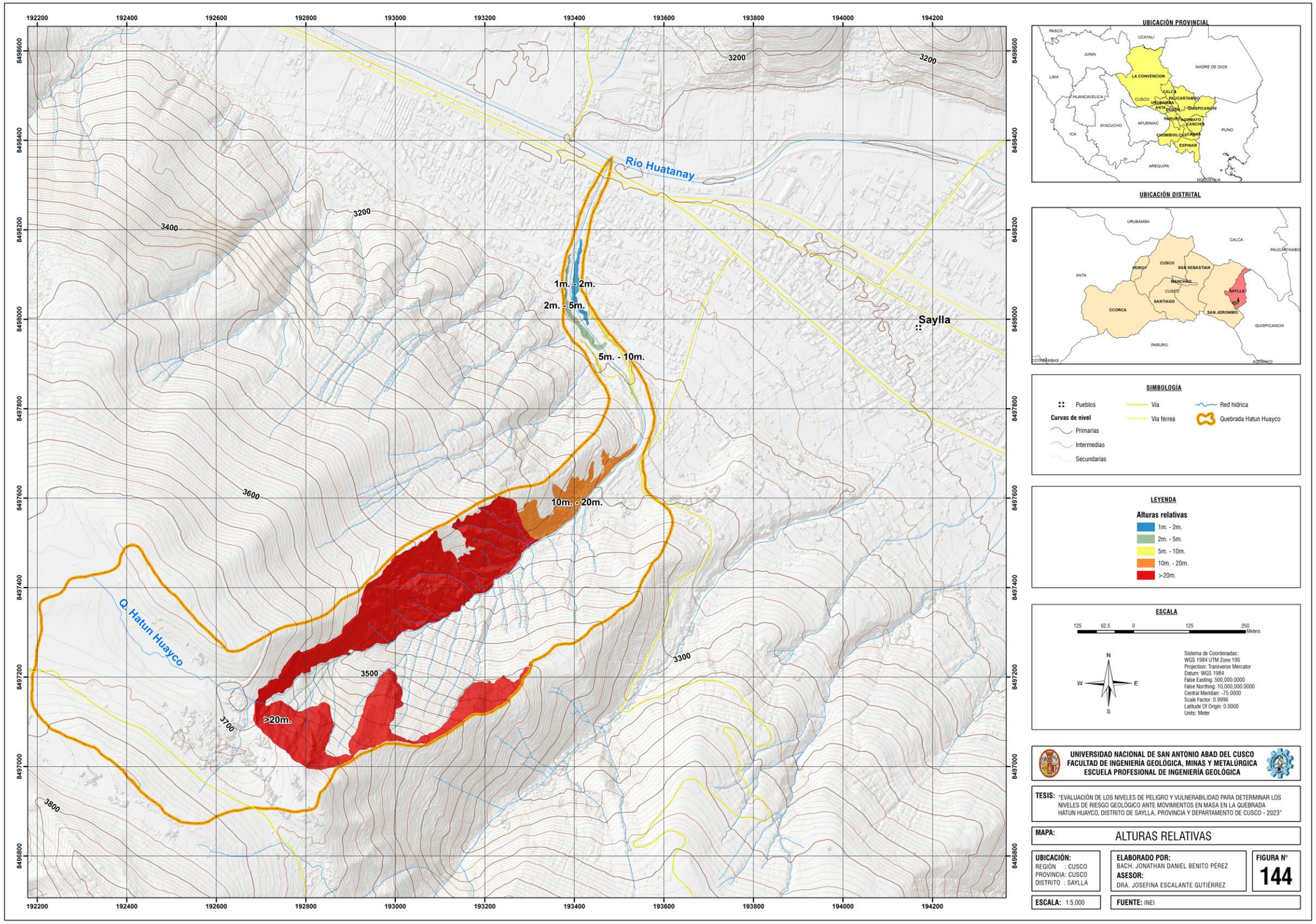
Índice y relación de consistencia – Altura relativa del talud (m)

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

Figura 144

Mapa de alturas relativas



Fuente: Elaboración propia.

7.6. Análisis de elementos expuestos

Los elementos expuestos identificados en el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco comprenden predios agrícolas y rurales, los cuales se encuentran expuestos en áreas potenciales de impacto o de niveles de peligro muy alto, alto, medio o bajo generados por fenómenos de geodinámica externa como flujo de detritos, deslizamientos y caídas (ver Tabla 133).

Tabla 133

Cantidad de predios expuestos

Predios	Cantidad
Agrícola	60
Rural	706
Total	766

Fuente: Elaboración propia.

7.7. Definición de escenarios

Del análisis del registro de precipitaciones máximas en 24 horas (PPmax 24h) de la estación meteorológica Kayra para el periodo 1964 – 2023, se ha considerado un evento de precipitación máxima diaria de 51.6 mm que ocurrió el mes de febrero del año 2006. Este evento corresponde a la categoría de Extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación entre RR>26.7mm con percentil mayor a 99p.

Con este evento desencadenado se generarían flujos de detritos que alcanzarían velocidades mayores a 8 m/s y alturas mayores a 3 m., depositándose en la vertiente o piedemonte aluvio torrencial antigua, donde se asienta la A.P.V. Ferroviarios, ocasionando severos daños a los elementos expuestos en sus dimensiones social, económica y ambiental.

También se generarían la activación de los deslizamientos identificados en ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco, así como caídas de rocas y suelos en los taludes inestables identificados.

7.8. Definición y estratificación de los niveles de peligro

En las siguientes tablas, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico.

7.8.1. Estratificación del nivel de peligro ante flujo de detritos

Tabla 134

Niveles de peligro ante flujo de detritos

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.263	<	R	≤	0.502
ALTO	0.127	<	R	≤	0.263
MEDIO	0.069	<	R	≤	0.127
BAJO	0.039	≤	R	≤	0.069

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135

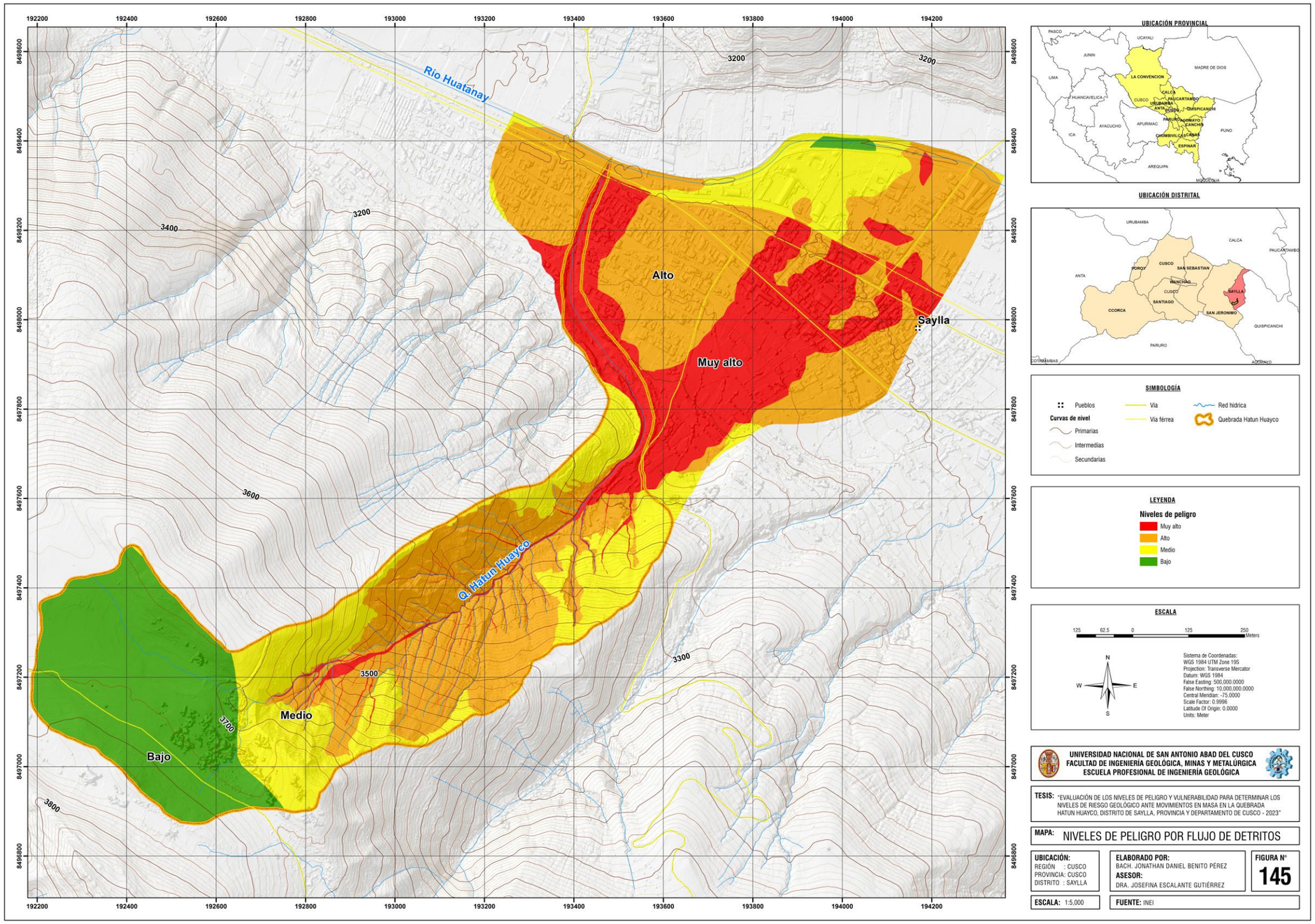
Estrato nivel de peligro ante flujo de detritos

NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, geológicamente está compuesto por depósitos proluviales con pendientes muy escarpadas (>45°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuitardo proluvial y presenta escasa cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades mayores a 1.0 m/s y alturas mayores a 1.0 m.	$0.263 < P \leq 0.502$
ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento, geológicamente está compuesto por un depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento con pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°), hidrogeológicamente está compuesto por acuitardo coluvial y presenta áreas antropizadas; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades entre 0.5 m/s a 1.0 m/s y alturas entre 0.5 m a 1.0 m.	$0.127 < P \leq 0.263$
MEDIO	Zonas con predominancia de montañas en roca sedimentaria y terraza aluvial, geológicamente está compuesto por la Fm. Quilque y Chilca, y depósitos aluviales con pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuitardo Quilque y Chilca, y un acuitardo aluvial y presenta matorral, rodal, cultivo y pastizal como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades entre 0.1 m/s a 0.5 m/s y alturas entre 0.1 m a 0.5 m.	$0.069 < P \leq 0.127$
BAJO	Zonas con predominancia de terraza aluvial, llanura lacustre y montaña estructural en roca sedimentaria, geológicamente está compuesto por depósitos fluviales, lacustres y la Fm. Kayra con pendientes en terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°), hidrogeológicamente está compuesto por acuífero fluvial, acuicludo lacustre y acuífero Kayra, y presenta zonas arbóreas como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades menores a 0.1 m/s y alturas menores a 0.1 m.	$0.039 \leq P \leq 0.069$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 145

Mapa de niveles de peligro por flujos de detritos



Fuente: Elaboración propia.

7.8.2. Estratificación del nivel de peligro ante deslizamientos

Tabla 136

Niveles de peligro ante deslizamientos

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.261	<	R	≤	0.504
ALTO	0.134	<	R	≤	0.261
MEDIO	0.066	<	R	≤	0.134
BAJO	0.036	≤	R	≤	0.066

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 137

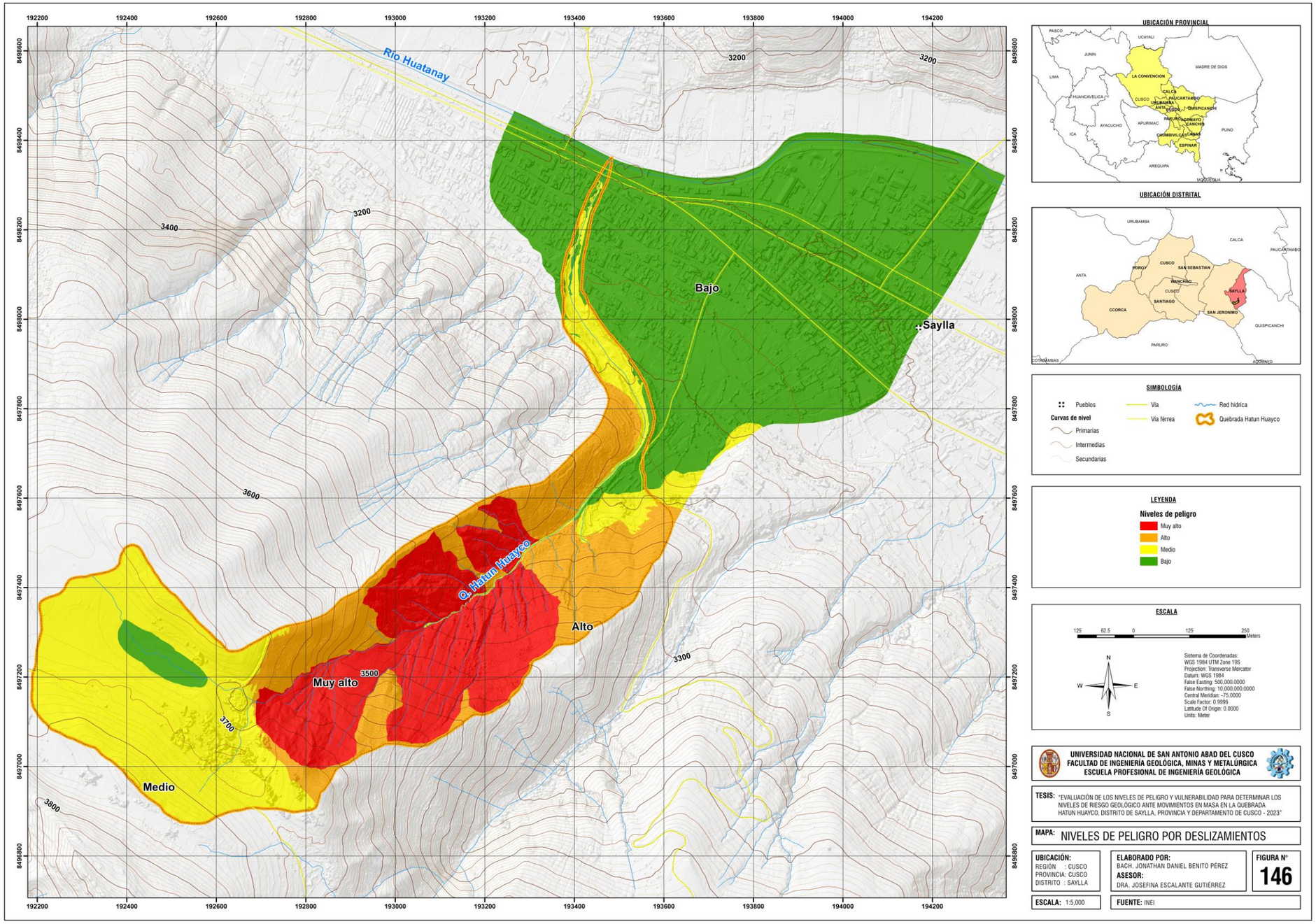
Estrato nivel de peligro ante deslizamientos

NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Zonas con predominancia de vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente coluvial de detritos, geológicamente está compuesto por depósitos de deslizamiento y depósito coluvial con pendientes muy escarpadas (>45°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuitardo coluvial y presenta escasa cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían deslizamiento con volumen > 1 000 000 m^3.	$0.261 < P \leq 0.504$
ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y montaña en roca sedimentaria, geológicamente está compuesto por un depósito coluvio-deluvial, Fm. Quilque y Fm. Chilca con pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuitardo Quilque y Chilca y presenta áreas antropizadas; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían deslizamientos con volumen entre 500 000 m^3 a 1 000 000 m^3.	$0.134 < P \leq 0.261$
MEDIO	Zonas con predominancia de montaña estructural en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, geológicamente está compuesto por la Fm. Kayra y depósitos proluviales con pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuífero Kayra y un acuitardo proluvial, y presenta matorral, rodal, cultivo y pastizal como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían deslizamiento con volumen entre 50 000 m^3 a 500 000 m^3.	$0.066 < P \leq 0.134$
BAJO	Zonas con predominancia de llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial, geológicamente está compuesto por depósitos lacustre, aluvial y fluvial con pendientes en terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial, y presenta zonas arbóreas como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían deslizamientos con volumen menor a 50 000 m^3.	$0.036 \leq P \leq 0.066$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 146

Mapa de niveles de peligro por deslizamientos



Fuente: Elaboración propia.

7.8.3. Estratificación del nivel de peligro ante caídas

Tabla 138

Niveles de peligro ante caídas

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.261	<	R	≤	0.503
ALTO	0.134	<	R	≤	0.261
MEDIO	0.067	<	R	≤	0.134
BAJO	0.035	≤	R	≤	0.067

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 139

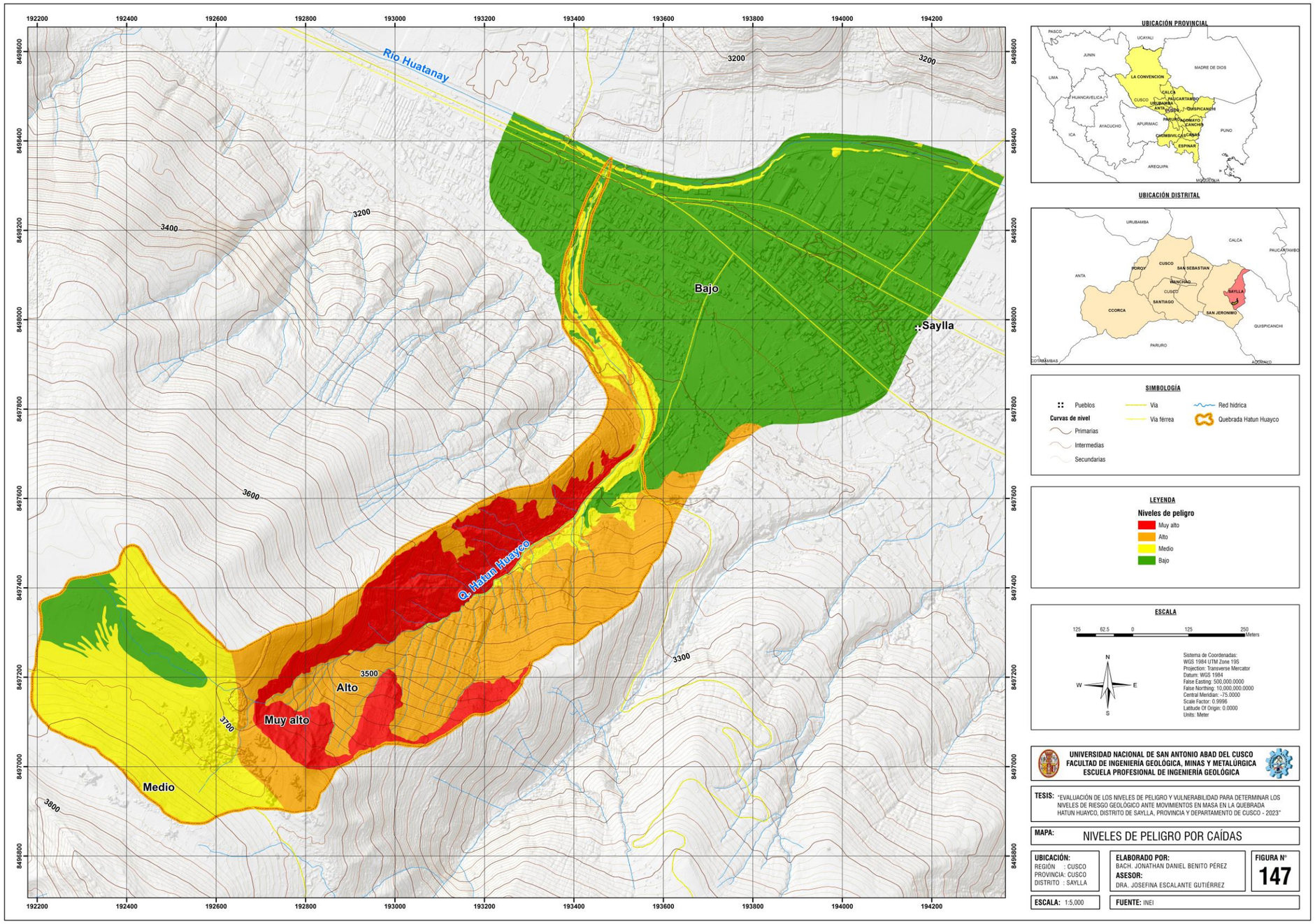
Estrato nivel de peligro ante caídas

NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Zonas con predominancia de montaña en roca sedimentaria, geológicamente está compuesto por la Fm. Quilque y Fm. Chilca con pendientes muy escarpadas (>45°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuitardo Quilque y Chilca y presenta escasa cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían caídas desde una altura de talud mayor a 20 m.	$0.261 < P \leq 0.503$
ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos y vertiente con depósito de deslizamiento, geológicamente está compuesto por un depósito coluvio-deluvial, depósito coluvial y depósito de deslizamiento con pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuitardo coluvial y presenta áreas antropizadas; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían caídas desde una altura de talud entre 10 m a 20 m.	$0.134 < P \leq 0.261$
MEDIO	Zonas con predominancia de montaña estructural en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, geológicamente está compuesto por la Fm. Kayra y depósitos proluviales con pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuífero Kayra y un acuitardo proluvial, y presenta matorral, rodal, cultivo y pastizal como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían caídas desde una altura de talud entre 2 m a 10 m.	$0.067 < P \leq 0.134$
BAJO	Zonas con predominancia de llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial, geológicamente está compuesto por depósitos lacustre, aluvial y fluvial con pendientes en terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial, y presenta zonas arbóreas como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían caídas desde una altura de talud menor a 2 m.	$0.035 \leq P \leq 0.067$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 147

Mapa de niveles de peligro por caídas



Fuente: Elaboración propia.

7.9. Síntesis de niveles de peligro

Se elaboró la síntesis de los niveles de peligro por flujo de detritos, deslizamientos y caídas en el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco con el fin de integrar la información obtenida en la evaluación previa, y así poder determinar áreas con mayor susceptibilidad a movimientos en masa.

Ponderación de los parámetros de síntesis de niveles de peligro

Tabla 140

Parámetros – Síntesis de niveles de peligro

Parámetro	Desc
Valor de peligro por flujos de detritos	P1
Valor de peligro por deslizamientos	P2
Valor de peligro por caídas de rocas y suelos	P3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141

Matriz de comparación de pares - Síntesis de niveles de peligro

Parámetro	Valor de peligro por flujos de detritos	Valor de peligro por deslizamientos	Valor de peligro por caídas de rocas y suelos
Valor de peligro por flujos de detritos	1.00	3.00	5.00
Valor de peligro por deslizamientos	0.33	1.00	2.00
Valor de peligro por caídas de rocas y suelos	0.20	0.50	1.00
SUMA	1.53	4.50	8.00
1/SUMA	0.65	0.22	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 142

Matriz de normalización de pares - Síntesis de niveles de peligro

Parámetro	Valor de peligro por flujos de detritos	Valor de peligro por deslizamientos	Valor de peligro por caídas de rocas y suelos	Vector Priorización
Valor de peligro por flujos de detritos	0.652	0.667	0.625	0.648
Valor de peligro por deslizamientos	0.217	0.222	0.250	0.230
Valor de peligro por caídas de rocas y suelos	0.130	0.111	0.125	0.122
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 143

Índice y relación de consistencia – Síntesis de niveles de peligro

Índice de consistencia (IC)	0.002
Relación de consistencia (RC)	0.004

Fuente: Elaboración propia.

7.9.1. Estratificación de síntesis de niveles de peligro

Tabla 144

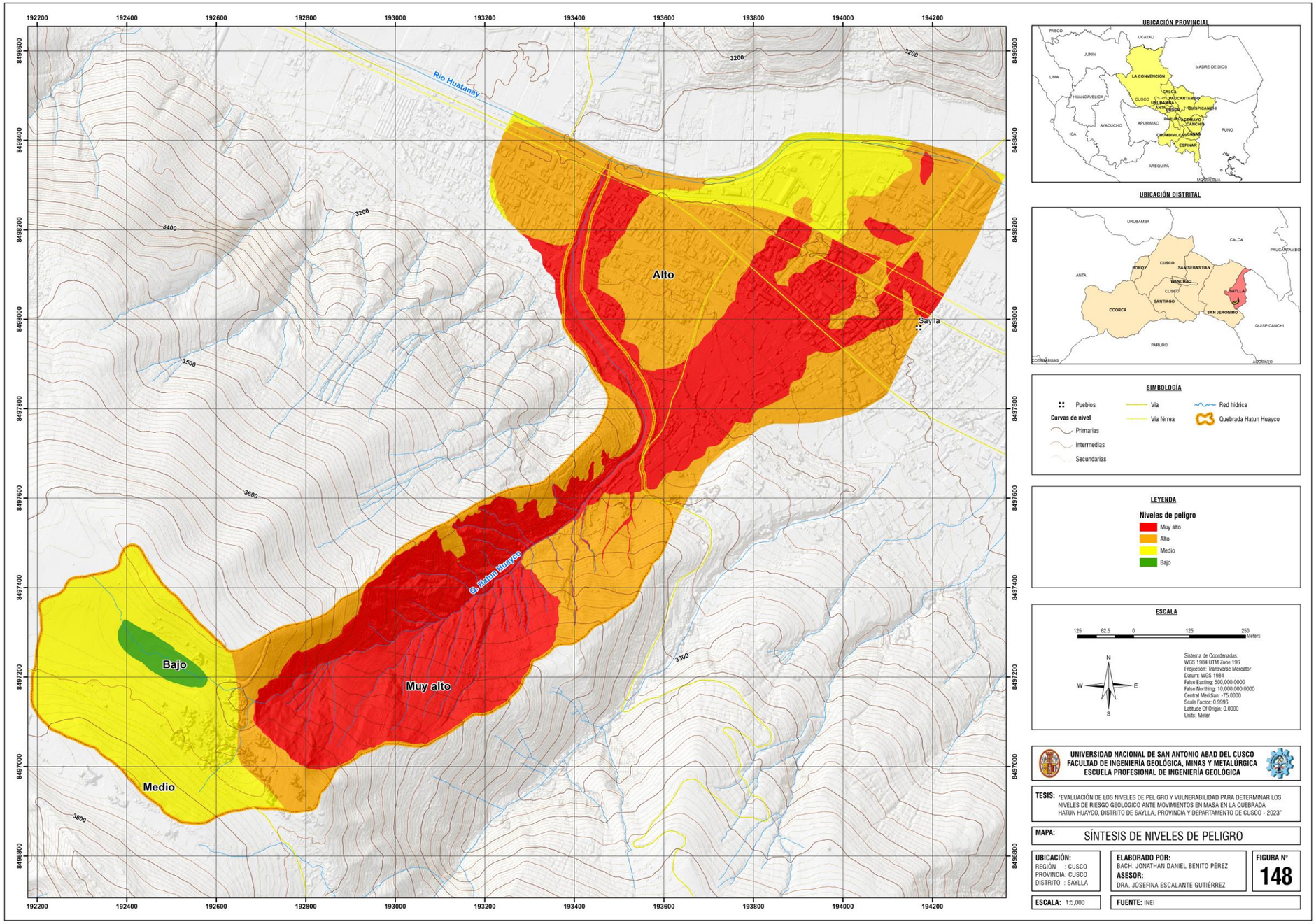
Síntesis de niveles de peligro

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.262	<	R	≤	0.502
ALTO	0.130	<	R	≤	0.262
MEDIO	0.068	<	R	≤	0.130
BAJO	0.038	≤	R	≤	0.068

Fuente: Elaboración propia.

Figura 148

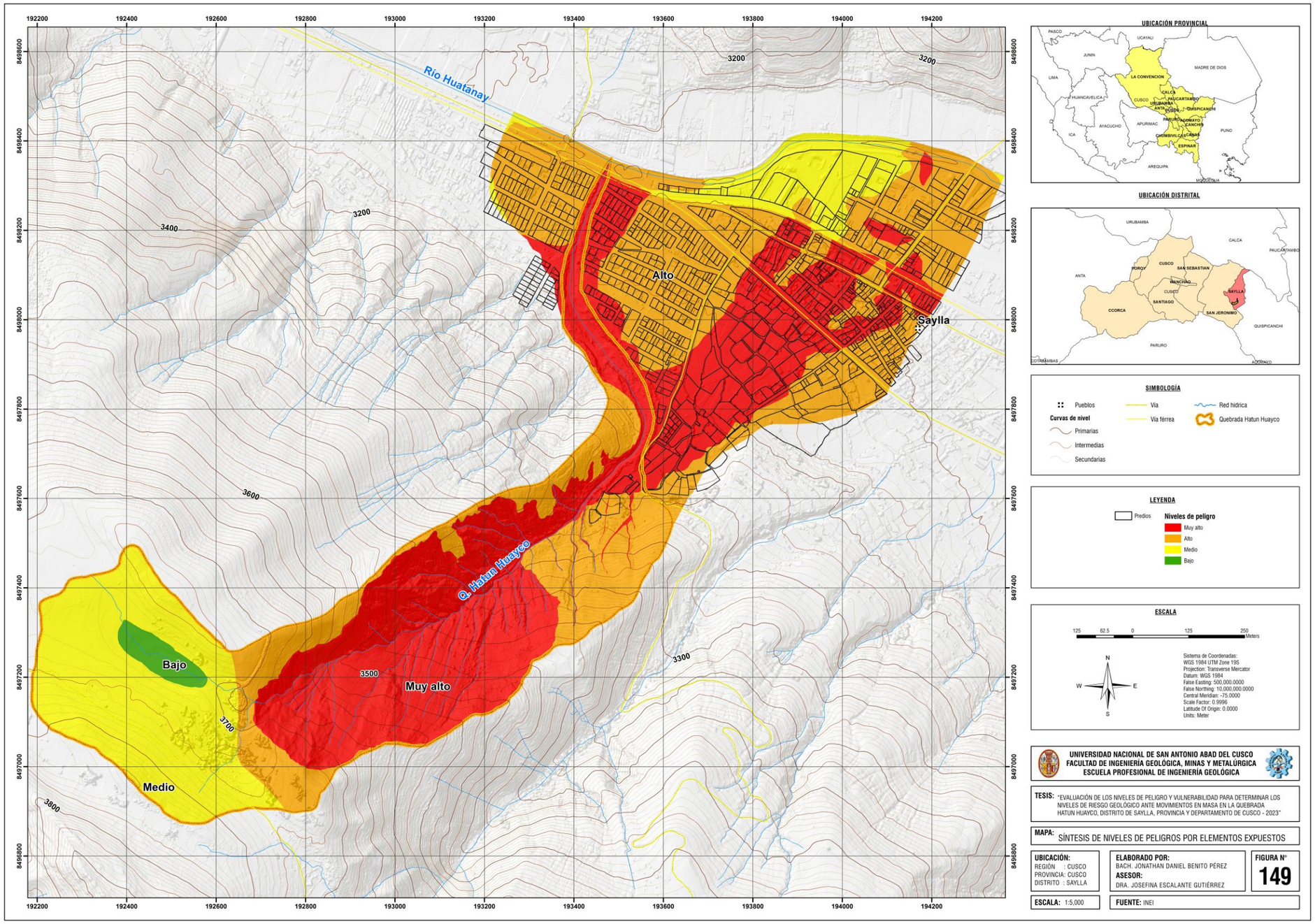
Mapa de síntesis de niveles de peligro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 149

Mapa de elementos expuestos



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VIII: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

El análisis de la vulnerabilidad se basó en el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N° 048-2011-PCM) se define vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. Es un parámetro importante que sirve para calcular el nivel de riesgo.

Bajo esta definición se recabó la información primaria en base a encuestas sobre los factores de exposición, fragilidad y resiliencia a nivel de lote.

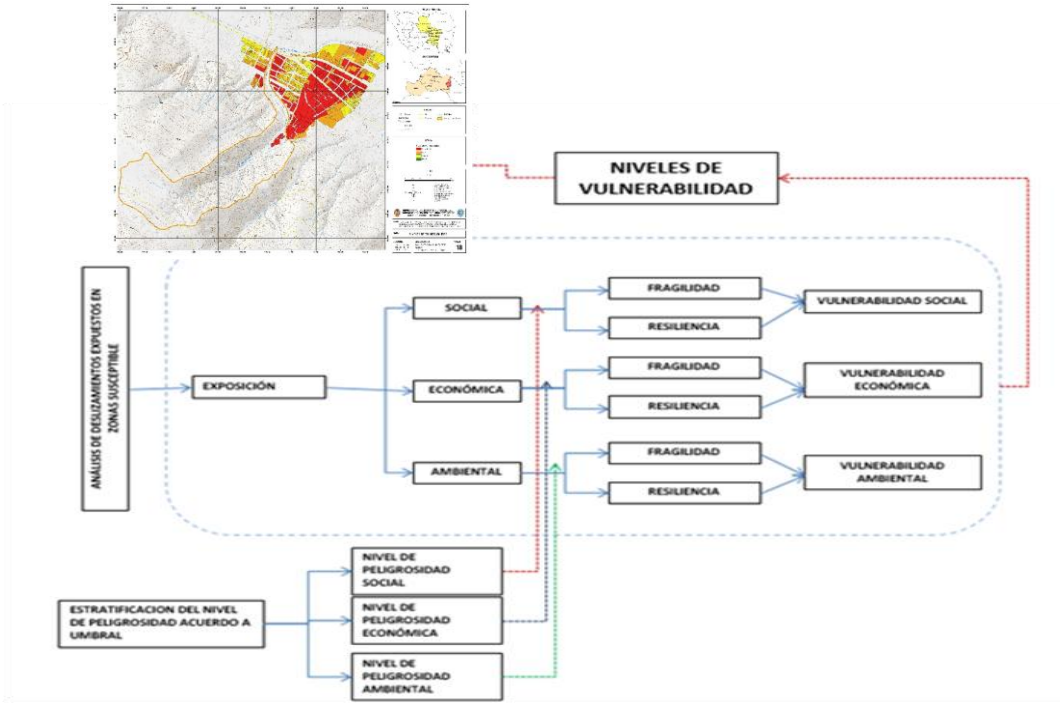
En la zona de estudio se realizó el análisis de la vulnerabilidad en sus factores de exposición, fragilidad y resiliencia de acuerdo con la cuantificación de los elementos expuestos al peligro por flujos de detritos, deslizamientos y caídas como la población y los predios.

8.1. Metodología para el análisis de la vulnerabilidad

Para determinar los niveles de vulnerabilidad del área de influencia de la quebrada Hatun Huayco, se consideró la Dimensión Social, Económica y Ambiental habiendo además utilizado a la información cartográfica digitalizada de los lotes, la base de datos de las fichas levantadas en campo, así como datos primarios obtenidos del trabajo de campo realizado en el área de evaluación, información basada en la cuantificación de los elementos expuestos en los diferentes niveles de peligrosidad del área de evaluación, la metodología se basa en el siguiente diagrama (ver Figura 150).

Figura 150

Metodología del análisis de vulnerabilidad



Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED, 2014).

8.2. Análisis de la vulnerabilidad

8.2.1. Análisis de la dimensión social

En esta dimensión se considera las características de la población, en el área de influencia se identificaron los parámetros para fragilidad y resiliencia, el cual se muestra:

Tabla 145

Matriz de comparación de pares – Dimensión social

V-SOCIAL	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	**1.00**	3.00	4.00
Fragilidad	0.33	**1.00**	2.00
Resiliencia	0.25	0.50	**1.00**
SUMA	1.58	4.50	7.00
1/SUMA	0.63	0.22	0.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 146

Matriz de normalización de pares - Dimensión social

V-SOCIAL	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector Priorización
Exposición	0.632	0.667	0.571	**0.623**
Fragilidad	0.211	0.222	0.286	**0.239**
Resiliencia	0.158	0.111	0.143	**0.137**
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 147

Índice y relación de consistencia – Dimensión social

Índice de consistencia (IC)	0.009
Relación de consistencia (RC)	0.017

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.1 Análisis de la exposición social

Parámetro: Número de habitantes

Tabla 148

Matriz de comparación de pares – Número de habitantes

Número de habitantes	Mayor a 10 hab.	7 a 10 hab.	4 a 6 hab.	2 a 3 hab.	1 hab. o ninguno
Mayor a 10 hab.	**1.00**	2.00	4.00	7.00	9.00
7 a 10 hab.	0.50	**1.00**	3.00	5.00	7.00
4 a 6 hab.	0.25	0.33	**1.00**	3.00	6.00
2 a 3 hab.	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
1 Hab o ninguno	0.11	0.14	0.17	0.33	**1.00**
SUMA	2.00	3.68	8.50	16.33	26.00
1/SUMA	0.50	0.27	0.12	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 149

Matriz de normalización de pares - Número de habitantes

Número de habitantes	Mayor a 10 hab.	7 a 10 hab.	4 a 6 hab.	2 a 3 hab.	1 hab. o ninguno	Vector Priorización
Mayor a 10 hab.	0.499	0.544	0.471	0.429	0.346	**0.458**
7 a 10 hab.	0.250	0.272	0.353	0.306	0.269	**0.290**
4 a 6 hab.	0.125	0.091	0.118	0.184	0.231	**0.150**
2 a 3 hab.	0.071	0.054	0.039	0.061	0.115	**0.068**
1 hab. o ninguno	0.055	0.039	0.020	0.020	0.038	**0.035**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 150

Índice y relación de consistencia – Número de habitantes

Índice de consistencia (IC)	**0.046**
Relación de consistencia (RC)	**0.041**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.2 Análisis de la fragilidad social

Parámetro: Acceso a servicios básicos (SSBB)

Tabla 151

Matriz de comparación de pares – Acceso a servicios básicos

Acceso a servicios básicos	Ninguno	Solo un SSBB	Dos SSBB	Tres SSBB	Todos los SSBB
Ninguno	**1.00**	2.00	5.00	7.00	9.00
Solo un SSBB	0.50	**1.00**	2.00	4.00	7.00
Dos SSBB	0.20	0.50	**1.00**	3.00	5.00
Tres SSBB	0.14	0.25	0.33	**1.00**	3.00
Todos los SSBB	0.11	0.14	0.20	0.33	**1.00**
SUMA	1.95	3.89	8.53	15.33	25.00
1/SUMA	0.51	0.26	0.12	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 152

Matriz de normalización de pares - Acceso a servicios básicos

Acceso a servicios básicos	Ninguno	Solo un SSBB	Dos SSBB	Tres SSBB	Todos los SSBB	Vector Priorización
Ninguno	0.512	0.514	0.586	0.457	0.360	**0.486**
Solo un SSBB	0.256	0.257	0.234	0.261	0.280	**0.258**
Dos SSBB	0.102	0.128	0.117	0.196	0.200	**0.149**
Tres SSBB	0.073	0.064	0.039	0.065	0.120	**0.072**
Todos los SSBB	0.057	0.037	0.023	0.022	0.040	**0.036**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 153

Índice y relación de consistencia – Acceso a servicios básicos

Índice de consistencia (IC)	**0.037**
Relación de consistencia (RC)	**0.033**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.3 Análisis de la resiliencia social

Parámetro: Conocimiento en temas de Gestión de Riesgo de Desastres (GRD)

Tabla 154

Matriz de comparación de pares – Conocimiento en temas de GRD

Conocimiento en temas de GRD	Sin conocimiento	Conocimiento erróneo	Conocimiento limitado	Conocimiento sin interés	Con conocimiento
Sin conocimiento	**1.00**	2.00	4.00	6.00	9.00
Conocimiento erróneo	0.50	**1.00**	2.00	4.00	7.00
Conocimiento limitado	0.25	0.50	**1.00**	3.00	5.00
Conocimiento sin interés	0.17	0.25	0.33	**1.00**	4.00
Con conocimiento	0.11	0.14	0.20	0.25	**1.00**
SUMA	2.03	3.89	7.53	14.25	26.00
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 155

Matriz de normalización de pares - Conocimiento en temas de GRD

Conocimiento en temas de GRD	Sin conocimiento	Conocimiento erróneo	Conocimiento limitado	Conocimiento sin interés	Con conocimiento	Vector Priorización
Sin conocimiento	0.493	0.514	0.531	0.421	0.346	**0.461**
Conocimiento erróneo	0.247	0.257	0.265	0.281	0.269	**0.264**
Conocimiento limitado	0.123	0.128	0.133	0.211	0.192	**0.157**
Conocimiento sin interés	0.082	0.064	0.044	0.070	0.154	**0.083**
Con conocimiento	0.055	0.037	0.027	0.018	0.038	**0.035**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 156

Índice y relación de consistencia – Conocimiento en temas de GRD

Índice de consistencia (IC)	**0.043**
Relación de consistencia (RC)	**0.039**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro: Organización de la población

Tabla 157

Matriz de comparación de pares – Organización de la población

Organización de la población	Muy Mala / Nunca	Mala / Casi Nunca	Media / A Veces	Buena / Casi Siempre	Muy Bueno / Siempre
Muy Mala / Nunca	**1.00**	2.00	5.00	7.00	9.00
Mala / Casi Nunca	0.50	**1.00**	2.00	6.00	8.00
Media / A Veces	0.20	0.50	**1.00**	3.00	7.00
Buena / Casi Siempre	0.14	0.17	0.33	**1.00**	2.00
Muy Bueno / Siempre	0.11	0.13	0.14	0.50	**1.00**
SUMA	1.95	3.79	8.48	17.50	27.00
1/SUMA	0.51	0.26	0.12	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 158

Matriz de normalización de pares - Organización de la población

Organización de la población	Muy Mala / Nunca	Mala / Casi Nunca	Media / A Veces	Buena / Casi Siempre	Muy Bueno / Siempre	Vector Priorización
Muy Mala / Nunca	0.512	0.527	0.590	0.400	0.333	**0.472**
Mala / Casi Nunca	0.256	0.264	0.236	0.343	0.296	**0.279**
Media / A Veces	0.102	0.132	0.118	0.171	0.259	**0.157**
Buena / Casi Siempre	0.073	0.044	0.039	0.057	0.074	**0.058**
Muy Bueno / Siempre	0.057	0.033	0.017	0.029	0.037	**0.034**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 159

Índice y relación de consistencia – Organización de la población

Índice de consistencia (IC)	**0.039**
Relación de consistencia (RC)	**0.035**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2. Análisis de la dimensión económica

En esta dimensión se considera las características de las viviendas en el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco lo cual nos da idea cercana de las condiciones económicas de este sector.

Tabla 160

Matriz de comparación de pares – Dimensión económica

V-ECONÓMICA	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	**1.00**	3.00	5.00
Fragilidad	0.33	**1.00**	3.00
Resiliencia	0.20	0.33	**1.00**
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 161

Matriz de normalización de pares - Dimensión económica

V-ECONÓMICA	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector Priorización
Exposición	0.652	0.692	0.556	**0.633**
Fragilidad	0.217	0.231	0.333	**0.260**
Resiliencia	0.130	0.077	0.111	**0.106**
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 162

Índice y relación de consistencia – Dimensión económica

Índice de consistencia (IC)	0.019
Relación de consistencia (RC)	0.037

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.1 Análisis de la exposición económica

Parámetro: Localización del predio

Tabla 163

Matriz de comparación de pares – Localización del predio

Localización del predio	Muy cercana (0m - 5m)	Cercana (5m - 15m)	Medianamente cerca (15m - 30m)	Alejada (30m - 45m)	Muy alejada (>45m)
Muy cercana (0 a 5m)	**1.00**	3.00	5.00	7.00	9.00
Cercana (5m - 15m)	0.33	**1.00**	3.00	5.00	7.00
Medianamente cerca (15m - 30m)	0.20	0.33	**1.00**	3.00	5.00
Alejada (30m - 45m)	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
Muy alejada (>45m)	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 164

Matriz de normalización de pares - Localización del predio

Localización del predio	Muy cercana (0m - 5m)	Cercana (5m - 15m)	Medianamente cerca (15m - 30m)	Alejada (30m - 45m)	Muy alejada (>45m)	Vector Priorización
Muy cercana (0m - 5m)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	**0.503**
Cercana (5m - 15m)	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	**0.260**
Medianamente cerca (15m - 30m)	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	**0.134**
Alejada (30m - 45m)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	**0.068**
Muy alejada (>45m)	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 165

Índice y relación de consistencia – Localización del predio

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.2 Análisis de la fragilidad económica

Parámetro: Material de construcción

Tabla 166

Matriz de comparación de pares – Material de construcción

Material de construcción	Mixto / Otros	Adobe	Acero - Drywall	Ladrillo - Bloqueta	Concreto armado
Mixto / Otros	**1.00**	2.00	3.00	7.00	8.00
Adobe	0.50	**1.00**	2.00	5.00	7.00
Acero - Drywall	0.33	0.50	**1.00**	4.00	6.00
Ladrillo - Bloqueta	0.14	0.20	0.25	**1.00**	4.00
Concreto armado	0.13	0.14	0.17	0.25	**1.00**
SUMA	2.10	3.84	6.42	17.25	26.00
1/SUMA	0.48	0.26	0.16	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 167

Matriz de normalización de pares - Material de construcción

Material de construcción	Mixto / Otros	Adobe	Acero - Drywall	Ladrillo - Bloqueta	Concreto armado	Vector Priorización
Mixto / Otros	0.476	0.520	0.468	0.406	0.308	**0.435**
Adobe	0.238	0.260	0.312	0.290	0.269	**0.274**
Acero - Drywall	0.159	0.130	0.156	0.232	0.231	**0.181**
Ladrillo - Bloqueta	0.068	0.052	0.039	0.058	0.154	**0.074**
Concreto armado	0.059	0.037	0.026	0.014	0.038	**0.035**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 168

Índice y relación de consistencia – Material de construcción

Índice de consistencia (IC)	**0.060**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro: Estado de conservación de la edificación

Tabla 169

Matriz de comparación de pares – Estado de conservación de la edificación

Estado de conservación de la edificación	Muy Malo / Precario	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
Muy Malo / Precario	**1.00**	2.00	4.00	6.00	7.00
Malo	0.50	**1.00**	2.00	4.00	6.00
Regular	0.25	0.50	**1.00**	3.00	5.00
Bueno	0.17	0.25	0.33	**1.00**	4.00
Muy Bueno	0.14	0.17	0.20	0.25	**1.00**
SUMA	2.06	3.92	7.53	14.25	23.00
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 170

Matriz de normalización de pares - Estado de conservación de la edificación

Estado de conservación de la edificación	Muy Malo / Precario	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno	Vector Priorización
Muy Malo / Precario	0.486	0.511	0.531	0.421	0.304	**0.451**
Malo	0.243	0.255	0.265	0.281	0.261	**0.261**
Regular	0.121	0.128	0.133	0.211	0.217	**0.162**
Bueno	0.081	0.064	0.044	0.070	0.174	**0.087**
Muy Bueno	0.069	0.043	0.027	0.018	0.043	**0.040**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 171

Índice y relación de consistencia – Estado de conservación de la edificación

Índice de consistencia (IC)	**0.060**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.3 Análisis de la resiliencia económica

Parámetro: Residencia en el predio

Tabla 172

Matriz de comparación de pares – Residencia en el predio

Residencia en el predio	Deshabitado	Cuidante	Inquilino	Multifamiliar	Unifamiliar
Deshabitado	**1.00**	2.00	5.00	7.00	8.00
Cuidante	0.50	**1.00**	3.00	5.00	7.00
Inquilino	0.20	0.33	**1.00**	4.00	5.00
Multifamiliar	0.14	0.20	0.25	**1.00**	3.00
Unifamiliar	0.13	0.14	0.20	0.33	**1.00**
SUMA	1.97	3.68	9.45	17.33	24.00
1/SUMA	0.51	0.27	0.11	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 173

Matriz de normalización de pares - Residencia en el predio

Residencia en el predio	Deshabitado	Cuidante	Inquilino	Multifamiliar	Unifamiliar	Vector Priorización
Deshabitado	0.508	0.544	0.529	0.404	0.333	0.464
Cuidante	0.254	0.272	0.317	0.288	0.292	0.285
Inquilino	0.102	0.091	0.106	0.231	0.208	0.147
Multifamiliar	0.073	0.054	0.026	0.058	0.125	0.067
Unifamiliar	0.064	0.039	0.021	0.019	0.042	0.037
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 174

Índice y relación de consistencia – Residencia en el predio

Índice de consistencia (IC)	**0.069**
Relación de consistencia (RC)	**0.062**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro: Ingreso familiar mensual promedio

Tabla 175

Matriz de comparación de pares – Ingreso familiar mensual promedio

Ingreso familiar mensual promedio	≤ 200	> 200 - ≤ 750	> 750 - ≤ 1500	> 1500 - ≤ 3000	> 3000
≤ 200	**1.00**	3.00	5.00	7.00	9.00
> 200 - ≤ 750	0.33	**1.00**	3.00	5.00	7.00
> 750 - ≤ 1500	0.20	0.33	**1.00**	3.00	5.00
> 1500 - ≤ 3000	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
> 3000	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 176

Matriz de normalización de pares - Ingreso familiar mensual promedio

Ingreso familiar mensual promedio	≤ 200	> 200 - ≤ 750	> 750 - ≤ 1500	> 1500 - ≤ 3000	> 3000	Vector Priorización
≤ 200	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
> 200 - ≤ 750	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
> 750 - ≤ 1500	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
> 1500 - ≤ 3000	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
> 3000	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 177

Índice y relación de consistencia – Ingreso familiar mensual promedio

Índice de consistencia (IC)	**0.061**
Relación de consistencia (RC)	**0.054**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3. Análisis de la dimensión ambiental

En esta dimensión se considera, características físico-ambientales que influyen en un posible deslizamiento que afecte los elementos expuestos:

Tabla 178

Matriz de comparación de pares – Dimensión ambiental

V-AMBIENTAL	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	**1.00**	3.00	4.00
Fragilidad	0.33	**1.00**	2.00
Resiliencia	0.25	0.50	**1.00**
SUMA	1.58	4.50	7.00
1/SUMA	0.63	0.22	0.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 179

Matriz de normalización de pares - Dimensión ambiental

V-AMBIENTAL	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector Priorización
Exposición	0.632	0.667	0.571	**0.623**
Fragilidad	0.211	0.222	0.286	**0.239**
Resiliencia	0.158	0.111	0.143	**0.137**
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 180

Índice y relación de consistencia – Dimensión ambiental

Índice de consistencia (IC)	0.009
Relación de consistencia (RC)	0.017

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3.1 Análisis de la exposición ambiental

Parámetro: Deforestación

Tabla 181

Matriz de comparación de pares – Deforestación

Deforestación	Áreas sin vegetación	Áreas de cultivo	Pastos	Otras tierras con árboles	Bosques
Áreas sin vegetación	**1.00**	2.00	5.00	7.00	9.00
Áreas de cultivo	0.50	**1.00**	3.00	6.00	7.00
Pastos	0.20	0.33	**1.00**	4.00	5.00
Otras tierras con árboles	0.14	0.17	0.25	**1.00**	3.00
Bosques	0.11	0.14	0.20	0.33	**1.00**
SUMA	1.95	3.64	9.45	18.33	25.00
1/SUMA	0.51	0.27	0.11	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 182

Matriz de normalización de pares - Deforestación

Deforestación	Áreas sin vegetación	Áreas de cultivo	Pastos	Otras tierras con árboles	Bosques	Vector Priorización
Áreas sin vegetación	0.512	0.549	0.529	0.382	0.360	**0.466**
Áreas de cultivo	0.256	0.275	0.317	0.327	0.280	**0.291**
Pastos	0.102	0.092	0.106	0.218	0.200	**0.144**
Otras tierras con árboles	0.073	0.046	0.026	0.055	0.120	**0.064**
Bosques	0.057	0.039	0.021	0.018	0.040	**0.035**
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 183

Índice y relación de consistencia – Deforestación

Índice de consistencia (IC)	**0.065**
Relación de consistencia (RC)	**0.058**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3.2 Análisis de la fragilidad ambiental

Parámetro: Degradación de suelos

Tabla 184

Matriz de comparación de pares – Degradación de suelos

Degradación de suelos	Degradación por erosión	Desertificación	Degradación química	Degradación física	Degradación biológica
Degradación por erosión	**1.00**	2.00	5.00	7.00	9.00
Desertificación	0.50	**1.00**	3.00	6.00	7.00
Degradación química	0.20	0.33	**1.00**	4.00	5.00
Degradación física	0.14	0.17	0.25	**1.00**	3.00
Degradación biológica	0.11	0.14	0.20	0.33	**1.00**
SUMA	1.95	3.64	9.45	18.33	25.00
1/SUMA	0.51	0.27	0.11	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 185

Matriz de normalización de pares - Degradación de suelos

Degradación de suelos	Degradación por erosión	Desertificación	Degradación química	Degradación física	Degradación biológica	Vector Priorización
Degradación por erosión	0.512	0.549	0.529	0.382	0.360	0.466
Desertificación	0.256	0.275	0.317	0.327	0.280	0.291
Degradación química	0.102	0.092	0.106	0.218	0.200	0.144
Degradación física	0.073	0.046	0.026	0.055	0.120	0.064
Degradación biológica	0.057	0.039	0.021	0.018	0.040	0.035
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 186

Índice y relación de consistencia – Degradación de suelos

Índice de consistencia (IC)	**0.065**
Relación de consistencia (RC)	**0.058**

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3.3 Análisis de la resiliencia ambiental

Parámetro: Conservación y protección de áreas verdes

Tabla 187

Matriz de comparación de pares – Conservación y protección de áreas verdes

Conservación y protección de áreas verdes	Degrada el suelo	Conserva el suelo	Ornamentación y jardinería	Revegetación y reforestación	Conservación de especies nativas
Degrada el suelo	**1.00**	2.00	4.00	7.00	8.00
Conserva el suelo	0.50	**1.00**	2.00	5.00	7.00
Ornamentación y jardinería	0.25	0.50	**1.00**	3.00	6.00
Revegetación y reforestación	0.14	0.20	0.33	**1.00**	3.00
Conservación de especies nativas	0.13	0.14	0.17	0.33	**1.00**
SUMA	2.02	3.84	7.50	16.33	25.00
1/SUMA	0.50	0.26	0.13	0.06	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 188

Matriz de normalización de pares - Conservación y protección de áreas verdes

Conservación y protección de áreas verdes	Degrada el suelo	Conserva el suelo	Ornamentación y jardinería	Revegetación y reforestación	Conservación de especies nativas	Vector Priorización
Degrada el suelo	0.496	0.520	0.533	0.429	0.320	0.460
Conserva el suelo	0.248	0.260	0.267	0.306	0.280	0.272
Ornamentación y jardinería	0.124	0.130	0.133	0.184	0.240	0.162
Revegetación y reforestación	0.071	0.052	0.044	0.061	0.120	0.070
Conservación de especies nativas	0.062	0.037	0.022	0.020	0.040	0.036
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 189

Índice y relación de consistencia – Conservación y protección de áreas verdes

Índice de consistencia (IC)	**0.041**
Relación de consistencia (RC)	**0.037**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro: Conocimientos en temas ambientales

Tabla 190

Matriz de comparación de pares – Conocimientos en temas ambientales

Conocimientos en temas ambientales	Sin conocimiento	Conocimiento erróneo	Conocimiento limitado	Conocimiento sin interés	Con conocimiento
Sin conocimiento	**1.00**	3.00	6.00	7.00	9.00
Conocimiento erróneo	0.33	**1.00**	3.00	4.00	7.00
Conocimiento limitado	0.17	0.33	**1.00**	3.00	4.00
Conocimiento sin interés	0.14	0.25	0.33	**1.00**	3.00
Con conocimiento	0.11	0.14	0.25	0.33	**1.00**
SUMA	1.75	4.73	10.58	15.33	24.00
1/SUMA	0.57	0.21	0.09	0.07	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 191

Matriz de normalización de pares - Conocimientos en temas ambientales

Conocimientos en temas ambientales	Sin conocimiento	Conocimiento erróneo	Conocimiento limitado	Conocimiento sin interés	Con conocimiento	Vector Priorización
Sin conocimiento	0.570	0.635	0.567	0.457	0.375	0.521
Conocimiento erróneo	0.190	0.212	0.283	0.261	0.292	0.248
Conocimiento limitado	0.095	0.071	0.094	0.196	0.167	0.124
Conocimiento sin interés	0.081	0.053	0.031	0.065	0.125	0.071
Con conocimiento	0.063	0.030	0.024	0.022	0.042	0.036
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 192

Índice y relación de consistencia – Conocimientos en temas ambientales

Índice de consistencia (IC)	**0.059**
Relación de consistencia (RC)	**0.053**

Fuente: Elaboración propia.

8.3. Definición y estratificación de los niveles de vulnerabilidad

En la siguiente tabla, se muestran los niveles de vulnerabilidad y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico.

Tabla 193

Niveles de vulnerabilidad

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	**0.270**	**<**	**R**	**≤**	**0.477**
ALTO	**0.147**	**<**	**R**	**≤**	**0.270**
MEDIO	**0.070**	**<**	**R**	**≤**	**0.147**
BAJO	**0.035**	**≤**	**R**	**≤**	**0.070**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 194

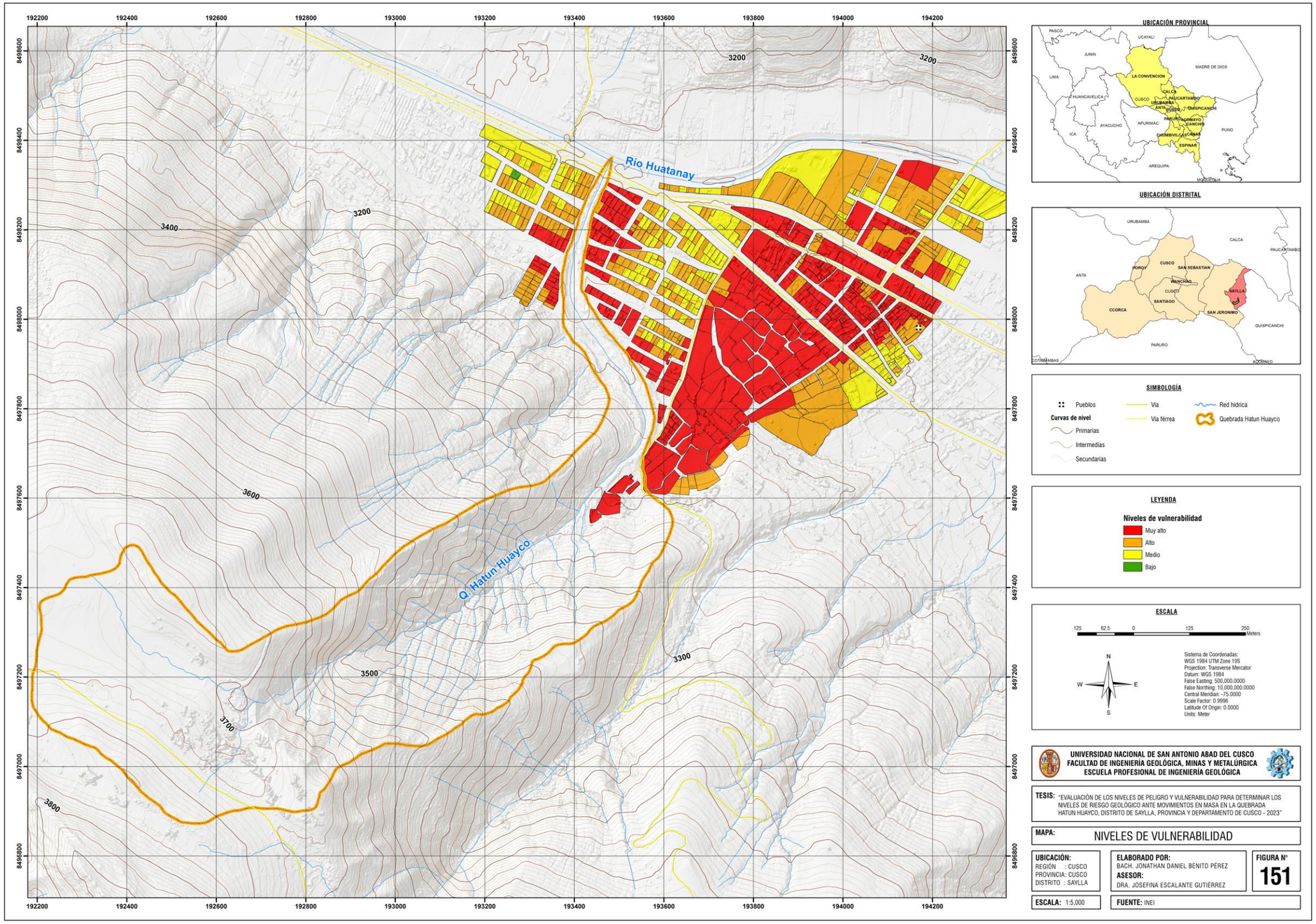
Estrato nivel de vulnerabilidad

NIVELES DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Predios con número de habitantes mayor a 10, ningún acceso a servicios básicos, sin conocimiento en temas de GRD y muy mala organización de la población. Localización de la edificación muy cercana (0m-5m) a los peligros, material de construcción mixto u otros con estado de conservación muy malo, predios mayormente deshabitados e ingreso familiar promedio mensual ≤ 200 soles. Viviendas en áreas sin vegetación, degradación de suelos por erosión, sin conservación y protección de áreas verdes y sin conocimientos en temas ambientales.	0.270 < V ≤ 0.477
ALTO	Predios con número de habitantes entre 7 a 10, solo un servicio básico, con conocimiento erróneo en temas de GRD y mala organización de la población. Localización de la edificación cercana (5m-15m) a los peligros, material de construcción adobe con estado de conservación malo, predios mayormente ocupados por cuidantes e ingreso familiar promedio mensual > 200 - ≤ 750 soles. Viviendas en áreas de cultivo, desertificación de suelos, conservación de suelos y conocimiento erróneo en temas ambientales.	0.147 < V ≤ 0.270
MEDIO	Predios con número de habitantes entre 4 a 6, dos servicios básicos, con conocimiento limitado en temas de GRD y a veces participan en la organización de la población. Localización de la edificación medianamente cercana (15m-30m) a los peligros, material de construcción Acero – Drywall con estado de conservación regular, predios mayormente ocupados por inquilinos e ingreso familiar promedio mensual > 750 - ≤ 1500 soles. Viviendas con áreas de pastos, degradación química de los suelos, ornamentación y jardinería, y conocimiento limitado en temas ambientales.	0.070 < V ≤ 0.147
BAJO	Predios con número de habitantes menor o igual a 3, con todos los servicios básicos, con conocimiento en temas de GRD y siempre participan en la organización de la población. Localización de la edificación alejada (>30m) a los peligros, material de construcción ladrillo-bloqueta o concreto armado con estado de conservación bueno o muy bueno, predios multifamiliares o unifamiliares e ingreso familiar promedio mensual >1500 soles. Viviendas con árboles o en bosques, degradación física o biológica de los suelos, reforestación y conservación de especies nativas, y conocimiento en temas ambientales.	0.035 ≤ V ≤ 0.070

Fuente: Elaboración propia.

Figura 151

Mapa de niveles de vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IX: ESTIMACIÓN O CALCULO DEL RIESGO

El riesgo es una medida de la probabilidad de un efecto adverso a la vida, a la salud, a la propiedad y al ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales.

El riesgo generalmente es estimado como el producto de la probabilidad del peligro por el grado de vulnerabilidad (Suárez, 2009).

9.1. Metodología para el cálculo de riesgo

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta el área de influencia de la quebrada Hatun Huayco, mediante el nivel de susceptibilidad ante los fenómenos de geodinámica externa y la evaluación de los respectivos parámetros de evaluación de los peligros por flujos, deslizamiento y caídas e identificado la exposición ante el peligro y realizado el respectivo análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad en sus componentes de fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar, se procede a la conjunción de éstos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio.

La prevención y reducción del riesgo de desastre son las principales condiciones para garantizar el desarrollo territorial sostenible como base para un crecimiento económico y el mejoramiento de la calidad de la vida de la población, estos parámetros al menos los de riesgo muy alto y alto, deben reducirse con la prevención al menos a riesgo medio para que los pobladores de la zona puedan tener mejor calidad de vida y también desarrollarse de manera sostenida.

9.2. Análisis del riesgo

Luego de haber identificado el nivel de peligro y el nivel de vulnerabilidad del ámbito de estudio podemos hallar el riesgo que es el resultado de la relación de peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, para luego poder determinar los posibles efectos y consecuencias asociados a un desastre producido por movimientos en masa en la zona de estudio.

$$R_{ie}\,|_{t} = f(P_i, V_e)\,|_{t}$$

Dónde:

R= Riesgo.

f= En función

Pi =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición “t”

Ve = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

9.3. Determinación y estratificación de los niveles de riesgo

En la siguiente tabla se muestran los niveles de riesgo y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el proceso de análisis jerárquico.

Tabla 195

Cálculo de los niveles de riesgo

PMA	0.502	0.035	0.074	0.135	0.239
PA	0.263	0.019	0.039	0.071	0.125
PM	0.127	0.009	0.019	0.034	0.061
PB	0.069	0.005	0.010	0.019	0.033
		0.070	0.147	0.270	0.477
		VB	VM	VA	VMA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 196

Niveles de riesgo

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.071	<	R	≤	0.239
ALTO	0.019	<	R	≤	0.071
MEDIO	0.005	<	R	≤	0.019
BAJO	0.001	≤	R	≤	0.005

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 197

Estrato nivel de riesgo

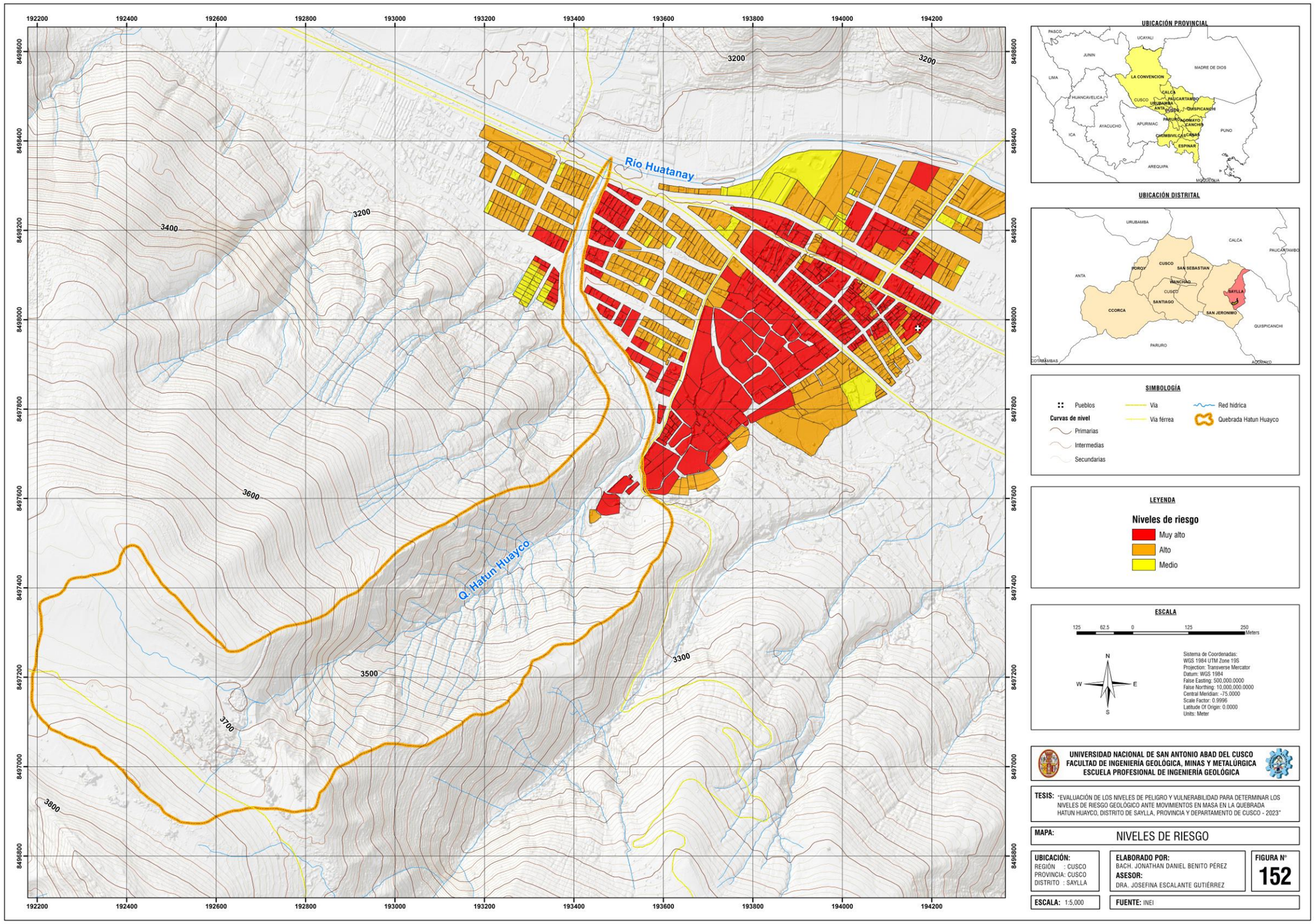
NIVELES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, vertiente con depósito de deslizamiento, vertiente coluvial de detritos y montañas en roca sedimentaria; geológicamente está compuesto por depósitos proluviales, depósitos de deslizamiento, depósito coluvial, la Fm. Quilque y Fm. Chilca; presenta pendientes muy escarpadas (>45°), hidrogeológicamente está compuesto por un acuitardo proluvial, acuitardo coluvial, acuitardo Quilque y Chilca; presenta escasa cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades mayores a 1.0 m/s y alturas mayores a 1.0 m, deslizamiento con volumen > 1 000 000 m^3, y caídas desde una altura de talud mayor a 20 m. Predios con número de habitantes mayor a 10, ningún acceso a servicios básicos, sin conocimiento en temas de GRD y muy mala organización de la población. Localización de la edificación muy cercana (0m-5m) a los peligros, material de construcción mixto u otros con estado de conservación muy malo, predios mayormente deshabitados e ingreso familiar promedio mensual ≤ 200 soles. Viviendas en áreas sin vegetación, degradación de suelos por erosión, sin conservación y protección de áreas verdes y sin conocimientos en temas ambientales.	$0.071 < V \leq 0.239$
ALTO	Zonas con predominancia de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos, vertiente con depósito de deslizamiento y montaña en roca sedimentaria; geológicamente está compuesto por deposito coluvio-deluvial, vertiente coluvial de detritos, vertiente con depósito de deslizamiento, Fm. Quilque y Fm. Chilca; presenta pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°), hidrogeológicamente está compuesto por acuitardo coluvial, acuitardo Quilque y Chilca; presenta áreas antropizadas; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades entre 0.5 m/s a 1.0 m/s y alturas entre 0.5 m a 1.0 m, deslizamientos con volumen entre 500 000 m^3 a 1 000 000 m^3, caídas desde una altura de talud entre 10 m a 20 m. Predios con número de habitantes entre 7 a 10, solo un servicio básico, con conocimiento erróneo en temas de GRD y mala organización de la población. Localización de la edificación cercana (5m-15m) a los peligros, material de construcción adobe con estado de conservación malo, predios mayormente ocupados por cuidantes e ingreso familiar promedio mensual > 200 - ≤ 750 soles. Viviendas en áreas de cultivo, desertificación de suelos, conservación de suelos y conocimiento erróneo en temas ambientales.	$0.019 < V \leq 0.071$

MEDIO	Zonas con predominancia de montañas en roca sedimentaria, terraza aluvial, montaña estructural en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial; geológicamente está compuesto por la Fm. Quilque y Chilca, depósitos aluviales, Fm. Kayra y depósitos proluviales, con pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°), hidrogeológicamente está compuesto por el acuitardo Quilque y Chilca, acuitardo aluvial, acuífero Kayra y un acuitardo proluvial; presenta matorral, rodal, cultivo y pastizal como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades entre 0.1 m/s a 0.5 m/s y alturas entre 0.1 m a 0.5 m, deslizamientos con volumen entre 50 000 m^3 a 500 000 m^3, y caídas desde una altura de talud entre 2 m a 10 m. Predios con número de habitantes entre 4 a 6, dos servicios básicos, con conocimiento limitado en temas de GRD y a veces participan en la organización de la población. Localización de la edificación medianamente cercana (15m-30m) a los peligros, material de construcción Acero – Drywall con estado de conservación regular, predios mayormente ocupados por inquilinos e ingreso familiar promedio mensual > 750 - ≤ 1500 soles. Viviendas con áreas de pastos, degradación química de los suelos, ornamentación y jardinería, y conocimiento limitado en temas ambientales.	$0.005 < V \leq 0.019$
BAJO	Zonas con predominancia de terraza aluvial, llanura lacustre, montaña estructural en roca sedimentaria, llanura lacustre, terraza aluvial y terraza fluvial; geológicamente está compuesto por depósitos fluviales, lacustres, Fm. Kayra, depósitos lacustres, aluvial y fluvial; con pendientes en terrenos llanos a inclinados con pendiente suave (<5°); hidrogeológicamente está compuesto por acuífero fluvial, acuicludo lacustre, acuífero Kayra, acuicludo lacustre, acuitardo aluvial y acuífero fluvial; y presenta zonas arbóreas como cobertura vegetal; desencadenados por precipitaciones pluviales correspondientes a la categoría de extremadamente lluvioso con umbrales de precipitación RR>26.7 mm con percentil RR/día>99p, se generarían flujos de detritos con velocidades menores a 0.1 m/s y alturas menores a 0.1 m, deslizamientos con volumen menor a 50 000 m^3, caídas desde una altura de talud menor a 2 m. Predios con número de habitantes menor o igual a 3, con todos los servicios básicos, con conocimiento en temas de GRD y siempre participan en la organización de la población. Localización de la edificación alejada (>30m) a los peligros, material de construcción ladrillo-bloqueta o concreto armado con estado de conservación bueno o muy bueno, predios multifamiliares o unifamiliares e ingreso familiar promedio mensual >1500 soles. Viviendas con árboles o en bosques, degradación física o biológica de los suelos, reforestación y conservación de especies nativas, y conocimiento en temas ambientales.	$0.001 \leq V \leq 0.005$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 152

Mapa de niveles de riesgo



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Conclusión I:

En la quebrada Hatun Huayco se identificó las siguientes subunidades geomorfológicas: montañas, vertientes y planicies. La subunidad predominante es la montaña estructural en roca sedimentaria (RM-rs) con 18.10 ha. que corresponden a 29.44% del área total. La clase de pendiente predominante es la pendiente muy fuerte o escarpada (25°-45°), con 24.94 ha. que corresponden a 40.57% del área total.

La geoforma predominante de montaña estructural en rocas sedimentarias con pendiente muy fuerte o escarpada favorece la ocurrencia de movimientos en masa.

Conclusión II:

Se identificó unidades litoestratigráficas de origen sedimentario conformadas por lutitas y areniscas de las formaciones Quilque, Chilca y Kayra; y también depósitos cuaternarios lacustres, coluviales, coluvio-deluviales, de deslizamiento, proluviales, aluviales y fluviales. La unidad predominante es la Formación Kayra (Peo-ky) con 18.10 ha. que corresponden a un 29.44% del área total.

Los depósitos cuaternarios corresponden a suelos inconsolidados de fácil erosión ante precipitaciones de tipo extremadamente lluvioso con RR>26.7mm. Por otro lado, la intercalación de lutitas y areniscas fracturadas de la Fm. Kayra permite mayor infiltración de las precipitaciones, y por consiguiente incrementa la inestabilidad de las laderas de la quebrada Hatun Huayco.

Conclusión III:

Se identificó fracturas con dos direcciones principales NW-SE y NE-SW; también se identificó dos fallas locales de tipo Dextral Normal con dirección NE-SW sin desplazamiento importante. Según la clasificación RMR, los macizos rocosos son de mala y regular calidad.

Conclusión IV:

Se determinó que hidrológicamente la quebrada Hatun Huayco está ubicada en la microcuenca Saylla-Huacarpay. Según el cálculo de los parámetros morfométricos está quebrada es una unidad hidrográfica muy pequeña, de forma muy alargada con relieve muy empinado que corresponde a un terreno montañoso

con relieve accidentado y según su red hidrológica presenta una densidad de red de drenaje muy alta con tendencia a la escorrentía y erosión.

Conclusión V:

Según las características litoestratigráficas y estructurales se identificó las siguientes unidades hidrogeológicas: Acuífero Fluvial, Acuífero Kayra, Acuitardo Proluvial, Acuitardo Coluvial, Acuitardo Aluvial, Acuitardo Quilque, Acuitardo Chilca, y Acuicludo Lacustre.

Se identifico un manante correspondiente al Acuitardo Chilca en la parte media de la quebrada, el cual se ubica por debajo del deslizamiento rotacional DR-1 y está relacionado a la infiltración de lluvia en la cabecera de la quebrada Hatun Huayco.

Conclusión VI:

En la parte media de la quebrada Hatun Huayco se identificaron seis deslizamientos rotacionales distribuidos en ambas márgenes: tres en la margen izquierda y tres en la margen derecha. Asimismo, se observaron caídas de rocas a lo largo de ambos flancos del cauce. En la margen izquierda se observó una mayor estabilidad relativa, atribuida a la presencia de un canal de drenaje en la parte alta que reduce la infiltración de precipitación y, por ende, incrementa la estabilidad del material. En contraste, en la margen derecha se observó condiciones de mayor inestabilidad, principalmente por la ausencia de sistemas de drenaje en las coronas de deslizamientos.

En la parte baja de la quebrada, se identificó la ocurrencia de flujos de detritos en la desembocadura. Adicionalmente, se identificaron caídas dentro del cauce, asociadas a la existencia de taludes escarpados con pendientes mayores a 45°, originados por actividad antrópica.

Conclusión VII:

Según la evaluación de niveles de peligro por flujos de detritos dentro del ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco se determinaron cuatro niveles de peligro. El nivel **muy alto** registró valores entre **0.263 y 0.502**, que corresponden al 20% del área total, equivalente a **23.49 hectáreas**. Por otro lado, el nivel alto presentó un rango entre **0.127 a 0.263,** abarcando la mayor proporción del ámbito, con **41% (47.52**

ha). El nivel medio comprendió valores entre **0.069 a 0.127** ocupando el **21 % (24.03 ha)**. Finalmente, el nivel bajo registró valores de **0.039 a 0.069**, abarcando el **17% (19.79 ha)** del área total**.**

Se determinaron niveles de peligro muy altos por flujo de detritos en el cauce y en la desembocadura de la quebrada por estar conformados por vertientes aluvio-torrenciales con depósitos proluviales y escasa cobertura vegetal, en laderas con pendiente moderada (5°-15°), que en caso de un desembalse de la quebrada favorecerían el transporte de un flujo de detritos hacia los predios expuestos.

Conclusión VIII:

Según la evaluación de niveles de peligro por deslizamientos dentro del ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco se determinaron cuatro niveles de peligro. El nivel **muy alto** registró valores entre **0.261 y 0.504**, que corresponden al **16%** del área total, equivalente a **18.05 hectáreas**. Por otro lado, el nivel alto presentó un rango entre **0.134 a 0.261,** abarcando el **14% (16.39 ha)**. El nivel medio comprendió valores entre **0.066 a 0.134** ocupando el **22 % (25.07 ha)**. Finalmente, el nivel bajo registró valores de **0.036 a 0.066**, abarcando la mayor proporción del ámbito, con un **48% (55.33 ha)** del área total**.**

Se determinaron niveles de peligro muy altos por deslizamientos en las laderas de ambas márgenes de la quebrada con pendientes muy escarpadas (>45°), compuestas por depósitos de deslizamientos y depósitos coluviales con escasa cobertura vegetal.

Conclusión IX:

Según la evaluación de niveles de peligro por caídas dentro del ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco se determinaron cuatro niveles de peligro. El nivel **muy alto** registró valores entre **0.261 y 0.503**, que corresponden al **11%** del área total, equivalente a **12.90 hectáreas**. Por otro lado, el nivel alto presentó un rango entre **0.134 a 0.261,** abarcando el **22% (25.26 ha)**. El nivel medio comprendió valores entre **0.067 a 0.134** ocupando el **18% (20.44 ha)**. Finalmente, el nivel bajo registró valores de **0.035 a 0.067**, abarcando la mayor proporción del ámbito, con un **49% (56.23 ha)** del área total**.**

En la parte media de la quebrada se determinaron niveles de peligro muy altos por caídas en las laderas de ambas márgenes con pendientes muy escarpadas (>45°), compuestas por depósitos cuaternarios y rocas sedimentarias de la Fm. Quilque y Chilca con escasa cobertura vegetal.

Conclusión X:

Según la evaluación de síntesis de niveles de peligro por movimientos en masa dentro del ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco se determinaron cuatro niveles de peligro. Los niveles de peligro muy altos ocupan la mayor proporción del terreno, con **40%** del área total, equivalente a **45.93 ha** y se encuentran en laderas muy escarpadas (>45°) de ambas márgenes y en la desembocadura de la quebrada. Los niveles de peligro alto abarcan un **37%** del área (**42.96 ha**), y se encuentran en las laderas con pendientes muy fuertes o escarpadas (25°-45°) de ambas márgenes y en la parte baja de la quebrada en zonas aledañas al cauce. Los niveles de peligro medio ocupan un **21%** del área (**24.58 ha**), y se encuentran en pendientes moderadas (5°-15°) de la parte baja de la quebrada, en zonas alejadas de la desembocadura de la quebrada; y en la parte alta de la quebrada que comprende rocas sedimentarias de la Fm. Kayra. Los niveles de peligro bajo ocupan un **1%** del área (**1.36 ha**), y se encuentran en la parte alta de la quebrada Hatun Huayco, correspondiente al humedal identificado en la cabecera.

Estos resultados evidencian una alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en la quebrada Hatun Huayco.

Conclusión XI:

Según la evaluación de los niveles de vulnerabilidad frente a movimientos en masa, se determinaron cuatro niveles de vulnerabilidad: muy altos, altos, medios y bajos. Se identificó **766** predios en total dentro del ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco. Los resultados evidencian que la mayor parte de los predios (**48%**) se encuentran en el nivel de vulnerabilidad muy alto, correspondiente a **368** predios con un rango de valores entre **0.270 y 0.477**. En nivel alto se encontró **236** predios equivalente al **31%** con un rango de **0.147 a 0.270**. En nivel medio se registró **161** predios (**21%**) con valores entre **0.070 a 0.147**. Por último, en nivel bajo de vulnerabilidad se encontró **1** predio con un rango de **0.035 a 0.070**.

Estos resultados evidencian una alta exposición de los predios ante posibles eventos de movimientos en masa.

Conclusión XII:

La evaluación de los niveles de riesgo frente a movimientos en masa en el ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco permitió identificar y clasificar un total de 766 predios en tres niveles de riesgo: muy alto, alto y medio. Del total analizado, **335** predios (**44%**) se encuentran en el nivel de riesgo muy alto, con valores comprendidos entre **0.071 y 0.239**. Asimismo, **384** predios (**50%**) fueron clasificados en el nivel alto, con un rango de **0.019 a 0.071**. Finalmente, **47** predios (**6%**) se encuentran en el nivel de riesgo medio, con valores entre **0.005 y 0.019.**

Estos resultados reflejan que más del 90% de los predios evaluados se encuentran en condiciones de riesgo alto o muy alto, lo cual representa una situación crítica para la seguridad de la población asentada en el ámbito de influencia de la quebrada Hatun Huayco.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios geofísicos con el fin de tener una mejor interpretación de los deslizamientos.
2. Implementar sistemas de drenaje superficial mediante zanjas de coronación en ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco para reducir la infiltración de precipitaciones que incrementan la inestabilidad del material.
3. Reforestar con especies nativas las laderas con escasa cobertura vegetal de ambas márgenes de la quebrada Hatun Huayco para estabilizar los deslizamientos y zonas susceptibles a caídas lo que contribuirá a la reducción de eventos de geodinámica externa.
4. Realizar la descolmatación periódica del cauce de la quebrada para evitar el desembalse de un posible flujo de detritos.
5. Capacitar mediante charlas a los dueños de los predios identificadas en riesgo alto y muy alto para que conozcan los peligros existentes en su entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, J., & Naranjo, L. (2018). Análisis y comparación de metodologías de aforo de caudal en lámina libre mediante curva de gasto y perfilador acústico Doppler. Aplicación en ríos de la región de Quebec (Canadá). *[Mihma, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente]*.

Alcántara, J. (2015). Caracterización Hidromorfométrica de la microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGIS. *[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*.

Arqque, W., & Quispe, O. (2023). Modelamiento hidrogeológico para determinar la influencia del flujo subterráneo a los acuíferos de la cuenca Huanacahuire, San Jerónimo - Cusco. *[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]*.

Autoridad Nacional del Agua. (01 de Octubre de 2020). Obtenido de Autoridad Nacional del Agua: https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-151-2020-ana

Baldeon, L. (2016). *Modelamiento hidrológico de la subcuenca del río Ahamayo.* Universidad del Centro del Perú.

Benavente, C., Delgado, F., Taipe, E., Audin, L., & Pari, W. (2013). Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55.

Botero, A., & Vélez, J. (2010). Estimación del tiempo de concentración y de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna, 165*, 58-71. Obtenido de http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640

Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., & De Marcos, S. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires.*

Cañibano, A., Sastre, P., & D'andrea, R. (2016). *Área y perímetro para la caracterización de formas.* SUMA.

Carlotto, V., Cárdenas, J., & Carlier, G. (2011). *Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s 1:50,000.* INGEMMET, Boletín N°138 Serie A, Lima.

Carlotto, V., Oviedo, M., Valderrama, P., Fidel, L., Gutierrez, D., Concha, R., & Astete, I. (2008). *Geología, Geodinámica y Estabilidad de Taludes de la Quebrada Chingo Grande Saylla-Cusco.* Informe Técnico, INGEMMET, Lima.

Carvallo, P., & Delgado, C. (2013). *Estudio hidrológico - hidraúlico del puente sobre el río Jadán, Parroquia Jadán, Cantón Gualaceo, provincia del Azuay.* Universidad de Cuenca.

Cavero, A. (2022). *Informe de evaluación de riesgos de desastres por flujo de detritos del sector de Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia de Cusco y departamento de Cusco.* Municipalidad distrital de Saylla.

Centro Nacional de Estimación, P. y.-C. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales - 2da versión.* Lima: CENEPRED.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, 02 Versión.* Lima: NEVA STUDIO SAC.

Cerignoni, F., & Rodrigues, V. (2015). *Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, Sao Paolo, Brasil.* SECF, 366.

Chester, S., Sandra, B., Eduardo, C., & David, M. (2017). *Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador.*

Clavijo, L., & Pérez, C. (2016). Cálculo del caudal de crecientes en la quebrada Canoas hasta su desembocadura en la quebrada Tapias, Municipio de Cuitiva, Departamento de Boyacá. *IOSR Journal of Economics and Finance*. Obtenido de https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666

Corominas Dulcet, J., & García Yagué, A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas. En *IV Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables* (págs. 1051-1072). Granada, España.

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 27-29.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide Types and Processes.*

Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea.* Barcelona: Editorial Omega, 2 vol., pp. 1-2350.

Diario El Peruano. (19 de Febrero de 2011). Normas Legales.

Glade, T., Anderson, M., & Crozier, M. J. (2005). *Landslide Hazard and Risk.* Chichester, West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd. doi:10.1002/9780470012659

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Pearson Educación.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación.* México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock slope engineering.* Institute of Mining and Metallurgy.

Hungr, O., Evans, S., Bovis, M., & Hutchinson, J. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. En *Environmental and Engineering Geoscience* (Vol. VII, págs. 221-238).

Hutchinson, J. N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Lausanne: V International Conference on Landslides.

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2020). Evaluación de peligros geológicos de la quebrada Hatunhuayco. Distrito de Saylla, provincia y región Cusco. 31.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2022). *Evaluación de peligros geológicos por derrumbes en el sector A.P.V. Virgen Asunta. Distrito Saylla, Provincia Cusco, Departamnto Cusco.* Informe Técnico A7335, INGEMMET, Lima.

Medina, L., Núñez, M., Vílchez, M., Peña, F., Gómez, H., & Sosa, N. (2021). Peligro geólogico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco. *INGEMMET*, 206 p., 10 mapas.

MINAM. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal.* Lima: MINAM.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2018). *Guía para la elaboración de la Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.* Lima: Ministerio del Ambiente - MINAM.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas.* Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional No. 4.

Ramírez, F. d., & Quintana, C. (2021). Análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco - A.P.V. Ferroviarios en el distrito de Saylla, provincia de Cusco. *[Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]*.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Técnicas de remediación.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En R. L. Schuster, & R. J. Krizek, *Landslides analysis and control* (págs. 11-33). Washington D. C: National Academy Press.

Vilchez, M., Sosa, N., Pari, W., & Peña, F. (2020). *Peligro Geológico en la Región Cusco.* Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°74, INGEMMET, Lima, Perú.

Zhicay, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo. *[Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]*.

ANEXOS

A. Registro de precipitación máxima del mes en 24 hrs. (mm)

PRECIPITACIÓN MÁXIMA DEL MES EN 24 Hrs. (mm)			
ESTACIÓN	**GRANJA KAYRA**	**CÓDIGO**	**100044**

CUENCA	RÍO HUATANAY	**LATITUD**	13º33'24.29"	**DEPARTAMENTO**	CUSCO
QUEBRADA	HATUN HUAYCO	**LONGITUD**	71º52'30.61"	**PROVINCIA**	CUSCO
TIPO	Convencional-Meteorológica	**ALTITUD**	3214 msnm.	**DISTRITO**	SAN JERÓNIMO

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	7.8	23	11	10	5.9	0	0	0	0	12.6	0	16.3
1965	16.3	21.6	19.9	31.4	5.1	0	0.2	0	12.3	8.1	8.5	24.8
1966	20.1	38	19	8.4	10.6	0	0	1	9.4	9.9	11.2	11.8
1967	17.3	42.1	15.6	8.2	0.6	0.6	7.2	9	10.5	17.4	12.9	13.9
1968	24.6	18.5	21.6	9.1	2	5.3	20.9	2.7	5	15.2	17.9	8.7
1969	25.1	23.1	17	9	2	1.8	7.2	3.3	8.8	17.9	17.5	12.9
1970	44.8	17.9	17.9	13.6	0.8	0.9	1.7	1.3	19.3	10.7	10.7	32
1971	27.3	23.3	14.7	10	0.8	0.1	0	1.9	3	13.2	9	36.1
1972	36.6	29	10.5	7	2	0	4.6	7.1	6.7	2.2	8.2	19.2
1973	28.4	24.2	18.6	24	4.5	0	5.9	7.2	3.2	12.8	15.5	15.2
1974	12.6	17.6	20.2	11.2	3.4	5.3	1	9.4	4.6	22.8	12.3	22
1975	24.6	15.4	18.1	15.9	6	0.4	0.3	0.4	25	13	14.4	16.9
1976	13.4	15.8	20	12.7	5.9	5.2	0.5	1	7.6	16.2	12.8	18.8
1977	33.9	20.3	22	16	7.1	0	2.2	0	10.7	19.1	16.5	18.3
1978	27.2	16.4	21.1	20.2	7.1	0	3.4	0	6	7.4	21.4	19.3
1979	20	39	12.8	15.1	3.9	0	0.9	4.3	10.5	8.2	17.1	12.7
1980	23.9	38.2	27.1	10.4	3.7	0	5.1	0.4	4.8	11	9.6	19.5
1981	28.6	10.4	15.8	22.4	1.8	3.9	0	4	7.6	40.2	25.2	19.1
1982	27.4	16	29.6	17.1	0	5	3.4	1.4	3.2	13.4	21.4	18
1983	17.4	21.4	13.1	7.5	2.8	2.6	0.5	0.5	4.4	8.2	10.5	20.7
1984	36.5	19.4	14.3	25.9	0	0.9	1	7	2.1	18.6	9.6	31.4
1985	18.1	31.2	24.6	5	6.2	4.8	0.9	0	13	13.1	13.6	20.1
1986	12.5	26.2	14.5	20.8	2.8	0	1.8	2.6	3.4	8	18	27.5
1987	42.1	11.2	19.9	4.4	1	0.8	4.6	0	4.1	4.9	18	20.4
1988	28.4	14.3	35.2	23.8	1.8	0	0	0	7.7	20.2	18.4	25.2
1989	21.2	41.9	15.5	16.3	3.6	6.1	0	3.8	16	11.5	14	24.1
1990	26.5	20.3	11.3	8.9	3.6	9.3	0	3.6	5.3	14	14.5	19.5
1991	25.5	37.6	37.1	14.2	4.8	2.7	1.5	0	12.8	13.4	17.5	25.2
1992	13.9	18.8	21.2	6.8	0	19.1	0	14	5.2	16.2	22.6	15.4
1993	48.5	17.4	24.2	2.9	0.9	0	1.5	5.3	6.9	14.6	15.6	44.1
1994	39.6	30	20.4	12.3	8.6	0	0	0	10.5	17.4	7.1	28.3
1995	23.2	18.5	14.3	6.8	0	0	0.4	1.2	19.8	8.3	34.6	20.7
1996	24.6	17.3	31.3	7.4	6	0	0	3	8.3	0	0	0.9
1997	20.1	18.2	24.9	9.5	4.1	0	0	3.5	5.1	12.9	47	30
1998	35.9	23.1	4.9	11.7	1	1.9	0	1.5	3.3	11.1	18.9	14.1
1999	12.7	14.9	17	13.6	1.3	3.2	1	0	10.9	7.2	19.3	16.4
2000	25.5	24.9	22.6	5.7	0.8	4.5	1.5	2.4	4.9	9.5	17.3	11.4
2001	15.6	31	21.4	10.6	4.3	0	9.9	3.6	5.4	15.9	23.1	11.6
2002	21.2	25.1	13.5	8.1	5.7	1	6.9	2.4	2.6	15.2	26.7	23.5
2003	24.6	24	18	39.1	1	6.4	0	10.8	1.7	10.2	7	23.4
2004	24.5	30.8	12.6	6.4	1.4	12.6	8	4.9	7.3	14.7	11	25.2
2005	23	0	27.8	23.2	2	0.4	1.2	2.2	2.1	13.6	11.7	17.2
2006	37.3	51.6	26.4	30.2	0.2	4	0	5.4	4.1	15	12.6	15.3
2007	26.7	13.7	19.7	32.9	3.4	0	3	0	1	14.9	18.9	16.9
2008	25.6	27.9	11.2	5.6	2.8	1	0	2	8.3	11.2	24.5	16.4
2009	27.8	17.8	23.6	5.9	2.5	0	1.8	0.4	7.6	2.2	24.1	11.9
2010	41.2	25.7	25.7	5.1	1.3	0	1.4	2.6	3	18.6	10.9	35.9
2011	22.6	22	25	15.6	1.7	3.2	3	0	9.6	18.9	29.8	14.6
2012	14.8	39.5	8.1	28.4	3.4	1.2	0	0.1	10.3	9.2	30.7	24.3
2013	23.2	21.1	18.7	4.5	14.6	3	1	6.2	2.7	17.9	13.7	27.2
2014	31.1	21.9	8.8	16.9	4.4	0	1.4	3	4.7	0	15.8	35.6
2015	38.3	23.6	9.7	12.5	8	2.3	5.5	3	6.2	6.3	16.5	23.1
2016	19.1	24.2	9	5.4	3	0	4.5	0.5	2.9	22.7	12.8	14.5
2017	24.6	21.8	24.9	9.8	5.9	5.8	0	7	12.7	7.1	14.8	12.9
2018	20.06	27.7	33.9	12.5	0.2	11.6	6.7	3.3	4.5	20	13.6	23
2019	22.2	17.5	34	14.8	10.9	0.8	1.8	0	3.8	34.3	25.6	17.8
2020	26.7	20.2	24.4	S/D	S/D	0	8.2	1	9	10	17	22.6
2021	28.8	20.7	18	30.4	2.6	10.7	3	4.2	0.9	13.1	25.3	20
2022	33.5	19.9	16.8	4.6	1	0.5	0	1.6	6.3	1	15.4	10.7
2023	27.6	18.5	21.3	13.6	32.4	0	0	4.5	4.4	14.2	14.9	22.4
N° DE DATOS	60	60	60	59	59	60	60	60	60	60	60	60
MEDIA	25.54	23.38	19.52	13.75	3.99	2.48	2.44	2.86	7.05	13.11	16.58	20.28
DESV.STD	8.49	8.83	7.00	8.29	4.76	3.76	3.52	3.01	4.79	6.92	7.71	7.50
MIN	7.8	0	4.9	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0.9
MAX	48.5	51.6	37.1	39.1	32.4	19.1	20.9	14	25	40.2	47	44.1
SUMA	1532.16	1402.6	1171.3	811.3	235.2	148.9	146.5	171.5	423	786.6	995	1216.9
MEDIANA	24.60	21.70	19.35	11.70	2.80	0.80	1.10	2.30	5.70	13.10	15.55	19.40

Fuente: SENAMHI.

B. Ficha de inventario de fuentes de aguas

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023"

NOMBRE/ SECTOR:	QUEBRADA HATUN HUAYCO	CÓDIGO:	**AFORO-01**

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Cuenca:	RÍO HUATANAY	Este:	193164
Distrito:	SAYLLA	Norte	8497374
Provincia:	CUSCO	Cota:	3330 m.s.n.m.
Región:	CUSCO	Datum:	WGS 84 Zona 19 Sur

REGISTRO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (seg)	RÉGIMEN	
	12	2.25	Permanente	
	12	2.18		
	12	2.28	Estacional	X
	12	2.21		
	12	2.19	Extinto	
VOLUMEN	12 Lts			
TIEMPO PROM	2.222 seg	USO:	Riego de terreno de cultivos	
CAUDAL:	**5.401 Lts/seg**			

Fotografía:

Detalles/Observaciones:

El caudal del acuitardo Chilca incrementa en época de precipitaciones.

Fecha:	10/05/2023	Inventariado por:	Jonathan Daniel Benito Pérez

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

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

TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023"

NOMBRE/ SECTOR:	QUEBRADA HATUN HUAYCO	CÓDIGO:	**AFORO-02**

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Cuenca:	RÍO HUATANAY	Este:	193340
Distrito:	SAYLLA	Norte	8497511
Provincia:	CUSCO	Cota:	3281 m.s.n.m.
Región:	CUSCO	Datum:	WGS 84 Zona 19 Sur

REGISTRO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (seg)	RÉGIMEN	
	4	3.42	Permanente	
	4	3.44		
	4	3.40	Estacional	X
	4	3.45		
	4	3.41	Extinto	
VOLUMEN	4 Lts			
TIEMPO PROM	3.424 seg	USO:	Riego de terreno de cultivos	
CAUDAL:	**1.168 Lts/seg**			

Fotografía:

Detalles/Observaciones:

Se observó el caudal disminuye a medida que fluye a traves del cauce de la quebrada.

Fecha:	10/05/2023	Inventariado por:	Jonathan Daniel Benito Pérez

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

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

TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023"

NOMBRE/ SECTOR:	QUEBRADA HATUN HUAYCO	CÓDIGO:	**AFORO-03**

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Cuenca:	RÍO HUATANAY	Este:	193514
Distrito:	SAYLLA	Norte	8497679
Provincia:	CUSCO	Cota:	3233 m.s.n.m.
Región:	CUSCO	Datum:	WGS 84 Zona 19 Sur

REGISTRO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (seg)	RÉGIMEN	
	4	4.15	Permanente	
	4	4.03		
	4	4.30	Estacional	X
	4	4.28		
	4	4.10	Extinto	
VOLUMEN	4 Lts			
TIEMPO PROM	4.1696 seg	USO:	Riego de terreno de cultivos	
CAUDAL:	**0.959 Lts/seg**			

Fotografía:

Detalles/Observaciones:

Se observó el caudal disminuye a medida que fluye a traves del cauce de la quebrada.

Fecha:	10/05/2023	Inventariado por:	Jonathan Daniel Benito Pérez

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023"

NOMBRE/ SECTOR:	QUEBRADA HATUN HUAYCO	CÓDIGO:	**AFORO-04**

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Cuenca:	RÍO HUATANAY	Este:	193545
Distrito:	SAYLLA	Norte	8497813
Provincia:	CUSCO	Cota:	3204 m.s.n.m.
Región:	CUSCO	Datum:	WGS 84 Zona 19 Sur

REGISTRO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (seg)	RÉGIMEN	
	4	4.40	Permanente	
	4	4.55		
	4	4.51	Estacional	X
	4	4.57		
	4	4.56	Extinto	
VOLUMEN	4 Lts			
TIEMPO PROM	4.518 seg	USO:	Riego de terreno de cultivos	
CAUDAL:	**0.885 Lts/seg**			

Fotografía:

Detalles/Observaciones:

Se observó el caudal disminuye a medida que fluye a traves del cauce de la quebrada.

Fecha:	10/05/2023	Inventariado por:	Jonathan Daniel Benito Pérez

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

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

TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE RIESGO GEOLÓGICO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA HATUN HUAYCO, DISTRITO DE SAYLLA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023"

NOMBRE/ SECTOR:	QUEBRADA HATUN HUAYCO	CÓDIGO:	**AFORO-05**

UBICACIÓN

UBICACIÓN POLÍTICA		COORDENADAS UTM	
Cuenca:	RÍO HUATANAY	Este:	193481
Distrito:	SAYLLA	Norte	8497945
Provincia:	CUSCO	Cota:	3186 m.s.n.m.
Región:	CUSCO	Datum:	WGS 84 Zona 19 Sur

REGISTRO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (seg)	RÉGIMEN	
	4	5.90	Permanente	
	4	5.33		
	4	5.24	Estacional	X
	4	5.37		
	4	5.38	Extinto	
VOLUMEN	4 Lts			
TIEMPO PROM	5.444 seg	USO:	Riego de terreno de cultivos	
CAUDAL:	**0.735 Lts/seg**			

Fotografía:

Detalles/Observaciones:

Se observó el caudal disminuye a medida que fluye a traves del cauce de la quebrada.

Fecha:	10/05/2023	Inventariado por:	Jonathan Daniel Benito Pérez

Fuente: Elaboración propia.