

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



TESIS

**INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE
FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR
JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO, 2024**

PRESENTADO POR:

Br. EDWIN HUMBERTO CAÑAHUIRE HUALLPA

Br. JHONEL YUPANQUI MONGE

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

ASESOR:

Dr. JOSÉ DIONICIO CÁRDENAS ROQUE

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dr. José Dionicio Cárdenas Roque
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "Influencia Geológica y geomorfológica
en un evento de flujo de detritos en el dominio del cordillero
del Sector Juguishtanampa y Moraspampa, C.C. Cacha, Santiago
- Cusco, 2024"

Presentado por: Thonel Yuranguis Monge DNI N° 73832773;
presentado por: Edwin Humberto Canchipe Huallpa DNI N°: 73462085
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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 de Detección de Similitud.

Cusco, 24 de octubre de 2025

[Firma]
Firma

Post firma Dr. José Dionicio Cárdenas Roque

Nro. de DNI 23873595

ORCID del Asesor 0000-0002-5261-419X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:816572884

Tesis Influencias geológicas y geomorfológicas_v2 fecha 21 de octubre com.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:516572884

182 páginas

Fecha de entrega

22 oct 2025, 1:31 p.m. GMT-5

25.749 palabras

Fecha de descarga

22 oct 2025, 1:41 p.m. GMT-5

155.054 caracteres

Nombre del archivo

Tesis Influencias geológicas y geomorfológicas_v2 fecha 21 de octubre com.pdf

Tamaño del archivo

13.2 MB

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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 mi querido hijo, cuya alegría, ternura y curiosidad son mi mayor fuente de inspiración. Cada uno de sus gestos me motiva a seguir adelante, a esforzarme y a ser mejor persona cada día.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada etapa de mi vida. Gracias por sus palabras de ánimo, por su paciencia y por estar siempre presentes, incluso en las situaciones más difíciles.

Cañahuire Huallpa Edwin Humberto

Primeramente, a Dios, por permitirme la vida, a mi Papá Ronio, es una persona quien me inspira a ser mejor que él, a mi mamá Gladys por su amor incondicional, a mi esposa Meliza por decidir ser su compañero en la vida, a mi hija Mijhary por enseñarme el camino de la vida, a mi hermano Brayhan que me guía en mi camino y seguir construyendo mis sueños, a mis suegros Hugo y Clotilde quienes me apoyaron incondicionalmente. A los ingenieros que iluminaron mi camino, y me hicieron crecer profesionalmente, al sr. Paull, por apoyarme en momentos difíciles. Al arquitecto Edwin, que lo recordare con mucho respeto, al Ing. Marco que fue una persona que me enseñó mucho, y a los demás ingenieros, y profesionales que lograron moldearme como un profesional a su talla.

Yupanqui Monge Jhonet

Agradecimiento

Expresamos nuestra más sincera y profundo agradecimiento al Dr. José Dionicio Cárdenas Roque, por su invaluable dedicación, paciencia y compromiso a lo largo de todo el desarrollo de la presente investigación. Sus valiosos aportes, observaciones, correcciones y sugerencias nos permitieron enriquecer significativamente este trabajo, guiándonos con claridad y transmitiéndonos no solo sus conocimientos académicos, sino también su experiencia profesional y ética, que constituyen un ejemplo a seguir en nuestra formación como futuros ingenieros geólogos.

Asimismo, queremos expresar nuestro reconocimiento y agradecimiento a los señores docentes la carrera profesional de Ingeniería Geológica, que con su enseñanza constante, sus experiencias compartidas y su motivación permanente, contribuyeron a nuestra formación académica y personal. Gracias a las clases, orientaciones y consejos recibidos durante estos años de estudio, hemos podido adquirir los fundamentos teóricos, prácticos y humanos que nos han permitido culminar con éxito esta etapa importante de nuestra vida profesional.

Introducción

Los movimientos rápidos de masas, como los desprendimientos de rocas y los flujos de detritos, son fenómenos comunes en las zonas montañosas (Carrara et al., 1991; Fell et al., 2008; Hu et al., 2016). Específicamente, los flujos de detritos desencadenados por las lluvias son relativamente frecuentes en las empinadas laderas de las montañas (Ballantyne y Harris, 1994; Ballantyne, 2004). Estos eventos representan uno de los peligros naturales más devastadores y difíciles de prevenir, sobre todo en áreas con condiciones geológicas y geomorfológicas propicias para su ocurrencia. Entender cómo estas condiciones afectan la probabilidad y magnitud de los flujos de detritos es fundamental para desarrollar medidas efectivas de prevención, mitigación y respuesta.

Los sectores de Juquiskapampa y Mojasapampa, ubicado en la C.C. Cachona, se encuentra en una zona propensa a flujos de detritos y ha experimentado un crecimiento urbano hasta la fecha. Además, han llevado a cabo trabajos de relleno que han afectado y desestabilizado las laderas de las quebradas de Wintaray y Ccompimayo, esta zona exhibe una geodinámica activa, con niveles de peligro considerados altos y muy altos. Por esta razón, la investigación en este ámbito es de suma importancia.

Este proyecto de investigación titulado “Influencias geológicas y geomorfológicas en un evento de flujo de detritos en el dominio del cuaternario del sector de Juquiskapampa y Mojasapampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco” tiene como objetivo principal explorar la influencia de las condiciones geológicas y geomorfológicas en el peligro asociado con los flujos de detritos en el sector Juquiskapampa y Mojasapampa. Se abordará esta cuestión mediante un análisis detallado de diversas variables geológicas y geomorfológicas, incluyendo la geología del sustrato, la pendiente del terreno, la vegetación, la cobertura del suelo y la morfología del terreno.

En el capítulo de geomorfología se determinó unidades geomorfológicas, entre ellos tenemos vertiente de laderas, cono de deyección, lecho de río y/o quebradas, y terrazas aluviales, fluviales y deluviales. Se tocó un capítulo de geología donde se identifica las unidades litoestratigráficas de la zona, entre las que se encuentran el Grupo San Jerónimo, representado por la Formación Kayra; la Formación San Sebastián; y los depósitos cuaternarios, conformados por materiales fluviales, coluviales, deluviales y aluviales.

Para el capítulo de hidrogeología se tomó en cuenta de la precipitación promedio anual que es de 658 mm al año, así como los datos de precipitación máxima de 24 horas, registradas en la estación meteorológica Kayra y la temperatura media mensual promedio en el área de investigación siendo este de 12.1 °C, registrándose la máxima y mínima durante el año, fue importante realizar el cálculo del caudal con el método de aforo en campo.

El modelo conceptual y numérico del flujo de detritos permite comprender y representar el comportamiento de este fenómeno mediante la integración de factores geológicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos. Este enfoque constituye una herramienta esencial para evaluar el riesgo y la planificación de medidas de prevención en zonas que pueden ser afectadas.

La importancia del presente estudio radica en su contribución al conocimiento científico respecto los procesos que controlan la ocurrencia de flujos de detritos y al mismo tiempo ayudando en la elaboración de futuros planes de ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, así como la construcción de planes de prevención y respuesta ante desastres naturales, entre otras iniciativas.

RESUMEN

El presente estudio, titulado “**Influencias geológicas y geomorfológicas en un evento de flujo de detritos en el dominio cuaternario del sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago – Cusco, 2024**”, se desarrolló al suroeste de la ciudad del Cusco, en la comunidad campesina de Cachona, distrito de Santiago. El objetivo principal fue determinar las influencias geológicas y geomorfológicas en la ocurrencia de flujos de detritos, complementado con la caracterización geológica, geomorfológica e hidrológica del área, y la elaboración de modelos conceptual y numérico del evento.

Se identificaron unidades geomorfológicas como cauces fluviales, conos de deyección, terrazas aluviales y laderas sedimentarias. La geología local corresponde al Grupo San Jerónimo, con las formaciones Kayra y San Sebastián, además de depósitos cuaternarios recientes (fluviales, aluviales, coluviales y de relleno). Los parámetros hidrológicos mostraron una precipitación media anual de 658 mm, temperaturas entre 21.6 °C (máxima) y -1.7 °C (mínima), y caudales máximos estimados para un periodo de retorno de 100 años de 9.325 m³/s (quebrada Ccompimayo) y 7.33 m³/s (quebrada Wintaray).

El modelo conceptual integró las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas, evidenciando la influencia conjunta del relieve, litología y clima en la generación de flujos de detritos. Finalmente, el modelo numérico desarrollado en el software FLO-2D permitió estimar alturas y velocidades de flujo, concluyendo que la geología y geomorfología son factores determinantes en la ocurrencia de estos eventos.

Palabras clave. Geología, geomorfología, influencias geológicas y geomorfológicas en un flujo de detritos, cuaternario.

ABSTRACT

This research, entitled “*Geological and Geomorphological Influences on a Debris Flow Event in the Quaternary Domain of the Juquiskapampa and Mojaspampa Sector, C. C. Cachona, Santiago – Cusco, 2024*”, was conducted southwest of Cusco City, within the Cachona rural community, Santiago district. The main objective was to determine the geological and geomorphological influences on debris flow occurrence, complemented by the characterization of local geology, geomorphology, and hydrology, as well as the development of conceptual and numerical models. Identified geomorphological units include riverbeds, alluvial fans, sedimentary slopes, and alluvial terraces.

The local geology belongs to the San Jerónimo Group, encompassing the Kayra and San Sebastián formations, along with recent Quaternary deposits (fluvial, alluvial, colluvial, and fill materials). Hydrological analysis revealed a mean annual precipitation of 658 mm, average maximum and minimum temperatures of 21.6 °C (November) and –1.7 °C (July), and peak discharges for a 100-year return period of 9.325 m³/s (Ccompimayo stream) and 7.33 m³/s (Wintaray stream).

The conceptual model integrated geological, geomorphological, and hydrological parameters, highlighting the interaction among terrain, lithology, and climate as key factors in debris flow generation. The numerical modeling, performed using FLO-2D software with empirical topographic and rheological data, allowed the estimation of flow heights and velocities, confirming that geology and geomorphology play a decisive role in debris flow occurrence.

Keywords. Geology; Geomorphology; geological and geomorphological influences on a debris flow, Quaternary.

CONTENIDO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

Contenido

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	22
1.1. Ubicación.....	22
1.2. Accesibilidad	22
1.2. Problema.....	25
1.2.1 Descripción del problema	25
1.2.2 Formulación del problema general	26
1.2.3 Formulación de problemas específicos	26
1.3. Objetivos.....	26
1.3.1. Objetivo general	26
1.3.2. Objetivos específicos	26
1.4. Justificación.....	27
1.4.1 Conveniencia.....	28
1.4.2 Relevancia Social.....	28
1.4.3 Implicancias Practicas.....	28
1.4.4 Utilidad Metodológica.	29
1.4.5 Valor Teórico.	29
1.5. Formulación De Hipótesis.....	29
1.5.1. Hipótesis general.....	29
1.5.2. Hipótesis específicas	30
CAPITULO II: METODOLOGIA DE INVESTIGACION	31

2.1	Metodologia.....	31
2.1.1	Tipo de investigación:	31
2.2.	Metodo.....	31
2.2.1.	Etapas de la elaboración del estudio.....	31
2.2.2.	Técnicas de investigación.....	33
2.2.3.	Equipos y materiales	33
2.2.4.	Procesamiento de datos	34
2.3.	Variables.....	34
2.3.1.	Variables independientes	34
2.3.2.	Variable dependiente.....	34
2.3.3	Matriz de Consistencia.....	35
2.3.4	Matriz de Operacionalización de Variables.....	36
2.4.	Marco Teórico.....	37
2.4.1.	Marco referencial	37
2.4.1.1.	Antecedentes Internacionales	37
2.4.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	38
2.4.1.3.	Antecedentes locales	42
2.5.	Marco Conceptual.....	43
CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA.....		58
3.1	Geomorfología Regional	58
3.1.1.	Unidades geomorfológicas regionales	58
3.2.	Geomorfología Local.....	60
3.2.1.	Unidades geomorfológicas locales.....	60
3.3.	Topografía Y Pendiente.....	69
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA.....		71
4.1.	Geología Regional	71

4.1.1. Formación Kayra.....	71
4.1.2. Formación San Sebastián	72
4.1.3. Depósitos Cuaternarios	72
4.2. Geología Local	73
4.2.1. Grupo San Jerónimo Formación Kayra (Peo – ky): Eoceno Inferior	74
4.2.2. Formación San Sebastián (Q – Sa): Pleistoceno	77
4.2.5. Depósitos fluviales (Q-fl).....	81
4.2.3. Depósitos aluviales (Q – al)	81
4.2.6. Depósitos coluviales (Q-cl).....	88
4.2.4. Depósitos de relleno	92
4.3. Geotecnia	104
4.3.1. Exploración geotécnica	104
4.3.2. Ensayos en laboratorio	106
4.4. Geodinámica Externa	114
4.5. Geodinámica Interna	129
CAPÍTULO V: CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	133
5.1. Precipitación	133
5.1.1 Precipitaciones diarias máximas.	133
5.1.2 Régimen de la precipitación estacional:.....	134
5.2 Temperatura.....	135
5.3. Cálculo del caudal	136
5.3.1. Cálculo de la sección del área	137
5.3.2. Cálculo de la velocidad	139
5.3.3. Cálculo del caudal	140
5.3.4. Cálculo del caudal por huella máxima	141
CAPÍTULO VI: MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO DEL FLUJO DE DETRITOS ..	143

6.1. Modelo Conceptual	143
6.1.1. Aspectos para el modelamiento conceptual	143
6.1.2. Conceptualización del flujo de detritos.....	143
6.2. Modelo numérico.....	145
6.2.1. Software utilizado	145
6.2.2. Datos de entrada para el modelo	145
6.2.3. Procedimiento para la generación del modelo de flujos de escombros	157
6.2.4. Análisis de resultados.....	162
CONCLUSIONES	166
RECOMENDACIONES.....	168
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169
ANEXOS	175

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Ubicación del área de estudio.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2: Accesibilidad al área de estudio.</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3: Matriz de Consistencia.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4: Matriz de Operacionalización de variables.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5: Lista de entradas requeridas y salidas obtenidas de DFS 2D.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6: Tipos de movimientos en masa.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 7: Clasificación de Pendientes.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 8: Coordenadas de la columna estratigráfica CE N-01.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 9: Coordenadas de las columnas estratigráficas levantadas sobre la Formación San Sebastián.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 10: Coordenadas de las columnas estratigráficas levantadas sobre depósitos aluviales.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 11: Coordenadas de la columna estratigráfica levantada sobre depósito Coluvial.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12: Análisis granulométrico.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 13: Resultado del ensayo de granulometría.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 14: Resultado de ensayo granulométrico de fracción gruesa.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 15: Contenido de humedad.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 16: Resultados de límite líquido.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 17: Resultado del límite plástico.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 18: Índice de plasticidad.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 19: Clasificación SUCS según datos obtenidos de laboratorio.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 20: Inventario de los movimientos de masa ubicados aguas arriba, que actuaran como zonas de aporte.</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 21: Datos de estación meteorológica (1964-2017).....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 22: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno (1964-2017).....</i>	<i>134</i>

Tabla 23: <i>Precipitación total mensual – Promedio multimensual.</i>	134
Tabla 24: <i>Promedio de la profundidad media.</i>	138
Tabla 25: <i>Tiempo tomados en campo.</i>	140
Tabla 26: <i>Longitudes de los ríos Wintaray y Compimayo, área de estudio.</i>	142
Tabla 27: <i>Caudales máximos para la quebrada de Ccompimayo y Wintaray.</i>	142
Tabla 28: <i>Caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años.</i>	146
Tabla 29: <i>Propiedades de las matrices de flujos de lodo (arcillas +limos).</i>	148
Tabla 30: <i>Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función del CV.</i>	148
Tabla 31: <i>Esfuerzo de cedencia y viscosidad para la zona de estudio.</i>	149
Tabla 32: <i>Clasificaciones existentes de concentración volumétrica.</i>	150
Tabla 33: <i>Clasificaciones existentes de concentración volumétrica para la zona de estudio. ..</i>	150
Tabla 34: <i>Coeficiente de Manning para el modelo.</i>	155
Tabla 35: <i>Resultado de la simulación</i>	162

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Accesibilidad desde el mercado de Huancaro hacia la zona de estudio.</i>	23
<i>Figura 2: Ubicación de la zona de estudio.</i>	24
<i>Figura 3: Plano de zonificación geodinámica de la zona de estudio.</i>	39
<i>Figura 4: Plano de niveles de peligro en la zona de estudio.</i>	39
<i>Figura 5: Imagen satelital del año 2011.</i>	40
<i>Figura 6: Unidades geomorfológicas.</i>	44
<i>Figura 7: Tipo de diaclasas.</i>	45
<i>Figura 8: Tipos de cuenca.</i>	46
<i>Figura 9: Interfaz para entrada de datos: (a) archivos ASCII y reología, y (b) entradas paramétricas.</i>	49
<i>Figura 10: Diagrama esquemático que representa el flujo de trabajo de DFS 2D.</i>	50
<i>Figura 11: Parámetros de flujo calculados en cada celda.</i>	51
<i>Figura 12: Valores máximos de altura, velocidad y arrastre registrados a lo largo de la trayectoria del flujo.</i>	51
<i>Figura 13: Zonas y mecanismos de flujos de escombros (adoptado de Franks, 1999).</i>	53
<i>Figura 14: Estructura del esquema computacional.</i>	54
<i>Figura 15: Esquema de flujos canalizados y no canalizados.</i>	56
<i>Figura 16: Esquema que ejemplifica en perfil los flujos asociados al desplazamiento de un lahar.</i>	57
<i>Figura 17: Unidades geomorfológicas locales del cuadrángulo del Cusco (28s-IV).</i>	59
<i>Figura 18: Mapa geomorfológico regional.</i>	59
<i>Figura 19: Cauce de río perteneciente a la quebrada Ccompimayo.</i>	60
<i>Figura 20: Viviendas asentadas en el cono de deyección de material aluvial.</i>	61
<i>Figura 21: Vertientes de laderas en roca sedimentaria.</i>	62

<i>Figura 22: Terrazas aluviales, con viviendas asentadas.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23: Mapa geomorfológico local.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24: Vista en 3D del relieve de la zona de estudio con vista hacia el oeste.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 25: Vista en 3D del relieve de la zona de estudio con vista hacia el noroeste.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 26: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el oeste.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 27: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el noroeste.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 28: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el suroeste.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 29: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el este.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 30: Mapa de pendientes de la zona de estudio.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 31: Columna estratigráfica del Altiplano y el borde NE de la Cordillera Oriental presentes en la región del Cusco.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 32: Columna estratigráfica de las Formación San Sebastián.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 33: Mapa Geológico regional.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 34: Afloramiento de areniscas feldespática fracturadas y muy fracturadas perteneciente a la Formación Kayra.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 35: Areniscas feldespáticas con presencia de clastos blandos y diferentes familias de fracturamiento en la Formación Kayra.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 36: Representación gráfica de la CE N- 01.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 37. Areniscas y lutitas de la Formación Kayra - CE N-01. (175965.00 m E y 8499856.00 m S).</i>	<i>76</i>
<i>Figura 38: a) Secuencia limo arcillosas perteneciente a la formación San Sebastián y b) secuencia grano decreciente con base de limos arcillosas y techo con clastos de roca.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 39: Representación gráfica de la CE N-04, perteneciente a la Formación San Sebastián.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 40: Formación San Sebastián donde se levantó la columna estratigráfica CE N-04.</i>	<i>79</i>

<i>Figura 41: Representación gráfica de la CE N-05, perteneciente a la Formación San Sebastián.</i>	80
<i>Figura 42: Formación San Sebastián donde se levantó la columna estratigráfica CE N-05.</i>	80
<i>Figura 43: Depósitos fluviales en el río Ccompimayo.</i>	81
<i>Figura 44: a) Depósito aluvial antiguo y b) depósitos aluviales proveniente de la Formación Kayra.....</i>	82
<i>Figura 45: a) Depósitos aluviales del rio Huatanay, b) depósitos aluviales del rio Ccompimayo.</i>	82
<i>Figura 46: Fragmentos de diversos tamaños con matriz fina perteneciente a depósitos aluviales.</i>	84
<i>Figura 47: Representación gráfica de CE N-02 de depósitos aluviales.</i>	85
<i>Figura 48: Depósitos aluviales donde se levantó la CE N-02.....</i>	85
<i>Figura 49: Representación gráfica de la CE N-03 correspondientes a depósitos aluviales.....</i>	86
<i>Figura 50: Formación Kayra la base y la parte superior depósitos aluviales donde se levantó la CE N-03.</i>	86
<i>Figura 51: Representación gráfica de la CE N-07 correspondientes a depósitos aluviales.....</i>	87
<i>Figura 52: Formación Kayra en la base y la parte superior depósitos aluviales donde se levantó la CE N-03.</i>	87
<i>Figura 53: a y b) Depósito coluvial, conformados por deslizamiento de suelos en las laderas. .</i>	88
<i>Figura 54: a) Deposito coluvial con lentes de arena de grano medio.</i>	89
<i>Figura 55: Representación gráfica de la CE N-06 correspondientes a depósitos coluviales.....</i>	91
<i>Figura 56: Depósitos coluviales donde se levantó la CE0 N-06.....</i>	91
<i>Figura 57: Depósitos de relleno.</i>	92
<i>Figura 58: Geología local.</i>	93
<i>Figura 59: Ubicación de secciones geológicas en la zona de estudio.</i>	94

<i>Figura 60: Sección geológica AA' con dirección suroeste al noreste.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 61: Sección geológica BB' noroeste al sureste.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 62: Sección geológica CC' sur al norte parte alta de la zona de estudio, debajo de los cuaternarios se encuentra la formación Kayra.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 63: Sección geológica DD' sur al norte parte media de la zona de estudio.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 64: Sección geológica EE' sur al norte parte baja de la zona de estudio.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 65: Modelo geológico de la zona de estudio, con dirección suroeste al noreste.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 66: Modelo geológico de la zona de estudio con dirección noroeste al sureste.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 67: Modelo geológico con dirección sur al norte, parta alta de la zona de estudio.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 68: Modelo geológico con dirección sur al norte, parta media de la zona de estudio. .</i>	<i>102</i>
<i>Figura 69: Modelo geológico con dirección sur al norte, parta baja de la zona de estudio.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 70: Modelo geológico de la zona de estudio, con dirección sur al norte.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 71: Modelo geológico de la zona de estudio sur al norte.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 72: Técnicas de exploración normalizadas.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 73: Excavación de calicatas</i>	<i>105</i>
<i>Figura 74: Presencia de nivel freático en la excavación de calicata.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 75: Toma de muestra en campo.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 76: Curva granulométrica.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 77: Análisis granulométrico por tamizado.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 78: Ensayo de laboratorio para el contenido de humedad.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 79: Contenido de humedad.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 80: Ensayo límite líquido plástico.</i>	<i>111</i>
<i>Figura 81: Representación del límite líquido.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 82: Deslizamientos en la margen izquierda del rio Wintaray.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 83: Vista de deslizamiento al borde del rio Wintaray.</i>	<i>116</i>

<i>Figura 84: Vista de deslizamiento en la margen derecha del río Wintaray.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 85: Presencia de Cárcavas en la margen izquierda del río Ccompimayo</i>	<i>117</i>
<i>Figura 86: Imagen satelital del año 2011.</i>	<i>118</i>
<i>Figura 87: Zona de sedimentación 01 en el sector de Mojaspampa.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 88: Zona de sedimentación 02 en el sector en el sector de Juquiskapampa</i>	<i>120</i>
<i>Figura 89: Volúmenes de material de material suelto y bloques con diámetros de 5 cm a 75 cm.</i> <i>.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 90: Volúmenes de material de material suelto y bloques con diámetros de 5 cm a 60 cm.</i> <i>.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 91: Zona critica 01, en el río Ccompimayo.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 92: Zona critica 02, donde hubo flujo de detritos reciente en el mes de febrero.</i>	<i>123</i>
<i>Figura 93: Altura alcanzada hacia las paredes de la vivienda afectada por el flujo de detritos.</i> <i>.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 94: Zona critica 02, afectación a viviendas aledañas al río.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 95: Zona critica 03, donde confluyen los ríos Wintaray y Ccompimayo</i>	<i>125</i>
<i>Figura 96: Zonas de aporte aguas arriba de las quebradas Ccompimayo y Wintaray.</i>	<i>126</i>
<i>Figura 97: Fotografía aérea del año 1997.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 98: Fotografía aérea del año 1997.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 99: Mapa de isosistas del sismo de 1650.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 100: Mapa de isosistas del sismo de 1950.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 101: Mapa de isosistas del sismo de 1986.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 102: Hietograma de precipitaciones máximas registradas en 24 horas, Estación Kayra.</i> <i>.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 103: Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual.</i>	<i>135</i>

<i>Figura 104: Promedio de temperatura máxima media mensual, temperatura mínima media mensual y temperatura media mensual de la estación meteorológica Granja Kayra.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 105: Medición del ancho, largo y profundidad del caudal.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 106: a) Medición del ancho de la sección de río. b) Profundidad de la sección de río.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 107: Sección transversal del río.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 108: Medición del tiempo.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 109: Medición de la huella máxima.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 110: Representación del modelo conceptual.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 111: Hidrograma liquido de diseño- quebrada Ccompimayo.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 112: Hidrograma liquido de diseño- quebrada Wintaray.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 113: Plan de vuelo Aero fotogramétrico con dron.</i>	<i>151</i>
<i>Figura 114: Importación de fotografías al software PIX4D.</i>	<i>152</i>
<i>Figura 115: Configuración de las coordenadas de trabajo del proyecto y modelo de procesamiento.</i>	<i>152</i>
<i>Figura 116: Iniciando el procesamiento.</i>	<i>153</i>
<i>Figura 117: Optimización y orientación de fotos.</i>	<i>153</i>
<i>Figura 118: Procesamiento de la ortofoto.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 119: Ortomosaico y el Modelo Digital de Superficie (DSM) disperso correspondiente antes de la densificación.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 120: Diagrama de flujo del software FLO-2D.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 121: Referencia de proyecto creado.</i>	<i>158</i>
<i>Figura 122: Determinación del contorno de la zona de estudio.</i>	<i>159</i>
<i>Figura 123: Asignación de elevación adecuada a cada grilla creada para el modelamiento... ..</i>	<i>159</i>
<i>Figura 124: Parámetros elegidos para el modelamiento según recomendación del manual FLO-2D.....</i>	<i>160</i>

<i>Figura 125: Variables de control para la simulación.</i>	161
<i>Figura 126: Variables de ingreso de hidrograma líquido y solido (inflow) y la salida (outflow).</i>	161
<i>Figura 127: Mapa de elevación digital de la superficie del terreno.</i>	163
<i>Figura 128: Mapa de profundidades máximas de flujo (tirantes).</i>	164
<i>Figura 129: Mapa de máximas velocidades de flujo.</i>	165

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad del Cusco, en la C. C. Cachona (km-01 de carretera Cusco-Paruro) en el distrito de Santiago, provincia y departamento del Cusco, como se observa en la Figura 2. Geográficamente el área de estudio se encuentra en la zona 19L, con Datum WGS 1984 cuyas coordenadas UTM son:

Tabla 1: *Ubicación del área de estudio*

Distrito	Santiago
Provincia	Cusco
Departamento	Cusco
Comunidad campesina	Cachona
Coordenadas UTM	176085.00 m Este 8499601.00 m Norte
Zona	19 L
Datum	WGS 1984

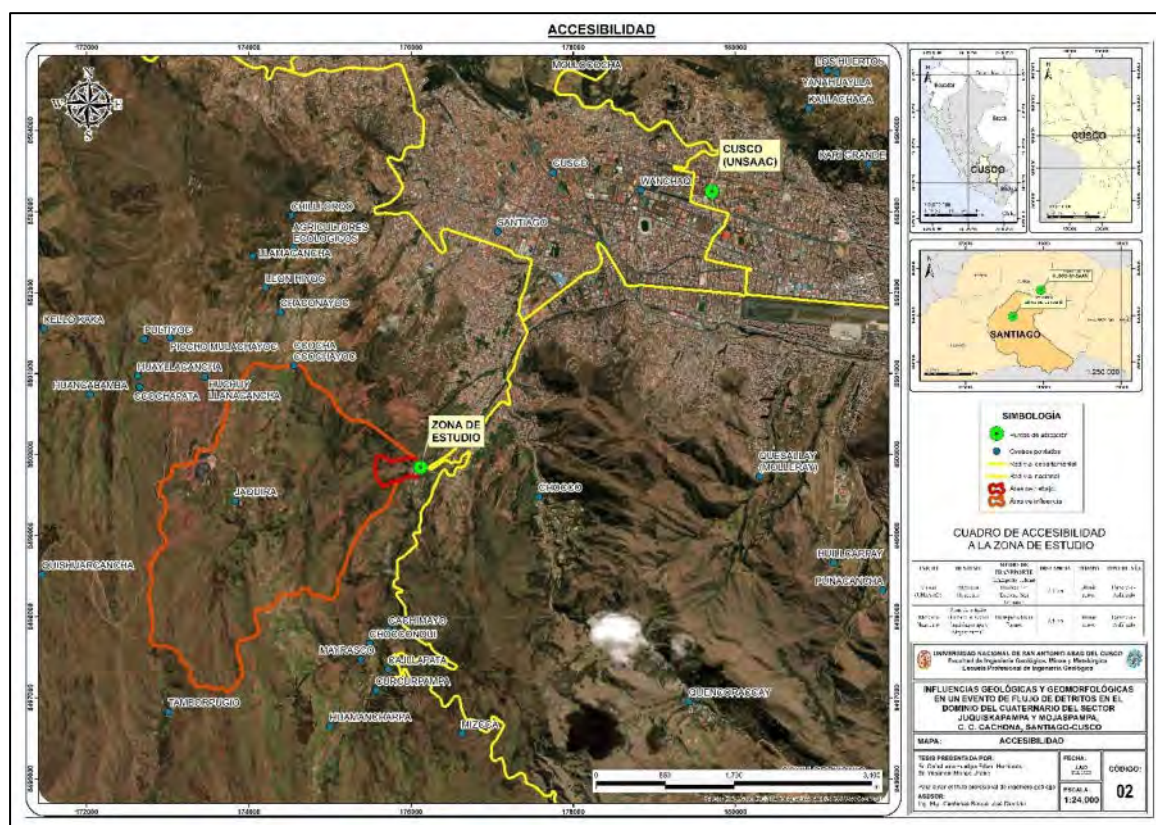
1.2. Accesibilidad

El área del sector de Juquiskapampa y Mojaspampa es accesible desde la ciudad del Cusco, a través de la carretera Cusco-Paruro, que tiene una distancia aproximada de 2.4 km y un tiempo de 10 minutos, medidos desde el puente Huancaro de la urbanización Huancaro, en la zona del mercado de productores hasta una trocha afirmada que da acceso al área de estudio como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: *Accesibilidad al área de estudio.*

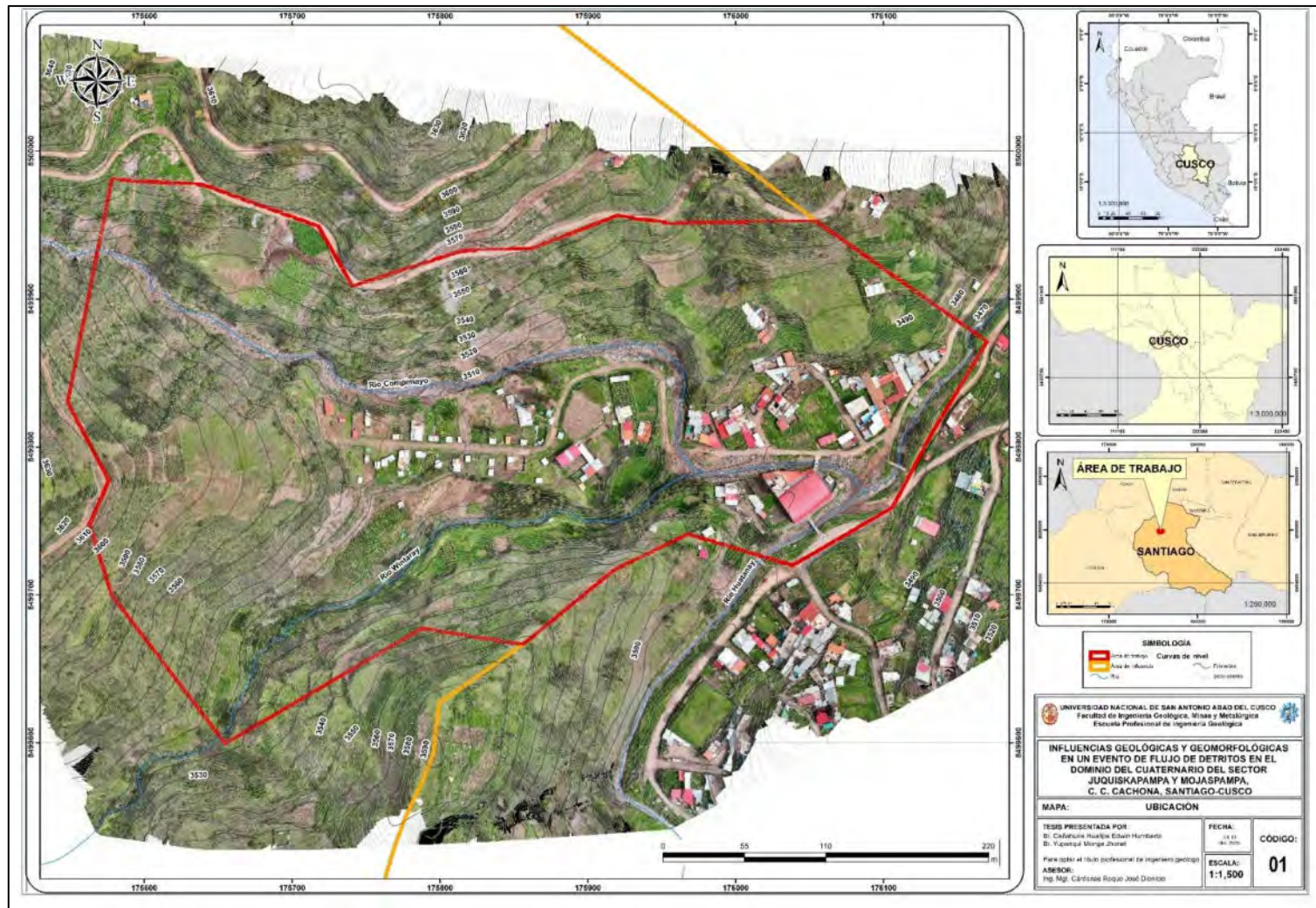
Inicio	Destino	Medio de Transporte	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Cusco, Mercado Wanchac	Mercado Huancaro	Transporte Urbano Huancaro o Expreso San Jerónimo	2.3 km	20 min aprox.	Concreto - Asfaltado
Mercado Huancaro	Zona de estudio (Entrada al sector Juquiskapampa y Mojaspampa)	Transporte hacia Paruro	2.4 km	10 min aprox.	Concreto - Asfaltado

Figura 1: *Accesibilidad desde el mercado de Huancaro hacia la zona de estudio.*



Fuente: Google earth, 2020.

Figura 2: Ubicación de la zona de estudio.



1.2. Problema

1.2.1 Descripción del problema

La ciudad del Cusco es una región con aspectos geológicos y geomorfológicos particulares que condicionan factores que desencadenan fenómenos naturales, los cuales traen consigo consecuencias que afectan a la población expuesta. Uno de los fenómenos más comunes son los movimientos en masa de laderas, específicamente por flujo de detritos. Estos generan bloqueo de carreteras, accidentes de tránsito, daños en infraestructuras, en la agricultura y hasta pone en peligro la vida de las personas.

Las precipitaciones intensas sumado a la combinación de condiciones geológicas y geomorfológicas del sector de Juquiskapampa y Mojas pampa son potencia para dar lugar a flujos de detritos que acumularan sedimentos en las laderas suponiendo un riesgo importante para la zona y sus habitantes. Es necesario caracterizar detalladamente estas condiciones para comprenderlas y representar su distribución. Por ello, Nuñez, et al. (2015), recalca la importancia de generar información que sea de utilidad para la planificación, el ordenamiento territorial (prevención) y la actuación directa ante situaciones de emergencia (mitigación).

El sector de Juquiskapampa y Mojas pampa se encuentra en la C.C. Cachona, actualmente se encuentra en crecimiento y desarrollo, con lo que el proceso de expansión urbana ha rellenado áreas de depresión y desestabilizado el material de los cerros de Wintaray y Ccompimayo. Según el “Plan de Desarrollo urbano de la provincia del Cusco 2013-2023” la zona de estudio presenta geodinámica activa con niveles de peligro altos, siendo esta zonificación una aproximación de lo que se comprueba realmente.

Por este motivo, esta investigación busca comprender el comportamiento de la geología y la geomorfología y su influencia en los movimientos de masa por flujo de detritos, para así contribuir a la información y ayudar en la elaboración de futuros planes de desarrollo urbano y/o

concientización a la población de la construcción indiscriminada en áreas peligrosas, así como en la elaboración de planes de prevención y/o mitigación de desastres naturales, entre otras iniciativas; contribuyendo así también en promover el desarrollo sostenible.

1.2.2 Formulación del problema general

¿Cómo influyen los controles geológicos y geomorfológicos en las condiciones para el flujo de detritos del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?

1.2.3 Formulación de problemas específicos

- ¿Cuáles son las características geológicas locales y la geomorfológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?
- ¿Cuáles son las características hidrológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?
- ¿Cuál es el modelo conceptual del flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia geológica y geomorfológica en un evento de flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago-Cusco.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la geología local y geomorfología del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.
- Determinar las características hidrológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.

- Diseñar el modelo conceptual y numérico del flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.

1.4. Justificación

Los resultados de esta investigación serán fundamentales para profundizar en el conocimiento científico sobre cómo la geología y la geomorfología influyen en el desarrollo de los flujos de detritos. Este conocimiento proporcionará tener conocimiento a la población y las autoridades locales para tomar decisiones informadas en la planificación urbana y territorial, especialmente en áreas con características geológicas específicas.

La investigación tiene una alta relevancia social, ya que busca salvaguardar la integridad y seguridad de las poblaciones expuestas a flujos de detritos. Al difundir los resultados entre los habitantes locales y las autoridades, se fomenta la conciencia pública y la participación comunitaria en la reducción del riesgo de desastres, promoviendo una cultura preventiva y resiliente.

Desde una perspectiva práctica, los resultados servirán como base para la elaboración de estrategias y medidas de planificación urbana y territorial orientadas a minimizar los daños ocasionados por los flujos de detritos. Esta información permitirá a las autoridades competentes tomar decisiones fundamentadas para la gestión del territorio y la protección de infraestructuras y asentamientos humanos.

Al compartir estos resultados con las autoridades competentes, se les dotará de la información necesaria para diseñar estrategias de planificación que reduzcan los riesgos asociados con fenómenos naturales, como los flujos de detritos, en zonas vulnerables. Además, al difundir estos hallazgos entre los habitantes de Juquiskapampa y Mojaspampa, se incrementará la conciencia pública sobre el peligro a los que están expuestos.

En última instancia, esta investigación no solo enriquecerá el cuerpo de conocimientos existente, sino que también fomentará la colaboración y el intercambio de información a nivel

regional y nacional. Se espera que estos hallazgos impulsen futuras investigaciones y promuevan un enfoque continuo y colaborativo para abordar los desafíos relacionados con la gestión de riesgos naturales.

1.4.1 Conveniencia

El propósito de la presente tesis es informativo, comunicar a la comunidad campesina y a las autoridades correspondientes, respecto a la implicancia de los factores geológicos y geomorfológicos, para tomar acciones inmediatas y acoger lo investigado en la presente tesis, para resolver, mitigar, planear y organizar a los sectores vulnerables que se encuentran dentro de la comunidad campesina Cachona, en los sectores de Mojas pampa y Juquiskapampa.

1.4.2 Relevancia Social

La comunidad campesina de la Cachona, en los sectores Mojas pampa y Juquiskapampa, serán los principales beneficiados con la información, para prevenir, actuar, y/o mitigar, este peligro geológico que podría afectar sus viviendas.

1.4.3 Implicancias Practicas

Anteriormente ya se ha tenido precipitaciones duraderas, así también la huella máxima del cauce de los ríos, la profundidad de socavación del cauce, los movimientos en masa que se ha desarrollado a lo largo del cauce del rio, indica que los ríos Wintaray y Compimayo, albergan una gran cantidad de volumen de agua, y la colmatación del material coadyuva a desencadenar un flujo de detritos, por lo que la tesis ayuda a tomar conciencia del riesgo de la población ante este peligro, también ayuda a prevenir, debido a que no se ha suscitado el hecho, también ayuda a la optimización del territorio para no ser vulnerables ante este peligro.

1.4.4 Utilidad Metodológica.

La investigación de la presente tesis se basa principalmente en dos influencias la geología y la geomorfología, sin embargo, para que el peligro se estudie completamente se debería considerar adicionalmente la hidrología, la geodinámica externa, geodinámica interna, la geología estructural, la geotecnia, para de esa forma tener un panorama más extenso y determinar el comportamiento de estos factores y de qué forma contribuyen a un flujo de detritos, ante una precipitación anómala.

1.4.5 Valor Teórico.

Los factores geológicos y geomorfológicos, coadyuvados por la precipitación intensa (hidrología), implican directamente y desencadenan en un flujo de detritos, cuando la zona se encuentra definida por pendientes fuertes, por material deleznable y altamente meteorizado y/o fracturado, por bolones de diámetros que van entre los 20 cm hasta los 1.2 m de diámetro. Este material debe tener un índice de plasticidad menor al 5%, para que su movimiento sea agresivo e incremente su masa en el transcurso del cauce del río. Se recomienda considerar además de la geología y la geomorfología otros factores como la geodinámica interna, y la geología estructural, debido a que ante una reactivación sísmica esto llegase a desencadenar con mayor intensidad el flujo de detritos.

1.5. Formulación De Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La interacción de los factores geológicos y geomorfológicos en la zona de estudio tienen potencial para ocasionar un peligro por flujo de detritos significativo. La distribución de la litología y las estructuras presentes junto a los procesos de erosión crean un escenario local para la acumulación de importantes espesores de sedimentos.

1.5.2. Hipótesis específicas

- En la zona de estudio, se encuentran presentes acumulaciones de depósitos aluviales y aluvio-deluviales.
- Zonas de ladera con inclinación fuerte y en la base terrazas son potenciales zonas para que ocurra el flujo de detritos.
- Las lluvias intensas actúan como el desencadenante principal del evento de flujo de detritos.

CAPITULO II: METODOLOGIA DE INVESTIGACION

2.1 Metodologia

2.1.1 *Tipo de investigación:*

- Tipo de investigación: Mixta
- Clase de investigación: Aplicada
- Método: Hipotético deductivo
- Nivel de investigación:
 - DESCRIPTIVO: Se centra en identificar, describir, y clasificar los componentes geológicos y geomorfológicos, así como el fenómeno de geodinámica externa que corresponde al flujo de detritos.
 - ANALÍTICO: Se analiza el grado de influencia de las condiciones geológicas y geomorfológicas en el flujo de detritos, el cual ocasiona daños y perjuicios en la población que habita en el sector. Con ello se determina el nivel de peligro y vulnerabilidad al que están expuestos; y con ese análisis realizado se podrá brindar soluciones para mitigar el riesgo.

2.2. Metodo

2.2.1. *Etapas de la elaboración del estudio*

Las actividades se han agrupado en 1 etapa de pre-campo, 1 etapa de campo y una etapa de post campo, las cuales se describen a continuación:

2.2.1.1.Etapa de pre-campo.

- Recopilación de información bibliográfica, mapas, datos de campo y estudios relacionados con el objetivo de conocer las recopilar antecedentes generales de del area de estudio.

- Revisión de antecedentes del lugar.
- Planificación y coordinación con las comunidades ubicadas en la zona de estudio, presentando el plan de trabajo propuesto.
- Elaboración de mapas base para realizar los trabajos de campo.
- Determinación de puntos de control estructural y geológico ubicándolos en los mapas preliminares
- Elaboración del cronograma de actividades del proyecto de investigación.

2.2.1.2. Etapa de campo.

- Mapeo geomorfológico local a escala 1:5000, se realizará el mapeo en campo complementando a los mapas elaborados por Carlotto et al. (1000) en el Boletín N°138 Serie A.
- Mapeo litológico local a escala 1:5000 (obtención de muestras de mano representativas de cada unidad presente en la zona), se realizará el mapeo en campo complementando a los mapas elaborados por Carlotto et al. (1000) en el Boletín N°138 Serie A.
- Levantamiento de columnas estratigráficas a detalle, a escala 1: 1000 de las formaciones existentes en la zona de estudio.
- Elaboración de cortes geológicos en base a la información estratigráfica, estructural y geomorfológica expuesta en la línea de sección.
- Identificación de zonas críticas y mapeo de procesos geodinámicos.
- Registro fotográfico del trabajo en campo y de los rasgos geológicos importantes.

2.2.1.3. Etapa de post campo.

- Clasificación de toda la información recopilada en la etapa de campo ubicando las fotografías en carpetas por fechas y los datos organizados en tablas de Excel.
- Descripción detallada de la geomorfología local en base a lo observado en campo.
- Descripción y análisis petrológico de las muestras recolectadas haciendo uso de la lupa, rayador y HCl.
- Descripción geológica de las formaciones y las estructuras presentes en base a lo observado en campo.
- Modelado numérico de simulación de flujo de escombros con diferentes contenidos de humedad y tamaños de partículas, considerando múltiples reologías utilizando el modelo DFS 2D.
- Elaboración y digitalización de mapas temáticos mediante el software ArcGIS.
- Redacción de la tesis.

2.2.2. *Técnicas de investigación*

Uso de información previa sobre la zona de estudio, observación y recolección de datos en el campo, seguido por el procesamiento e interpretación de dicha información utilizando una base de datos creada. Esta base de datos puede incluir inventarios de movimientos de masa, mapas, registros estratigráficos, secciones geológicas, entre otros. El objetivo final es llegar a conclusiones y recomendaciones basadas en el análisis de estos datos.

2.2.3. *Equipos y materiales*

- Brújula, Picota, GPS
- Cinta métrica, cronómetro

- Cámara.
- Mapas base: Geológico regional, Geomorfológico regional, Mapas satelitales.
- Tableros, colores, regla.
- Papel milimetrado
- Bolsas para recolección de muestras
- Ácido clorhídrico
- Lupa, rayador, escalímetro

2.2.4. Procesamiento de datos

Para realizar e interpretar los datos obtenidos en campo, se construirán a través de los programas informáticos siguientes:

- ArcGIS, Google Earth, SAS Planet, Dips, Microsoft Office 2019, AutoCAD, Move, DFS 2D.

2.3. Variables

2.3.1. Variables independientes

- Geomorfología
- Geología Local
- Hidrología

2.3.2. Variable dependiente

- Influencias Geológicas y Geomorfológicas en un evento de flujo de detritos.

2.3.3 Matriz de Consistencia.

Tabla 3: Matriz de Consistencia.

PROBLEMAS	BASES TEÓRICAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA
General:	MARCO TEÓRICO	General:	General:	RUTAS DE INVESTIGACIÓN
¿Cómo influyen los controles geológicos y geomorfológicos en las condiciones para el flujo de detritos del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago -Cusco?	<i>Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI. (2011). Guía metodológica para la identificación de peligros geológicos por movimientos en masa. Dirección Nacional de Prevención.</i>	Determinar la influencia de la geológica y geomorfológica en un evento de flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago-Cusco.	La interacción de los factores geológicos y geomorfológicos en la zona de estudio tienen potencial para ocasionar un peligro por flujo de detritos significativo. La distribución de la litología y las estructuras presentes junto a los procesos de erosión crean un escenario local para la acumulación de importantes espesores de sedimentos.	Mixto - Aplicativa – Hipotético-Deductivo-Descriptivo-Analítico.
				Técnicas
				Trabajo de Pre – Campo: Recopilación de información bibliográfica, Revisión de antecedentes de estudio, planificación y coordinación con las comunidades, preparación de mapas base (mapa geológico y geomorfológico), elaboración de cronograma de actividades.
Específicos:	MARCO REFERENCIAL	Específicos:	Específicos:	- Trabajo de Campo:
¿Cuáles son las características geológicas locales y la geomorfológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?	INGEMMET. (2012). Informe Técnico A6598 – Peligro por flujo de detritos en Llohegua, provincia Huanta, Ayacucho. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.	Determinar la geología local y geomorfología del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.	En la zona de estudio, se encuentran presentes acumulaciones de depósitos aluviales y aluvio-deluviales.	Levantamiento cartográfico y descripción geológica (mapeo geológico local y geomorfológico local) levantamiento de columnas estratigráficas, elaboración de cortes geológicos, identificación de zonas críticas, registro fotográfico, muestras de suelos.
¿Cuáles son las características hidrológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?	Cárdenas, J., Vizcarra, J., & Callirgos, R. (2013). “Mapa de peligros geológicos del Valle del Cusco.”	Determinar las características hidrológicas del Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.	Zonas de ladera con inclinación fuerte y en la base terrazas son potenciales zonas para que ocurra el flujo de detritos.	
● ¿Cuál es el modelo conceptual del flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco?	MARCO CONCEPTUAL: Palabras clave: Geología, Geomorfología, Influencias geológicas y geomorfológicas.	●Diseñar el modelo conceptual y numérico del flujo de detritos en el Sector Juquiskapampa y Mojaspampa, C. C. Cachona, Santiago - Cusco.	●Las lluvias intensas actúan como el desencadenante principal del evento de flujo de detritos.	Trabajo de Post – Campo: Clasificación de toda la información, descripción detallada de la geomorfología, descripción y análisis petrológico de las muestras, descripción geológica y geomorfológica, procesamiento de datos de campo, elaboración y digitalización de mapas temáticos, redacción de la tesis.

2.3.4 Matriz de Operacionalización de Variables.

Tabla 4: Matriz de Operacionalización de variables.

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	DATOS	HERRAMIENTAS
INFLUENCIAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS FLUJO DE DETRITOS	GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	Geología	Estratigrafía	Unidades	Potencia, Litología	Escalímetro, Picota, bolsa para muestras.
			Estructural	Direcciones	Rb, Bz, Discordancias	Brújula, Cuaderno de campo
		Geomorfología	Pendiente	Clasificación	Muy baja(0-5°), ligeramente inclinado (5-20°), Moderadamente inclinado (20-30°), Ligeramente Escarpado (30-45°), Fuertemente escarpado (más de 45°)	ArcGis, Brújula, Vuelo con Dron.
		Morfometría		Tamaño	Área, Perímetro, Extensión, etc.	Bibliografía, Mapas, material teórico, Autocad
				Relieve		
		Hidrología	Parámetros Hidrológicos	Relieve	Área, Perímetro, Hmax, Hm, Ff, Kc, Re	ArcGis, pluviómetros.
				Superficie		
		Clima	Precipitación	Intensidad	mm/hora	Tablas de precipitación SENAMIH
				Anual	mm/año	
		Temperatura		Anual	°C	Registros de Temperatura
		Caída de Rocas		Tamaño	Factor de seguridad, °, Volumen	Mapas de peligros, escalímetro, picota, cinta métrica.
		Flujos de detritos		Velocidad	m/s, Volumen	
				Tamaño		
		Erosión de Suelos	Carcavamiento		Intensidad de la erosión	Tablas de clasificación
		Deslizamientos		Velocidad	cm/día	Registros, mapas, conocimiento previo
				Pendiente		
		Geotecnia-Suelos	Tipo de Suelo	Cohesividad	Límite líquido, Límite plástico, Porcentaje de humedad	Cuchara de Casagrande, Ensayos de laboratorio
					Fino, moderadamente fino, mediano, moderadamente grueso, grueso	Ensayo de granulometría

2.4.Marco Teórico

2.4.1. Marco referencial

2.4.1.1. Antecedentes Internacionales.

El estudio desarrollado por Arlegui Lizama (2015) respecto a la ocurrencia de flujos de detritos, constituye un referente en la evaluación de la susceptibilidad a flujos de detritos mediante el análisis hidromorfométrico y variables físico-naturales. Este trabajo integró factores como la geología, cobertura vegetal, pendiente y energía del relieve, utilizando herramientas SIG para identificar áreas con distintos niveles de amenaza. Los resultados evidenciaron que las condiciones geomorfológicas y climáticas influyen directamente en la ocurrencia de estos procesos, aportando una metodología aplicable a cuencas andinas con características similares. Este estudio es relevante porque ofrece una base comparativa para la gestión del riesgo geodinámico en territorios de montaña en América del Sur.

2.4.1.2. Antecedentes Nacionales

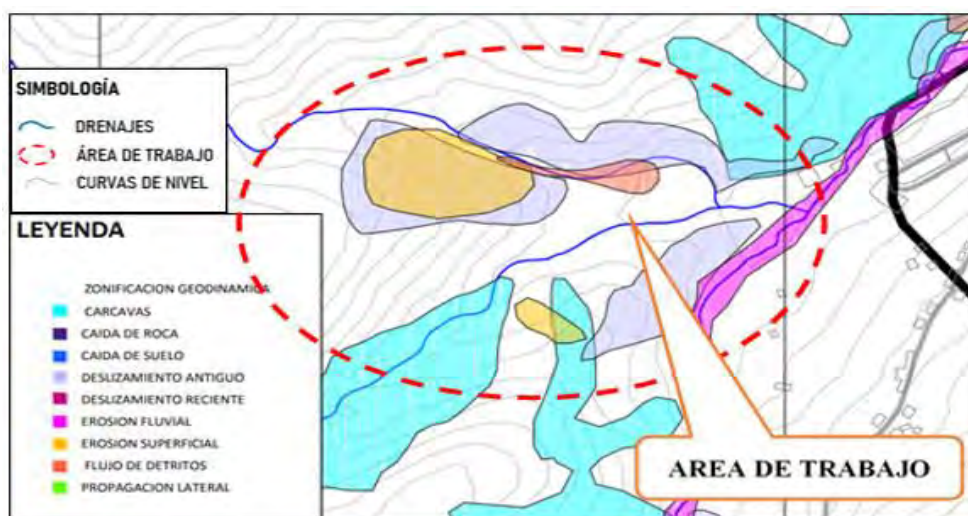
Moreno Montes (2023) desarrolló una investigación en la microcuenca Aynamayo, ubicada en el distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, con el propósito de evaluar la incidencia de la geodinámica externa en la vida de la población local. El estudio aplicó la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) del CENEPRED para determinar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo, considerando las dimensiones social, económica y ambiental. Los resultados demostraron que gran parte del territorio presenta niveles de riesgo alto y medio, debido a las condiciones geodinámicas, la deforestación y la expansión de asentamientos humanos en zonas inestables. Esta investigación constituye un importante aporte metodológico y técnico para la gestión del riesgo de desastres en cuencas andinas, sirviendo de referencia para la planificación territorial y la reducción de riesgos en regiones con similares características.

2.4.1.3. Antecedentes Regionales

En el Boletín N°138 Serie A, "Geología del cuadrángulo de Cusco/ Hoja 28-s", Carlotto et al. (2011), presenta el mapa de peligros geológicos del cuadrángulo del Cusco, la zona de estudio se encuentra expuesta a peligros por deslizamiento, los cuales están influenciados por la geomorfología y la geología del valle del río Huatanay, el cual es parte del Altiplano y la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental. El Piso de Valle corresponde a (<1 % de pendiente) es la parte baja del valle del Huatanay, donde se aprecian niveles de terrazas que le dan una forma escalonada. En este valle presenta humedales que están relacionados a los conos aluviales que se formaron por el agua proveniente de las quebradas influenciados por la presencia de laderas con topografías accidentadas y muy empinadas, favoreciendo procesos erosivos como la formación de cárcavas. Estos conos aluviales están compuestos por bloques de rocas semiangulosas, con matriz arcillosa y representan peligro para las poblaciones, el principal aporte, son las bases y las características hidrológicas, a las que se encuentra propensa la región altoandina.

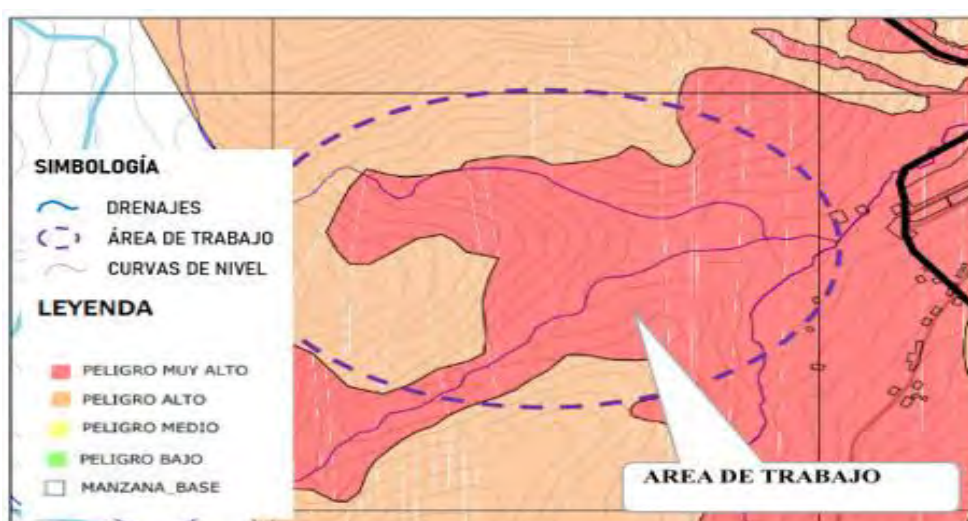
En el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la provincia del Cusco 2013-2023, el área de estudio exhibe una geodinámica activa, lo que se traduce en niveles de peligro considerables tal como muestra la Figura 3, alto y muy alto en relación con los flujos de detritos, como se observa en la Figura 4. Esta zonificación representa una aproximación precisa de las condiciones reales del terreno.

Figura 3: Plano de zonificación geodinámica de la zona de estudio.



Nota: Modificado del Plan de Desarrollo Urbano, 2013. Municipalidad Provincial de Cusco

Figura 4: Plano de niveles de peligro en la zona de estudio.

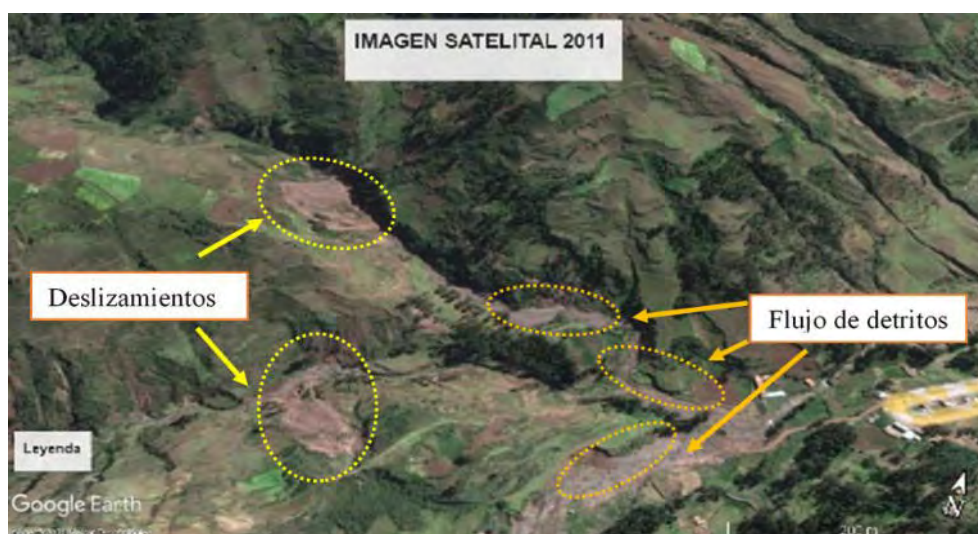


Nota: Modificado del Plan de Desarrollo Urbano, 2013. SGOTP - Municipalidad Provincial de Cusco

Para fundamentar la decisión de iniciar la presente investigación, se ha realizado un análisis minucioso de las imágenes de aerofotografía disponibles en la plataforma de Google Earth, abarcando el periodo desde 2002 hasta la fecha actual. Durante este análisis, se pudo observar la actividad registrada en las quebradas de Wintaray y Ccompimayo, cuyos cursos naturales atraviesan las áreas habitadas por los residentes de Juquiskapampa, Mojasapampa y la Comunidad

Campesina Cachona. Específicamente, se identificó en las imágenes del año 2011 la presencia de deslizamientos aguas arriba de la zona de estudio, los cuales actuarían como fuentes potenciales de material para futuros eventos de deslizamiento. Este hallazgo fue corroborado durante el trabajo de campo, donde se constató que dichos deslizamientos continúan activos en la actualidad tal como muestra la Figura 5.

Figura 5: Imagen satelital del año 2011.



Fuente: GOOGLE EARTH, 2011

Nota: En la fotografía se observa que en la zona de estudio existe una geodinámica muy activa principalmente deslizamientos y flujo de detritos

En el Boletín N°74 Serie C "Peligro geológico en la Región Cusco", Vilchez, M et al. (2020), determinaron que la región del Cusco posee características físicas particulares en cuanto a su complejidad geológico-estructural, sus características geomorfológicas variadas y su heterogeneidad fisiográfica asociadas a procesos que generan peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos, estos se evidencian en la ocurrencia de eventos, entre los cuales el flujo de detritos. Además, todos estos eventos están ligados a la variabilidad climática, la cuenca hidrológica y las propiedades geotécnicas y geológicas de la litología o sustrato que

conforman las montañas. De los 1682 peligros inventariados, el peligro por flujo de detritos representa el tercer lugar con un 17.06%. Uno de estos es el deslizamiento traslacional en el Cerro Haumancharpa, Santiago, ubicado a 2 km al sur de la ciudadela del Cusco y tuvo una reactivación hace 42 años hacia la margen izquierda del río Cachona (Huancaro), éste produjo el embalsamiento del río Huancaro, el cual causó el rompimiento del dique sin generar un flujo de detritos violento que afecte a las zonas aledañas. El factor desencadenante del evento fueron precipitaciones pluviales intensas que desestabilizaron los terrenos, lo cual es muy importante para determinar características particulares, y su factor desencadenante para los peligros semejantes a movimientos en masa.

El Informe Técnico A7170 – “Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico”. INGEMMET, 2021. Se detallan criterios técnicos y geomorfológicos que generan peligros por flujo de detritos en contextos andinos, su objetivo es determinar la peligrosidad por flujo de detritos, teniendo como conclusiones que debido a la precipitación atípica ha reactivado los derrumbes provenientes de la parte del cerro Urusayhua, se ha depositado material a lo largo del cauce rellenando a la base de la quebrada en unos 10 metros, teniendo como principal factor desencadenante las lluvias extraordinarias. El principal aporte de este informe técnico es la metodología, uso de herramientas, la determinación de los factores dependientes, y los desencadenantes que producen y hacen que el evento genere con mayor peligrosidad.

El Informe Técnico A7313 – “Evaluación de los procesos de flujo de detritos, inundación y erosión fluvial en el centro poblado de Uchucyacu, San Francisco – Huánuco”. INGEMMET, 2022. Describe lluvias intensas como desencadenantes del flujo de detritos y métodos de evaluación del peligro, determinan el flujo de detritos, también como principal objetivo es la evaluación, tipificación y la caracterización del flujo de detritos en Uchucyaco, Considerablemente en un evento de avenidas máximas, según la población ha llegado a tener una altura de 5 metros

del fondo del cauce del río Huertas, el material que se encuentra en la zona con materiales cuaternarios y rocas sedimentarias que se encuentran propensas a la erosión, meteorización; y estas se encuentran cubiertas de material reciente del cuaternario las cuales son susceptibles a erosión, saturación ante precipitaciones pluviales lo que conlleva a un evento de remoción de masas tipificado como flujo de detritos.

Informe Técnico A6598 – Peligro por flujo de detritos en Llochegua, provincia Huanta, Ayacucho, marzo 2012. Registra un evento de huaico ligado a lluvias intensas, describiendo geomorfología, precipitación y consecuencias, el principal objetivo del trabajo, es determinar qué condiciones geológicas han conllevado a un evento de movimiento en masas, que ha afectado gran parte del puente Tincuyo, seguidamente como las conclusiones de trabajo ha determinado que el principal detonante para el evento de remoción en masa tipo flujo de detritos, han sido las intensas precipitaciones pluviales, lo cual sumado con la deforestación de la zona, ha conllevado a derrumbe en la zona Barranca, y esta zona Llochegua, por la morfología, ubicación, y alta susceptibilidad a los movimientos en masa es una a la que se considera como peligro inminente, este registro de informe ha servido como base fundamental para evaluar los peligros geológicos y a determinar el tipo de zona que ayuda a ver la relación directa entre la geomorfología, la geología y la hidrología, como principales factores que desencadenan este tipo de peligros.

2.4.1.4. Antecedentes Locales

Benavente & Fernández (2004), realizó el estudio de “Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco”, el cual su objetivo es determinar las zonas de la ciudad del Cusco, incluidos los distritos urbanos y áreas de expansión, que están amenazadas por fenómenos naturales mediante la identificación, clasificación y evaluación de los peligros presentes. En esta investigación se concluye que la ciudad del Cusco está amenazada por peligros de inundaciones y los deslizamientos de tierra, así como el flujo de lodo producto del embalse y subsecuente desembalse violento. Además de que, por ser zona sísmica, la peligrosidad sísmica es considerable en zonas

donde hay suelos blandos con espesores altos. Se ha determinado sectores de alto peligro por deslizamientos, en diferentes sectores que se indican en el mencionado texto; sin embargo, se cuenta con poca información local de estos sectores. Se recomienda realizar ensayos, para determinar parámetros Hidrológicos e hidrológicos y de Zonificación Sísmica de las áreas de influencia de Cusco, así como realizar un control permanente (monitoreo) de los principales deslizamientos que amenazan la ciudad. Este estudio elaboró un mapa de peligrosidad del Cusco considerando las zonas de expansión a mediano plazo que se prevé incluir al valle del río Huatanay y zonas aledañas desde el distrito de Poroy hasta el distrito de Saylla.

Cárdenas et al. (2013), realizó el estudio "Mapa de peligros geológicos del Valle del Cusco", realizan una actualización del mapa de peligros por inundación, deslizamiento y aluviones de la ciudad y el valle del Cusco, a raíz de los sucesos geológicos ocurridos en el año 2010. En este estudio se sigue considerando que la quebrada Huancaro-Huamancharpa-Chocco sigue expuesta a peligro por deslizamientos, la erosión fluvial origina a veces estos eventos a lo largo de la quebrada. En el sector de Huamancharpa existe un gran deslizamiento con escarpas antiguas y recientes. Si ocurriera un deslizamiento en esta zona, podría represar el río Huancaro, y su desembalse ocasionaría flujo de detritos que afectarían el cauce del río y sus adyacentes.

2.5. Marco Conceptual

- 1. Geomorfología:** Es la ciencia que investiga las características del relieve, considerando su origen, la estructura, la naturaleza de las rocas, el clima en diferentes áreas, así como las diversas fuerzas internas y externas que, en general, influyen en la formación y distribución del relieve terrestre. La geomorfología o morfología es el análisis sistemático de las formas del relieve, basado en los principios que determinaron su formación y cambio a lo largo del tiempo (Teixeira, 2008). En la Figura 6 se ilustran las diferentes formas geomorfológicas existentes en la superficie terrestre.

Figura 6: *Unidades geomorfológicas.*

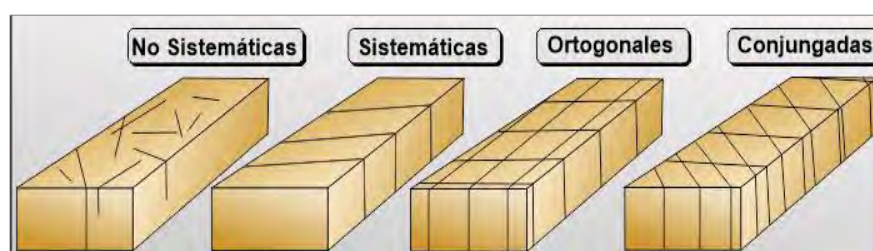


Fuente: Las formas del relieve terrestre, 2024.

2. **Estratigrafía:** Es una rama de la geología dedicada al análisis e interpretación de los procesos que tienen lugar en los depósitos sedimentarios. Dicho estudio posibilita comprender tanto la composición como la distribución de estas rocas, y a la vez favorece la correlación entre diversos materiales y acontecimientos geológicos, lo que facilita establecer una cronología más precisa de su formación (Corrales et al., 1977).
3. **Geología Estructural:** La geología estructural se centra en analizar la forma, distribución y estructura interna de las rocas, enfocándose en los procesos que provocan su deformación, ya sea a pequeña o mediana escala. Sus objetivos son la descripción geométrica de los cuerpos rocosos, el análisis cinemático y dinámico de los procesos que dan lugar a las estructuras que han descrito previamente desde un punto de vista geométrico; y la elaboración de modelos que expliquen las estructuras descritas (Martínez, 2002).
4. **Estructuras Geológicas Secundarias:** Son las estructuras que se originan a lo largo de un proceso de deformación que sufre la roca luego de su formación. Son los pliegues, fallas, diaclasas.

- **Falla:** Puede entenderse como una superficie o franja reducida en la que se produce un desplazamiento por cizalla claramente reconocible. Esta concepción resulta muy similar a la definición de una fractura por cizalladura, razón por la cual algunos especialistas las emplean como términos equivalentes. En ciertos casos, incluso se utiliza la denominación de “microfallas” para describir fracturas de cizalla que presentan desplazamientos de magnitud milimétrica o centimétrica.
- **Diaclasas:** Se definen como una discontinuidad planar que es visible a escala mesoscópica y separa dos cuerpos rocosos sin que se aprecie un movimiento de cizalla (Bankwitz, 1966). Las diaclasas pueden formarse en un proceso de fractura continua o a través de una serie de rupturas continuas. Frecuentemente se identifican en familias con espaciados regulares, lo que permite su reconocimiento incluso en áreas con poca deformación. (Nickelsen y Hough, 1967), tienen una orientación general determinada dependiendo de las rocas en que las diaclasas se produzcan, por ejemplo, en las rocas sedimentarias. En la Figura 7 se observan los tipos de diaclasas, éstas se clasifican de acuerdo a la dirección de las aperturas.

Figura 7: Tipo de diaclasas.



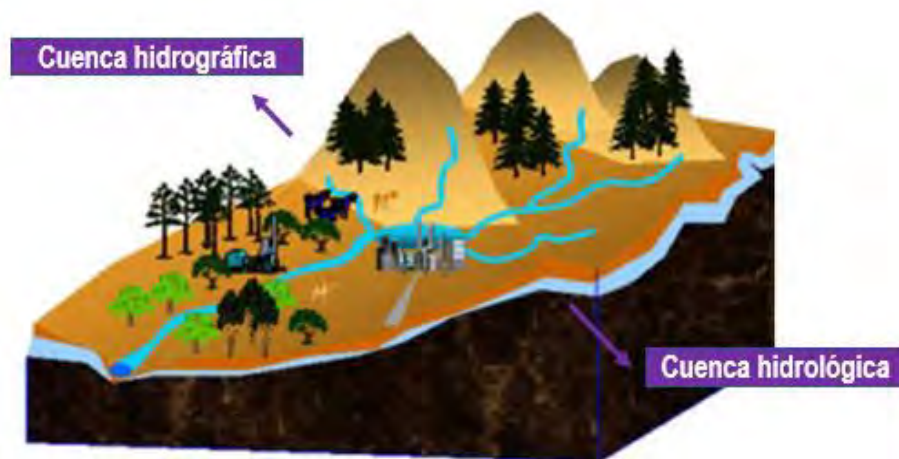
Fuente: W. Griem, 2020.

5. **Hidrología:** La hidrología es la ciencia geológica que estudia al agua, su circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente. Es importante porque proporciona los métodos para resolver problemas

prácticos que se presentan en el diseño, planeación y operación de estructuras hidráulicas (Villon, 2005).

6. **Cuenca:** Es una unidad del territorio en donde funciona la combinación de un subsistema hídrico que produce agua, simultáneamente con los subsistemas ecológico, económico, social y político (Muñoz, s/f). En términos generales, existen dos tipos de cuencas, las cuencas hidrográficas y las cuencas hidrológicas. Una cuenca hidrográfica, es el área de terreno que drena agua en un punto común, delimitada por los contornos o límites naturales. (Ordoñez, 2011). La Figura 8 muestra los tipos de cuenca.

Figura 8: *Tipos de cuenca.*



Nota: Modificado de Ordoñez, 2011.

7. **Precipitación (P):** La precipitación constituye un elemento esencial dentro del ciclo hidrológico, pues representa la fuente principal que lo alimenta. Se considera precipitación cuando el agua, en estado líquido o sólido, alcanza la superficie terrestre. Este proceso se caracteriza por ser discontinuo, ya que no presenta una ocurrencia regular, lo que impide describir su variación anual de la misma forma que en otros parámetros meteorológicos. Además, su distribución espacial y temporal muestra una alta irregularidad (Custodio & Llamas, 1983).

- 8. Escorrentía (R):** Se refiere al agua que fluye por los cauces de los ríos. Los volúmenes de agua que circulan en intervalos cortos de tiempo, generalmente segundos, se llaman caudales instantáneos del río en el punto de medición del cauce, y se expresan en metros cúbicos. Para intervalos de tiempo de más largos (días, semanas, meses o años) suele hablarse de aportaciones y el volumen de agua correspondiente suele expresarse generalmente en horas por metro cúbico (Martínez Alfaro et al., 2006).

$$R = \frac{31,536 * Q}{A}$$

Donde:

R = Escorrentía mm

Q = Caudal en m³/s

A = Área de drenaje km²

- 9. Temperatura:** La temperatura es la medida del potencial calorífico del agua, expresada en grados Celsius (°C). En aguas subterráneas, típicamente no experimenta variaciones significativas en un mismo punto del acuífero. Por lo general, su valor se alinea con la temperatura ambiental media anual aumentada por el gradiente geotérmico, que es aproximadamente de 1 °C por cada 30 metros de profundidad del pozo. (Martínez Alfaro et al., 2006).

- 10. Debris Flow Simulation 2d (Dfs 2d):** El modelado numérico de flujos de escombros y la calibración de parámetros de fricción se apoyan en el procedimiento DFS 2D, herramienta útil para analizar el comportamiento de estos flujos. Este modelo contempla tres tipos de reología, incorpora el efecto del arrastre, permite estimar parámetros de flujo en función del espacio y el tiempo y cuenta con una interfaz sencilla para la introducción de datos, almacenando los resultados en formatos interactivos. En el estudio se plantean dos nuevos métodos de calibración basados en el área de la sección transversal del flujo y en las

modificaciones topográficas generadas por los flujos de escombros, lo que contribuye a reducir los errores asociados a los modelos digitales de elevación de baja resolución. La comparación entre resultados simulados y observados confirma que DFS 2D ofrece resultados confiables para el modelamiento dinámico de flujos de escombros (Minu, A. et al., 2022)

Las simulaciones ayudan a visualizar el flujo junto con la magnitud de los parámetros del flujo (altura y velocidad) para diferentes condiciones límite, el modelo también estudia el efecto del arrastre del lecho, el cual es un factor importante para decidir el volumen de flujo final y su impacto en los obstáculos a lo largo del camino (Minu, A et al., 2022).

El modelo está implementado en Python y ha utilizado Tkinter (Moore, 2018) para desarrollar una interfaz fácil de usar tal como muestra la Figura 9 para ingresar los datos requeridos. Los resultados se guardan en diferentes formatos de archivo en una carpeta especificada por el usuario. La interfaz está diseñada en dos pestañas diferentes. La primera pestaña trata con los archivos de entrada y la reología, mientras que la segunda pestaña trata con los parámetros de entrada. Ambas pestañas contienen un botón 'INFO', que describe brevemente las entradas requeridas. Las entradas requeridas para la simulación y los resultados obtenidos se enumeran en la Tabla 3.

Figura 9: Interfaz para entrada de datos: (a) archivos ASCII y reología, y (b) entradas paramétricas.



Fuente: Minu, A et al., 2022.

Tabla 5: Lista de entradas requeridas y salidas obtenidas de DFS 2D.

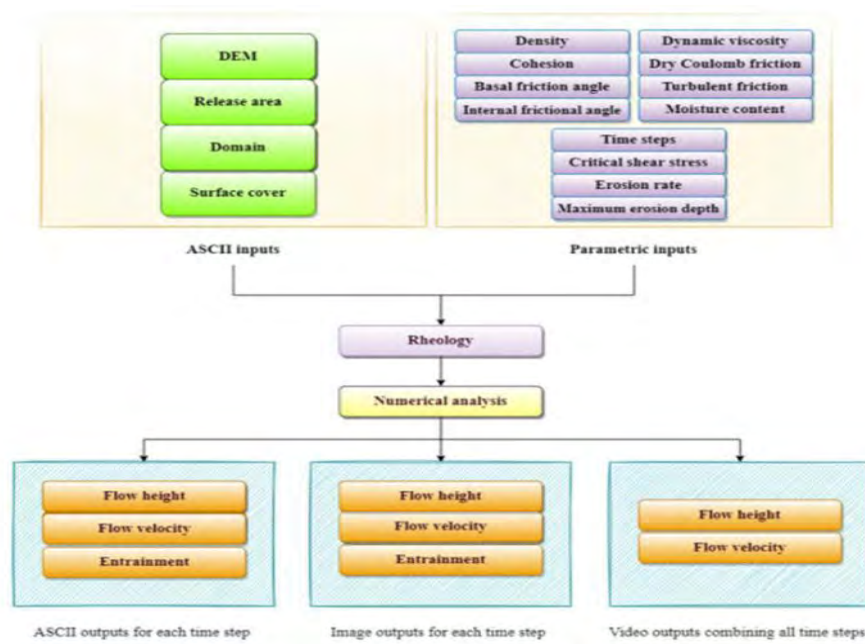
Entradas		Salidas
formato de cuadrícula ASCII	Parámetros	
DEM, dominio, área de liberación, cobertura de superficie	Parámetros del suelo: densidad, cohesión, ángulo de fricción interna, ángulo de fricción basal; Parámetros de arrastre: esfuerzo cortante crítico, profundidad máxima de erosión, tasa de erosión; Parámetros reológicos: viscosidad dinámica, fricción de Coulomb seco, fricción turbulenta, contenido de humedad	Altura del flujo, arrastre del lecho, velocidad del flujo.

Fuente: Minu, A et al., 2022.

Las entradas para el modelado pueden dividirse, de manera general, en archivos ASCII y en parámetros. Estos últimos se agrupan en parámetros del suelo, de arrastre y reológicos. Los parámetros del suelo se determinan a través de ensayos de laboratorio, mientras que los reológicos y de arrastre requieren calibración mediante el análisis retrospectivo de

eventos previos de flujo de escombros. Una vez calibrados, estos valores permiten estimar el comportamiento de futuros flujos de escombros. El funcionamiento de DFS 2D se puede resumir y mostrar en la Figura 10.

Figura 10: Diagrama esquemático que representa el flujo de trabajo de DFS 2D.



Fuente: Minu, A et al., 2022.

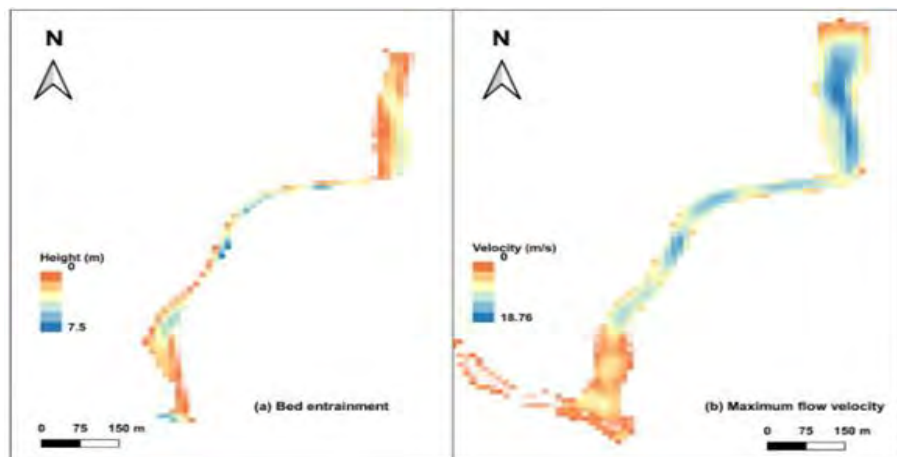
Los resultados se proporcionan en tres formatos diferentes:

- (1) Archivos .txt para cada paso de tiempo,
- (2) Mapa de calor en formato.jpg para cada paso de tiempo, y
- (3) Vídeo .mp4 que demuestra los cambios en cada paso de tiempo.

De los resultados, en la Figura 11, se puede entender para el caso del Barranco de Yindongzi, Sichuan, China usando DFS 2D, que la velocidad del flujo es máxima en el medio de las secciones transversales. Hacia los bordes, la velocidad disminuye y, finalmente, la dispersión lateral del flujo es limitada. A lo largo de una sección longitudinal, la velocidad primero aumenta y luego disminuye cuando el flujo cambia de dirección tal

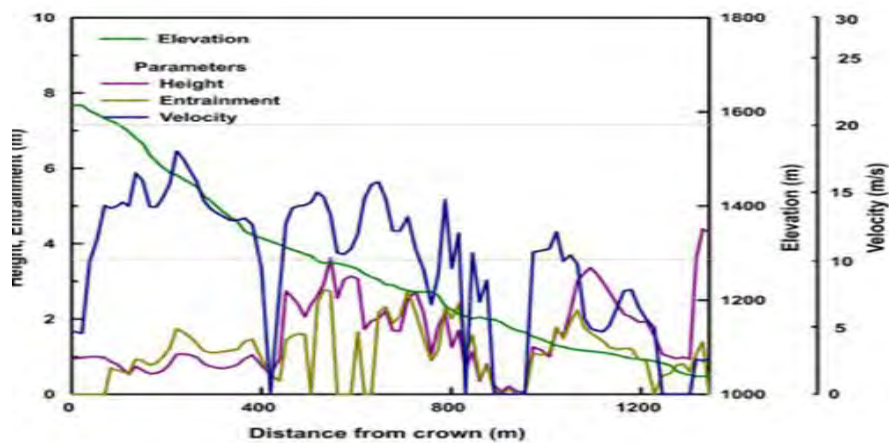
como muestra la Figura 11. En lugares más cercanos a la copa, el arrastre del lecho es mayor que la altura máxima del flujo, mientras que la altura del flujo es mayor que el arrastre del lecho en lugares más allá de 400 m de la copa.

Figura 11: *Parámetros de flujo calculados en cada celda.*



Fuente: Minu, A et al., 2022.

Figura 12: *Valores máximos de altura, velocidad y arrastre registrados a lo largo de la trayectoria del flujo.*



Fuente: Minu, A et al., 2022.

Por lo tanto, utilizando DFS 2D, podemos calcular la altura del flujo, la velocidad y el arrastre del lecho en cada celda y, a partir de los resultados obtenidos, se pueden calcular los impactos del flujo, la energía, etc. Esta información es crucial para diseñar

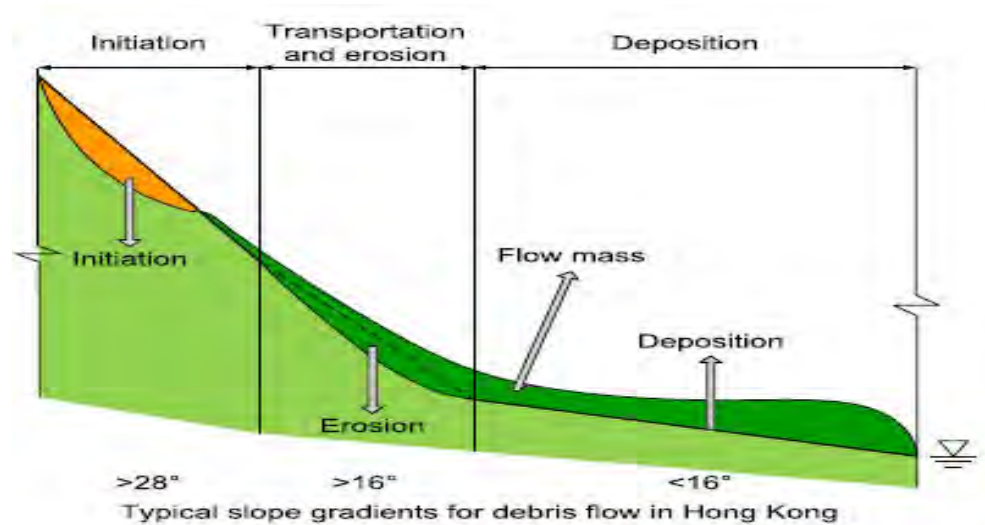
cualquier trabajo de mitigación a lo largo de la ruta del flujo de escombros (Bernard et al., 2019). La información también puede resultar útil en la evaluación cuantitativa del riesgo debido a flujos de escombros en cualquier estructura a lo largo del camino.

Este estudio introduce el modelo de simulación DFS 2D, diseñado para representar flujos de escombros con distintos niveles de humedad y tamaños de partículas, incorporando múltiples reologías. El modelo trabaja bajo condiciones de aguas someras, aplicando las ecuaciones de conservación de masa y momento, además de considerar el incremento de volumen por efecto del arrastre del lecho. Su interfaz gráfica permite cargar mapas DEM, dominios, áreas de liberación y coberturas superficiales en formato de cuadrícula ASCII, junto con parámetros reológicos, de arrastre y del suelo.

Los resultados evidencian que DFS 2D facilita la comprensión del escurrimiento de los flujos de escombros y que las técnicas de calibración implementadas mejoran el análisis retroactivo cuando se emplean DEM de baja resolución. Asimismo, el modelo es útil para ajustar parámetros en eventos históricos y proyectar el alcance de fallas futuras. Se reconoce que un flujo de escombros comprende cuatro fases: iniciación en la zona fuente, transporte del material, arrastre de sedimentos adicionales y deposición final.

Como se muestra en la Figura 13, uno o más de estos mecanismos pueden predominar en diferentes zonas a lo largo de la trayectoria de los escombros (Franks, 1999; Lo, 2000). La zona de flujo se puede dividir en tres partes: iniciación, transporte y erosión, y deposición. Los flujos de escombros a menudo se desencadenan por la transformación de deslizamientos de tierra, la erosión por escorrentía superficial o el colapso de una presa de deslizamientos de tierra (p. ej., Takahashi, 2009).

Figura 13: Zonas y mecanismos de flujos de escombros (adoptado de Franks, 1999).

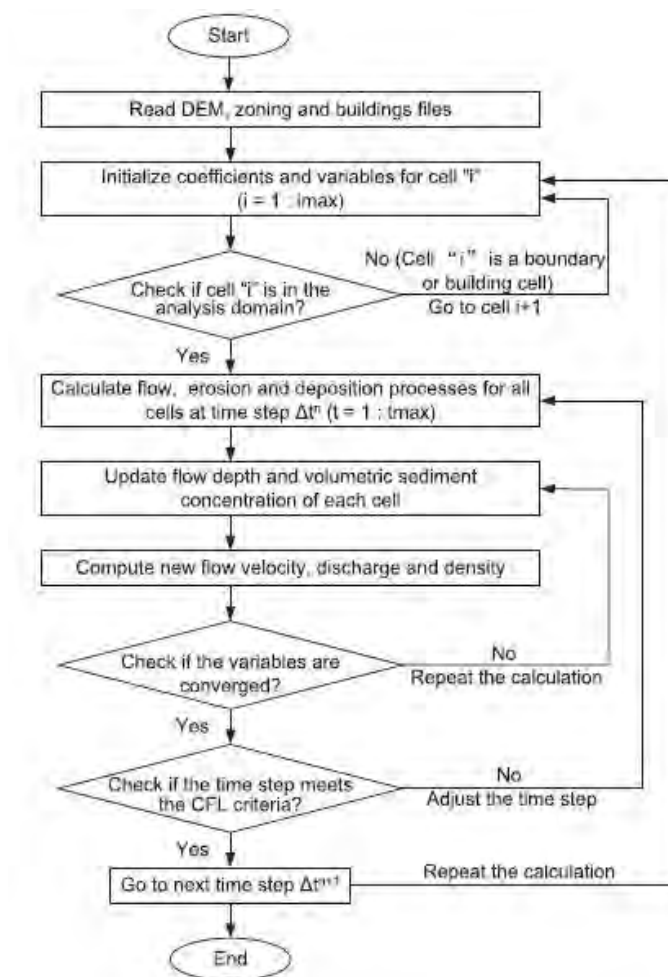


Fuente: L. Gao et al. / *Engineering Geology* 214 (2016) pag. 68.

11. Procedimiento de análisis

La estructura de la subrutina se muestra en la Figura 14. El dominio de análisis objetivo se discretiza primero en celdas con sus propiedades y parámetros asignados, como la elevación, el espesor de la capa erosionable, el coeficiente de Manning, etc. A continuación, se generan los archivos iniciales del modelo digital de elevación

Figura 14: Estructura del esquema computacional.



Fuente: L. Gao et al. / *Engineering Geology* 214 (2016) 67–78.

Los puntos de inicio y los hidrogramas correspondientes se pueden determinar con base en las trazas de flujo de detritos observadas y las reglas empíricas. El cálculo se inicia entonces celda por celda, paso a paso. En cada paso de tiempo, se calculan los procesos de flujo, erosión y deposición para cada celda del dominio de análisis. La profundidad del flujo, la velocidad del flujo, el caudal, la densidad y la concentración volumétrica de sedimentos para cada celda se calculan repetidamente hasta que estos valores convergen con desviaciones mínimas.

12. Movimientos En Masa: Es cualquier desplazamiento hacia abajo de una masa de roca, detritos o tierra debido a la influencia de la gravedad. (Cruden D., 1991) Algunos autores consideran que el agua y la gravedad son factores para su ocurrencia (Sharpe, 1938); sin embargo, otros (Croizer M., 1986) consideran que los movimientos en masa se desarrollan sin la ayuda del agua como agente de transporte y aún otros autores señalan que existe un tránsito gradual entre los procesos fluviales y los movimientos en masa (Bodoque, 2005). Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, se caracterizan por ser lentos, a veces casi imperceptibles y difusos, mientras que otros, como ciertos deslizamientos, pueden alcanzar velocidades elevadas y presentar límites definidos, los cuales están determinados por superficies de rotura (Croizer & Glade, 1999). En la Tabla 4 se diferencian los tipos de movimientos en masa, de acuerdo al material desplazado, la velocidad, el ambiente y los factores que los causan.

Tabla 6: *Tipos de movimientos en masa.*

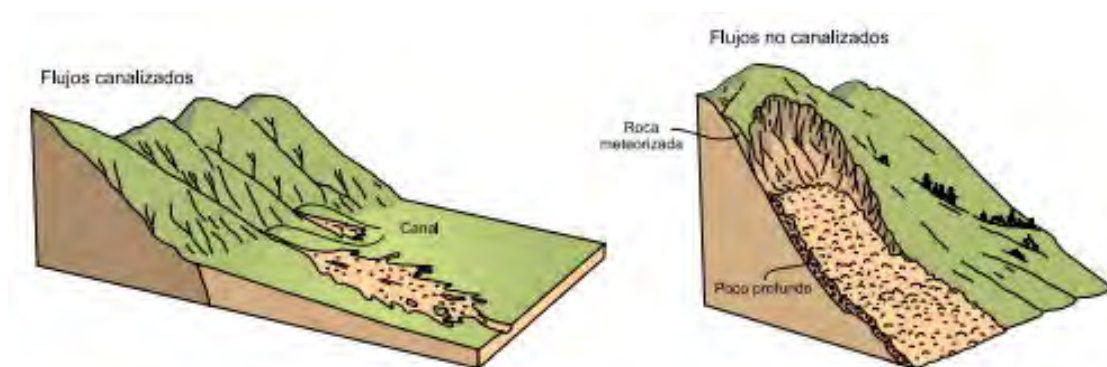
Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación 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 (SEGEMAR, 2007)

13. Flujo De Detritos (*Debris Flows*): El flujo de detritos se caracteriza por ser un movimiento extremadamente rápido de detritos saturados, que no es plástico (con un índice de plasticidad menor al 5%). Se origina a menudo como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras, o debido a la inestabilidad de segmentos del cauce en canales con fuertes pendientes (SEGEMAR, 2007) tal como muestra la Figura 15. Involucran volúmenes grandes de hasta 10.000 m³ de material grueso de diámetro variado que incluye bloques de rocas, derrubios y roca descompuesta. Generan trazas lineales bien definidas como un corredor alargado, con embudos o conos divergentes en los extremos, generalmente con conexión con la red de drenaje (INDECI, 2011).

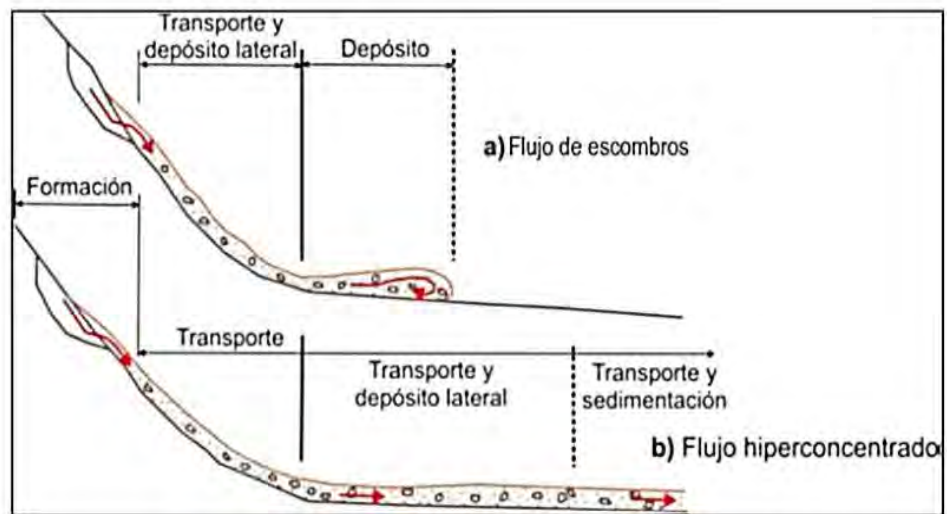
La forma de sus depósitos tiene rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canaletas en forma de u, trenes de bloques rocosos y bloques grandes individuales. La mayoría de estos flujos de material con índice de plasticidad menor al 5% alcanzan velocidades de movimiento extremadamente rápido (5 m/s) y por naturaleza tienen un alto poder destructivo. Durante su descenso, ya sea por un canal o no como se observa en la Figura 16, los flujos de detritos incorporan material saturado que se depositan en abanico de detritos.

Figura 15: *Flujos canalizados y no canalizados.*



Fuente: Cruden y Varnes (1996).

Figura 16: Esquema que ejemplifica en perfil los flujos asociados al desplazamiento de un lahar.



Nota: Modificado de Calvo, 2015.

CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGÍA

3.1 Geomorfología Regional

La zona de estudio se encuentra regionalmente en el borde noroeste del altiplano occidental, en el aspecto morfológico se caracteriza por ser una altiplanicie con altitudes que varían entre 3800 y 4000 msnm, aunque localmente algunas montañas pueden sobrepasar los 4400 msnm. Esta unidad está disectada por numerosos ríos, que le dan una configuración muy agreste, a pesar de ser parte del Altiplano. (Carlotto, et al., 2010: 12).

3.1.1. Unidades geomorfológicas regionales

En el Altiplano de Cusco (Carlotto, et al., 2010: 12) se distingue las siguientes unidades geomorfológicas locales:

- **Serranías del Vilcanota:**

Esta unidad se ubica al sur de la depresión de Cusco y están conformadas por cumbres alineadas en dirección NO-SE que se prolongan hasta Acomayo. Además, los relieves son relativamente accidentados cuando están cortados por los ríos Huatanay o Vilcanota, así como por las quebradas transversales NE-SO, si no es así, el relieve es bastante ondulado. (Carlotto, et al., 2010: 12)

- **Depresión de Huacarpay:**

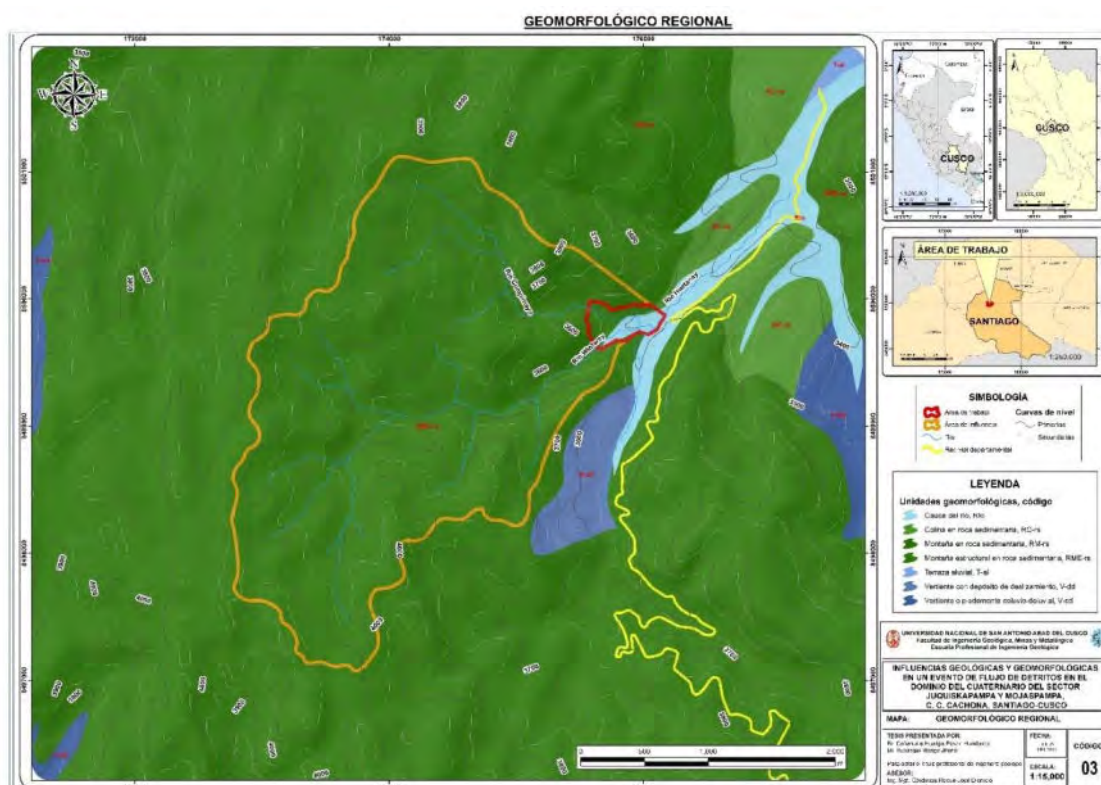
Con dirección NO-SE, longitud de 30 km y altura que va de 3400 a 3150 msnm; ella corresponde al actual valle del río Huatanay. El material de relleno es aluvial, lacustre y fluvial de edad pliocuaternaria. En realidad, corresponde a una cuenca de origen tectónico, ya que está controlada por las fallas aún activas de Cusco y Tambomachay. (Carlotto, et al., 2010: 12).

Figura 17: Unidades geomorfológicas locales del cuadrángulo del Cusco (28s-IV).



Fuente: Carlotto, et al., 2010: 12.

Figura 18: Mapa geomorfológico regional.



3.2. Geomorfología Local

3.2.1. Unidades geomorfológicas locales

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas locales, se tomó de base el mapa geomorfológico regional, donde se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019). Complementando con imágenes satelitales a detalle, cabe mencionar que la zona de estudio se encuentra en geoformas que forman las quebradas de Juquiskapampa y Wintaray, entre estas unidades tenemos vertiente de laderas, cono de deyección, lecho de río y/o quebradas, y terrazas aluviales, fluviales y deluviales. A continuación, se realiza una descripción:

3.2.1.1. Cauce río y/o lecho de quebrada

Se trata de la parte más baja de las quebradas, por donde discurre el río, compuesto principalmente de material fluvial, estas geoformas se limitan al encañonamiento o ancho del valle. Estos son espacios donde se desarrollan procesos de erosión, transporte y sedimentación. En el sector de Juquiskapampa y Mojas pampa se presentan dos principales cauces de río: Ccompimayo y Wintaray tal como muestra la Figura 19.

Figura 19: Cauce de río perteneciente a la quebrada Ccompimayo.



3.2.1.2. Conos de deyección

Los conos de deyección en la zona de estudio se encuentran formados por el transporte de sedimentos producidos por los ríos Juquiskapampa y Wintaray, hacia las zonas con pendientes planas a inclinadas ligeramente, en su mayoría hacia las áreas de piso de valle aluviales donde se encuentra nivelado el relieve hasta el nivel de la trocha carrozable, compuestos principalmente por depósitos coluviales y aluviales.

Figura 20: Viviendas asentadas en el cono de deyección de material aluvial.



Sin embargo, estos conos pueden aumentar el riesgo de inundaciones especialmente durante las crecidas de los ríos, ya que la acumulación de sedimentos puede obstruir el curso del río. Además, en los conos de deyección se encuentra asentado viviendas del sector de Juquiskapampa y Mojaspampa.

3.2.1.3. Laderas de roca sedimentaria

Las laderas de roca sedimentaria se caracterizan por presentar relieves modelados en afloramientos rocosos (INGEMMET, 2009), con pendientes moderadas a fuertes tal como muestra la Figura 21. Cabe mencionar que en las vertientes o laderas de los interfluvios ocurren procesos que denudan el relieve específicamente la gravedad y procesos gravitacionales debido a la acción de aguas pluviales que alteran la petrología de la zona. Denominaremos a los primeros, deslizamientos y a los segundos, flujos. Ubicados hacia las partes altas de las quebradas.

Figura 21: Vertientes de laderas en roca sedimentaria.



3.2.1.4. Terraza aluvial

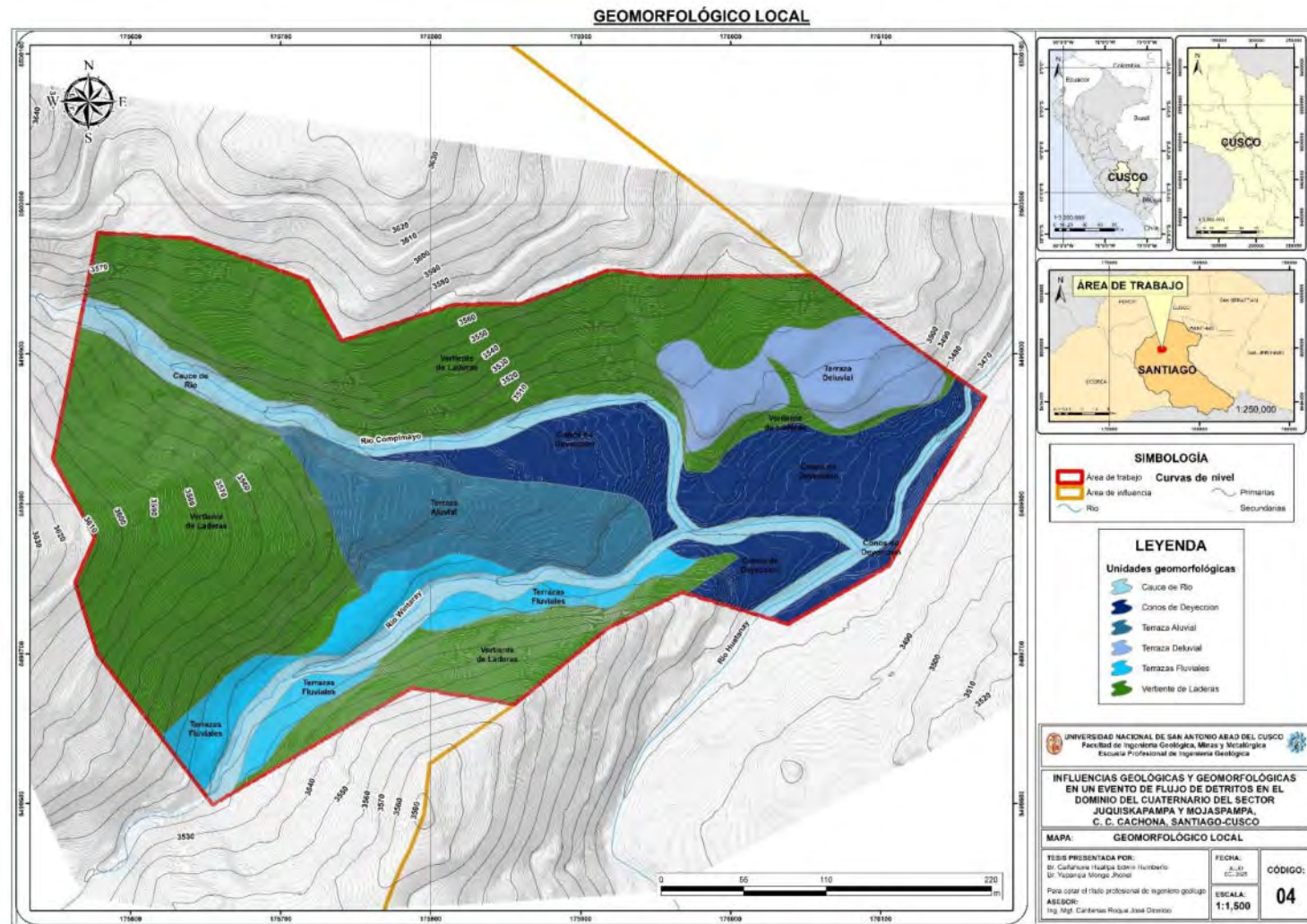
Las terrazas aluviales formadas cuando la corriente llena un valle con sedimentos y erosiona después su cauce a un nivel inferior. La generación puede ser causada por un cambio de eventos atípicos que conduzca a un incremento en la capacidad de la corriente o a una disminución en su descarga.

En la zona de estudio presentan pendientes sub horizontales, compuesto por una mezcla de fragmentos de diferente geometría y de diversas procedencias, del tipo redondeados a subredondeados, de origen aluvial, fluvial y deluvial formadas principalmente por las corrientes de los ríos Wintaray y Compimayo, así mismo del rio Huatanay.

Figura 22: Terrazas aluviales, con viviendas asentadas.



Figura 23: Mapa geomorfológico local.



3.3. MODELO GEOMORFOLÓGICO

Para comprender mejor la dinámica de la zona de estudio, se realizó el modelado geomorfológico, el cual permite identificar cómo el relieve influye en el flujo de detritos. Se caracterizaron y mapearon formas como vertientes, conos de deyección, quebradas y terrazas, que determinan las zonas de inicio, las rutas de transporte y los puntos de deposición. Las pendientes pronunciadas y los cauces encajonados favorecen flujos rápidos y erosivos, mientras que los ensanchamientos y cambios de gradiente reducen su energía y promueven la acumulación, las cuales se presentan a continuación:

Figura 24: *Vista en 3D del relieve de la zona de estudio con vista hacia el oeste.*



Figura 25: *Vista en 3D del relieve de la zona de estudio con vista hacia el noroeste.*



Figura 26: *Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el oeste.*

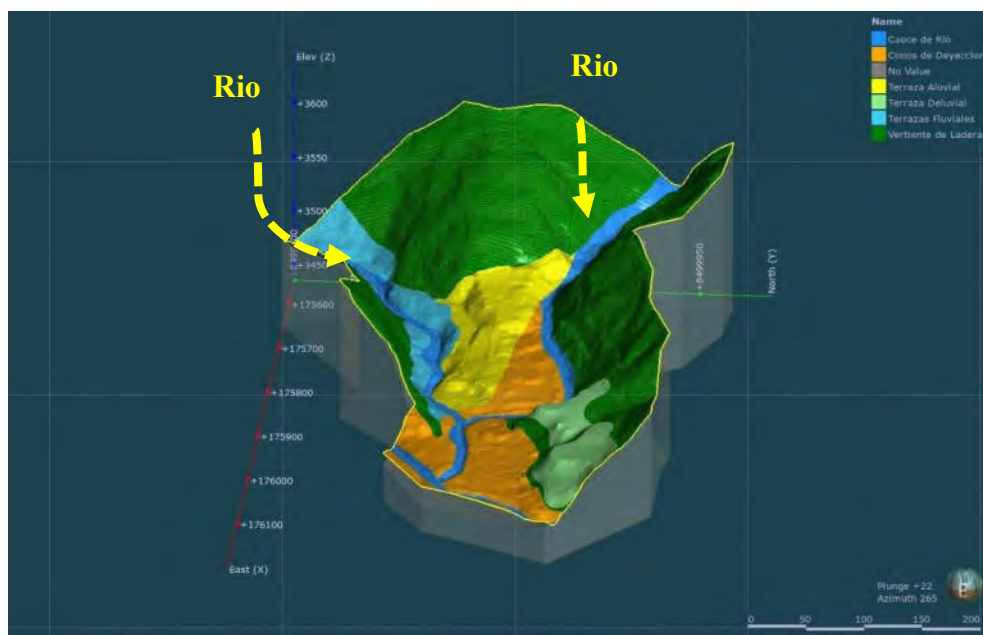


Figura 27: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el noroeste.

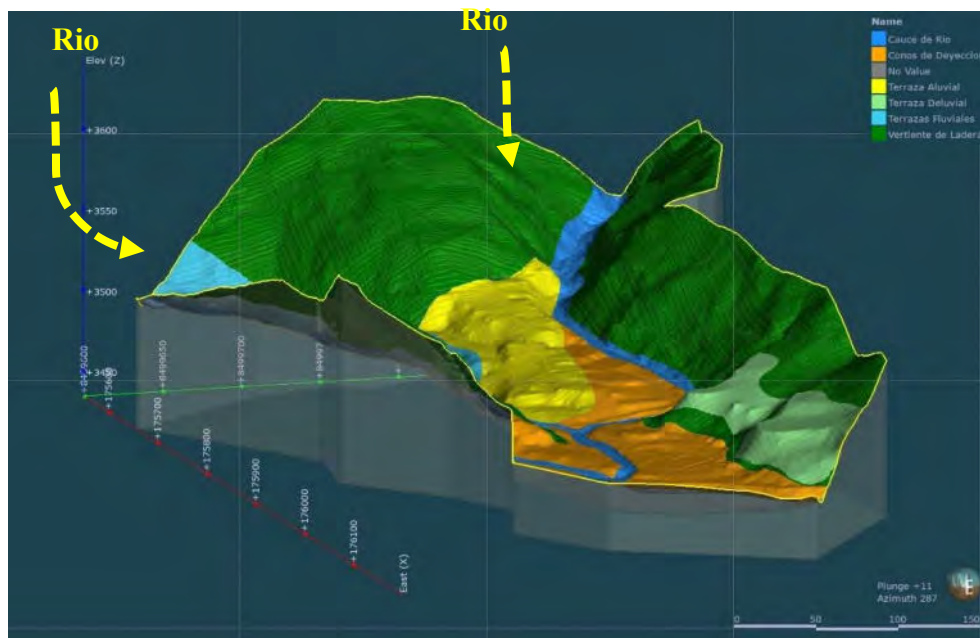


Figura 28: Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el suroeste.

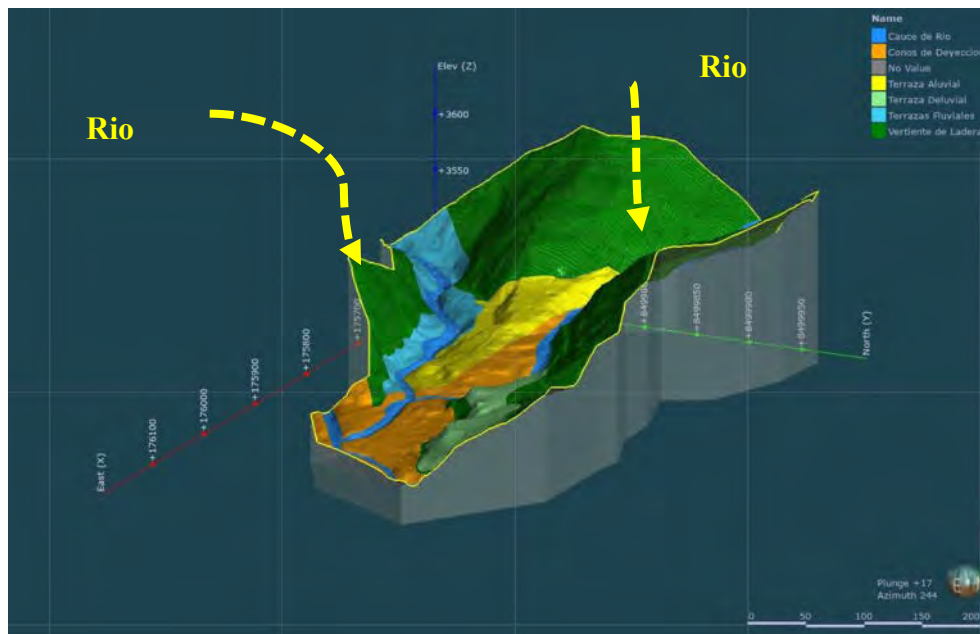
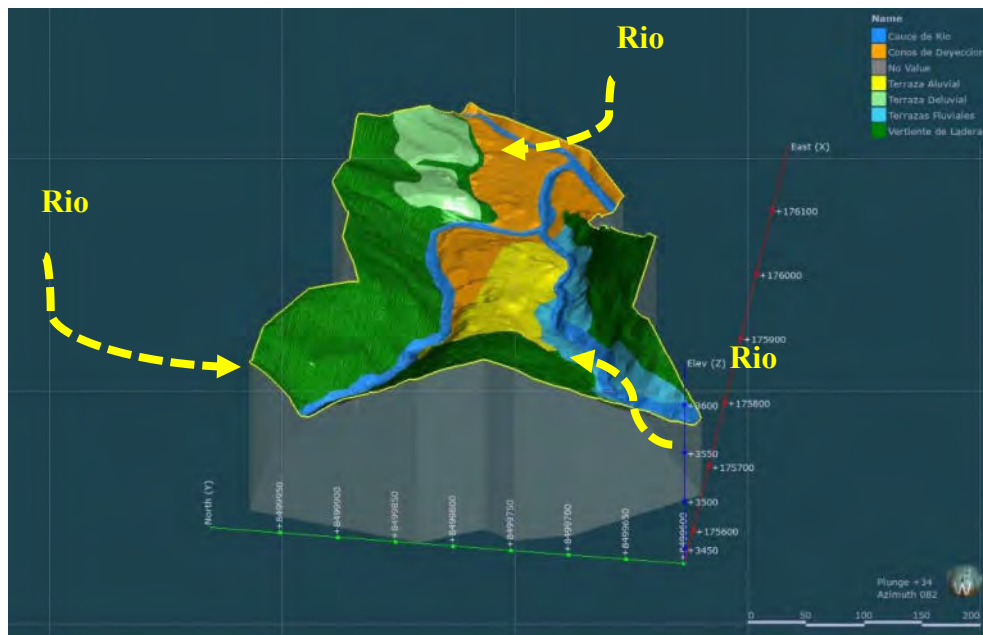


Figura 29: *Modelo geomorfológico de la zona de estudio con vista hacia el este.*



3.3. Topografía Y Pendiente

La topografía de la zona de estudio fue caracterizada mediante un análisis integrado de ortofotos de alta precisión, que incluyó imágenes fotogramétricas captadas con dron en enero del 2025. Estas imágenes permitieron generar un modelo de elevación (DEM) y curvas de nivel con intervalos de 1.0 m y 0.5 m, facilitando la identificación de la diversidad de pendientes del relieve.

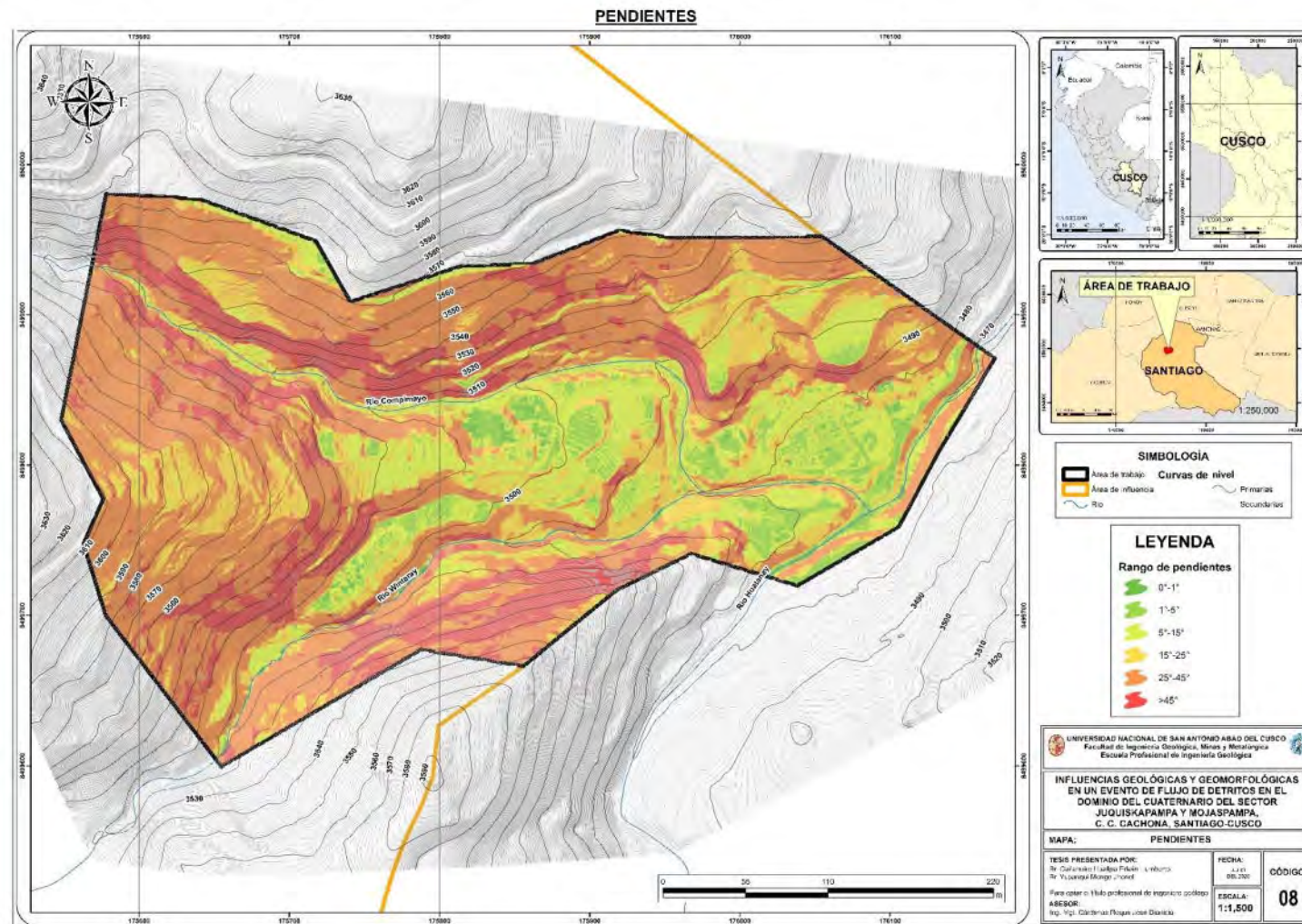
A partir de esta información, se elaboró un mapa de pendientes con base en el perfil topográfico integrado. En las zonas de mayor interés de la zona de estudio, se emplearon curvas de nivel equidistantes cada 1.0 m, complementadas con un modelo digital de elevación de resolución espacial de 12.5 m (ASF Data Search, 2023).

La clasificación de pendientes se realizó siguiendo la propuesta metodológica de Serrano et al. (2004), que establece seis rangos o grados de inclinación.

Tabla 7: *Clasificación de Pendientes.*

Rango	Unidad de pendiente
<5°	Terrenos llanos y pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpado
>45°	Pendiente muy escarpada

Figura 30: Mapa de pendientes de la zona de estudio.

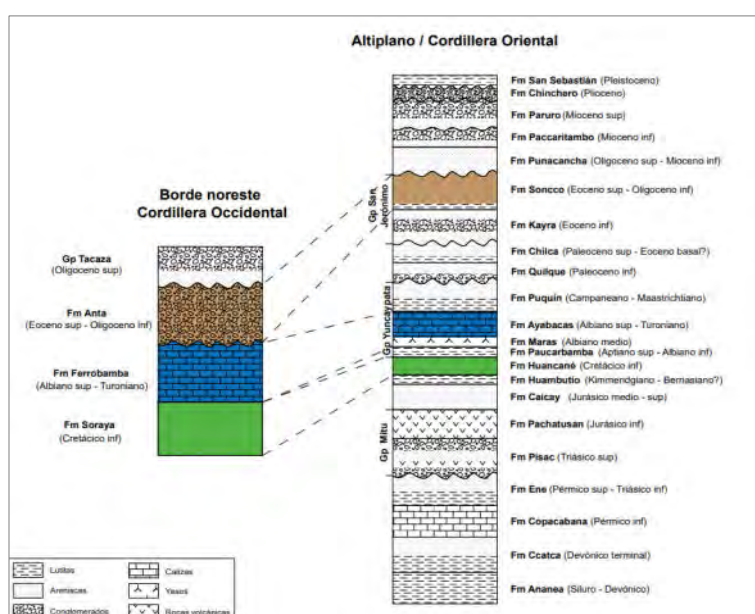


CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA

4.1. Geología Regional

Según el cuadrángulo geológico de Cusco (28-s) – (Carlotto et al., 2011), regionalmente, la zona de estudio se encuentra constituida por litologías de rocas sedimentarias, ya que se encuentra en el borde noroeste del altiplano occidental, donde resalta la presencia de la formación Kayra formación San Sebastián y depósitos cuaternarios, en la 28, se observa que la región del Cusco presenta unidades estratigráficas que van desde el Silúrico-Devónico al Pleistoceno.

Figura 31: Columna estratigráfica del Altiplano y el borde NE de la Cordillera Oriental presentes en la región del Cusco.



Fuente: Carlotto et al., (2011)

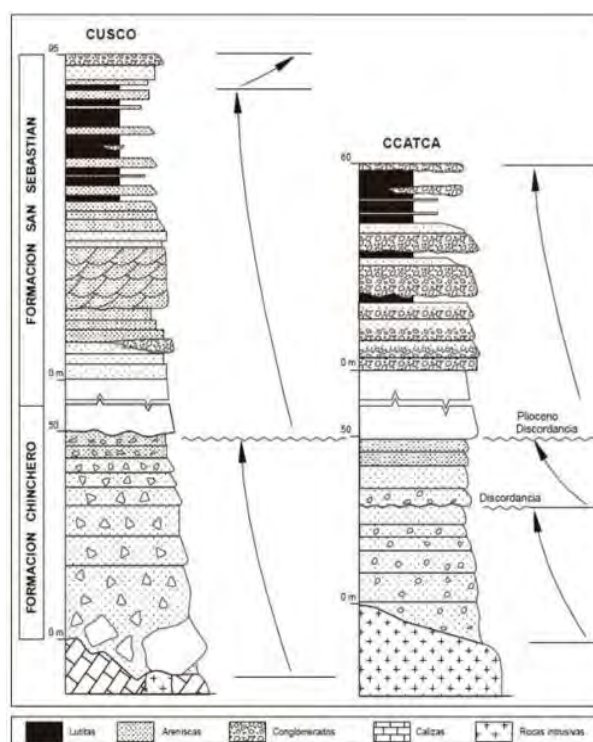
4.1.1. Formación Kayra

Está compuesta principalmente por areniscas feldespáticas intercaladas con lutitas rojas, depositadas en un ambiente fluvial entrelazado y de llanura de inundación. En los niveles superiores, se observan areniscas más gruesas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos, característicos de sistemas fluviales altamente entrelazados. (Carlotto, et al., 2011)

4.1.2. Formación San Sebastián

La Formación San Sebastián, conformada por un grupo de secuencias no consolidadas de areniscas fluviales y lutitas lacustres o palustres con niveles diatomíticos y calcáreos y otro grupo de conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales con presencia de estructuras compresivas sin sedimentarias (ver Figura 32).

Figura 32: Columna estratigráfica de la Formación San Sebastián.

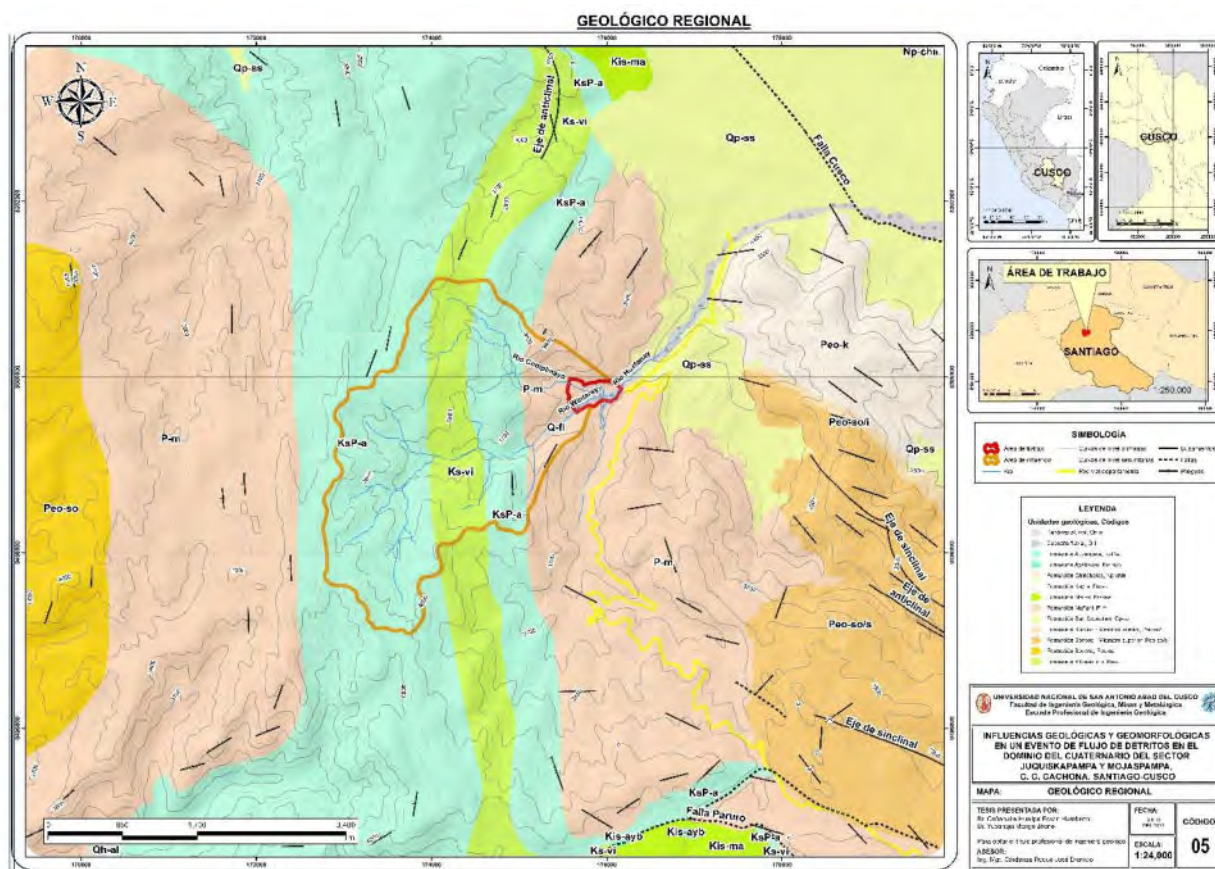


Nota: Modificado de Cabrera (1988) / Cuadrángulo geológico 28-s4 / INGEMMET.

4.1.3. Depósitos Cuaternarios

Regionalmente, los depósitos cuaternarios presentes en la zona de estudio incluyen depósitos aluviales y fluviales. Los aluviales se localizan principalmente en las desembocaduras de las quebradas, a lo largo de los cauces principales, y están compuestos por bolones y grava de arenisca en una matriz areno-arcillosa. Asimismo, los depósitos fluviales se encuentran en los fondos de las quebradas y están conformados por bancos de gravas y arenas.

Figura 33: *Mapa Geológico regional.*



4.2. Geología Local

Para caracterizar las condiciones geológicas locales, se llevó a cabo un reconocimiento en campo utilizando como base el mapa geológico a escala 1:50 000 del cuadrángulo de Cusco (28-S), elaborado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Este estudio permitió identificar las principales unidades litoestratigráficas de la zona, entre las que se encuentran el Grupo San Jerónimo, representado por la Formación Kayra; la Formación San Sebastián; y los depósitos cuaternarios, conformados por materiales fluviales, coluviales, deluviales y aluviales. Estos elementos se ilustran en la Figura 58 y se describen a continuación en orden cronológico.

4.2.1. Grupo San Jerónimo

Formación Kayra (Peo – ky): Eoceno Inferior

Esta formación constituye el basamento rocoso de la zona de estudio cuya composición primordial, presenta areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, depositadas en un ambiente fluvial entrelazado y de llanura de inundación. Su afloramiento se localiza principalmente en las vertientes de ladera dentro del área evaluada.

En las Figura 34 y Figura 35 se presenta la composición litológica predominante de la Formación Kayra, la cual está conformada principalmente por areniscas feldespáticas con intercalaciones de lutitas. Esta unidad ha sido afectada por diversos procesos geológicos posteriores, destacando el fracturamiento en múltiples familias estructurales, probablemente asociado a eventos tectónicos regionales. Asimismo, se observan evidencias de procesos de erosión diferencial que han modelado su superficie.

Figura 34: *Afloramiento de areniscas feldespática fracturadas y muy fracturadas perteneciente a la Formación Kayra.*



Figura 35: Areniscas feldespáticas con presencia de clastos blandos y diferentes familias de fracturamiento en la Formación Kayra.



Para una mejor interpretación de los afloramientos de la Formación Kayra, se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica que se describe a continuación:

Tabla 8: Coordenadas de la columna estratigráfica CE N-01

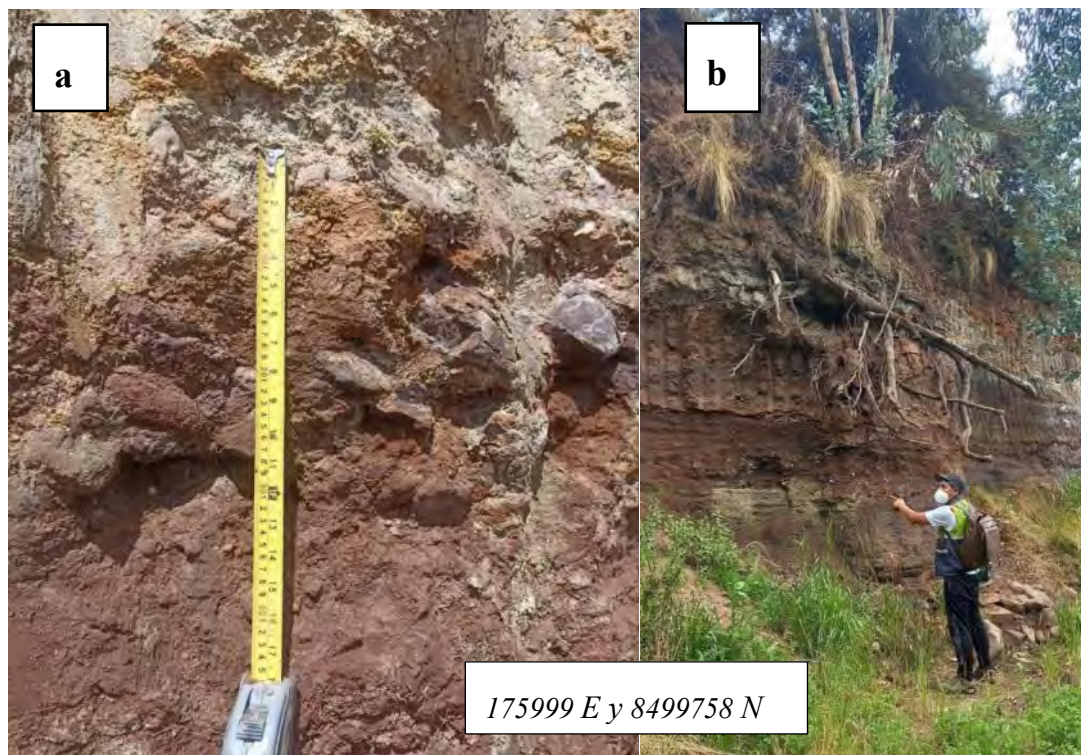
Código	Coordenadas X	Coordenadas Y
CE N-01	175965.00 m E	8499856.00 m S

En la Figura 36 se muestra la columna estratigráfica CE N-01, levantada con una longitud de 36, muestra una sucesión de rocas sedimentarias, desde la base, areniscas de color grisáceo con intercalaciones de lutitas de 12 cm de espesor, seguida de areniscas rojo blanquecinos con intercalaciones de conglomerado de 8 cm de espesor y con lutitas, presenta de clastos en la base. Un poco más arriba de la parte intermedia se identificó un estrato con falla que tiene un espesor de 3 metros con Rumbo de N182 y buzamiento de 82 NW y finalmente, una arenisca de color verde con niveles de lutita, intercalación de lutitas y arenisca. Las relaciones entre las unidades son discordantes, lo que indica una posible erosión en la zona.

4.2.2. Formación San Sebastián (Q – Sa): Pleistoceno

Conforme el Boletín N°55 serie C de Neo tectónica y Peligro Sísmico en la región Cusco-INGEMMET, se identifican 5 secuencias que aparecen en la sedimentación de la Formación San Sebastián. Para la zona de estudio se identificó la Secuencia II relacionado a un medio sedimentario fluvial, compuesto principalmente por niveles de gravas, arenas con laminaciones entrecruzadas, intercaladas con limos y arcillas, Así mismo se observaron algunos niveles de oxidación en arenas y gravas que estarían relacionados a una zona expuesta de no depositación relacionado a una incisión fluvial, que refleja una superficie regresiva del nivel de base. Se encuentran ubicados hacia el norte de la quebrada Wintaray en el sector de Mojaspampa.

Figura 38: a) *Secuencia limo arcillosas perteneciente a la formación San Sebastián y b) secuencia grano decreciente con base de limos arcillosas y techo con clastos de roca.*



Para una mejor interpretación de la Formación San Sebastián, se levantaron columnas estratigráficas con coordenadas que se describen en la Tabla 7:

Tabla 9: *Coordenadas de las columnas estratigráficas levantadas sobre la Formación San Sebastián*

Código	Coordenadas X	Coordenadas Y
CE N-04	176006.00	8499760.00
CE N-05	175987.00	8499754.00

La Figura 39 muestra la columna estratigráfica CE N-04, levantada con una longitud de 2.75 metros sobre la formación San Sebastián, muestra una secuencia en la base de gravas limo arcillosos de color rojo, seguido de arenas de grano gruesas con presencia de clastos de color rojo y negro, arena de grano media y arena de grano fina de color marrón, finalmente en la parte superior se aprecian estratos compuesto por limo arenoso con presencia de arcillas. Según la descripción de la columna estratigráfica podemos decir que se encuentra definido por secuencias deposicionales.

La Figura 41 muestra la columna estratigráfica CE N-05, levantada con una longitud de 2.92 metros sobre la Formación San Sebastián, se aprecia una sucesión de: en la base muestra gravas con matriz arcilloso de color marrón con presencia de clastos, seguido de arcilla limosa de color gris hacia la parte media, finalmente hacia la parte superior se aprecia arcilla con lentes de limo de color negro y arena de grano medio de color amarillo.

Figura 39: Representación gráfica de la CE N-04, perteneciente a la Formación San Sebastián.

Figura 40: Formación San Sebastián donde se levantó la columna estratigráfica CE N-04.

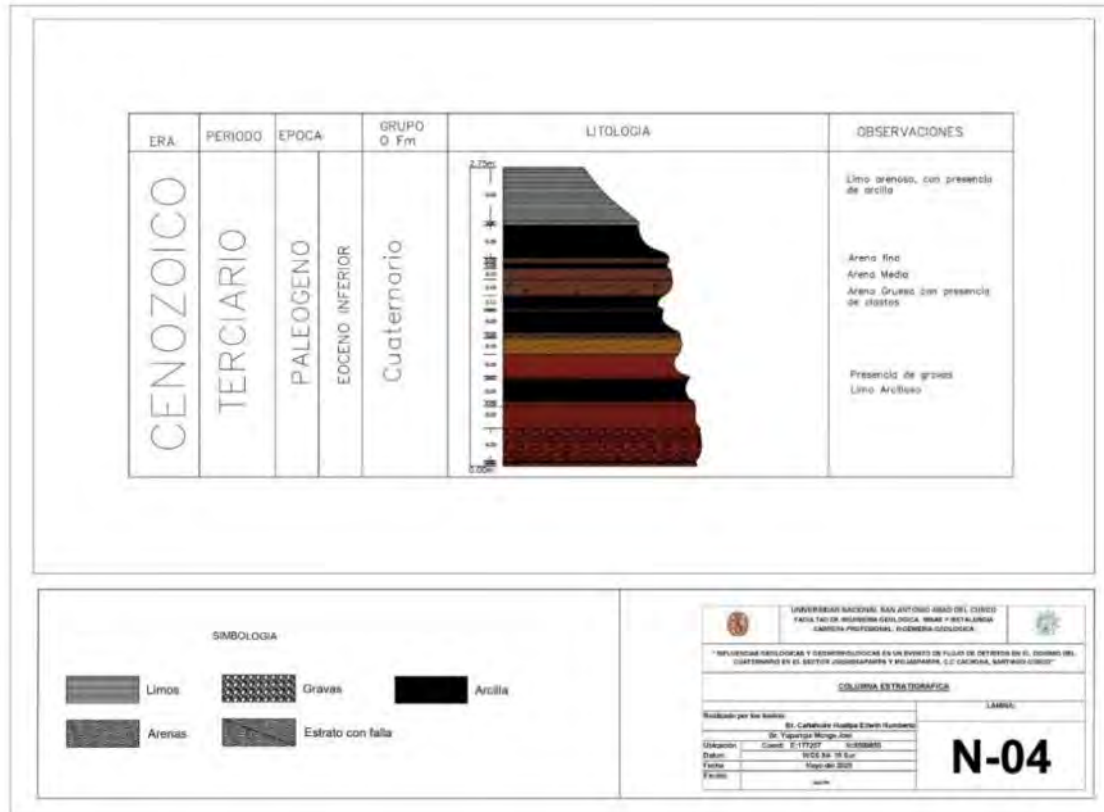


Figura 41: Representación gráfica de la CE N-05, perteneciente a la Formación San Sebastián.

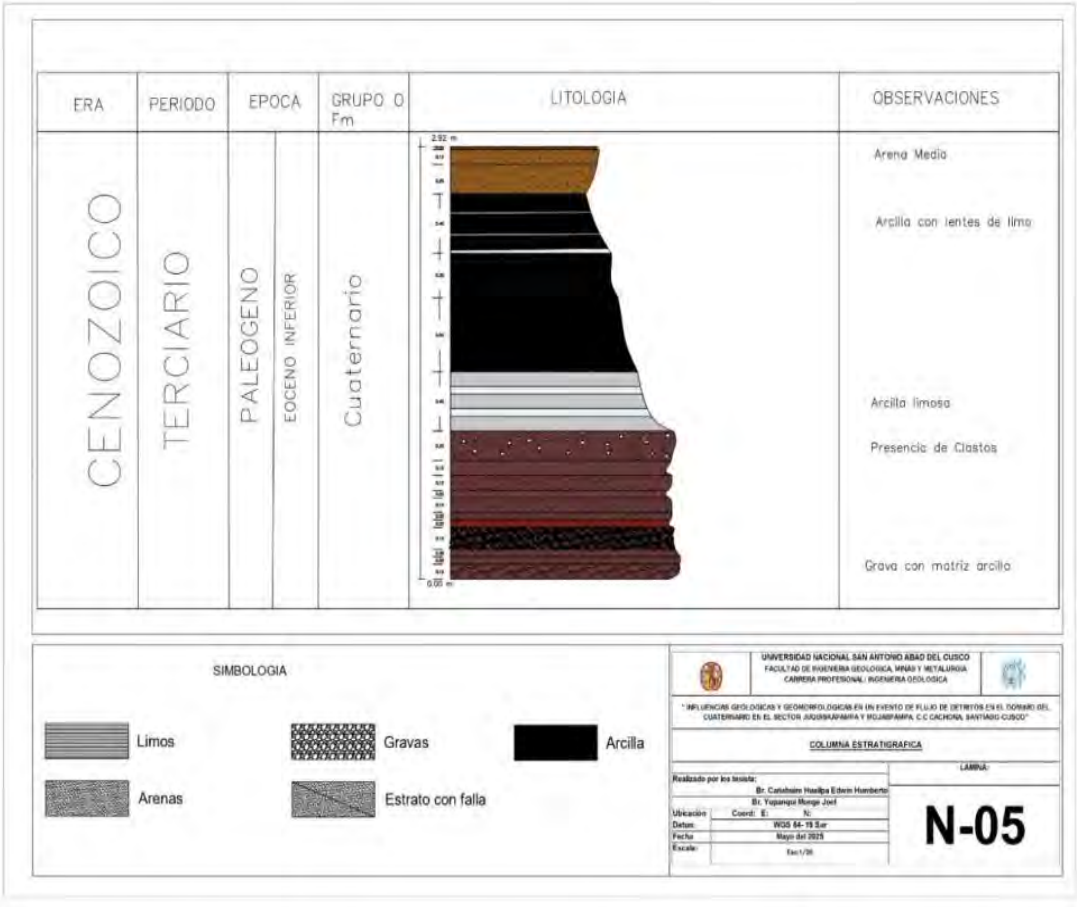


Figura 42: Formación San Sebastián donde se levantó la columna estratigráfica CE N-05.



4.2.5. Depósitos fluviales (Q-fl)

Son corrientes de agua de principales ríos. Compuesto por fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantos, etc.), depositadas en terrazas o playas en los fondos de los valles y que han sido traídas por los ríos a grandes distancias, transportadas por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación.

En la zona de estudio, estos depósitos son muy recientes ubicados a lo largo del curso de los riachuelos Ccompimayo y Wintaray, así mismo del río Huatanay conformados principalmente por secuencias de arenas y gravas.

Figura 43: *Depósitos fluviales en el río Ccompimayo.*



4.2.3. Depósitos aluviales (Q – al)

Los depósitos aluviales constituyen los materiales transportados por acción de la gravedad y agua de las laderas de la formación Kayra tal como se muestra en la Foto 44b, compuestos principalmente de gravas en una matriz de limo y arcilla ubicados en el lecho de las quebradas Juquiskapampa y Wintaray, así mismo, se identificó depósitos aluviales antiguos y recientes. Cabe

mencionar que estos depósitos en algunos lugares se encuentran cubiertos por material antropico, los cuales fueron removidos de las laderas y posteriormente depositados en el pie de las quebradas.

Figura 44: a) *Depósito aluvial antiguo* y b) *depósitos aluviales proveniente de la Formación Kayra*.

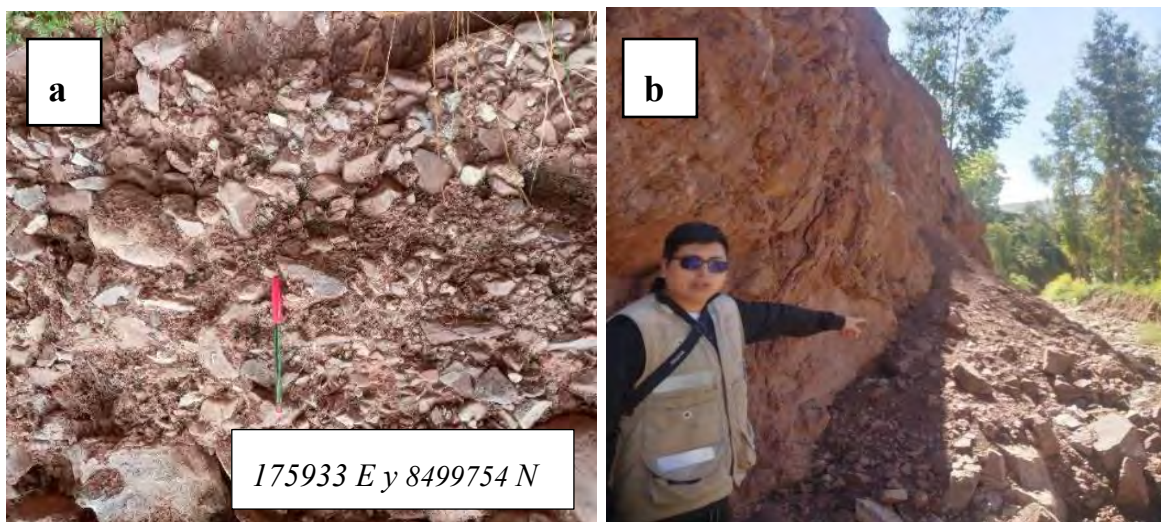
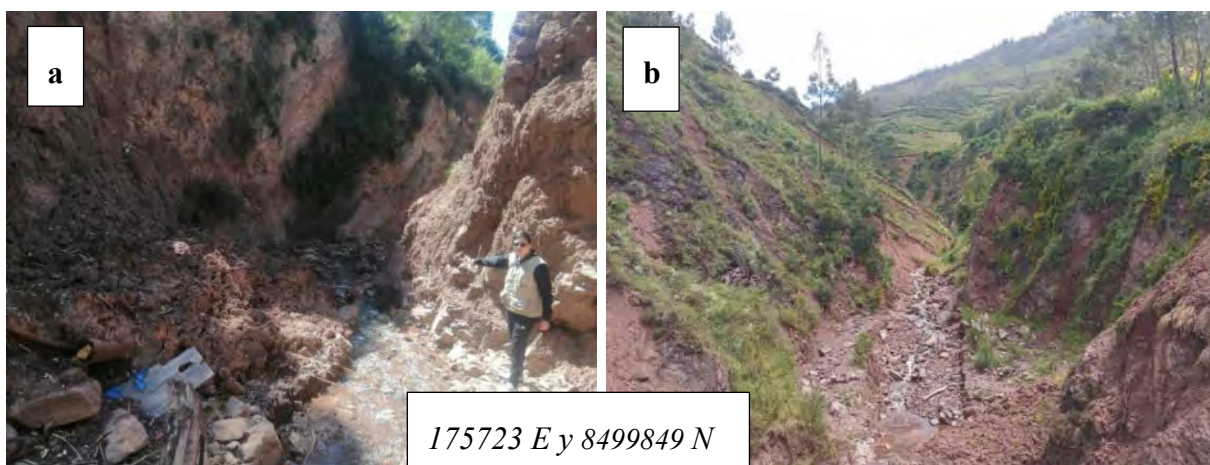


Figura 45: a) *Depósitos aluviales del rio Huatanay*, b) *depósitos aluviales del rio Ccompimayo*.



Para tener una idea más clara sobre los depósitos aluviales se realizó el levantamiento de columnas estratigráficas, con coordenadas que se describe en la Tabla 8.

Tabla 10: *Coordenadas de las columnas estratigráficas levantadas sobre depósitos aluviales.*

Código	Coordenadas X	Coordenadas Y
CE N-02	175944.00	8499742.00
CE N-03	175824.00	8499805.00
CE N-07	175949.00	8499777.00

La Figura 47 muestra la columna estratigráfica CE N-02, levantada con una longitud de 8.40, muestra una sucesión estratigráfica: en la base, se aprecia material coluvial de color marrón de clastos angulosos con un espesor de 2 metros, en la parte intermedia se aprecian clastos de hasta 40 cm de tamaño, gravilla y arenas limosa con presencia de clastos de color marrón amarillento, finalmente en la parte superior se observan clastos con diámetros de hasta 18 cm con matriz arenosa y clastos subredondeados de color marrón.

La Figura 49 muestra la columna estratigráfica CE N-03, levantada con una longitud de 5.30 metros se aprecia en la base estratos perteneciente a la Formación Kayra como arenisca con rumbo 215N y buzamiento de 56NW, seguido de arenisca con matriz de arcilla, en la parte intermedia muestra deposito aluvial con un espesor de 2.30 metros constituido de bloques de arenisca redondeadas de 50 cm de diámetro procedente de la Formación Quilque, finalmente en la parte superior se aprecia depósitos aluviales de conglomerados con matriz arcillosa con un espesor de 0.40 cm de color negro.

La Figura 51 muestra la columna estratigráfica CE N-07, levantada con una longitud de 3.70 metros sobre depósitos aluviales, muestra una secuencia de limos, arcilla, arena y gravas en la base un estrato de 80 cm con presencia de clastos angulosos, cantos y bloques, seguido de un estrato con presencia de clastos angulosos con diámetros mayores a 20 cm, en la parte intermedia se aprecia un estrato con espesor de 1.80 m con clastos angulosos cantos y bloques, finalmente hacia la parte superior se encuentra cobertura vegetal con un espesor de 45 cm.

Figura 46: *Fragmentos de diversos tamaños con matriz fina perteneciente a depósitos aluviales.*



Figura 47: Representación gráfica de CE N-02 de depósitos aluviales.

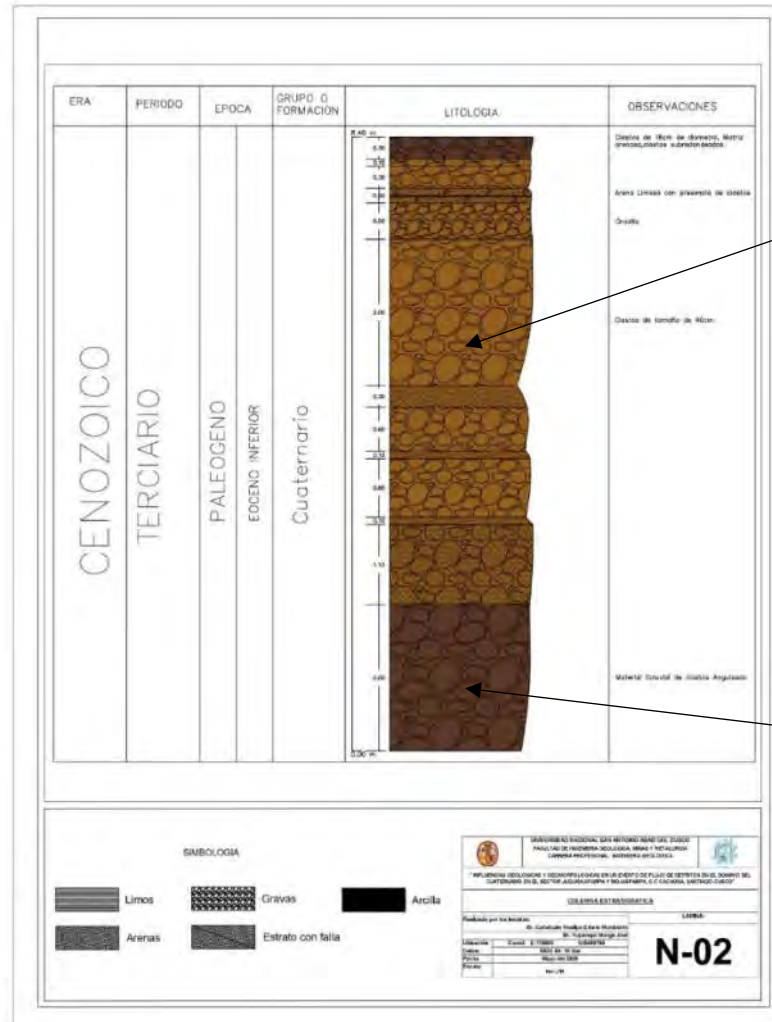


Figura 48: Depósitos aluviales donde se levantó la CE N-02.

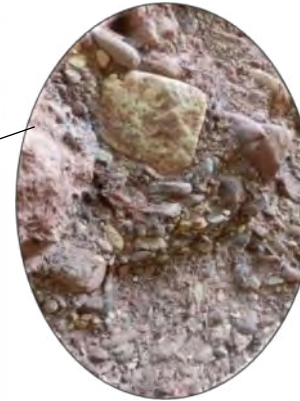


Figura 49: Representación gráfica de la CE N-03 correspondientes a depósitos aluviales.

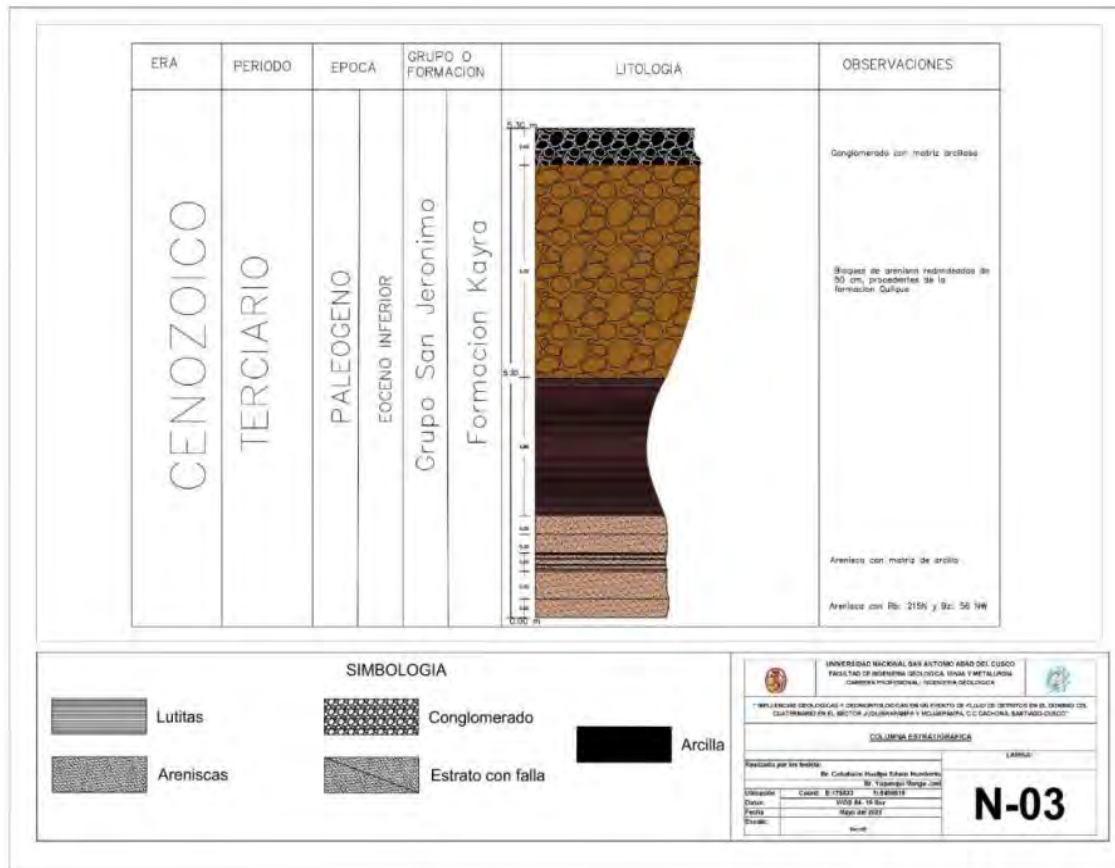


Figura 50: Formación Kayra la base y la parte superior depósitos aluviales donde se levantó la CE N-03.



Figura 51: Representación gráfica de la CE N-07 correspondientes a depósitos aluviales.

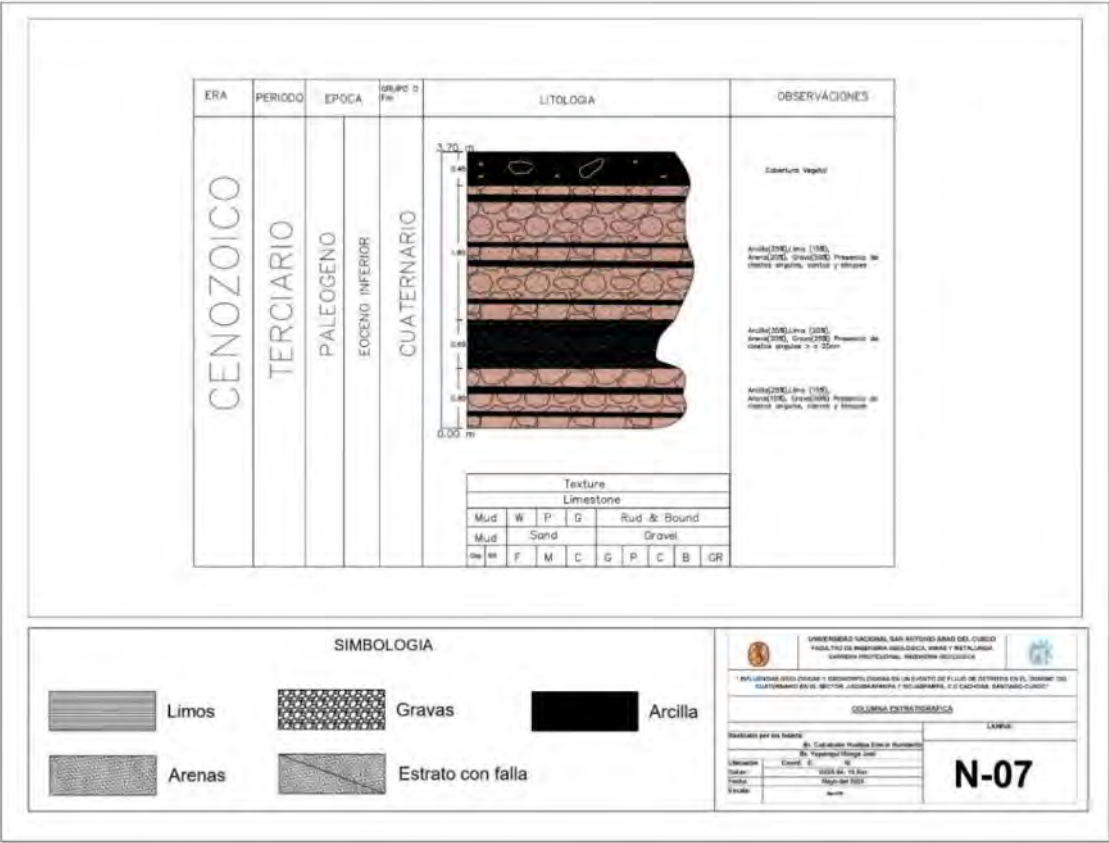


Figura 52: Formación Kayra en la base y la parte superior depósitos aluviales donde se levantó la CE N-03.



4.2.6. Depósitos coluviales (Q-cl)

Su origen es la acumulación de materiales heterogéneos de diverso tamaño sin embargo muy angulosos, presenta rocas con mediano transporte y partículas de suelo, que proceden de deslizamientos, derrumbes y flujos lodosos, los cuales son distribuidos caóticamente y sin estratificación, se localizan al pie de las laderas en forma de conos. En la zona de estudio, estos depósitos se encuentran conformando movimientos en masa en las laderas tal como muestra la Figura 53 a y b.

Figura 53: a y b) Depósito coluvial, conformados por deslizamiento de suelos en las laderas.

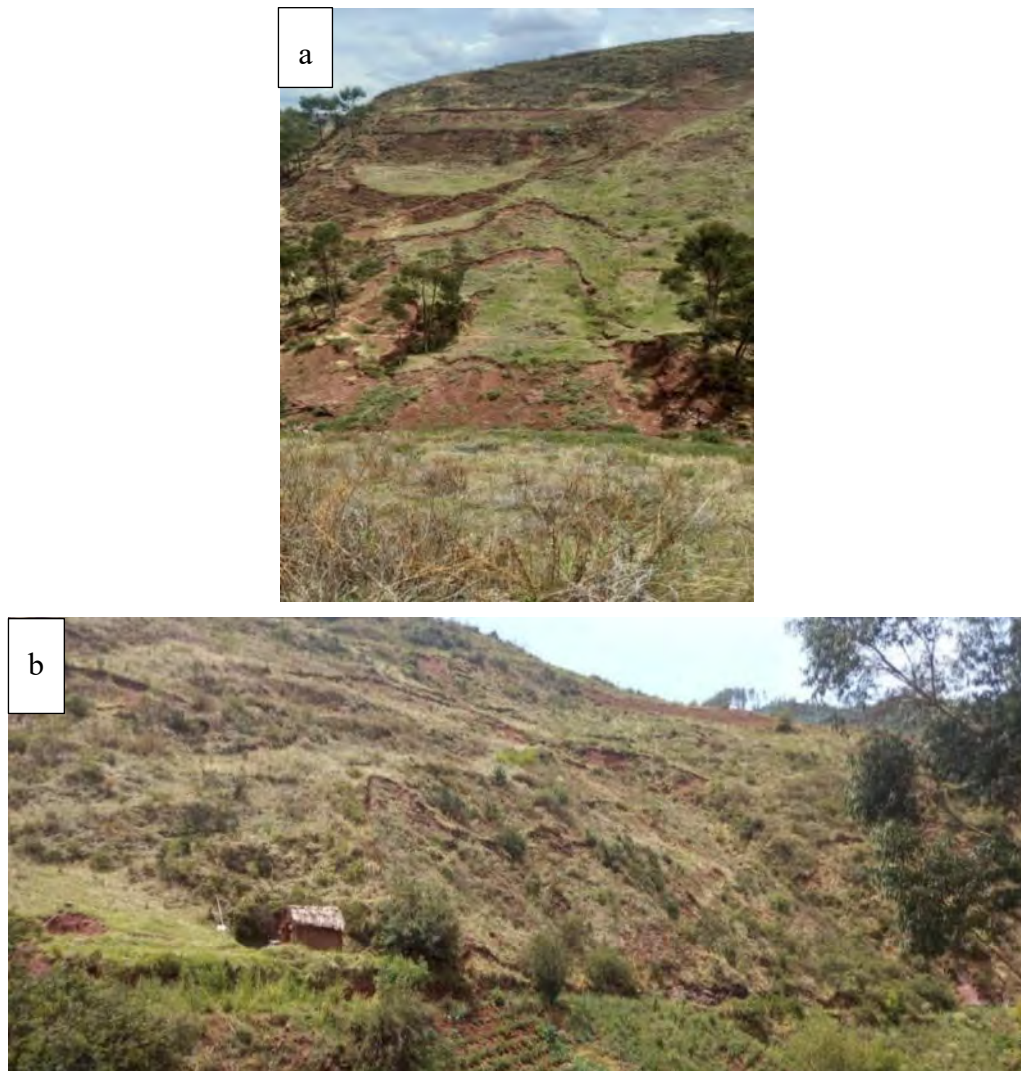


Figura 54: a) *Deposito coluvial con lentes de arena de grano medio.*



Para tener una idea más clara sobre los depósitos coluviales se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica, con coordenadas que se describe en la Tabla 9.

Tabla 11: *Coordenadas de la columna estratigráfica levantada sobre depósito Coluvial.*

Código	Coordenadas X	Coordenadas Y
CE N-06	176082.00	8499852.00

La Figura 55 muestra la columna estratigráfica CE N-06, levantada con una longitud de 9.20 metros sobre depósitos coluviales, muestra una secuencia: en la base un estrato de 1.20 m de espesor con presencia de limos (25%), arcilla (15%), arena (40%) y grava (20%) de grano creciente con clastos redondeados, seguido de un estrato con presencia de limos (20%), arcillas (15%), arena (25%), grava (40%) y canto rodado en la parte superior con gradación grano creciente con clastos subangulosos, en la parte intermedia se aprecia un estrato con espesor de 1.30 m con presencia de limos (25%), arcillas (30%), arena (40%), grava (5%) con clastos mayores a 2.5 m de diámetro con grano creciente, seguido de un estrato con un espesor de 2.50 m de color de rojo blanquecino

con presencia de limos (10%), arcillas (5%), arena (20%), grava (65% con presencia de cantos y bloques con diámetros de 10 a 30 cm, finalmente hacia la parte superior se encuentra cobertura vegetal con un espesor de 2.20 m.

Figura 55: Representación gráfica de la CE N-06 correspondientes a depósitos coluviales.

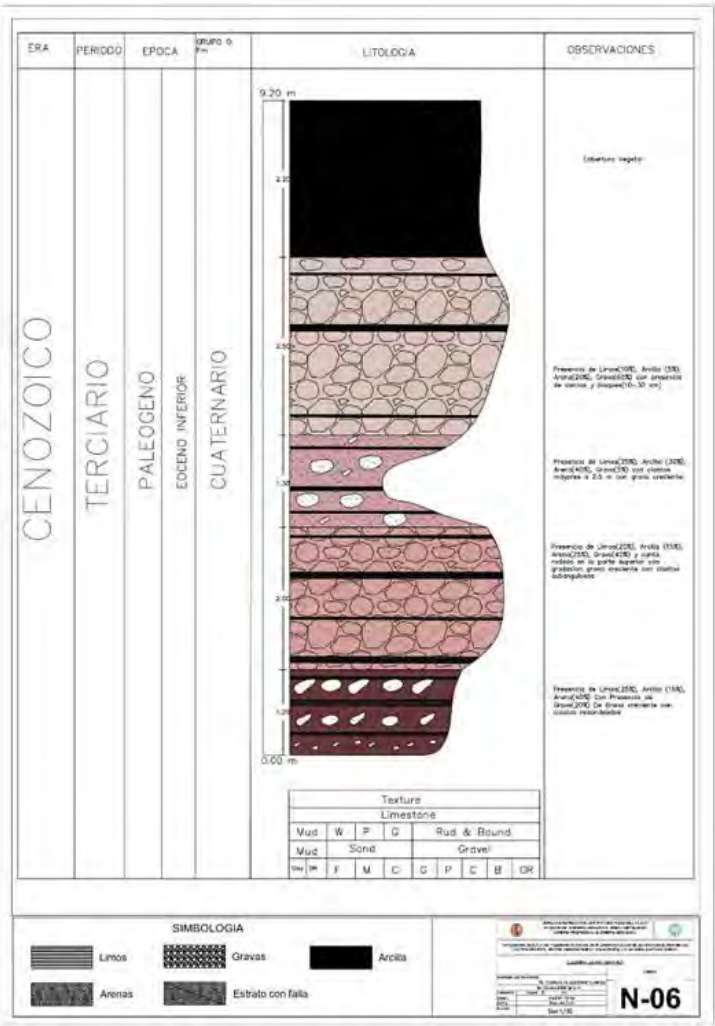


Figura 56: Depósitos coluviales donde se levantó la CE0 N-06.



4.2.4. Depósitos de relleno

Se encuentran compuesto por materiales que contiene finos (suelo, arcilla, arena) con inclusiones de fragmentos rocosos medianas provenientes de la formación Kayra, que se alojan y cubren las laderas, con pendientes suaves a moderados.

En la zona de estudio algunas viviendas se encuentran sobre depósitos de relleno que ellos mismo realizaron para obtener una pendiente adecuada y poder asentar sus viviendas, ya que a la fecha tanto el sector Juquiskapampa y Mojaspampa viene siendo una zona de reciente asentamiento.

Figura 57: *Depósitos de relleno.*



Figura 58: *Geología local.*

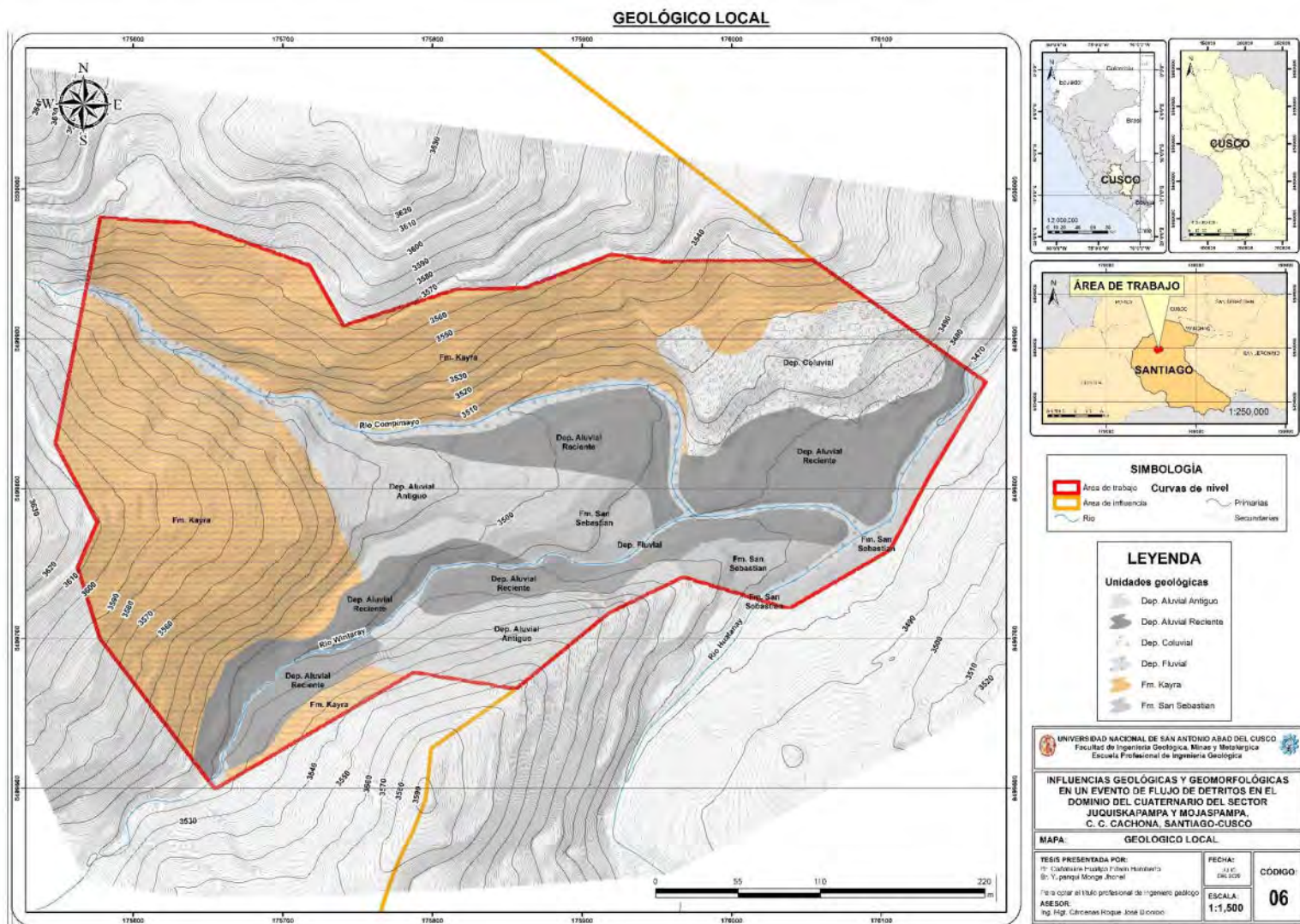


Figura 59: *Ubicación de secciones geológicas en la zona de estudio.*

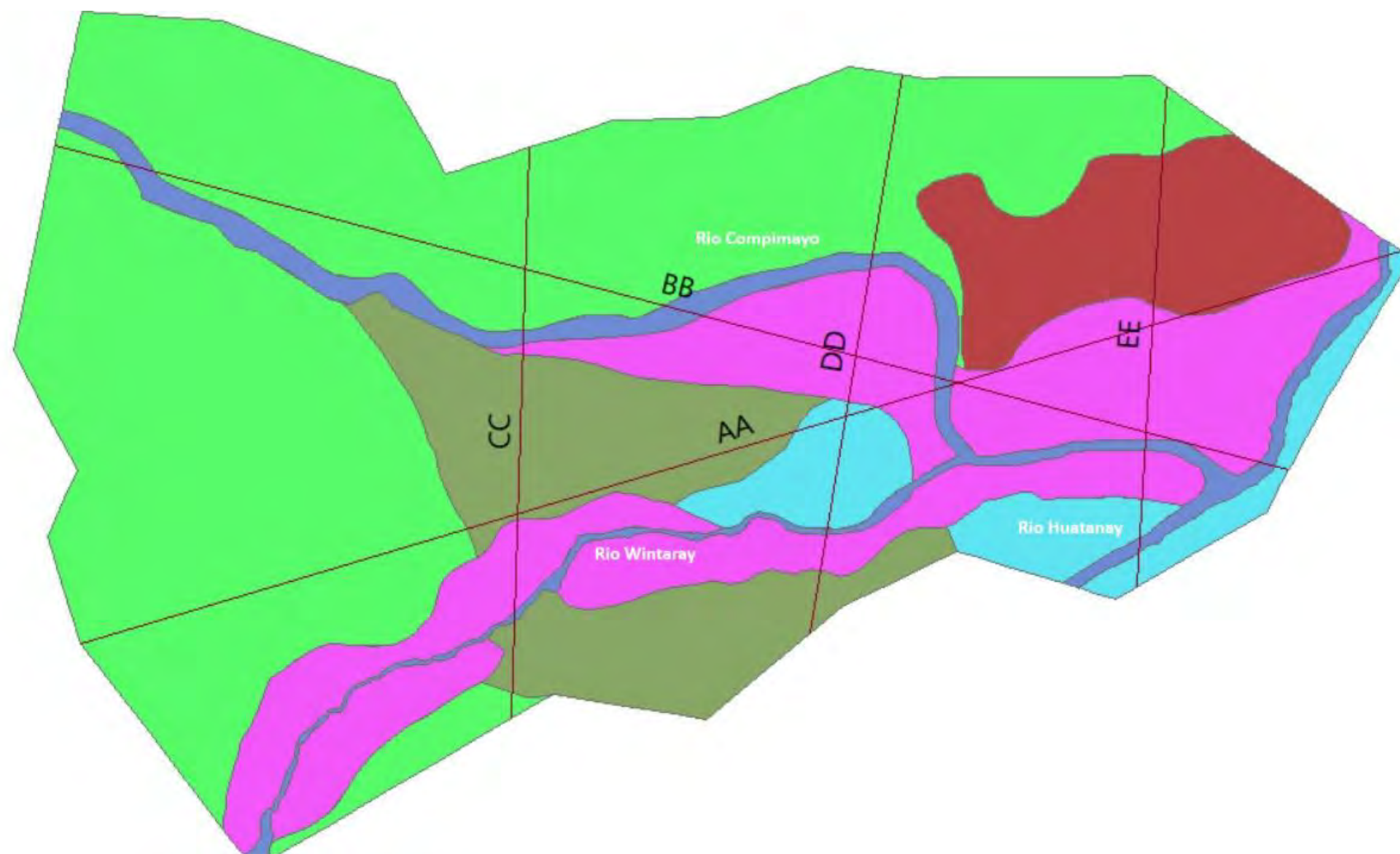


Figura 60: Sección geológica AA' con dirección suroeste al noreste.

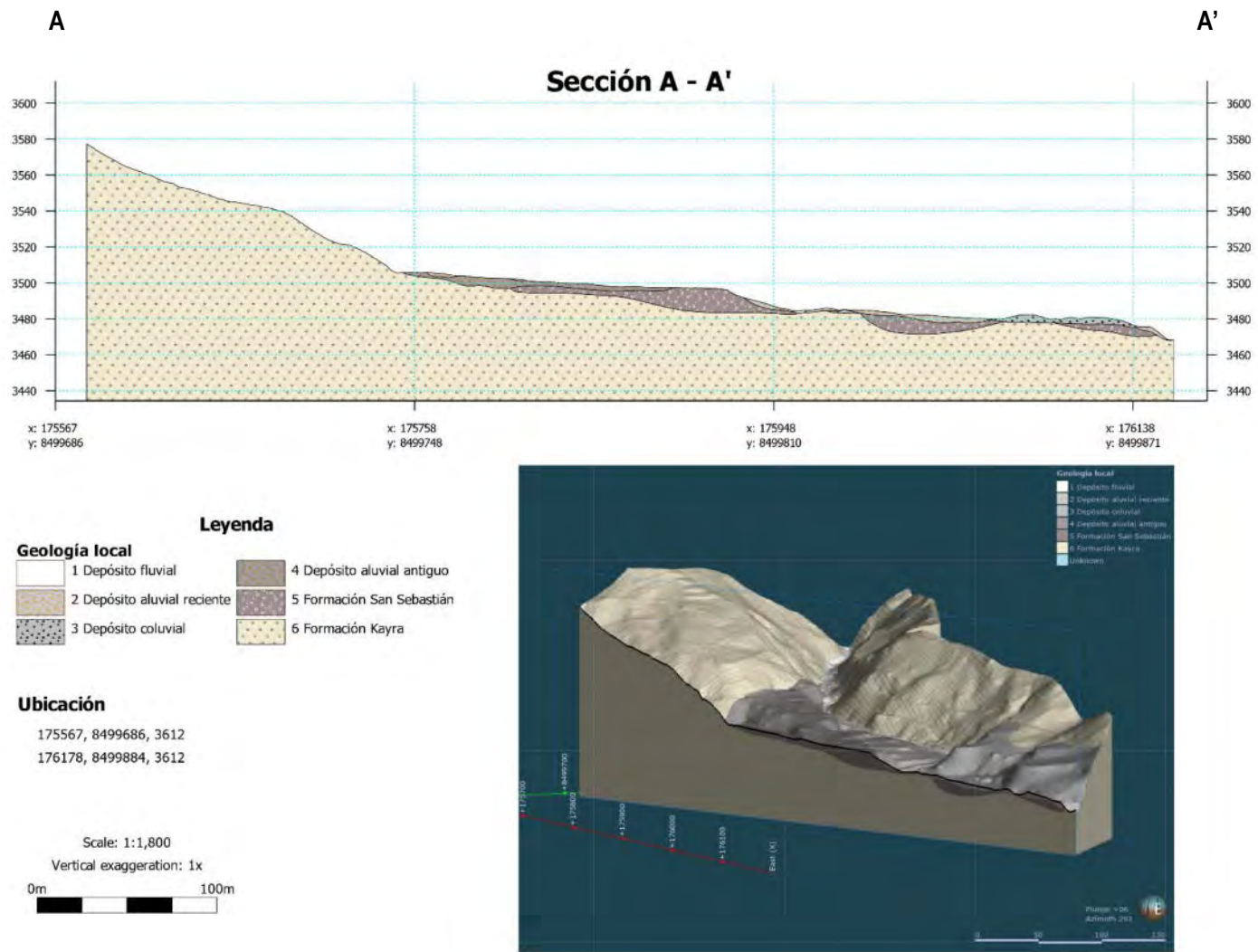


Figura 61: *Sección geológica BB' noroeste al sureste.*

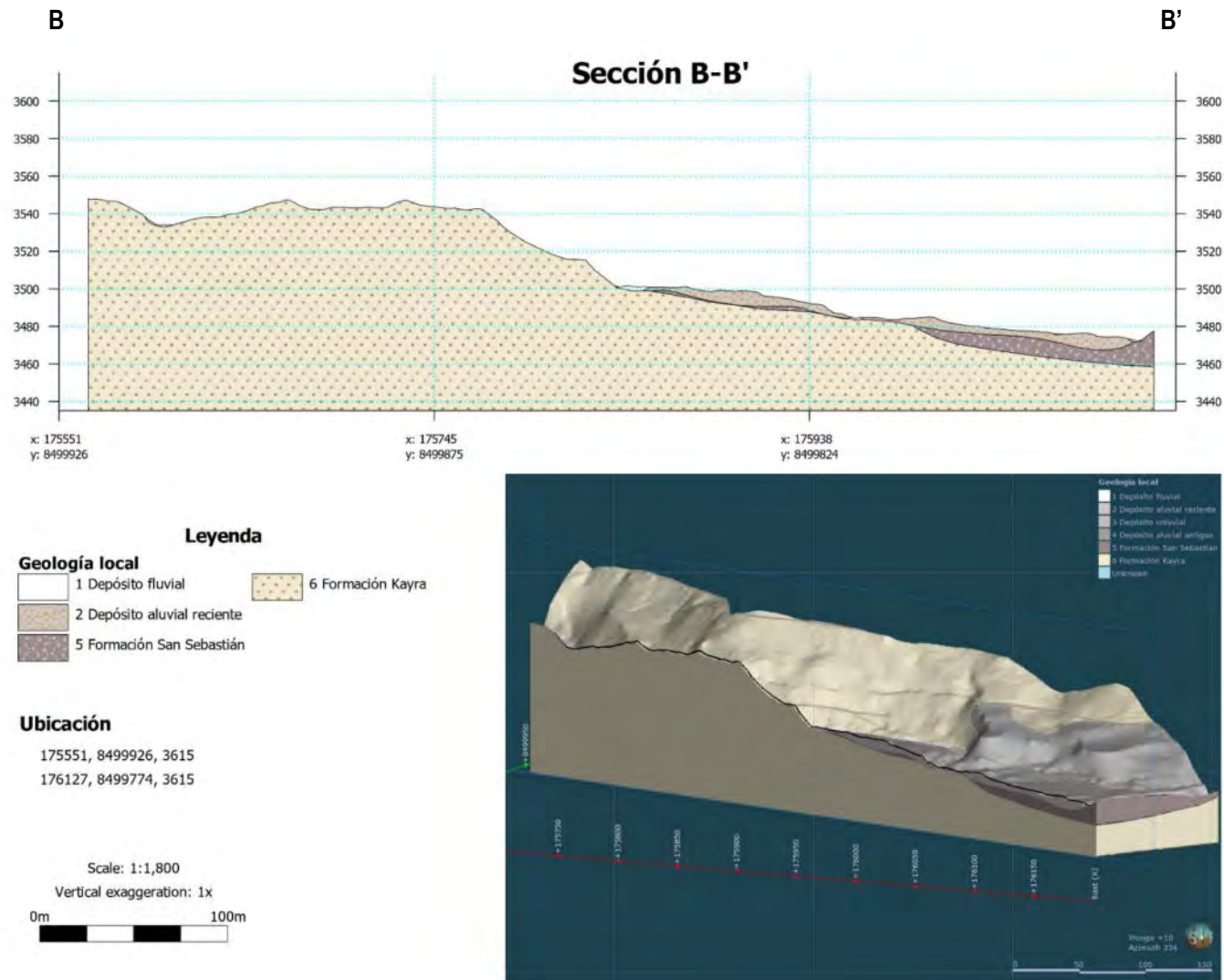


Figura 62: Sección geológica CC' sur al norte parte alta de la zona de estudio, debajo de los cuaternarios se encuentra la formación Kayra.

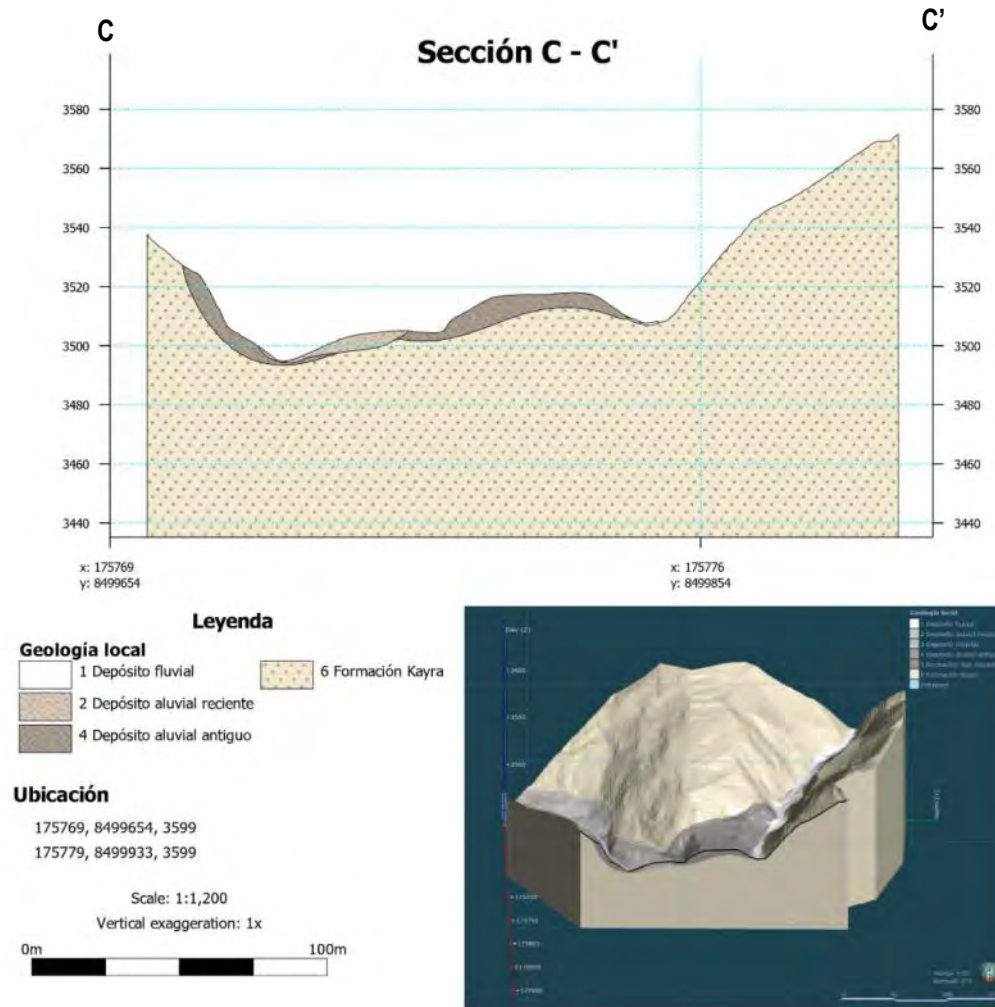


Figura 63: Sección geológica DD' sur al norte parte media de la zona de estudio.

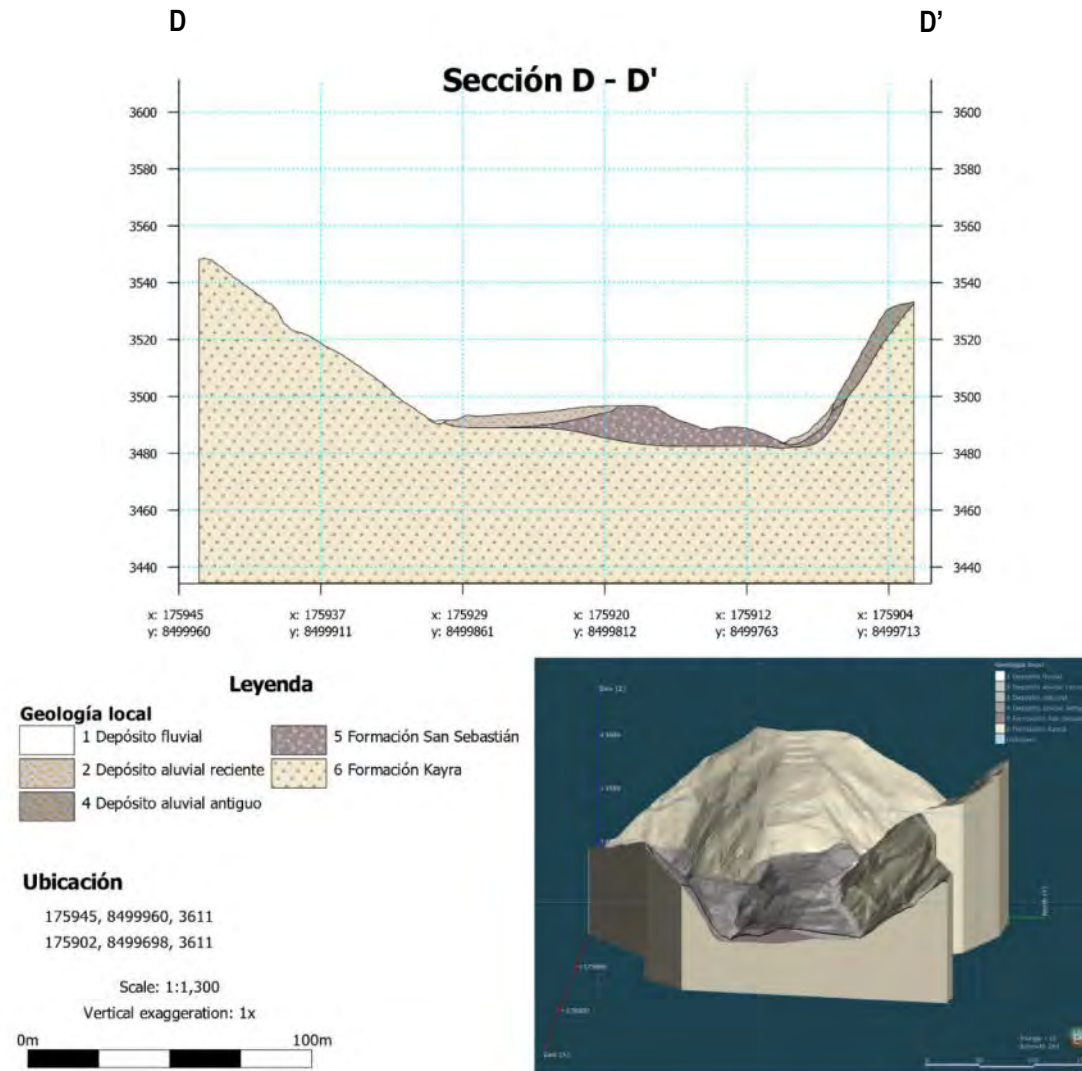
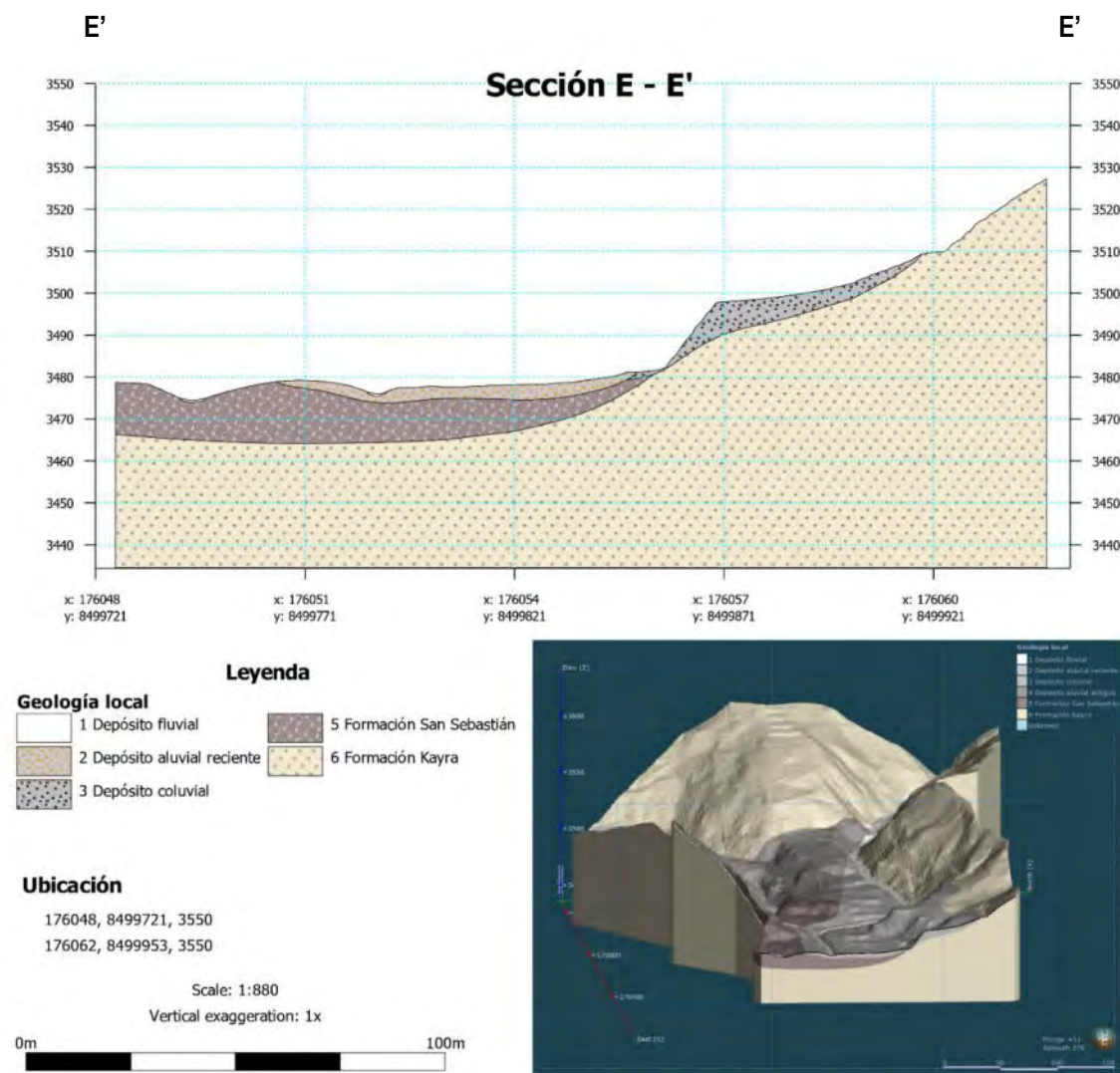


Figura 64: *Sección geológica EE' sur al norte parte baja de la zona de estudio.*



4.3 MODELO GEOLÓGICO

Para un análisis más preciso, se realizó el modelado geológico de la zona de estudio, el cual influye directamente en el flujo de detritos, ya que permite identificar las unidades litológicas, estructuras y geoformas que condicionan su inicio, transporte y deposición. La presencia de materiales fracturados o meteorizados, junto con fallas y diaclasas, favorece la erosión y el desprendimiento, mientras que la pendiente y la forma del relieve controlan la velocidad y la capacidad de arrastre. Esta información, incorporada al modelamiento numérico mediante parámetros como fricción, cohesión, rugosidad y granulometría, define la dinámica del flujo y las zonas de mayor peligro. A continuación, se presentan las vistas en 3D.

Figura 65: *Modelo geológico de la zona de estudio, con dirección suroeste al noreste.*

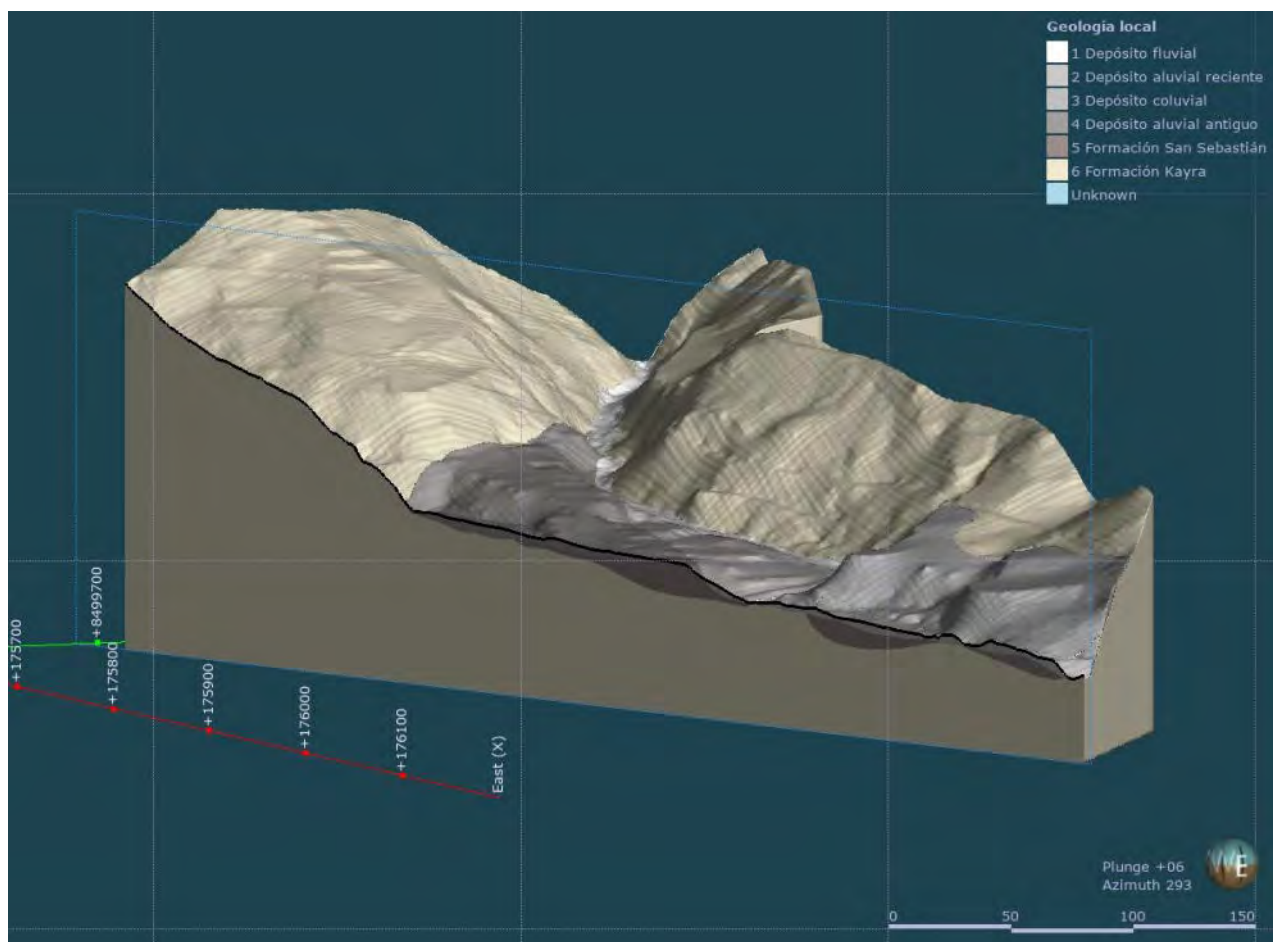


Figura 66: Modelo geológico de la zona de estudio con dirección noroeste al sureste.

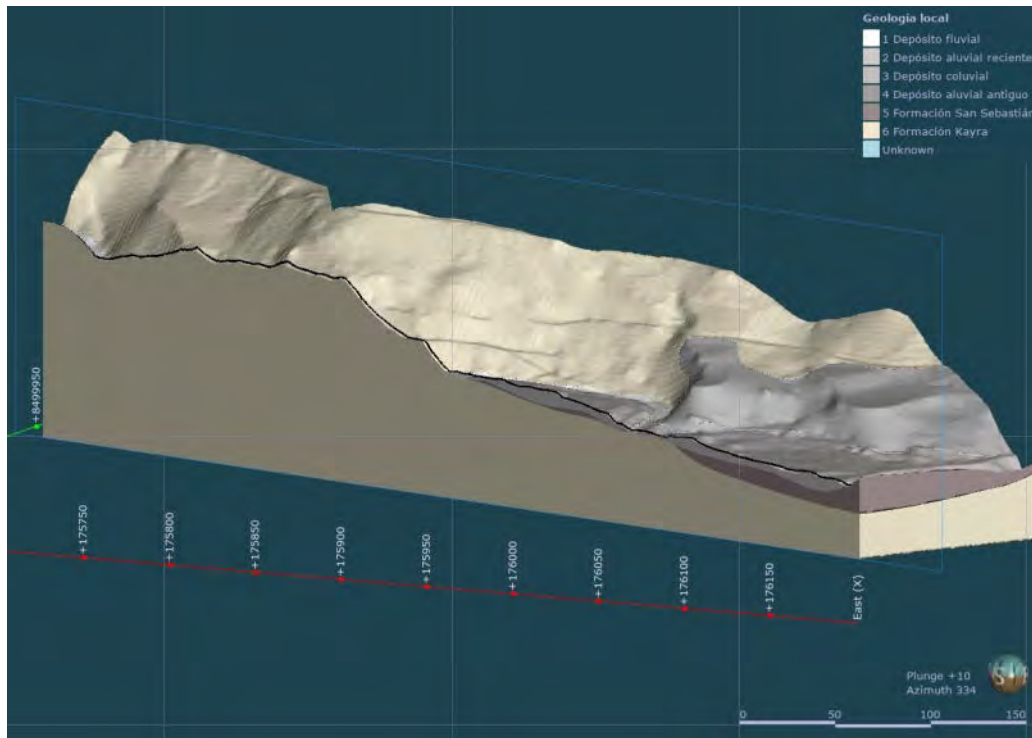


Figura 67: Modelo geológico con dirección sur al norte, parte alta de la zona de estudio.

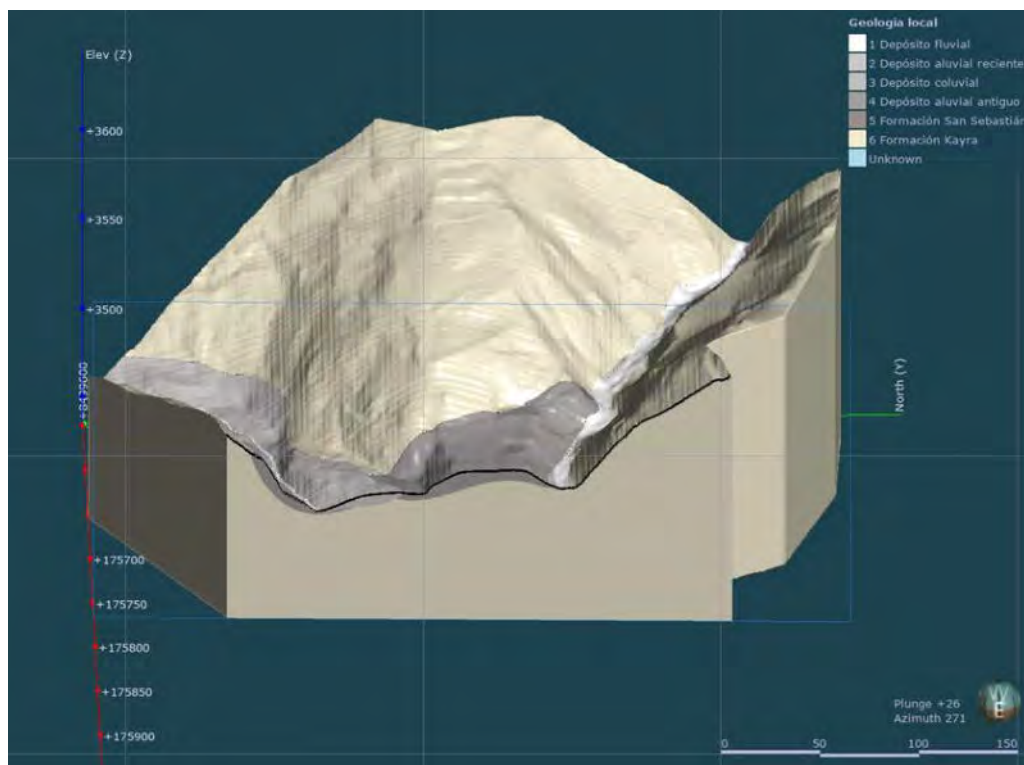


Figura 68: Modelo geológico con dirección sur al norte, parta media de la zona de estudio.

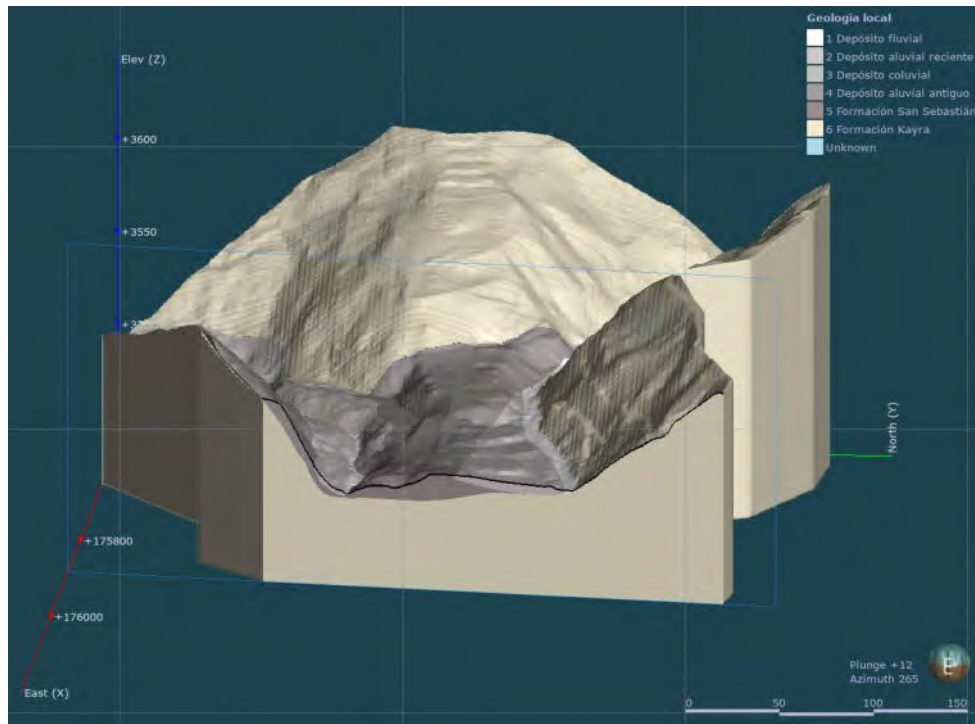


Figura 69: Modelo geológico con dirección sur al norte, parta baja de la zona de estudio.

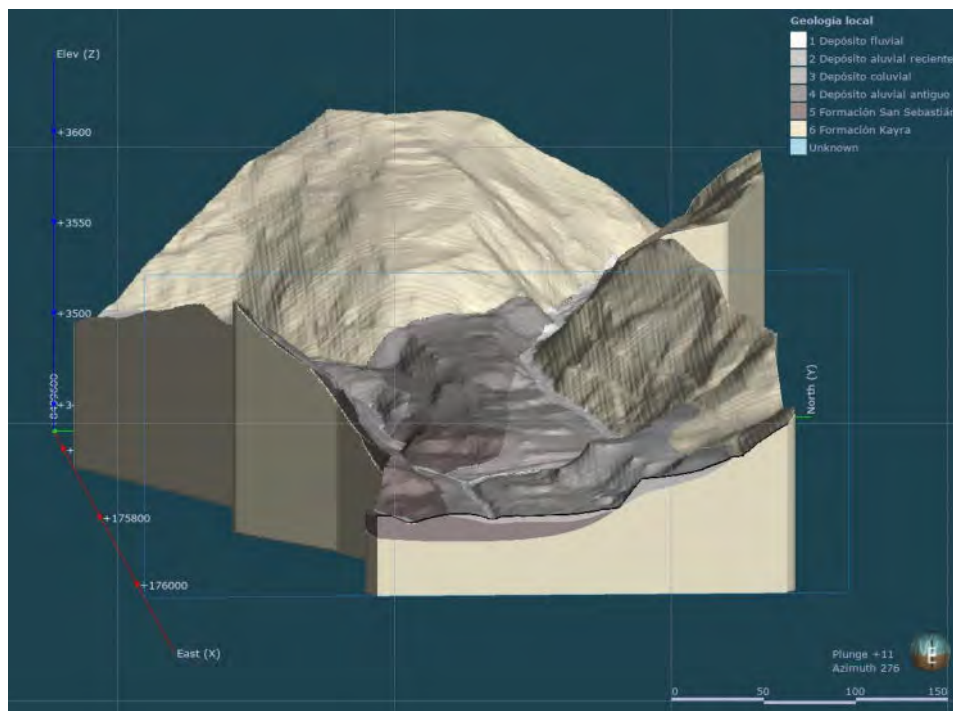


Figura 70: Modelo geológico de la zona de estudio, con dirección sur al norte.

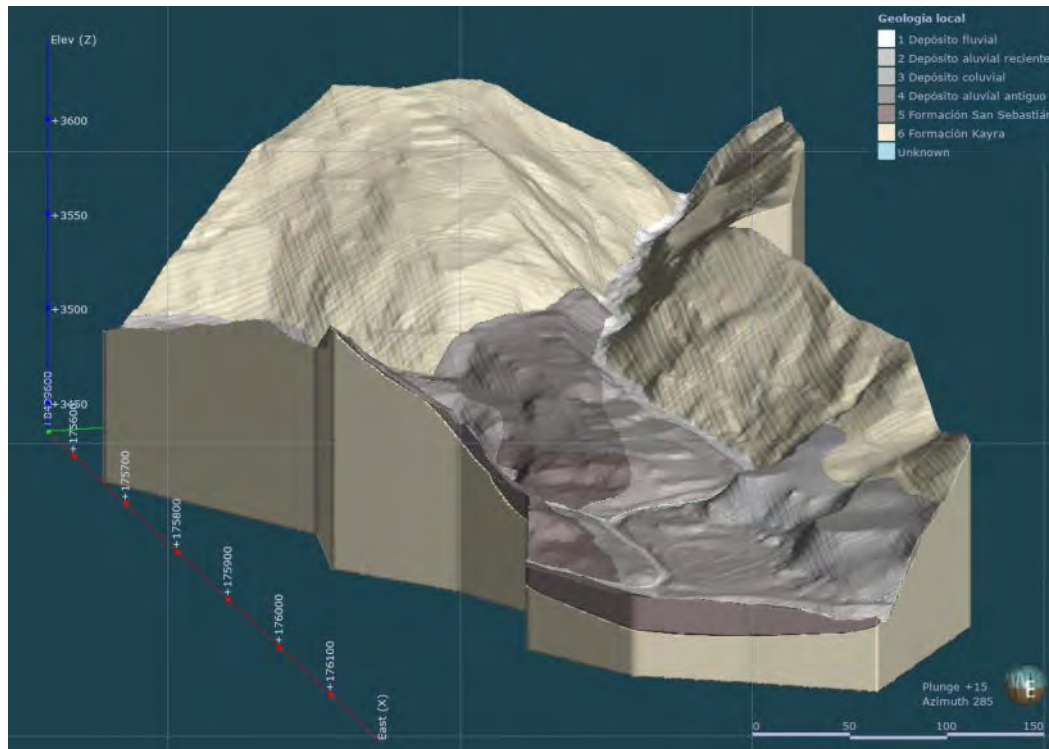
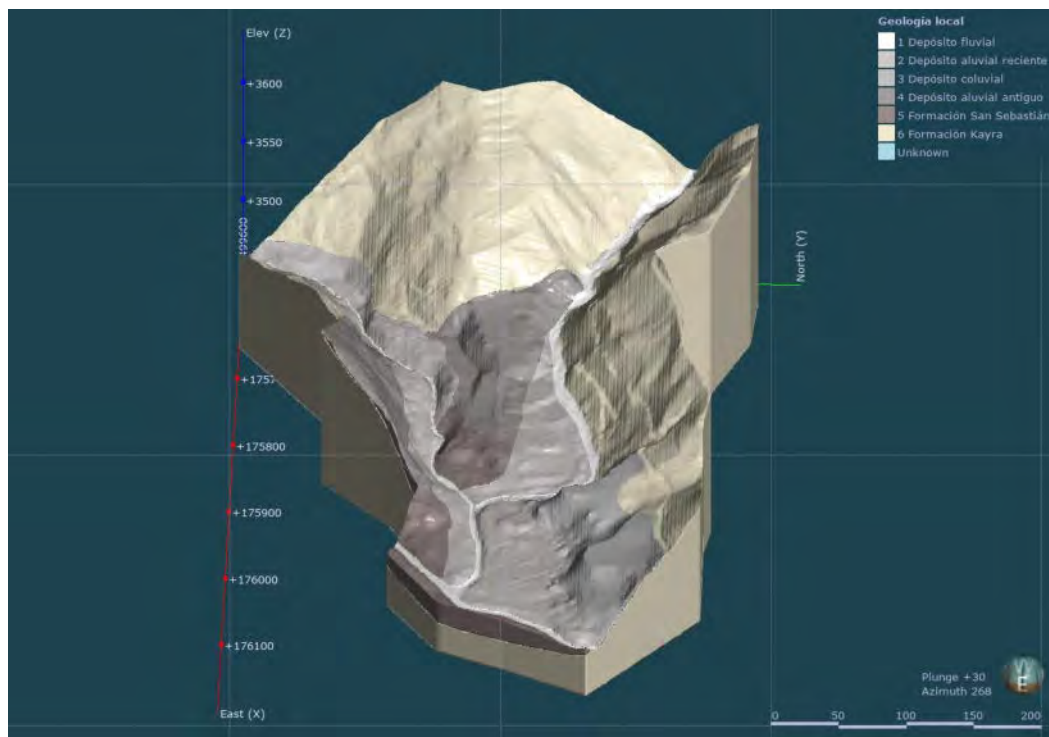


Figura 71: Modelo geológico de la zona de estudio sur al norte.



4.3. Geotecnia

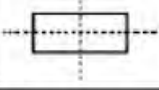
Para complementar la geología local y la morfología de los clastos se realizó el estudio de suelos. Este estudio se centra principalmente en el suelo, los cuales exhiben distintos comportamientos físicos y mecánicos. Por ello, se analizará las propiedades del suelo en el subsuelo para determinar el análisis granulométrico, Límites de consistencia, contenido de humedad y clasificación del suelo.

4.3.1. Exploración geotécnica

4.3.1.1. Apertura de calicatas

Durante la etapa inicial de exploración en campo se efectuaron las excavaciones de calicatas conforme a lo establecido en la norma E.050, tal como se aprecia en la Figura 72. Estas excavaciones permitieron observar directamente las condiciones del terreno, identificar la presencia del nivel freático, ejecutar ensayos in situ y obtener muestras representativas de suelo, tanto alteradas como inalteradas. Posteriormente, dichas muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio con el fin de determinar sus propiedades físico-mecánicas.

Figura 72: Técnicas de exploración normalizadas.

TABLA 7 TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN		
TÉCNICA DE EXPLORACIÓN	SÍMBOLO	
Pozo o Calicata	C - n	
Perforación	P - n	
Trinchera	T - n	
Auscultación	A - n	

Fuente: Norma E.050, 1997.

Figura 73: *Excavación de calicatas*



Durante la excavación de calicata se encontró presencia de nivel freático aproximadamente a 2 metros de profundidad.

Figura 74: *Presencia de nivel freático en la excavación de calicata.*



4.3.1.2. Toma de muestras

4.3.1.2.1. Obtención de muestras alteradas

Este tipo de muestras presenta la limitación de conservar únicamente ciertas características o propiedades del suelo en su estado original. Se realizó la recolección de la muestra utilizando

una palana y se depositó en bolsas, almacenándose a temperatura ambiente y recubrirse con parafina para mantener la humedad natural de la muestra.

4.3.1.2.2. Obtención de muestras inalteradas

Según algunas teorías, este tipo de muestras conserva las propiedades naturales del suelo en su estado “in situ”. Para su extracción, primero se realizó una limpieza rápida antes de tallar el bloque con una forma cúbica, con dimensiones recomendadas de 15 o 20 cm. Luego, se aplicó una capa de parafina en todas sus caras para evitar el contacto con el exterior y, finalmente, la muestra se embalo con material de relleno.

Figura 75: Toma de muestra en campo.



4.3.2. Ensayos en laboratorio

Tras la ejecución de la exploración geotécnica y la obtención de muestras representativas, tanto alteradas como inalteradas, se procedió con la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes, los cuales se describen en las secciones siguientes.

4.3.2.2. Análisis granulométrico

Este ensayo se llevó a cabo conforme a la normativa ASTM D422 y NTP 339.128, mediante el tamizado de las muestras obtenidas de las calicatas. Teniendo el siguiente resultado,

se obtuvo una distribución granulométrica correspondiente a cada dato obtenido tal y como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 12: *Análisis granulométrico.*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% que pasa
4"	100	0.00	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	0.00%	100.00%
1"	25	131.40	15.14%	84.86%
¾"	19	41.40	4.77%	80.09%
⅜"	9.5	120.50	13.88%	66.21%
Nº 4	4.75	37.80	4.36%	61.85%
Nº 10	2	33.30	3.84%	58.01%
Nº 20	0.850	24.10	2.78%	55.24%
Nº 40	0.425	30.90	3.56%	51.68%
Nº 60	0.250	0.00	0.00%	51.68%
Nº 100	0.150	95.90	11.05%	40.63%
Nº 200	0.075	106.00	12.21%	28.41%
Cazuela	-	17.00	1.96%	-
Lavado	-	68.77	26.45%	-
Total Fracción Retenida.		638.30	100.00%	

Figura 76: Curva granulométrica.

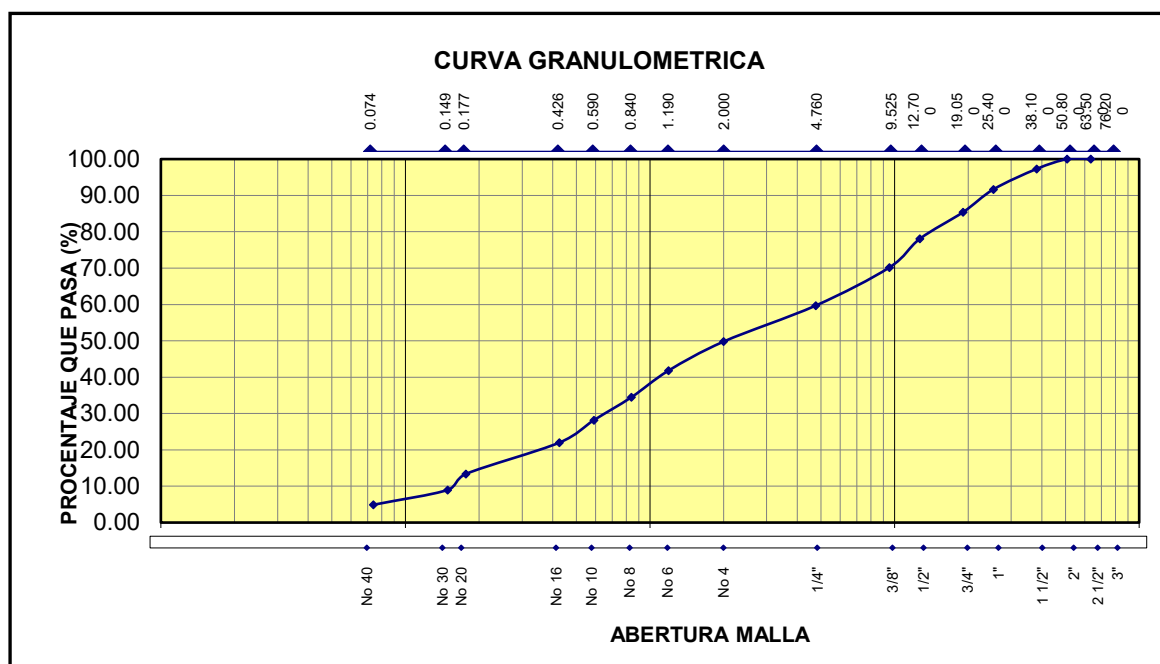


Figura 77: Análisis granulométrico por tamizado.



Tabla 13: Resultado del ensayo de granulometría.

Granulometría	%
% de grava (Retiene Tamiz N° 40) =	38.15%
% de arena (Pasa N° 40 y Ret. N° 200) =	33.44%
% de finos (Pasa Tamiz N° 200) =	28.41%
Total:	100.00%

Tabla 14: Resultado de ensayo granulométrico de fracción gruesa.

Fracción Gruesa	
% de grava =	53.29%
% de arena =	46.71%
Total =	100.00%

4.3.2.1. Contenido de humedad

Este ensayo se llevó a cabo previo al proceso de tamizado de las muestras de suelo. Se apartó una porción moderada de cada muestra (entre 500 g y 600 g), la cual fue pesada conservando su humedad in-situ, para después ser secada en horno durante 24 horas. Los hallazgos obtenidos para cada calicata se detallan en la Tabla 15.

Figura 78: Ensayo de laboratorio para el contenido de humedad.

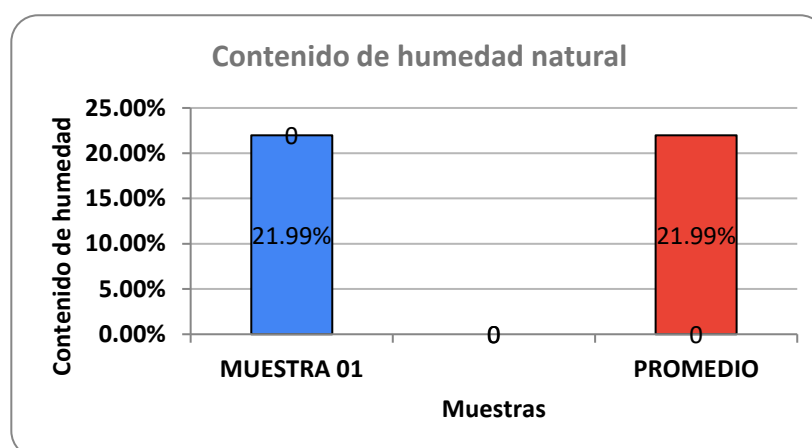


Tabla 15: Contenido de humedad.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01
Peso de Capsula (gr)	16.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	87.00

Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	74.20
Peso del Agua (gr)	12.80
Peso de la Muestra Seca (gr)	58.20
Contenido de Humedad	21.99%

Figura 79: *Contenido de humedad.*



4.3.2.3. Límites de Atterberg (L.L y L.P)

Con el fin de realizar los ensayos de límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico) y calcular las propiedades necesarias para determinar el índice de plasticidad (IP) de cada muestra el cual permite identificar los rangos de humedad en los que el suelo permanece en estado plástico se extrajeron aproximadamente 100 gramos de material que pasó por la malla N°40, dando así inicio al procedimiento.

Figura 80: *Ensayo límite líquido plástico.*



Nota: Se utilizó la cuchara de Casagrande, se tomó muestra para 3 números de golpes, 35 golpes, 25 golpes y 15 golpes

Tabla 16: *Resultados de límite líquido.*

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de Capsula (gr)	16.70	18.00	16.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.50	28.40	24.80
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.10	26.60	23.30
Peso del Agua (gr)	1.40	1.80	1.50
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.40	8.60	6.80
Contenido de Humedad	18.92%	20.93%	22.06%
Número de Golpes	34	24	14

Figura 81: Representación del límite líquido.

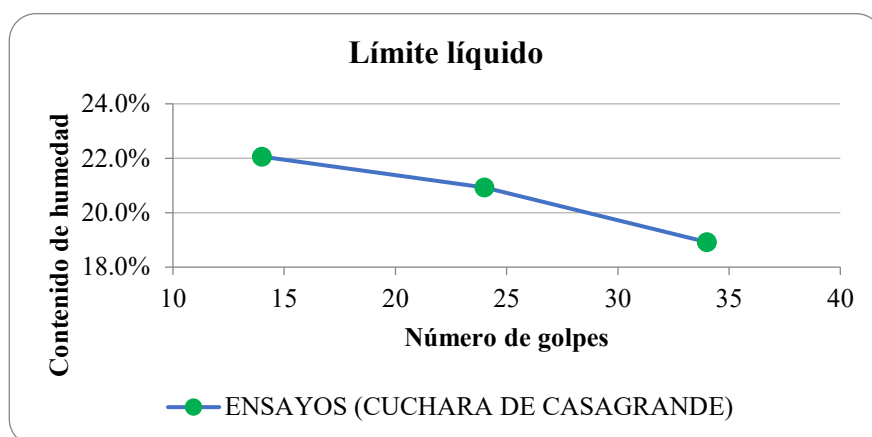


Tabla 17: Resultado del límite plástico.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02
Peso de Capsula (gr)	8.90	8.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	20.70	19.80
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.10	18.30
Peso del Agua (gr)	1.60	1.50
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.20	9.40
Contenido de Humedad	15.69%	15.96%

En la Tabla 16 se muestra los resultados del ensayo de los límites de Atterberg para la muestra de suelo analizada.

Tabla 18: Índice de plasticidad.

Límite Líquido =	20.00%
Límite Plástico =	16.00%
Índice de Plasticidad =	4.00%

Según los resultados del análisis granulométrico por tamizado y conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) tal como se muestra en la Tabla 17, se determinó que los suelos, por su origen y contexto geológico, son de tipo orgánico, especialmente en los primeros 40 cm observados durante la excavación de la calicata. Posteriormente, se identificaron

variaciones entre arcillas limosas, arenas limosas y gravas limo-arenosas, predominando la presencia de nivel freático a profundidades menores de 2 metros. Además, se determinó que tuvo influencia de depósitos aluviales. Concluyendo que se tiene un suelo de **grava arcillosa limosa**, con una designación de GC – GM. Esto quiere decir que el suelo en la zona de estudio está compuesto principalmente por grava con una mezcla de arcilla y limo en diferentes proporciones, siendo la arcilla el componente que más predominante de los finos.

Tabla 19: *Clasificación SUCS según datos obtenidos de laboratorio.*

Ensayos	Descripción	Resultados
Análisis granulométrico	% de grava (Retiene Tamiz N° 40)	38.15%
	% de arena (Pasa N° 40 y Ret. N° 200)	33.44%
	% de finos (Pasa Tamiz N° 200)	28.41%
	Fracción gruesa % de grava	53.29%
	Fracción gruesa	46.71%
Contenido de humedad		21.99%
Límite Líquido		20.00%
Límite Plástico		16.00%
Índice de Plasticidad		4.00%
Clasificación de suelos según SUCS		GC - GM Grava arcillosa limosa

4.4. Geodinámica Externa

En este capítulo se llevó a cabo la identificación de la geodinámica externa en las áreas adyacentes a la zona de estudio, con el propósito de determinar aquellas zonas que, en un eventual flujo de detritos, podrían actuar como áreas de aporte de material. La delimitación de estas zonas se realizó mediante un mapeo detallado en campo, complementado con la revisión y análisis comparativo de imágenes satelitales históricas y recientes, incluyendo recursos como Google Earth, lo que permitió reconocer cambios morfológicos y evidencias de procesos erosivos y de remoción en masa ocurridos en el pasado.

Este análisis permitió identificar sectores con pendientes pronunciadas, acumulaciones inestables de sedimentos y huellas de eventos previos, los cuales representan áreas potencialmente activas en la generación de aportes sólidos hacia la red de drenaje. En las siguientes secciones se presentan los resultados de esta evaluación, así como la cartografía correspondiente que ilustra la ubicación y extensión de dichas zonas de aporte.

4.4.1. Zonas de aporte

Las zonas de aporte serán de los materiales aguas arriba de las quebradas Ccompimayo y Wintaray. Principalmente, los deslizamientos identificados actuaran como materiales de aporte.

En la visita de campo y la revisión de las imágenes satelitales de la plataforma Google Earth se identificaron zonas de deslizamientos de las cuales 08 deslizamiento están activos y 03 son deslizamientos antiguos, también se identificaron 04 zonas de caídas de suelo. Cabe señalar que estos deslizamientos actuaran como las zonas de aporte para que ocurra el flujo de detritos. A continuación, se detalla la ubicación y el área de las posibles zonas de aporte:

Tabla 20: *Inventario de los movimientos de masa ubicados aguas arriba, que actuaran como zonas de aporte.*

Código	Geodinámica Externa	Sector	Coord. X	Coord. Y	Área (m2)
C-01	<i>Caída de Suelo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175930.30</i>	<i>8499893.82</i>	<i>479.52</i>
C-02	<i>Caída de Suelo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175899.09</i>	<i>8499890.18</i>	<i>235.40</i>
C-03	<i>Caída de Suelo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175871.74</i>	<i>8499873.86</i>	<i>309.82</i>
C-04	<i>Caída de Suelo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175847.74</i>	<i>8499862.58</i>	<i>234.37</i>
D-01	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175659.37</i>	<i>8499859.23</i>	<i>415.39</i>
D-02	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175617.76</i>	<i>8499894.08</i>	<i>658.59</i>
D-03	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175523.25</i>	<i>8499925.51</i>	<i>609.46</i>
D-04	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175599.05</i>	<i>8499692.63</i>	<i>419.37</i>
D-05	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175489.18</i>	<i>8499545.06</i>	<i>752.33</i>
D-06	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175447.93</i>	<i>8499514.95</i>	<i>931.83</i>
D-07	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175685.04</i>	<i>8499605.08</i>	<i>1345.89</i>
D-08	<i>Deslizamiento Activo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175711.27</i>	<i>8499647.98</i>	<i>1747.90</i>
DA-01	<i>Deslizamiento Antiguo</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175609.43</i>	<i>8499872.78</i>	<i>8724.54</i>
DA-02	<i>Deslizamiento Antiguo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175718.56</i>	<i>8499611.38</i>	<i>4938.01</i>
DA-03	<i>Deslizamiento Antiguo</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175608.91</i>	<i>8499659.18</i>	<i>25865.71</i>
FD-01	<i>Flujo de Detritos</i>	<i>Juquiskapampa</i>	<i>176021.51</i>	<i>8499792.48</i>	<i>1776.97</i>
FD-02	<i>Flujo de Detritos</i>	<i>Wintaray</i>	<i>175923.59</i>	<i>8499759.20</i>	<i>1013.12</i>
FD-03	<i>Flujo de Detritos</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175919.16</i>	<i>8499860.48</i>	<i>1377.43</i>

<i>Código</i>	<i>Geodinámica Externa</i>	<i>Sector</i>	<i>Coord. X</i>	<i>Coord. Y</i>	<i>Área (m2)</i>
FD-04	<i>Flujo de Detritos</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175798.37</i>	<i>8499836.49</i>	<i>2112.15</i>
FD-05	<i>Flujo de Detritos</i>	<i>Ccompimayo</i>	<i>175682.55</i>	<i>8499864.72</i>	<i>655.12</i>

Figura 82: *Deslizamientos en la margen izquierda del rio Wintaray.*



Nota: En campo se verifico que la corona del deslizamiento es de 35 cm

Figura 83: *Vista de deslizamiento al borde del rio Wintaray.*



Figura 84: *Vista de deslizamiento en la margen derecha del río Wintaray.*



Figura 85: *Presencia de Cárcavas en la margen izquierda del río Ccompimayo*

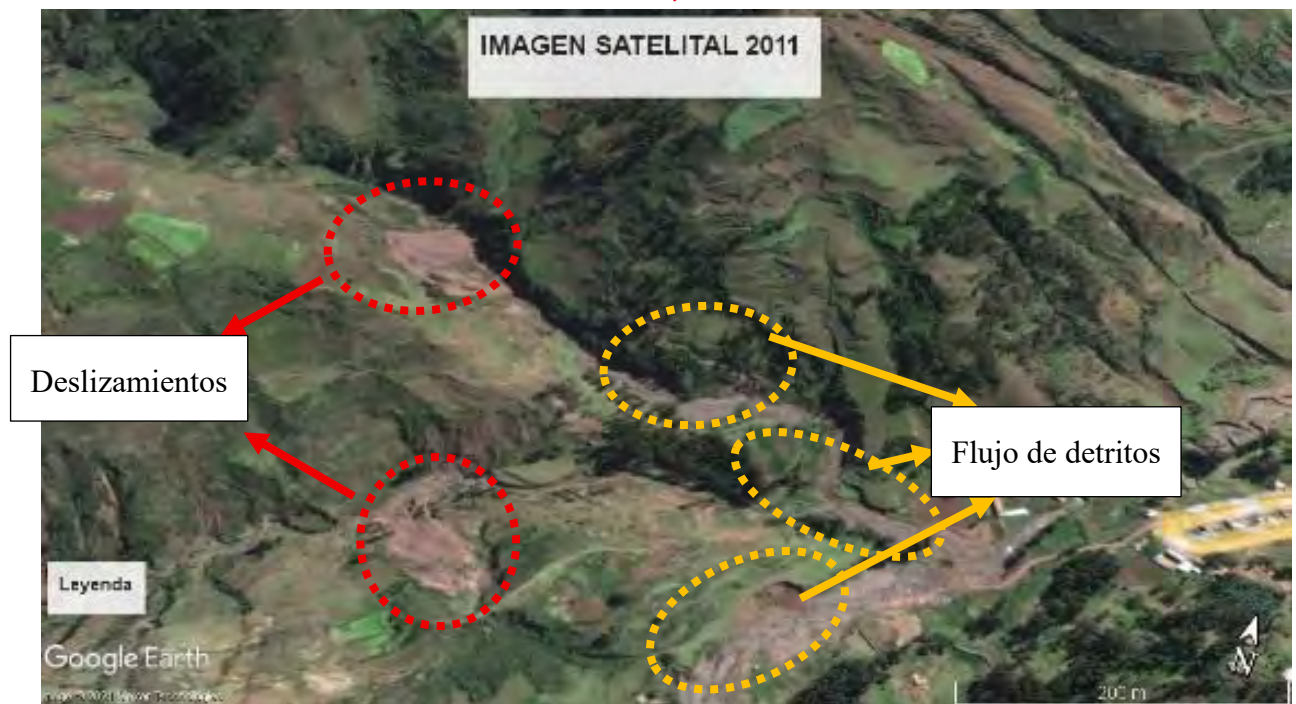


Cabe señalar que en el riachuelo Ccompimayo en la parte alta del sector Mojas pampa existen botaderos de desmontes que están rellenas en los cauces, y en una eventual crecida de río actuarían como zonas de aporte.

Además, se ha revisado la plataforma de Google Earth desde el año 2002 hasta la actualidad se ha podido visualizar la actividad de la quebrada Wintaray y Ccompimayo cuyo cauce natural pasa en medio de lo que ahora están asentada los pobladores del sector Juquiskapampa y

Mojaspampa, de la C. C. Cachona, además se observa en la imagen del año 2011 que hubo la presencia de deslizamiento aguas arriba de la zona de estudio que actuarían como zonas de aporte, lo cual se verificó en campo que al día de hoy los deslizamientos están activos.

Figura 86: Imagen satelital del año 2011.



Fuente: Google Earth, 2020.

Nota: se observa que en la zona de estudio existe una geodinámica muy activa. Además, se observa la presencia de deslizamientos y flujo de detritos.

4.4.2. Zonas de sedimentación (zonas de descarga de flujo)

La zona de estudio se encuentra en la zona de sedimentos generados por el flujo de detritos, donde el mayor porcentaje de sólidos son retenidos, esta concentración de sedimentos se sitúa en 02 zonas.

La primera zona de sedimentación es en el sector de Mojaspampa, donde la quebrada Ccompimayo descarga los sólidos transportados en esta zona. Cabe señalar que los bloques de los

detritos en esta zona son de redondez sub angulosos a sub redondeados, con diámetros de 80 cm aproximadamente con presencia de matriz de composición arenosa.

Figura 87: Zona de sedimentación 01 en el sector de Mojaspampa.



Nota: En el rio se aprecia bloques de diámetros que varían entre 5 cm a 80 cm.

La segunda zona de sedimentación es en el sector de Juquiskapampa, donde la quebrada Ccompimayo y Wintaray descargan los sólidos transportados en esta zona. Cabe señalar que los bloques de los detritos en esta zona son de redondez sub angulosas a sub redondeadas, con diámetros de 30 cm aproximadamente y con presencia de matriz arenosa.

Figura 88: Zona de sedimentación 02 en el sector en el sector de Juquiskapampa



Nota: en el rio se aprecia los bloques de diámetros que varían entre 5 cm a 30 cm.

4.4.3. Volumen de los detritos

La estimación de los volúmenes de detritos se realizó a partir de los trabajos de campo y del análisis de aerofotografías históricas obtenidas de la plataforma Google Earth, correspondientes al periodo comprendido entre los años 2002 y 2015. Este análisis permitió identificar depósitos con volúmenes superiores a 100 m³, constituidos principalmente por bloques de areniscas de gran tamaño, los cuales provienen de la Formación Kayra.

La comparación multitemporal de las imágenes, junto con las observaciones directas en terreno, permitió reconocer la distribución espacial de estos materiales, su grado de meteorización y su potencial movilidad en eventos de flujo de detritos.

Asimismo, se evidenció que estos bloques se encuentran acumulados en sectores específicos del cauce y en áreas de pie de ladera, lo que sugiere que han sido transportados por eventos previos de remoción en masa y que podrían ser reactivados ante precipitaciones intensas o condiciones hidrometeorológicas extremas.

Figura 89: *Volúmenes de material de material suelto y bloques con diámetros de 5 cm a 75 cm.*



Nota: Se observa volumen de material al lado del río. El material acumulado incluye tierra suelta y fragmentos de roca, reflejando un proceso de transporte gravitacional desde una pendiente cercana.

Figura 90: *Volúmenes de material de material suelto y bloques con diámetros de 5 cm a 60 cm.*



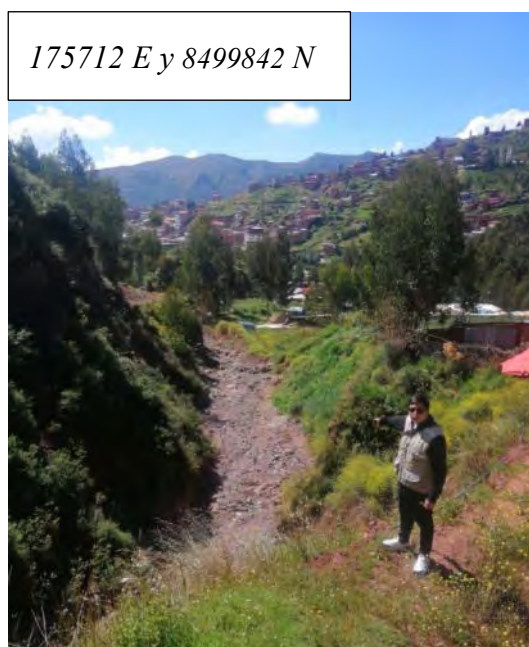
Nota: Se observa volumen de material, reflejando un proceso de transporte gravitacional desde una pendiente cercana, acumulado en el río.

4.4.4. Puntos críticos

En la visita en campo se identificó puntos críticos, para la zona de estudio existe 03 zonas críticas la cual se describe a continuación:

El primer punto crítico se ubica en el sector de Mojaspampa, donde los pobladores de la zona encauzaron el río Ccompimayo hacia la margen izquierda del riachuelo para ganar más terreno para sus actividades. En caso ocurriera un evento de precipitación extraordinario este encauzamiento podría rebalsar y los directos afectados serían las viviendas y áreas de cultivo que están cercanas al riachuelo. Además, mediante el análisis de las imágenes satelitales y la visita campo esta zona es una de las áreas donde se deposita los sedimentos trasportados por el flujo de detritos, las cuales fueron descritos anteriormente.

Figura 91: Zona critica 01, en el río Ccompimayo.



El segundo punto crítico se ubica en el sector Juquiskapampa donde los pobladores se asentaron muy cercanas al cauce del riachuelo Ccompimayo. En caso ocurriera un evento de

precipitación extraordinario la cual a su vez generaría un flujo de detritos, los directos afectados serían las viviendas de los lotes 2 y 3 de la manzana “E” del sector Juquiskapampa.

Cabe mencionar que durante la visita a campo en el mes de febrero se observó la ocurrencia de flujo de detritos reciente, alcanzando aproximadamente 1 metro de altura, donde se vieron afectados las viviendas antes mencionadas, así mismo se observó la acumulación de materiales que fueron arrastrados.

Figura 92: Zona critica 02, donde hubo flujo de detritos reciente en el mes de febrero.



Figura 93: *Altura alcanzada hacia las paredes de la vivienda afectada por el flujo de detritos.*



Figura 94: *Zona critica 02, afectación a viviendas aledañas al rio.*



El tercer punto crítico se ubica en el sector Juquiskapampa donde confluyen los riachuelos Wintaray y Ccompimayo.

Figura 95: Zona crítica 03, donde confluyen los ríos Wintaray y Ccompimayo



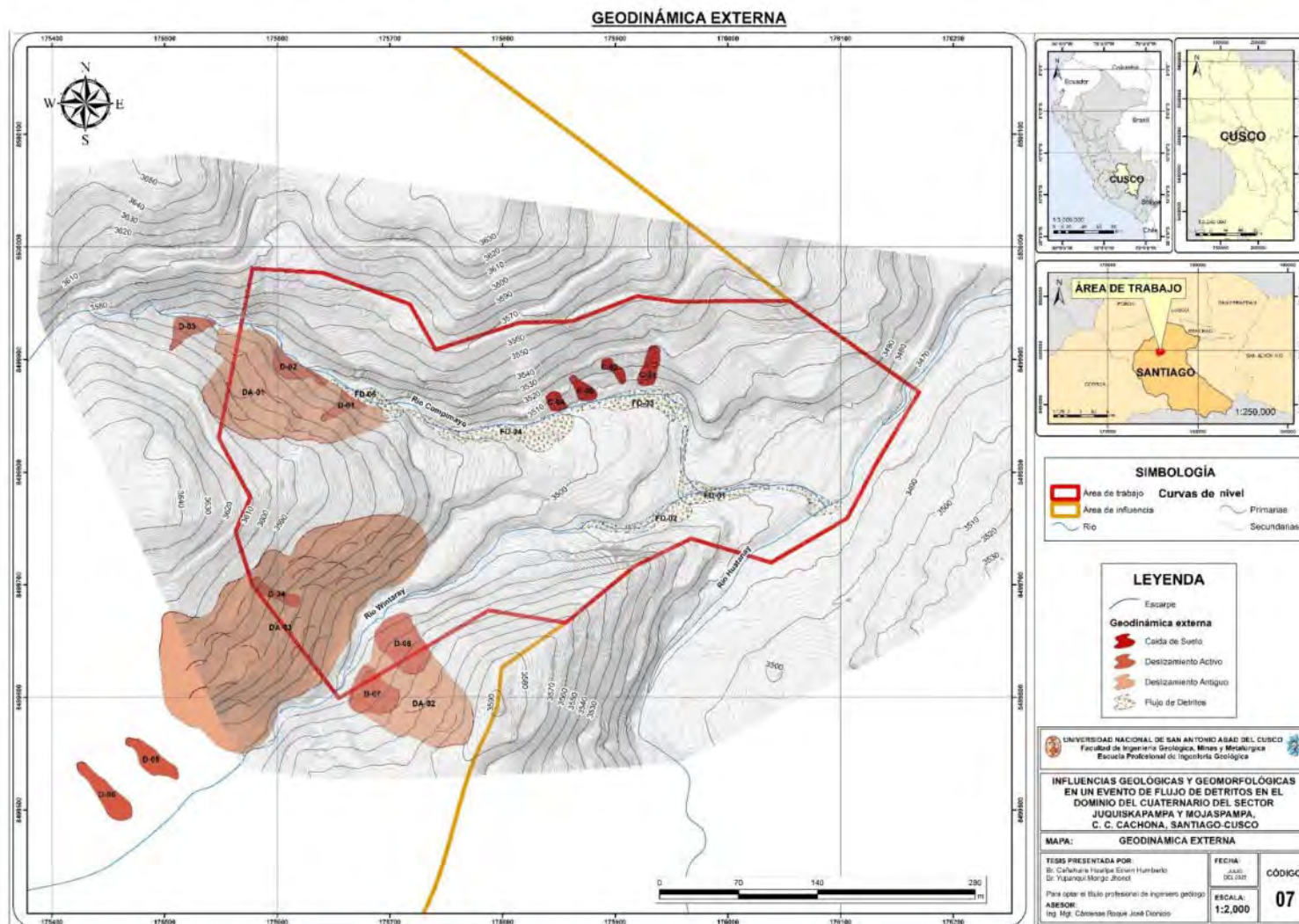
En este sector, tal como se aprecia en las figuras anteriores, los pobladores locales realizaron modificaciones al cauce natural del río con el objetivo de encauzarlo, lo que ha reducido significativamente su capacidad de descarga hidráulica.

Esta intervención, si bien busca controlar el flujo en condiciones normales, ha generado una mayor vulnerabilidad ante eventos extremos. En el caso de que ocurra una precipitación extraordinaria, capaz de detonar un flujo de detritos, el cauce podría sobrepasar su capacidad de conducción, provocando desbordes y afectaciones directas.

Los principales elementos expuestos serían las viviendas ubicadas en proximidad inmediata al riachuelo en el sector Juquiskapampa, así como la trocha carrozable que constituye la principal vía de comunicación para los pobladores del sector Mojaspampa.

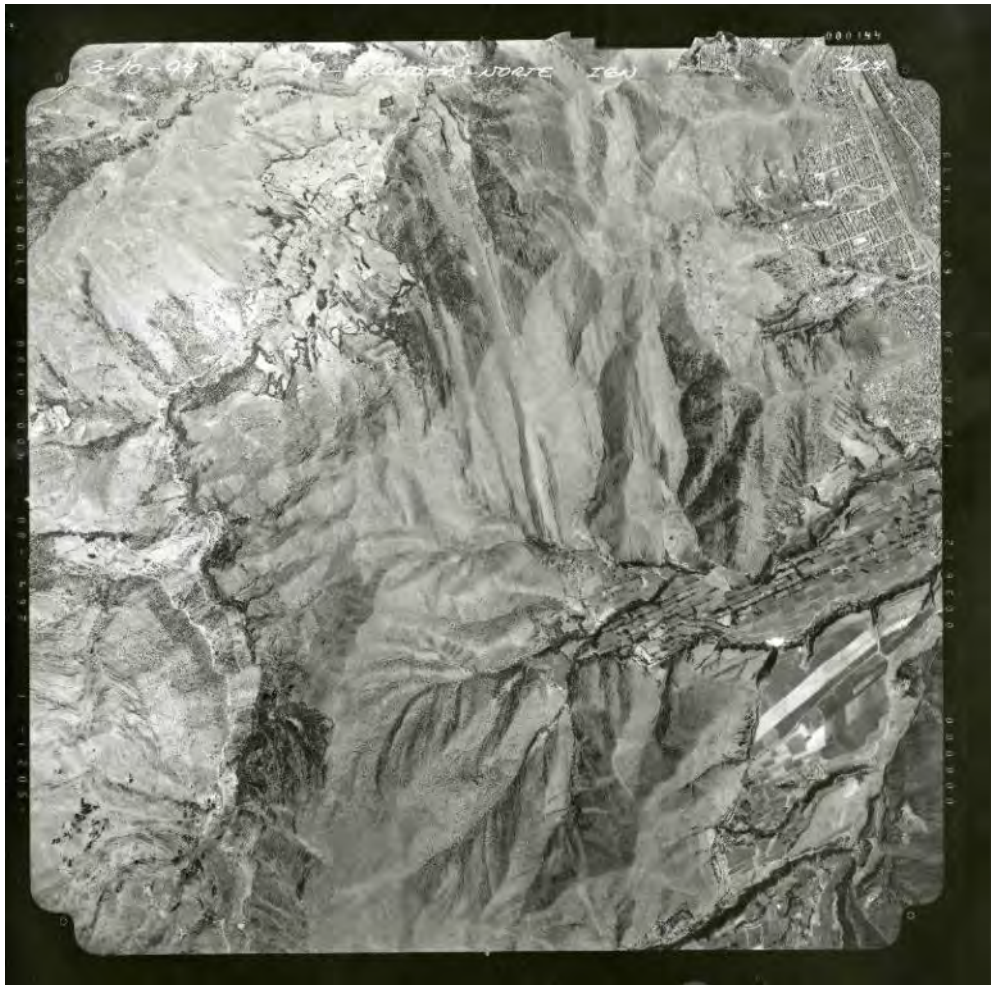
La combinación de un cauce reducido, material sedimentario inestable y alta pendiente en tramos cercanos incrementa el riesgo de obstrucciones y represamientos temporales, que podrían intensificar el impacto aguas abajo en caso de colapso.

Figura 96: Zonas de aporte aguas arriba de las quebradas Ccompimayo y Wintaray.



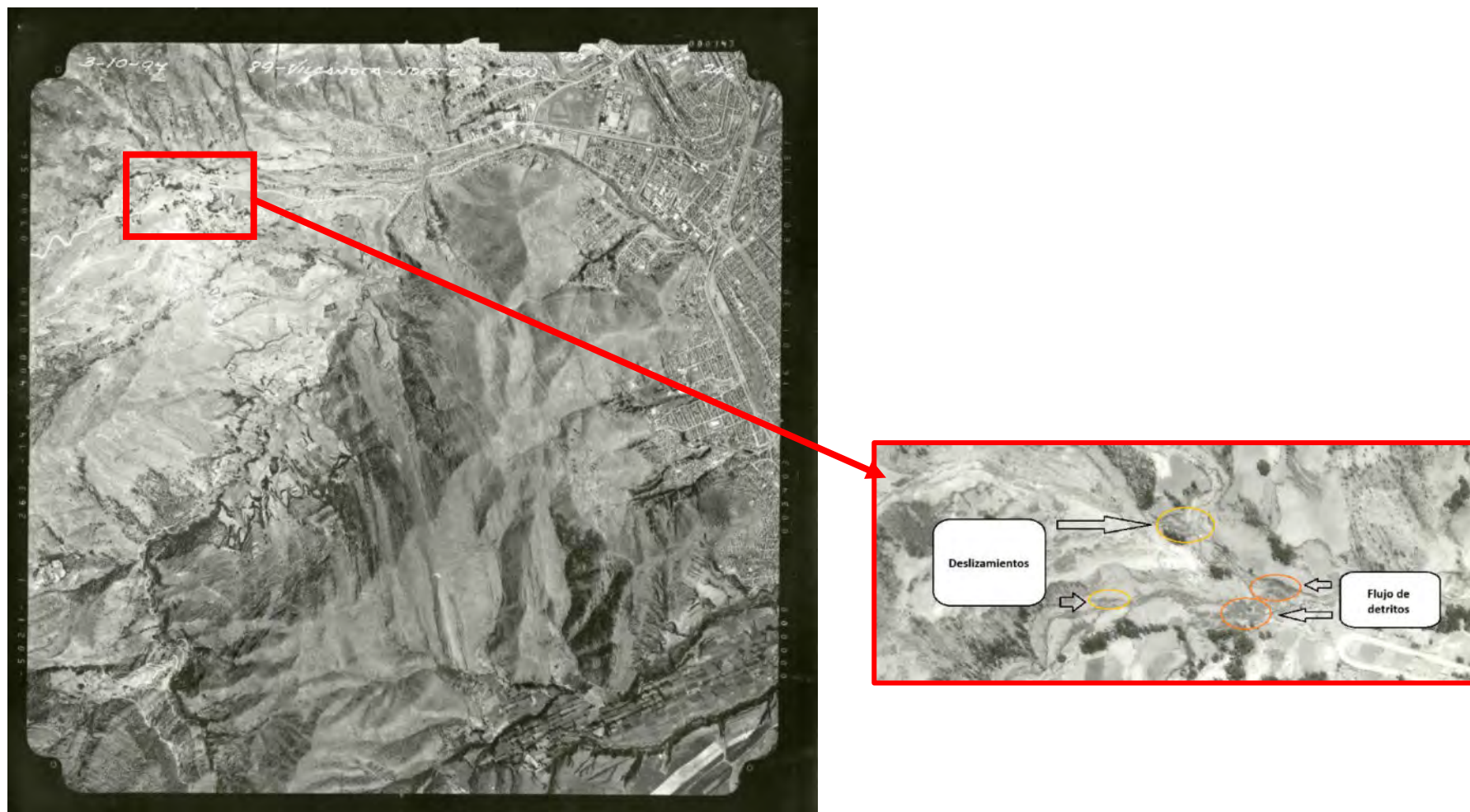
Con el fin de profundizar en el análisis de la geodinámica externa, se llevó a cabo la revisión e interpretación de fotografías aéreas de 1997, proporcionadas por la Dirección Desconcentrada de Cultura – Cusco. Dicho análisis permitió identificar en la cuenca que abarca la zona de estudio la presencia de procesos gravitacionales y erosivos, evidenciados por flujos de detritos, movimientos en masa tipo deslizamiento y desarrollo de cárcavas.

Figura 97: *Fotografía aérea del año 1997.*



Fuente: DDC-Cusco, 1997

Figura 98: *Fotografía aérea del año 1997.*



Fuente: DDC-Cusco, 1997

4.5. Geodinámica Interna

4.5.1. Actividad sísmica en la provincia de Cusco

La provincia de Cusco presenta una marcada actividad sísmica cortical vinculada principalmente a la presencia de sistemas de fallas activas. Según el INGEMMET, anteriormente se consideraba como activa a una falla que hubiera experimentado una o varias reactivaciones durante el Holoceno (últimos 10 000 años). No obstante, la definición actual amplía este criterio y clasifica como activa a toda falla que haya tenido desplazamientos desde el Cuaternario (aproximadamente 2,5 millones de años) y que tenga potencial de reactivarse en el futuro.

En el contexto geológico, gran parte de la ciudad del Cusco se asienta sobre depósitos cuaternarios no consolidados, originados en un ambiente lacustre y pertenecientes a la Formación San Sebastián (Gregory, 1916). También se encuentran secuencias de lutitas y conglomerados correspondientes a las Formaciones Puquín (Gregory, 1916; Carlotto, 1992), Maras (Carlotto et al., 1996), Quilque (Gregory, 1916; Carlotto, 1992) y Chilca (Audebaud, 1973; Carlotto, 1992).

El crecimiento urbano ha sido desordenado, ocupando zonas periféricas con pendientes pronunciadas o suelos inestables, sin un cumplimiento estricto de las normas de construcción.

En la sierra cusqueña, la temporada de lluvias se extiende de noviembre a abril, pero en los últimos años, el cambio climático ha generado mayor variabilidad en las precipitaciones, provocando tanto déficit hídrico como periodos de saturación extrema.

En este escenario, la ciudad de Cusco enfrenta dos amenazas principales: (1) la ocurrencia de un sismo de gran magnitud con potencial destructivo elevado y (2) la generación de movimientos en masa posteriores al sismo, debido a la mala calidad de los suelos. De forma adicional, las lluvias intensas recurrentes en temporada pluvial desencadenan deslizamientos y flujos en terrenos deleznales, especialmente en zonas periféricas.

4.5.2. Sismos históricos más representativos en la ciudad de Cusco

La historia sísmica del Cusco registra diversos eventos de gran impacto que ocasionaron pérdidas humanas y daños en infraestructuras. Entre los más significativos se encuentran los sismos de 1650, 1950 y 1986:

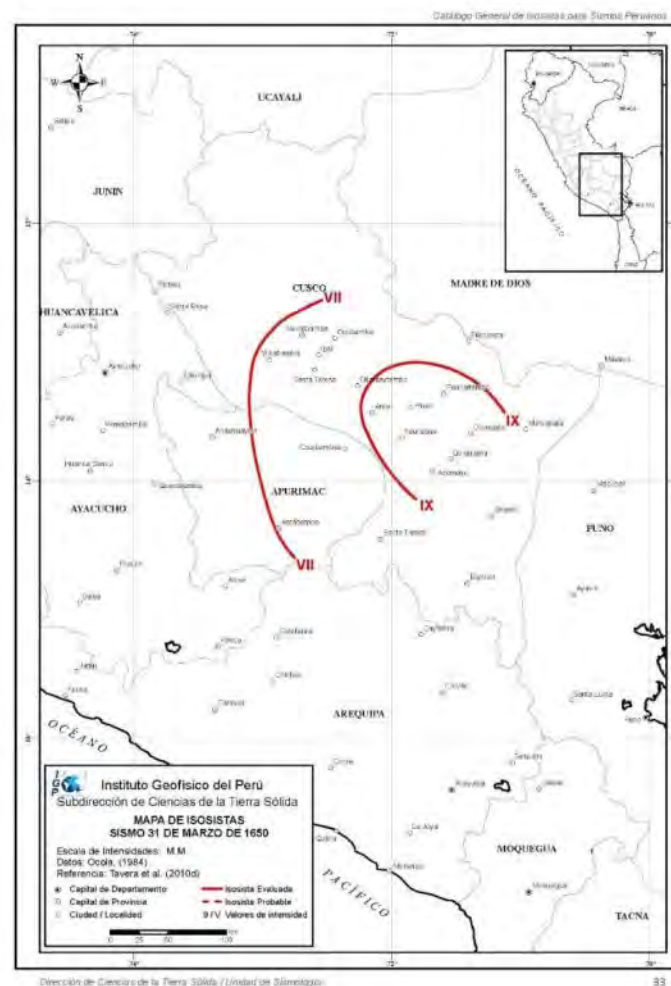
- **Sismo de 1650:** El 31 de marzo de 1650, a las 14:10 h, se registró un movimiento sísmico de magnitud 7,2 Mb y 30 km de profundidad (Lat. -13.50; Long. -71.10) (Tavera et al., 2010d). De acuerdo con Silgado (1978), este evento derribó todos los templos y la mayoría de las edificaciones de la ciudad, con daños extensivos en Abancay, Andahuaylas y otros pueblos. Se produjeron deslizamientos masivos en Pisac y Paucartambo, uno de los cuales represó el río Apurímac. También se reportaron grietas en el terreno y alteraciones en el nivel freático cerca de Oropesa.
- **Sismo de 1950:** El 21 de mayo de 1950, a las 14:00 h, un sismo de 6,0 Mb y 15 km de profundidad (Lat. -13.50; Long. -72.00) provocó daños en más del 50% de las construcciones, con un saldo de 120 fallecidos (Tavera et al., 2010d). Silgado (1978) señala que templos y estructuras coloniales de entre 250 y 300 años sufrieron severos daños, especialmente en campanarios y techos abovedados de ladrillo. Las construcciones de adobe, así como aquellas combinadas con piedra o ladrillo, fueron particularmente vulnerables.
- **Sismo de 1986:** El 5 de abril de 1986, a las 20:13 h, un sismo de magnitud 5,6 Mb y 7 km de profundidad (Lat. -13.51; Long. -72.03) (IGP) ocasionó daños en monumentos históricos y viviendas de adobe y concreto (Zegarra et al., 1987).

Aunque estos tres eventos son los más recordados, la documentación histórica evidencia numerosos sismos desde la época colonial, lo que confirma la alta susceptibilidad sísmica de la

región. El carácter destructivo de estos sismos se asocia principalmente a su baja profundidad, que suele variar entre 5 y 40 km.

Investigaciones paleosísmicas del INGEMMET en la falla Pachatusán han identificado, en un intervalo de 1000 años, eventos con magnitudes de 6,67; 6,18; 6,57 y 6,25 M (Benavente et al., 2013). El mapeo morfoestructural permitió estimar 99 km de ruptura superficial y una magnitud máxima posible de 7,39 Mw en caso de una reactivación de este sistema de fallas.

Figura 99: Mapa de isosistas del sismo de 1650.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2016

Figura 100: Mapa de isosistas del sismo de 1950.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2016

Figura 101: Mapa de isosistas del sismo de 1986.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2016.

CAPÍTULO V: CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

5.1. Precipitación

5.1.1 Precipitaciones diarias máximas.

Para el análisis climático se utilizaron los registros históricos de precipitación y temperatura (máxima, media y mínima) obtenidos del SENAMHI, correspondientes a la estación meteorológica Kayra del distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco, cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 21.

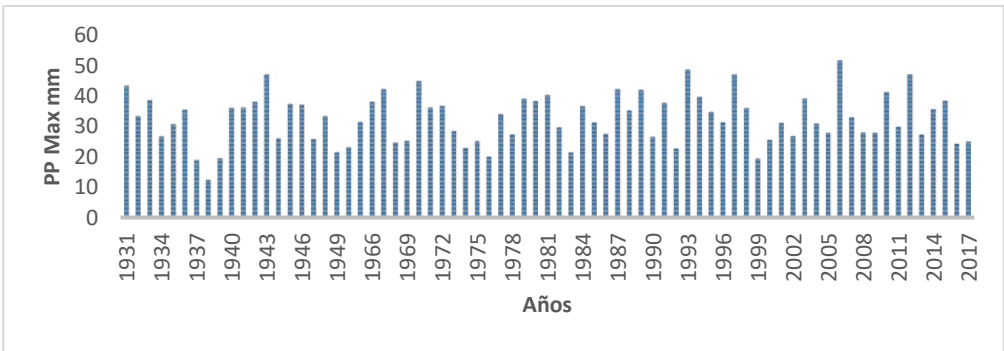
Tabla 21: Datos de estación meteorológica (1964-2017).

Cat.	Estación	Provincia	Distrito	Altitud	Latitud	Longitud
CO	Kayra	Cusco	San Jerónimo	3219.00	13°33'25''	72°52' 31''
				19L	188982.65E	8499081.40N

Fuente: SENAMHI-Estación Kayra, 2025.

Debido a la mayor cercanía a la zona en estudio, para el análisis de precipitaciones máximas se ha utilizado los datos de la Estación Kayra, cuyo registro de Precipitación Máxima en 24 horas, se muestra en la Figura 102.

Figura 102: Hietograma de precipitaciones máximas registradas en 24 horas, Estación Kayra.



La estimación de los caudales máximos requiere contar con los datos de precipitación más intensa registrada en un intervalo de 24 horas, información que fue obtenida de la estación meteorológica Kayra. En la Tabla 22 se muestran los resultados de estas precipitaciones extremas, ajustadas mediante el modelo probabilístico Gumbel para distintos periodos de retorno (5, 25, 50, 100 y 200 años).

Tabla 22: *Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno (1964-2017)*

TR (años)	Precipitación (mm)
5	38.5
25	48.8
50	53.1
100	57.3
200	61.5

5.1.2 Régimen de la precipitación estacional:

Las variaciones estacionales del clima en el área de estudio se reflejan principalmente en los cambios del régimen de precipitaciones. En la Tabla 23 se muestra el promedio multimensual de la precipitación total registrada por la estación ubicada dentro del área de influencia. Por su parte, la Figura 103 evidencia la distribución temporal de las lluvias, confirmando el marcado carácter estacional del régimen pluvial. A continuación, se describen los periodos lluviosos y los meses de transición observados en la estación analizada.

Tabla 23: *Precipitación total mensual – Promedio multimensual.*

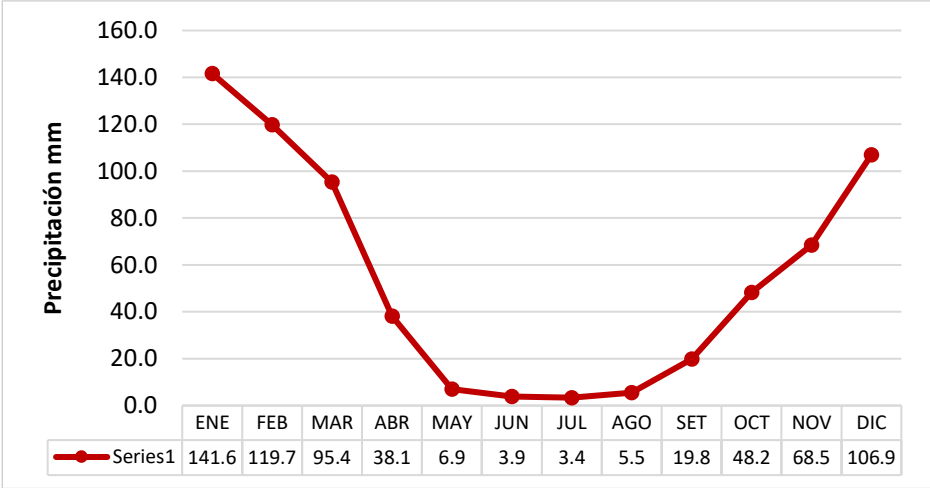
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
PP*(mm)	141.6	119.7	95.4	38.1	3.9	3.4	5.5	19.8	48.2	68.5	106.9	658

Fuente: SENAMHI, 2025.

(*) Promedio de precipitación

La Tabla 23 presenta la precipitación total anual de 658 mm, además se evidencia los meses con mayor precipitación en los meses de octubre a abril según la Figura 103.

Figura 103: *Precipitación Total Mensual – Promedio Multimensual.*

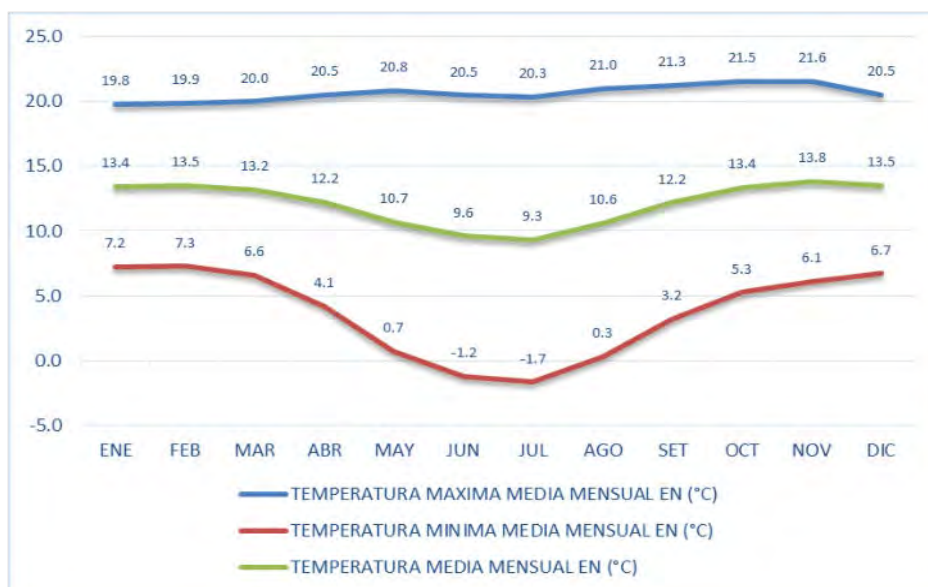


Fuente: SENAMHI-Estación Kayra, 2025.

5.2 Temperatura

De acuerdo con la Figura 104, los registros de temperatura de la estación meteorológica Granja Kayra, correspondientes al periodo 1964–2017, indican que la temperatura máxima media mensual más alta se presenta en noviembre, alcanzando los 21.6 °C, mientras que la temperatura mínima media mensual más baja se registra en julio con –1.7 °C. El promedio general de la temperatura media mensual durante dicho periodo es de 12.1 °C.

Figura 104: Datos de promedios multimensuales entre los años (1964-2017) de la estación Granja Kayra.



Fuente: SENAMHI, 2025.

5.3. Cálculo del caudal

Se empleó el método de aforo en campo para calcular el caudal, por tratarse de una técnica sencilla y rápida que permite estimar la cantidad de agua que circula por una sección transversal del río. Este procedimiento también posibilita medir las velocidades superficiales de la corriente utilizando elementos flotantes fácilmente visibles y prescindibles.

Para la zona de estudio se realizó el cálculo en el lugar del río sin ningún asentamiento en el lecho del río ni erosionada, un lugar de fácil acceso, recto y libre de efectos de control aguas abajo. Se aplicó la siguiente metodología para el cálculo de caudal:

- Seleccionar un tramo recto del cauce del río.
- Determinar el ancho del cauce y las profundidades de este en partes diferentes de la sección mojada transversal.
- Calcular el área de la sección transversal.

Figura 105: *Medición del ancho, largo y profundidad del caudal.*



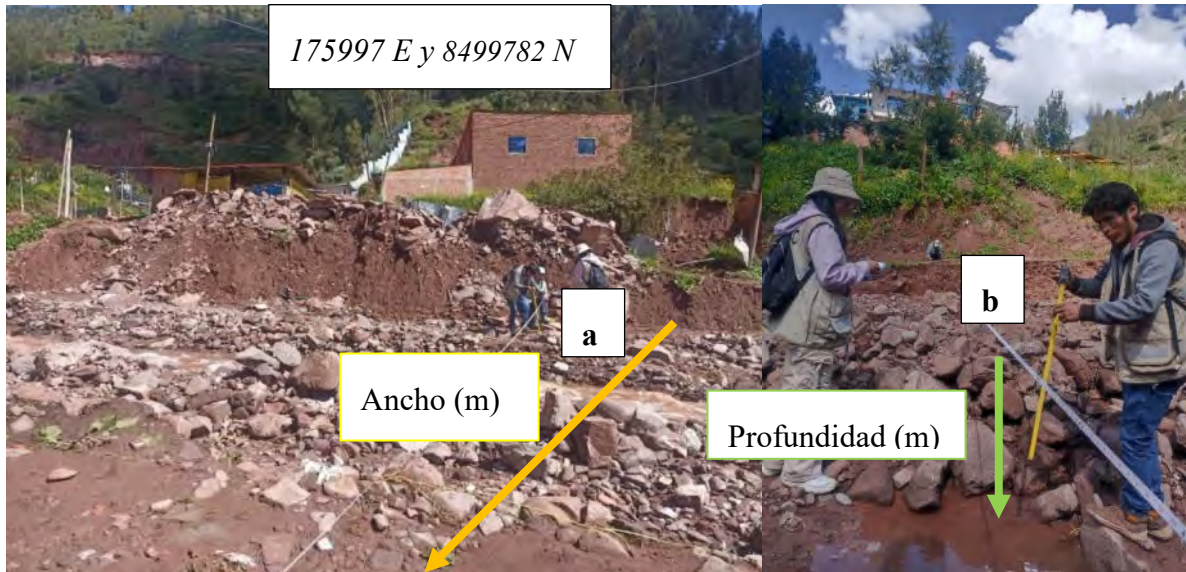
5.3.1. Cálculo de la sección del área

Para este cálculo se midió con una wincha el ancho del caudal, así mismo la longitud del caudal. Posterior se midió verticalmente la profundidad cada 50 cm, teniendo un total de 7 puntos de medición vertical tal como se muestra en la Tabla 22. Para obtener el resultado se aplicó la siguiente formula.

$$A (m^2) = hp * a$$

- ✓ A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m²).
- ✓ hp: profundidad promedio (m).
- ✓ a: ancho del río, expresado en metros (m)

Figura 106: a) Medición del ancho de la sección de río. b) Profundidad de la sección de río



Se dividió el río en 6 partes tal como muestra la figura 107, para sondear el ancho del río y posteriormente medir las diferentes profundidades, finalmente se obtuvo el promedio.

Figura 107: Sección transversal del río.

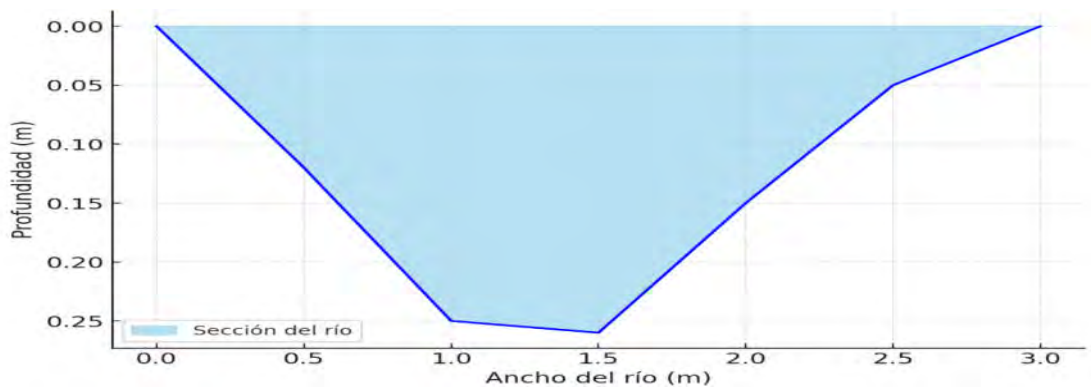


Tabla 24: Promedio de la profundidad media.

Puntos	0	1	2	3	4	5	6
X (m)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
y (m)	0	0.12	0.25	0.26	0.15	0.05	0

$$A = \frac{h}{2} \times (y_0 + 2(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n))$$

$$A = \frac{0.5}{2} * (2 * (0.12 + 0.25 + 0.26 + 0.15 + 0.05))$$

$$A = 0.415 \text{ m}^2$$

5.3.2. Cálculo de la velocidad

Para la ejecución del cálculo de velocidad se tomó un trecho de la corriente de longitud L de 12 m; en el área de la sección y se deja caer el flotador al inicio del tramo situado en el centro del curso de agua, luego se toma el tiempo que dura el viaje desde el punto de inicio hasta el punto de control aguas abajo, tal como se detalla en la tabla 21 donde se muestra los tiempos tomados en campo. Después se calculó la velocidad del curso de agua según la siguiente formula:

$$V\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{L}{t}$$

Donde:

- ✓ L : longitud del tramo, distancia del punto P_o (inicial) al punto P_f (final) es de 12 m expresada en metros (m).
- ✓ t : tiempo de recorrido del flotador entre dos puntos del tramo, expresada en segundos (s)

Figura 108: *Medición del tiempo.*



Tabla 25: *Tiempo tomados en campo.*

Tiempo t (s)	
1	10.34
2	11
3	9.22
4	10.35
5	10.26

$$t_{promedio} = \frac{\sum t}{n}$$

$$t_{promedio} = \frac{(10,34 + 11 + 9,22 + 10,35 + 10,26)}{5}$$

$$t_{promedio} = 10.26 \text{ s}$$

$$V(m/s) = \frac{L}{t}$$

$$V(m/s) = \frac{12 \text{ m}}{10.26 \text{ s}}$$

$$V = 1.17 \text{ m/s}$$

5.3.3. Cálculo del caudal

De la misma manera, se lleva a cabo la determinación del caudal mediante la siguiente fórmula matemática:

$$Q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = A * Vm$$

Donde:

- ✓ Q: caudal de agua, expresada en metros cúbicos sobre segundos (m³/s).
- ✓ A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m²)

✓ Vm: velocidad media del agua, expresado en metros sobre segundos (m/s).

$$Q \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = A * Vm$$

$$Q = 0.415 \text{ m}^2 * 1.17 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.49 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal medido en la sección transversal del riachuelo es de 0.49 m³/s, lo que indica una descarga importante que puede tener implicaciones en la dinámica fluvial.

5.3.4. Cálculo del caudal por huella máxima

Conocido también como el método de la huella hidrológica, este método de la huella máxima se basa en la medición de las marcas dejadas por el agua en el terreno durante una crecida. Se utiliza para estimar el caudal máximo de una corriente de agua donde no hay datos de aforo disponibles.

Sin embargo, este método es una técnica empírica, donde los resultados pueden tener cierto grado de incertidumbre. Además, la precisión del cálculo depende de la calidad de las mediciones de la huella máxima y de la correcta estimación del coeficiente de rugosidad.

Para la zona de estudio se calculó los caudales máximos por huella máxima para un periodo de retorno de 100 años tanto para la quebrada de Ccompimayo y Wintaray tal como muestra la Tabla

Figura 109: *Medición de la huella máxima.*



Tabla 26: *Longitudes de los ríos Wintaray y Compimayo, área de estudio.*

Longitudes de los ríos (área de estudio= m)	
Wintaray (m)	Compimayo (m)
400	550

Tabla 27: *Caudales máximos para la quebrada de Ccompimayo y Wintaray.*

Caudales máximos (m ³ /s)	
Quebrada Ccompimayo	Quebrada Wintaray
9.325	7.33

Se obtuvo un caudal máximo estimado de 9.325 m³/s para la quebrada Ccompimayo y de 7.33 m³/s para la quebrada Wintaray, valores que representan las condiciones de escorrentía más críticas identificadas durante el análisis hidrológico. Estos caudales máximos fueron calculados considerando parámetros hidrometeorológicos, características morfométricas de las cuencas y coeficientes de escorrentía específicos para la zona.

Cabe señalar que dichos valores serán empleados como insumo fundamental para la construcción y calibración del modelo numérico de flujo de detritos en la zona de estudio, permitiendo simular el comportamiento hidráulico-sedimentológico ante eventos extremos y evaluar el potencial de afectación aguas abajo.

CAPÍTULO VI: MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO DEL FLUJO DE DETRITOS

6.1. Modelo Conceptual

El modelo conceptual de flujo de detritos de la zona de estudio describe el movimiento de material sólido como son: rocas, detritos y suelo, por una pendiente debido principalmente a la acción de la gravedad y con frecuencia a la presencia de agua. Por consiguiente, este modelo conceptual considera factores como: geología, geomorfología e hidrología.

6.1.1. Aspectos para el modelamiento conceptual

6.1.1.1. Descripción de la geomorfología

En este aspecto la geomorfología juega un papel muy importante, se consideró la descripción de las características del terreno tomando como base la topografía, que influyen en la ocurrencia y trayectoria de los flujos.

6.1.1.2. Descripción de la geología

Respecto a la geología se toma en cuenta el tipo de material y la unidad geológica identificada en la visita de campo, la secuencia estratigráfica, tomando en cuenta las características que poseen cada una de ellas. Así mismo se complementó con el estudio de la geotecnia.

6.1.1.3. Descripción de la hidrología

En este aspecto se considera principalmente la precipitación ya que el agua satura el suelo y reduce su resistencia durante las épocas de lluvias, facilitando el movimiento de los detritos, se consideró también el caudal, que ha sido calculado mediante metodologías aplicadas acorde a la realidad del sistema de la zona de estudio.

6.1.2. Conceptualización del flujo de detritos

A partir de la información recopilada durante el trabajo de campo, que incluyó la caracterización geológica y su correlación con los estudios de suelos, así como el análisis

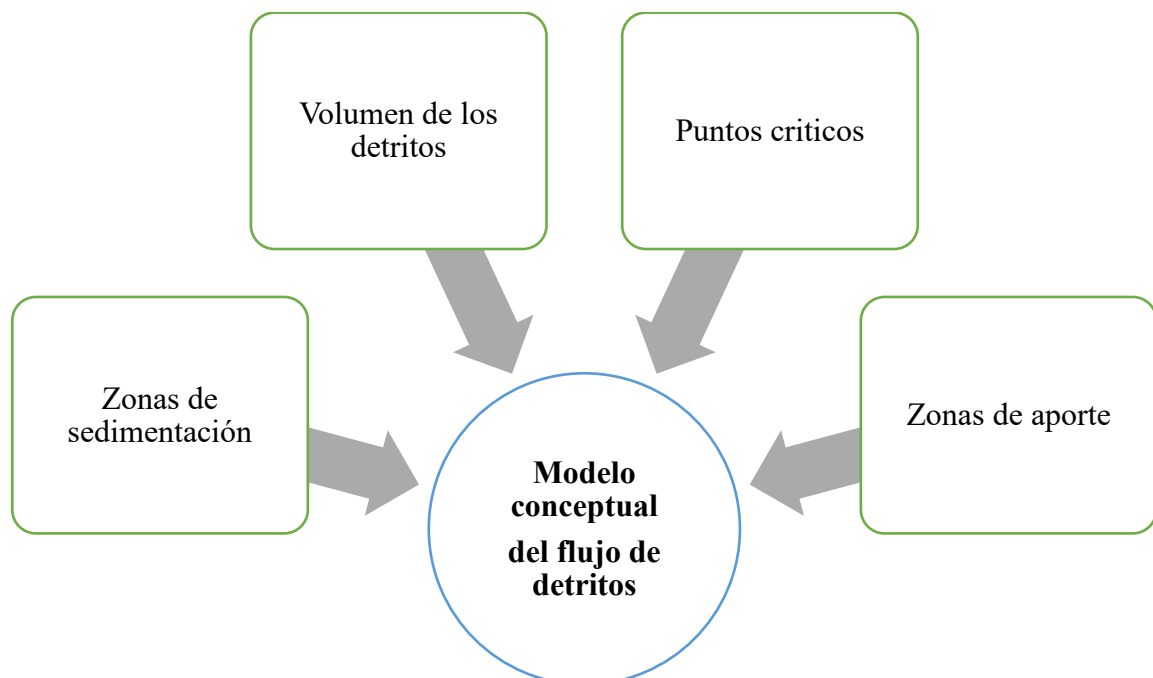
geomorfológico sustentado en la topografía de la zona, se integraron además las condiciones hidrológicas, considerando parámetros como la precipitación y los caudales de los riachuelos presentes en la zona de estudio.

Con este conjunto de datos se procedió a la conceptualización del flujo de detritos, proceso en el que se identificaron y evaluaron los factores condicionantes y detonantes que influyen en la generación y propagación de este tipo de eventos.

Para ello, se tomaron en cuenta los aspectos técnicos representados en la Figura 110, los cuales abarcan variables de carácter geológico-estructural, morfodinámico e hidrometeorológico.

Estos aspectos se desarrollan con mayor detalle en el Capítulo 3.4 (Geodinámica Externa), donde se explica de forma integral la interacción de dichos factores en la dinámica de laderas y cauces de la zona de estudio.

Figura 110: *Representación del modelo conceptual.*



6.2. Modelo numérico

El modelo numérico en la quebrada Ccompimayo y Wintaray en el sector de Juquiskapampa y Mojasapampa se realizó de la dinámica de flujos de detritos sobre un tramo desde la zona de desembocadura de ambas quebradas.

6.2.1. Software utilizado

FLO 2D, es un modelo matemático bidimensional (2D) que permite la simulación del proceso lluvia – escorrentía, además, se usa para estimar el tránsito de avenidas en 2 dimensiones; puede simular flujo en canales, superficies no confinadas y flujo en calles; y las características físicas del flujo pueden ser modificadas, como la reología (viscosidad, esfuerzo cortante), concentración de sedimentos, y composición de sedimentos finos (granulometría del sedimento), etc. (Namay Poncca 2017)

Además, este modelo está validado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia de los Estados Unidos (FEMA); Cuerpo de Ingenieros del Ejército (Corps), Distrito de Sacramento; Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Maricopa (FCDMC), Phoenix, Arizona; y entre otras entidades internacionales involucradas en el tema de gestión de riesgos y desastres naturales. (Namay Poncca 2017)

6.2.2. Datos de entrada para el modelo

Los datos de entrada para realizar el modelo son los siguientes:

6.2.2.1. Hidrogramas líquidos

Del capítulo V de la presente tesis, se obtuvo el hidrograma de caudal líquido de la precipitación. Analizándose así, para un tiempo de retorno de 100 años. En la Tabla 25 se muestran los caudales máximos (m³/s) para el tiempo de retorno mencionado para ambas quebradas. Del mismo modo se muestran los hidrogramas en las Figuras 111 y 112 para ambas quebradas.

Tabla 28: Caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años.

Periodos de retorno	Caudales máximos (m3/s)	
	Quebrada Ccompimayo	Quebrada Wintaray
100 años	9.325	7.33

Figura 111: Hidrograma liquido de diseño- quebrada Ccompimayo.

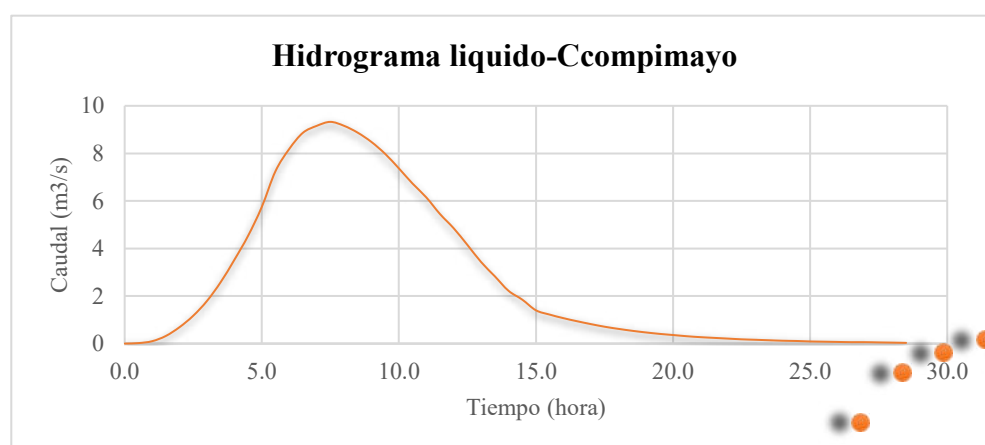
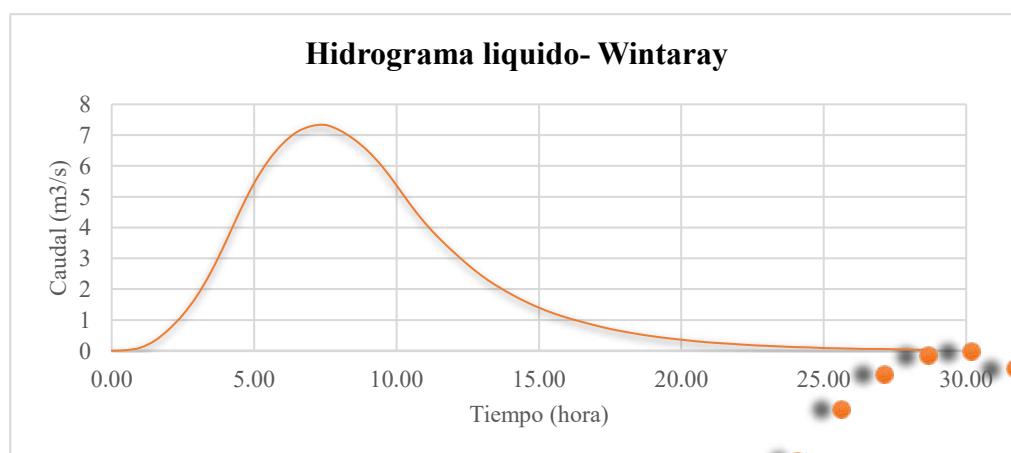


Figura 112: Hidrograma liquido de diseño- quebrada Wintaray.



6.2.2.2. Parámetros reológicos

Los parámetros reológicos fueron obtenidos de manera teórica mediante cuadros elaborados por los autores del modelo FLO-2D, para esta comparativa se tomó en cuenta los resultados del estudio de mecánica de suelos de la zona de estudio que se describe en el ítem 3.3.

- **Viscosidad y esfuerzo de cedencia**

Para poder calcular el parámetro de viscosidad y esfuerzo de cedencia se toma en cuenta la función de concentración de sedimentos, cuya ecuación se presenta a continuación:

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) + C \left(\frac{dv}{dy} \right)^2$$

Donde:

- τ : esfuerzo cortante
- τ_y : esfuerzo de fluencia
- dv/dy : gradiente de velocidad
- η : viscosidad dinámica
- C : coeficiente de esfuerzo inercial

Para obtener el esfuerzo de fluencia y la viscosidad dinámica se usa las siguientes ecuaciones:

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C v}$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C v}$$

Donde:

- $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ y β_2 : coeficientes empíricos que depende del análisis reológico del material
- Cv : concentración volumétrica de sedimentos

Con estas ecuaciones empíricas los autores del modelo FLO-2D O'Brien & Julien, hicieron un análisis en laboratorio sobre las propiedades de un flujo de lodos para poder hacer una mejor descripción de las propiedades físicas del material; es por eso que los autores recolectaron datos de unas muestras de las montañas rocosas en el estado de Colorado, en Estados Unidos cerca de las ciudades de Aspen y Glenwood. Todos estos resultados se muestran en la Tabla 26 y 27.

Tabla 29: *Propiedades de las matrices de flujos de lodo (arcillas + limos).*

Fuente	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	Ø16 (mm)	Ø50 (mm)	Ø84 (mm)		
Glenwood original	4,8	0,010	0,034	0,062	-	-
Glenwood sample 1	6,8	0,009	0,023	0,050	-	-
Glenwood sample 2	3,0	0,016	0,035	0,061	-	-
Glenwood sample 3	4,8	0,011	0,025	0,053	-	-
Glenwood sample 4	7,6	0,001	0,018	0,032	-	-
Aspen Pit 1	31,3	0,001	0,011	0,032	0,32	0,11
Aspen natural soil	27,0	0,001	0,012	0,028	0,25	0,06
Aspen mine fill	27,8	0,001	0,013	0,030	0,24	0,06
Aspen natural soil source	31,6	0,001	0,016	0,039	-	-
Aspen mine fill source	25,2	0,001	0,018	0,061	-	-

Fuente: O'Brien & Julien 1988, "Laboratory Analysis of mudflow properties"

Tabla 30: *Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función del CV.*

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta CV}$		$\eta = \alpha e^{\beta CV}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en Campo				
Aspen Pit 1	0,181	25,7	0,0360	22,1
Aspen Pit 2	2,72	10,4	0,0538	14,5
Aspen Natural Soil	0,152	18,7	0,00136	28,4
Aspen Mine Fill	0,0473	21,1	0,128	12,0
Aspen Watershed	0,0383	19,6	0,000495	27,1
Aspen Mine Source Area	0,291	14,3	0,000201	33,1
Glenwood 1	0,0345	20,1	0,00283	23,0
Glenwood 2	0,0765	16,9	0,0648	6,20
Glenwood 3	0,000707	29,8	0,00632	19,9
Glenwood 4	0,00172	29,5	0,000602	33,1
Correlaciones disponibles de la literatura:				
Iida (1938)	-	-	0,0000373	36,6
Dai et al. (1980)	2,60	17,48	0,00750	14,39
Kang and Zhang (1980)	1,75	7,82	0,0405	8,29
Qian et al. (1980)	0,00136	21,2	-	-
	0,050	15,48	-	-

Fuente: O'Brien & Julien 1988, "Laboratory Analysis of mudflow properties"

Para la zona de estudio se tomó la muestra M-1 del estudio de suelo, donde las propiedades se asemejan a las muestras del Aspen Mine Fill estudiada por O'Brien y Julien tal como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 31: *Esfuerzo de cedencia y viscosidad para la zona de estudio.*

Fuente	$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$		$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$	
	α	β	α	β
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0

6.2.2.3. Hidrograma solido

Se calculará el hidrograma solido el cual es necesario para la simulación de los flujos de escombros, para todo esto se considera los estudios de granulometría y límites de Atteberg que se detallan en el ítem 3.3 - Geotecnia.

- **Concentración volumétrica**

Uno de los parámetros principales en el estudio de los flujos de escombros es la concentración de sedimentos como una medida de peso o volumen de los parámetros principales en el estudio de los flujos de escombros (FLO-2D Software Inc., 2018). La ecuación que representa a la concentración de sedimentos por volumen es la mostrada a continuación:

$$C_v = \frac{\text{Volumen de sedimento}}{\text{Volumen de agua + sedimento}}$$

La concentración volumétrica permite clasificar al tipo de flujos de escombros y consecuentemente, su comportamiento. En la Tabla 29 se observa una de las clasificaciones existentes desarrollada por O'Brien en el Manual de referencia de FLO-2D (2018).

Tabla 32: Clasificaciones existentes de concentración volumétrica.

Tipo de Flujo	Concentración de sedimento		Descripción
	Por volumen	Por peso	
Deslizamiento de tierra (<i>landslide</i>)	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye, fallo por deslizamiento del bloque
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento de bloque con deformaciones internas, deslizamiento lento antes del fallo
Flujo de lodos (<i>mudflow</i>)	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, lento, deformación plástica bajo su propio peso, cohesivo, no se extiende en superficie llana
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	Flujo que se extiende en superficie plana, se observa la mezcla de elementos
Avenida de lodo (<i>Mud Flood</i>)	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente, se observan propiedades de deformación de un flujo, se extiende en superficies horizontales, pero mantiene superficie de fluido inclinada, se observan grandes partículas (canto rodado), aparecen ligeras ondas
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Asentamiento de gravas y canto rodado definido, el flujo se extiende casi por completo en una superficie llana, aparece la superficie líquida con dos fases de fluido, ondas viajan en superficie
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Separación de agua en la superficie, las ondas viajan fácilmente, la mayoría de la grava y arena se ha asentado y se mueve como cama
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Acción de onda distintiva, superficie del fluido, todas las partículas que descansan en la cama se encuentran en condición inactiva dentro del fluido
Inundación de agua (<i>Water Flood</i>)	< 0.20	< 0.41	Flujo de agua con carga suspendida y carga sedimentada en el fondo del cauce

Fuente: O'Brien en el Manual de referencia de FLO-2D (2018).

Para desarrollar el modelo del flujo en nuestra zona de estudio se usó una concentración de sedimento de 0.40 por volumen y de 0.60 por peso tal como muestra la Tabla 30.

Tabla 33: Clasificaciones existentes de concentración volumétrica para la zona de estudio.

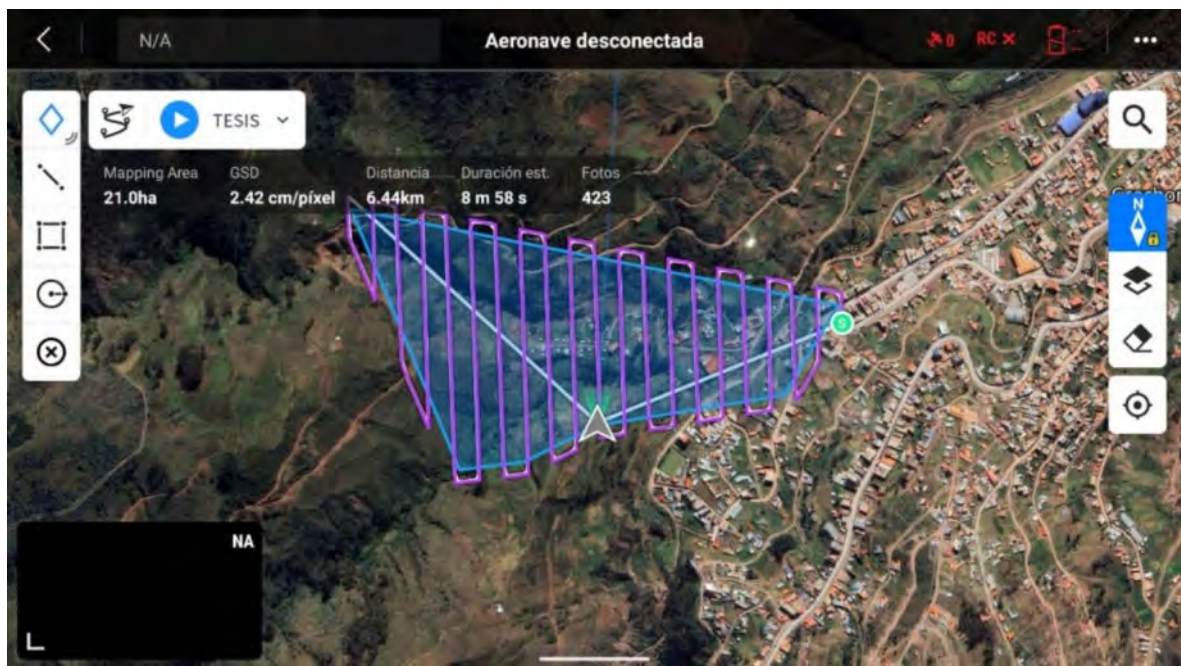
Tipo de flujo	Concentración de sedimento		Descripción
	Por volumen	Por peso	
Avenida de lodo	0.40	0.60	Asentamiento de gravas y canto rodado definido, el flujo se extiende casi por completo en una superficie llana, aparece la superficie líquida con dos fases de fluido, ondas viajan en superficie.

6.2.2.4. Topografía

La topografía utilizada para la construcción del modelo numérico ha sido obtenida a partir de un vuelo Aero fotogramétrico con dron sobre el área de estudio, llegándose a obtener un modelo digital de elevación (MDT) con distancia de espaciamiento de 0.5 metros, es decir, existe un dato de elevación cada 0.5x0.5 metros cuadrados. Por lo que se describe el procedimiento.

- Para realizar el vuelo Aero fotogramétrico con dron inicia con el plan de vuelo definiendo el área a cubrir, seguido de la altura de vuelo, sobre la de las fotos y los puntos de control (PC) en el terreno. Luego se realiza el vuelo donde se captura un conjunto de imágenes aéreas con el dron, teniendo una buena superposición entre ellas.

Figura 113: Plan de vuelo Aero fotogramétrico con dron.



- Para realizar la descarga de datos se descargan las imágenes del dron y los datos de los PC, para ser procesados en el software, en este caso se utilizó el software PIX4D.

Figura 114: Importación de fotografías al software PIX4D.

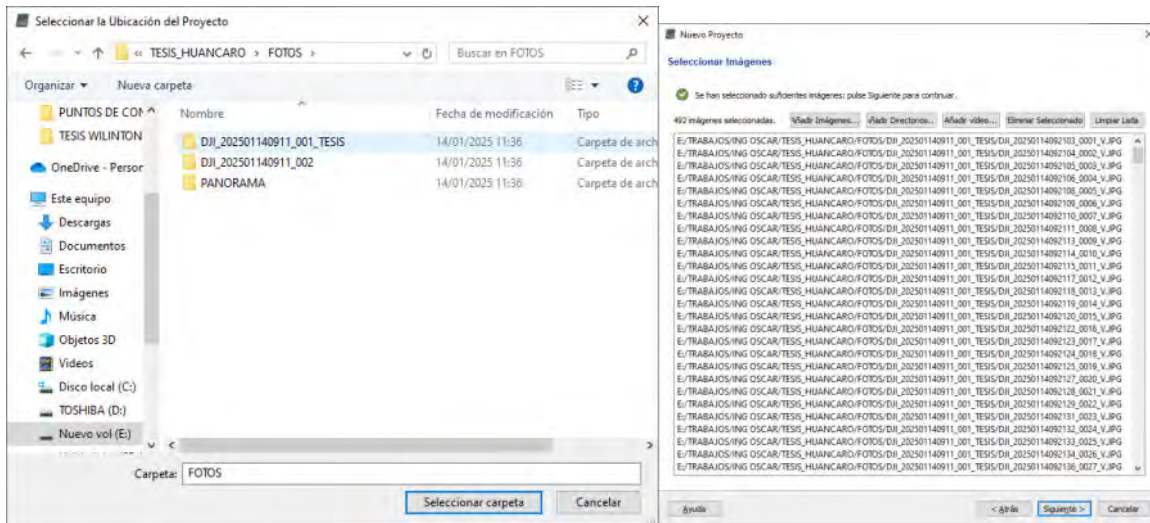
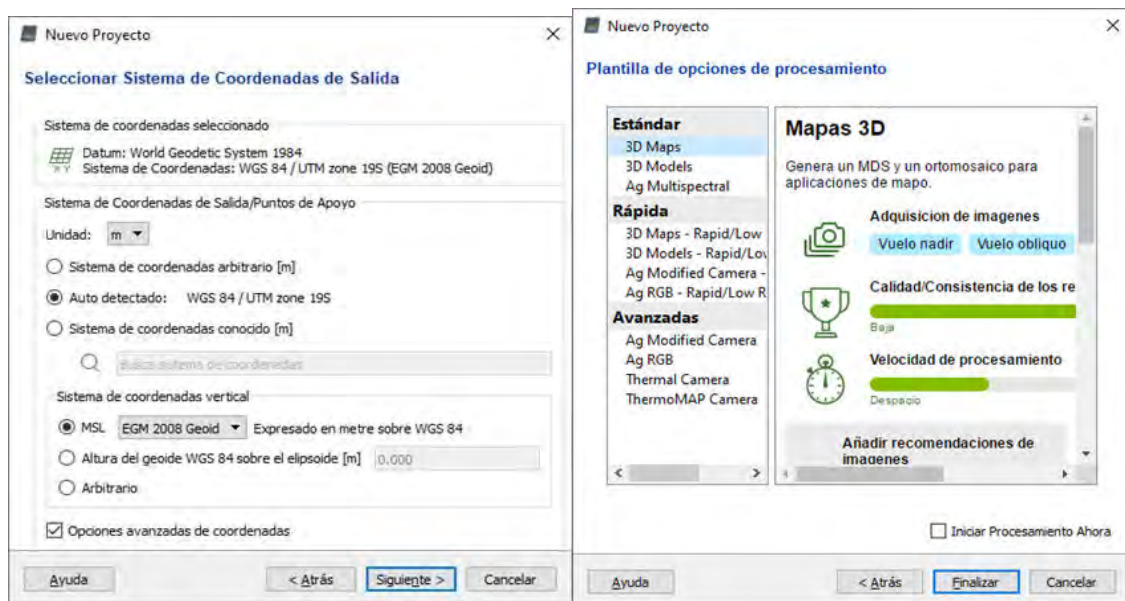


Figura 115: Configuración de las coordenadas de trabajo del proyecto y modelo de procesamiento.



- Dentro del software se realiza el procesamiento de las imágenes, teniendo como resultado una representación tridimensional del terreno (Modelo de Elevación Digital MDT)

Figura 116: *Iniciando el procesamiento.*

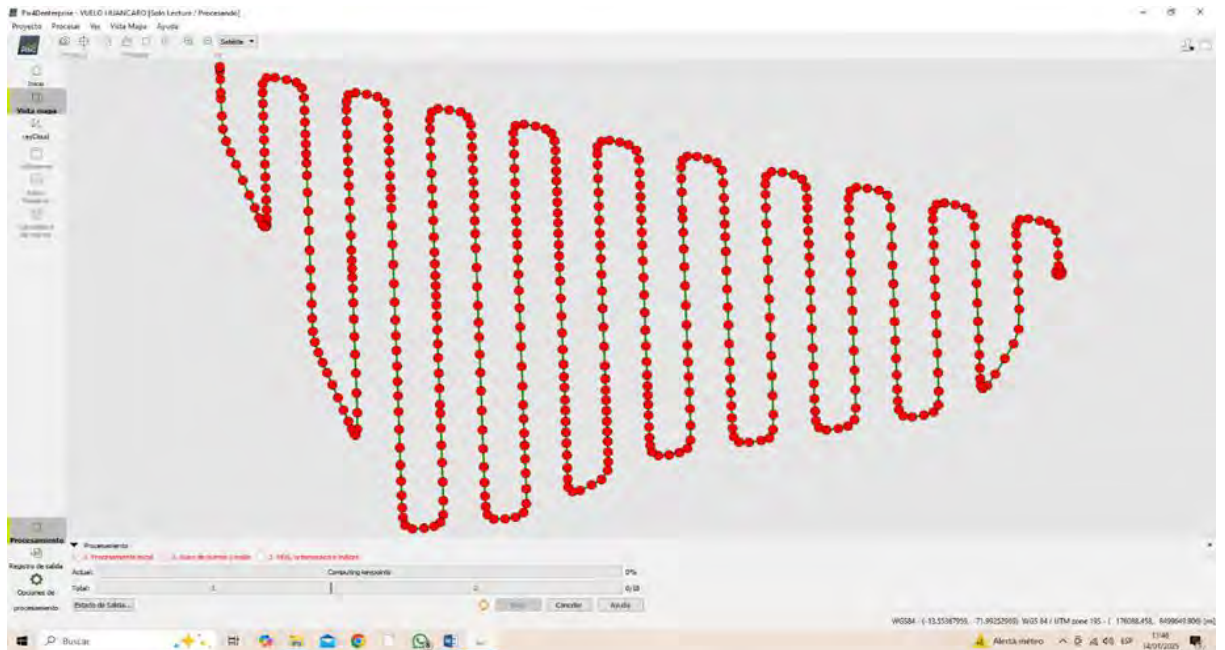


Figura 117: *Optimización y orientación de fotos.*

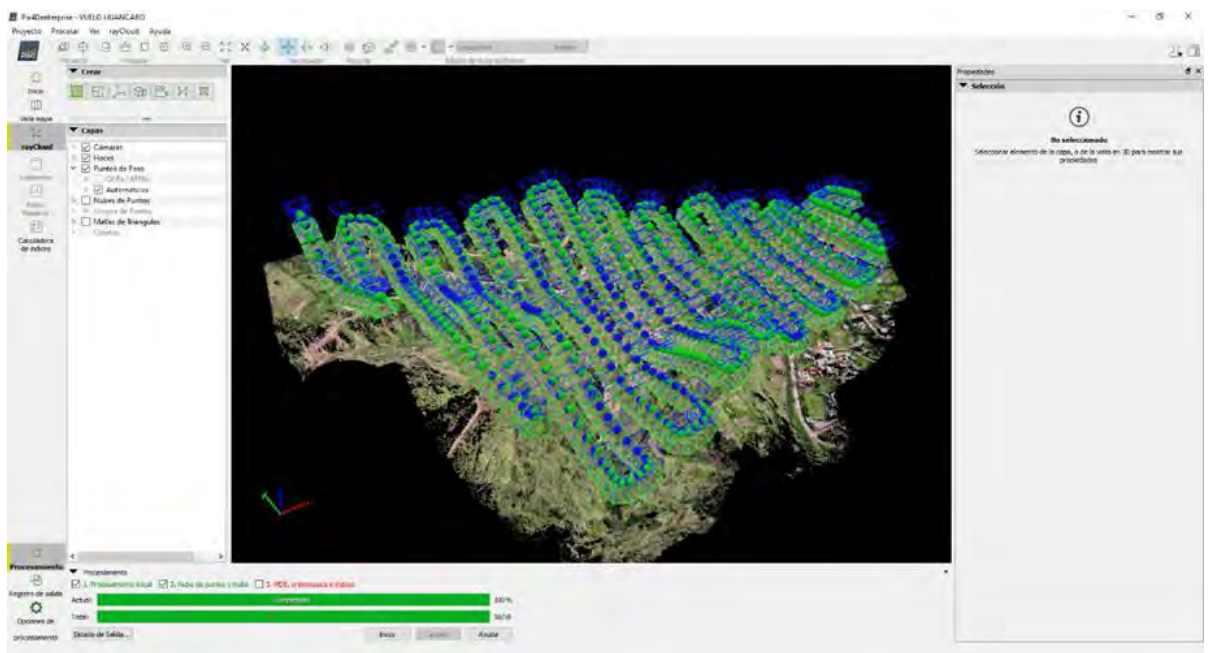


Figura 118: *Procesamiento de la ortofoto.*

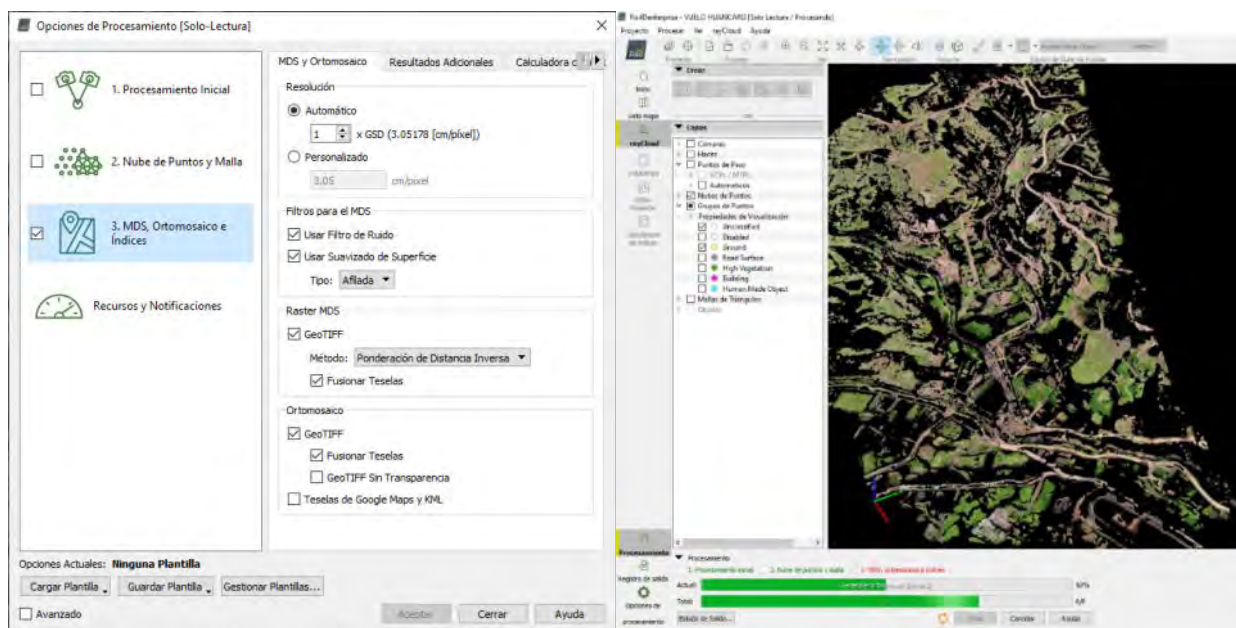
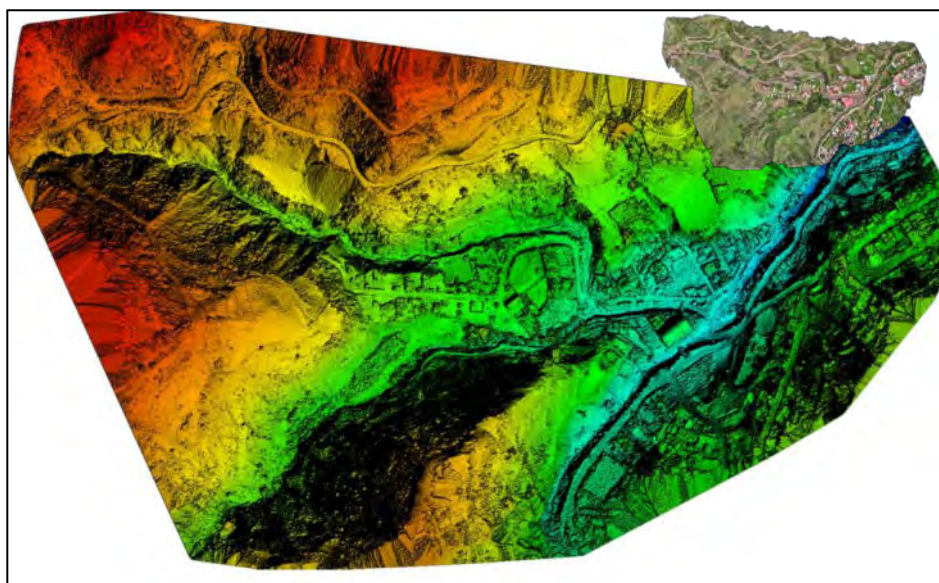


Figura 119: *Ortomosaico y el Modelo Digital de Superficie (DSM) disperso correspondiente antes de la densificación.*



6.2.2.5. Valores de rugosidad de Manning

Los valores de la rugosidad del terreno radican en que distintos tipos de terreno ejercen más o menos esfuerzo a que el flujo fluya sobre él. Para la selección del valor del número de Manning en el cauce de los riachuelos de Ccompimayo y Wintaray y de las áreas aledañas se

utilizó el método de técnicas de campo en superficie de agua realizado el Servicio Geológico de los Estados Unidos y la tabla de coeficiente de rugosidad de Manning propuesta por Ven Te Chow respectivamente. (Namay Poncca 2017)

Para la zona de estudio se usó dos valores de rugosidad que se muestra en la Tabla 30 teniendo en cuenta una delimitación de zonas, una zona que fue el cauce de río y la otra que fueron las zonas de llanura de inundación.

Tabla 34: *Coeficiente de Manning para el modelo.*

Coeficiente de Manning	Zona
0.3	Cauce de río
0.35	Llanura de inundación

6.2.2.6. Modelación en FLO 2D

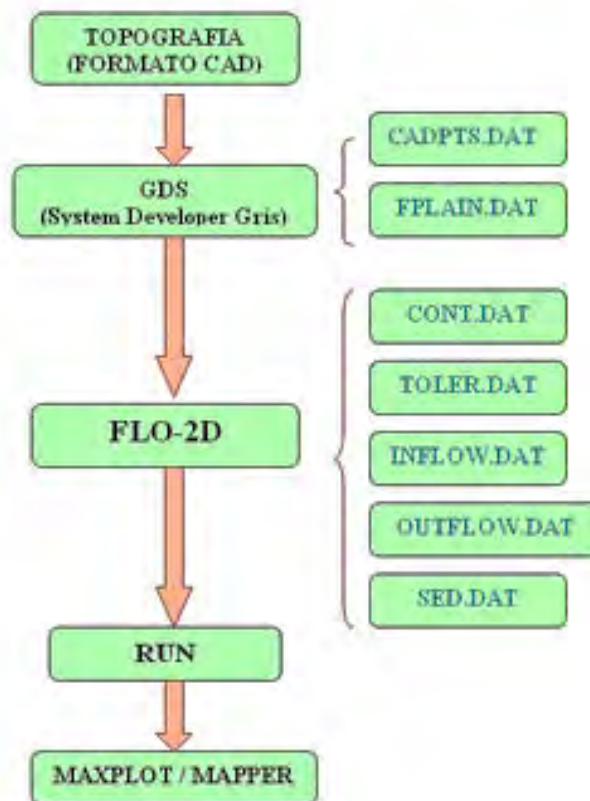
El propósito fundamental de elaborar un modelo numérico de flujo de detritos es entender y anticipar su comportamiento, con el fin de reconocer áreas de amenaza y estimar el nivel de riesgo relacionado. Asimismo, permite representar de manera simulada el desplazamiento del flujo, considerando factores como la velocidad, la trayectoria, la energía y la deposición del material.

La elaboración de este modelo numérico se sustenta en el modelo conceptual previamente planteado y en la incorporación de información levantada en campo, junto con datos de polígonos, líneas y puntos generados para la zona de estudio.

Cabe mencionar que el proceso de la construcción del modelamiento con FLO-2D consiste en la revisión, análisis, interpretación y digitalización de información generada por estudios previos referentes a la geomorfología y eventos geodinámicos en la zona de estudio (Córdova, 2018). En esta etapa se obtuvieron los hidrogramas de avenidas correspondientes a periodos de

retorno de 100 años. Además, se prepararon los datos de rugosidad, modelo digital de terreno, reología, hidrograma y sólidograma para ser ingresados al modelo numérico bidimensional FLO-2D.

Figura 120: Diagrama de flujo del software FLO-2D.



Para realizar la modelación de un flujo de escombros en el software FLO-2D, es necesario contar al menos con siete archivos con la extensión *.DAT. Entre ellos se encuentran FPLAIN.DAT y CADPTS.DAT, los cuales son generados mediante el preprocesador GDS. Estos archivos contienen información sobre la cantidad de grillas utilizadas en el modelo; cada una de ellas incluye datos de elevación del terreno y el coeficiente de Manning.

Los archivos generados desde el preprocesador de FLO-2D son los siguientes:

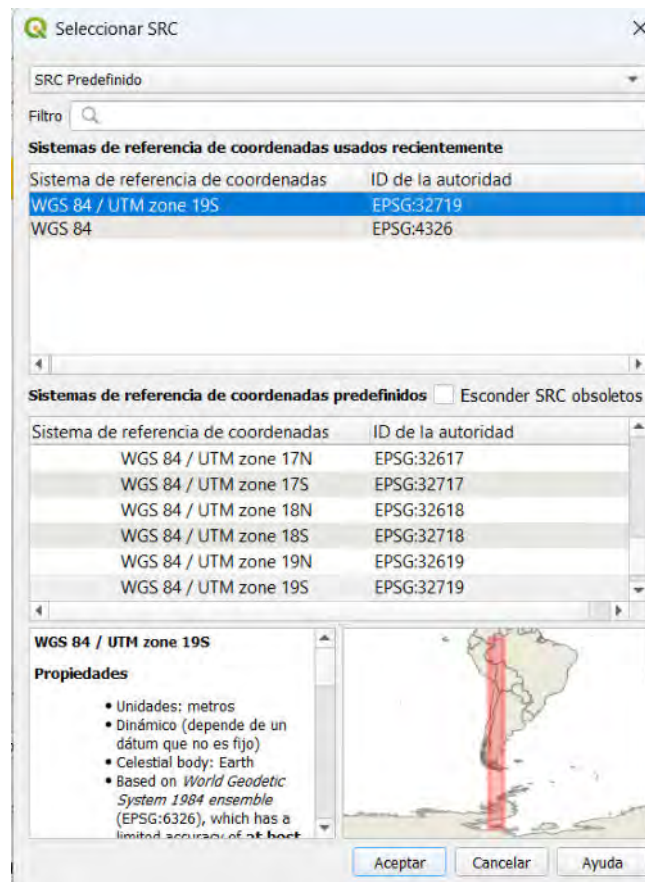
- TOPO.DAT: es el archivo que tiene la información de las elevaciones de cada una de las grillas generadas para el modelo

- MANNING_N.DAT: es el archivo que contiene los valores de Manning para cada sector dentro del área de modelado
- FPLAIN.DAT: este archivo es creado por el procesador GIS, siendo un archivo fundamental porque cuenta con los valores de topografía y Manning.
- CONT.DAT: es el archivo principal, en el que se establece la duración de la simulación. En este caso, el tipo de material simulado corresponde a flujo de lodo y escombros (Mud/Debris).
- TOLER.DAT: define la ecuación de momentum utilizada, en este caso la Full Dynamic Wave, junto con los coeficientes de estabilidad de la onda dinámica y el intervalo de tiempo (timestep) empleado.
- INFLOW.DAT: contiene el hidrograma de entrada y las grillas donde inicia el flujo. A este hidrograma fluido se le asigna una concentración de detritos, y el propio software se encarga de calcular el hidrograma de la mezcla, que luego se transmite a las celdas ubicadas aguas abajo.
- OUTFLOW.DAT: en este archivo se indican las grillas por las cuales se permitirá la salida del flujo (aguas abajo de la quebrada).
- SED.DAT: aquí se introducen las características reológicas del flujo de escombros, incluyendo coeficientes de viscosidad y esfuerzo de cedencia.

6.2.3. Procedimiento para la generación del modelo de flujos de escombros

Para la generación del modelo de flujos, se usó el complemento de FLO-2D para QGIS, para ello primero se crea un nuevo proyecto de FLO-2D en QGIS, donde se debe elegir el sistema de referencias de coordenadas. Para nuestro proyecto de tesis se usó el UTM WGS 84 en la zona 19S tal como se muestra en la Figura 121.

Figura 121: Referencia de proyecto creado.



Luego se define el tamaño de grilla para el modelo y el coeficiente de Manning, para este proyecto se usó una grilla de 6 m, obteniendo un total de 16 946 grillas y los coeficientes de Manning fueron 0.30 para el cauce de río y 0.35 para la llanura de inundación.

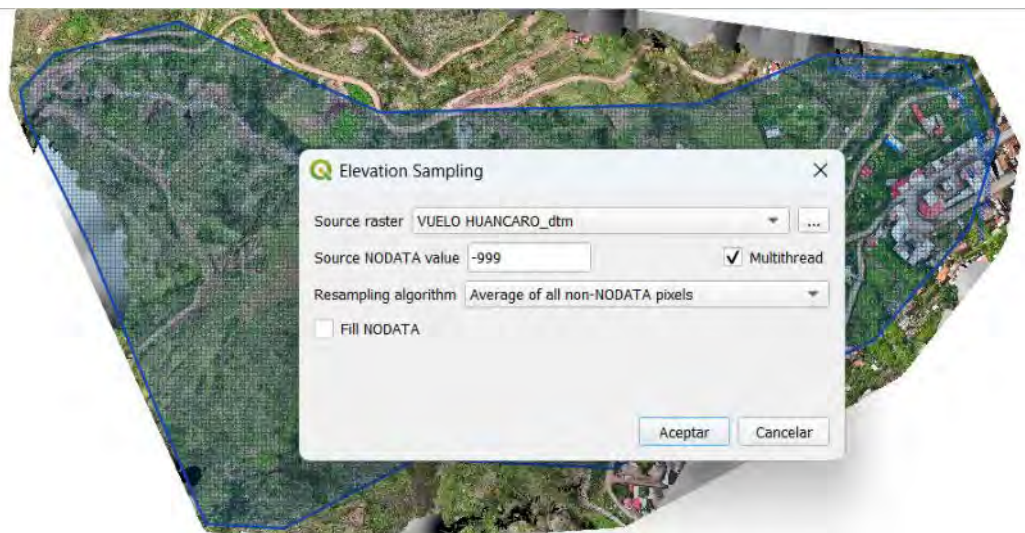
A continuación, se determina el contorno de la zona de estudio generando así el dominio computacional, como se observa en la Figura 122.

Figura 122: *Determinación del contorno de la zona de estudio.*



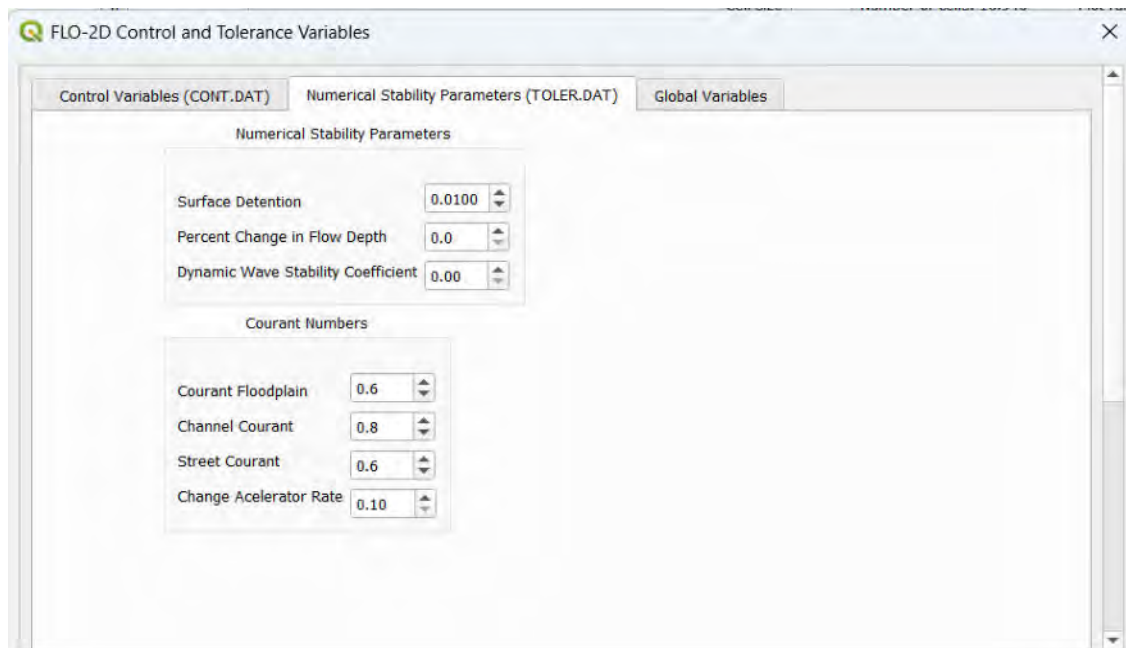
Luego se ingresa el ráster de la topografía generando así curvas de nivel, para que con este dato se pueda asignar una elevación adecuada a cada grilla creada para el modelamiento. Para esto se usa el método de Promedio de los pixeles, sin considerar aquellos que no tienen data.

Figura 123: *Asignación de elevación adecuada a cada grilla creada para el modelamiento.*



Prosiguiendo se completan valores de numero de courant y parámetros de estabilidad para la simulación, estos datos generan el archivo TOLER.DAT. en la Figura 124 se muestra los parámetros elegidos para el modelamiento según recomendación del manual FLO-2D.

Figura 124: *Parámetros elegidos para el modelamiento según recomendación del manual FLO-2D.*



Luego se elige las variables de control para la simulación las cuales forman parte del archivo CONT.DAT para el modelamiento tal como se muestra en la Figura 125. Como el hidrograma ingresado para este proyecto de tesis es de 15 horas, y el tiempo de simulación de 13 horas y que los resultados se actualicen cada minuto en forma de texto.

Lo último que se hace en QGIS es especificar las celdas de ingreso de hidrograma líquido y solido (inflow) y la salida (outflow). Para el hidrograma se debe tener en tiempo, caudal líquido y concentración volumétrica. Según la Figura 126 las líneas verde y roja son los inflow de cada quebrada, mientras que la línea azul es el outflow de ambas quebradas.

Figura 125: Variables de control para la simulación.

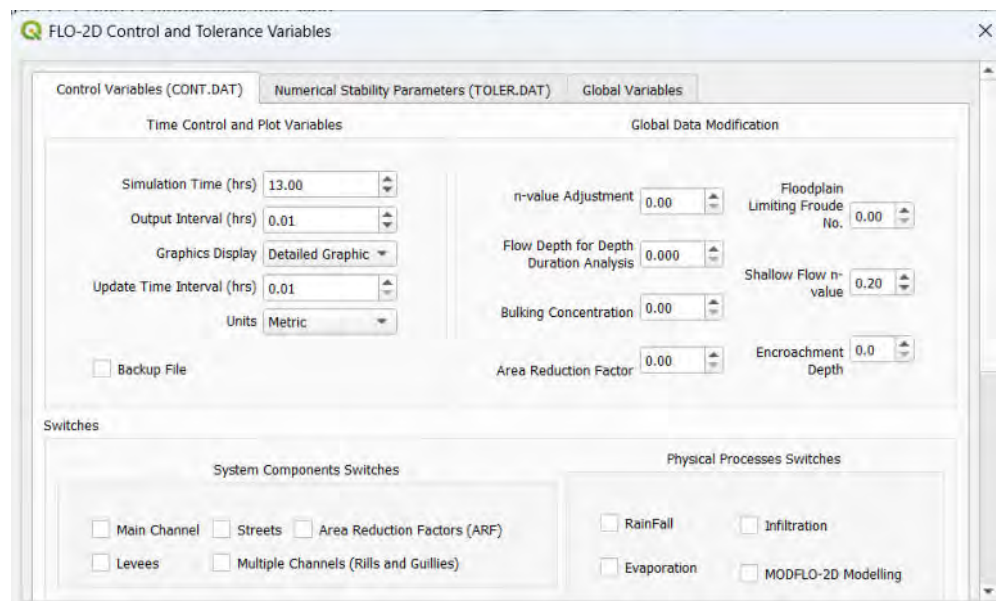


Figura 126: Variables de ingreso de hidrograma líquido y sólido (inflow) y la salida (outflow).



Luego se exporta todos los archivos para continuar desde el GDS de FLO-2D. una vez en el GDS se deja correr el modelo, donde se puede ver una animación de cómo se comporta el flujo de agua y sólidos en la zona de estudio.

Finalmente se usa el post procesador MAPPER FLO-2D, el que nos permite obtener mapas con elevación de terrenos, tirantes, velocidades, volúmenes de agua y sedimentos y otros.

6.2.4. Análisis de resultados

Se realizó la simulación para un tiempo de retorno de 100 años, la topografía que se empleó es del levantamiento topográfico realizado que consta de curvas de nivel cada 1 metro. Una vez culminada la simulación tendremos un archivo titulado SUMMARY.DAT, el cual muestra los resultados.

Se realizó con un hidrograma con un caudal pico de 9.325 m³/s para la quebrada Ccompimayo y 7.33 m³/s para la quebrada Wintaray, y una concentración de sedimentos de 0.40 y el tiempo de simulación es de 13 horas. La Tabla 32 muestra los resultados de la simulación.

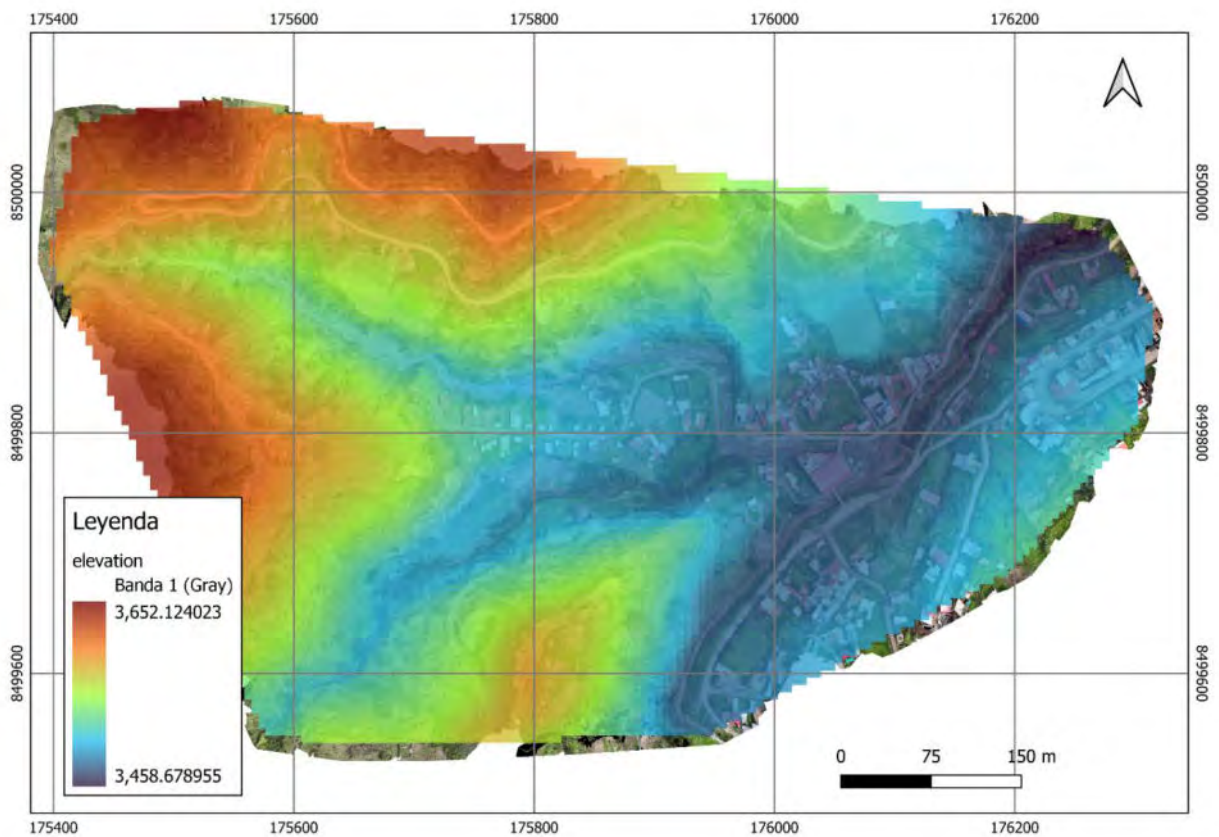
Tabla 35: Resultado de la simulación

Flujo	Agua (m3)	Agua con sedimento (m3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	482872.08	696691.731
Almacenamiento dentro del área de análisis	816.807	24737.351
Flujo fuera del área de simulación	482055.273	671954.38

6.2.4.1. Mapa de elevaciones

Muestra la elevación digital de la superficie del terreno, indicada mediante una escala de colores ubicado en el lado derecho, los colores varían desde azul, indicativo de la cota más baja, hasta el rojo, cota más alta tal como muestra la Figura 127. Además, este mapa nos muestra que las elevaciones varían de los 3458 m.s.n.m. hasta los 3652 m.s.n.m.

Figura 127: *Mapa de elevación digital de la superficie del terreno.*

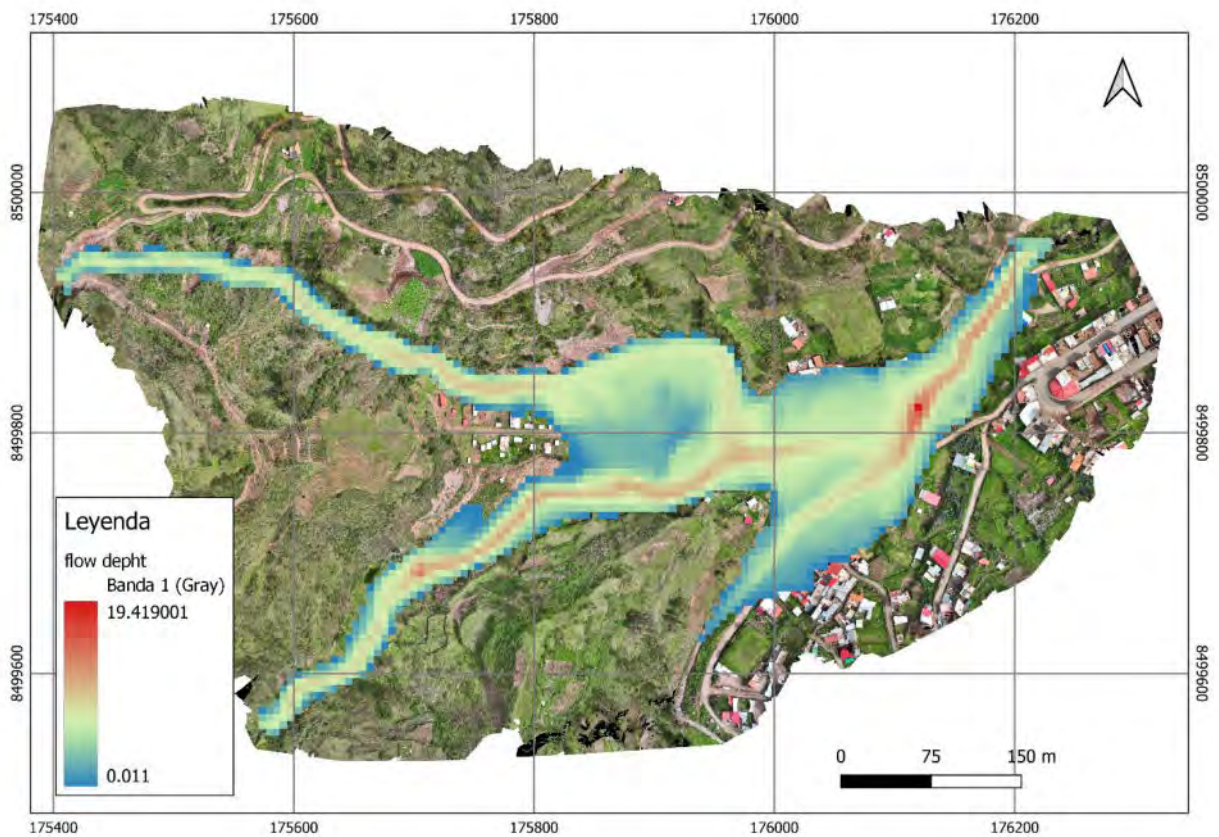


6.2.4.2. Mapa de profundidades máximas de flujo (tirantes)

En el mapa de profundidades máximas de flujo nos muestra la mayor profundidad (altura) alcanzada por el flujo en cada celda o grilla durante todo el tiempo simulado en el FLO-2D. Este mapa de tirantes se presenta visualmente, generalmente con diferentes colores que indican diferentes rangos de profundidad.

En la zona de estudio según la figura 128 se puede observar que las profundidades máximas varían desde 0.011 hasta 19.41 m.

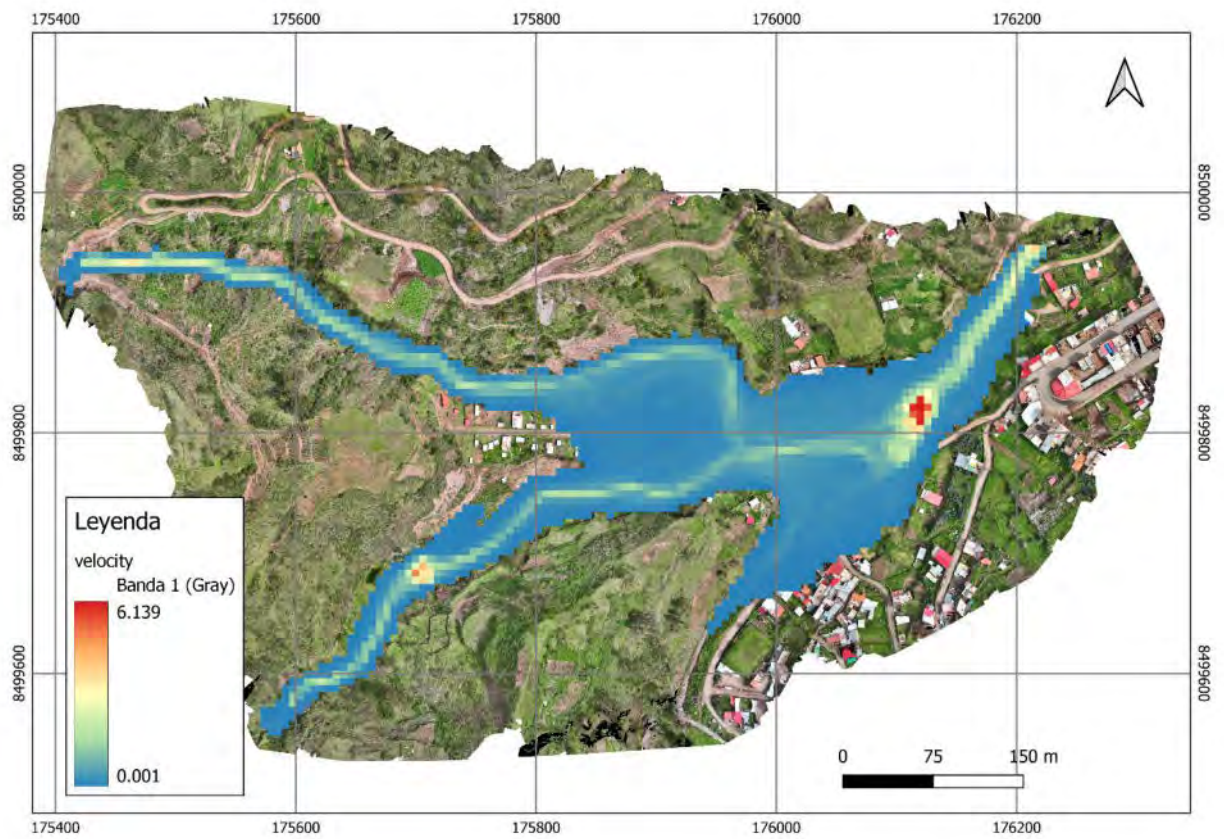
Figura 128: *Mapa de profundidades máximas de flujo (tirantes).*



6.2.4.3. Mapa de máximas velocidades de flujo

Este mapa muestra la velocidad máxima alcanzada por el flujo o sedimento en diferentes puntos de la zona simulada durante la simulación, y así poder identificar las zonas donde la velocidad de flujo es mayor en nuestra zona de estudio. De acuerdo con el mapa de la Figura 129 se tiene velocidades máximas de 0.001 m/s hasta 6.139 m/s.

Figura 129: *Mapa de máximas velocidades de flujo.*



CONCLUSIONES

1. La geología y la geomorfología son factores clave en la ocurrencia de flujos de detritos.
Los depósitos cuaternarios y las columnas estratigráficas permiten comprender los procesos de sedimentación y reconocer eventos pasados en quebradas como Ccompimayo y Wintaray. Por su parte, las geoformas, las pendientes y los procesos geodinámicos —incluyendo zonas críticas, de aporte y de sedimentación— influyen directamente en la concentración de materiales y en la magnitud de los flujos.
2. La geología de la zona está conformada por el Grupo San Jerónimo, con la Formación Kayra (areniscas feldespáticas y lutitas rojas) y la Formación San Sebastián (limo arcillitas y arenas de grano medio a grueso), además de depósitos cuaternarios recientes de origen fluvial, aluvial, coluvial y de relleno. Y la geomorfología realizada en base a la topografía se identificaron cauce río y/o lecho de quebrada ubicadas en las partes donde discurre el río, conos de deyección formados por el transporte de sedimentos producidos por los ríos Juquiskapampa y Wintaray, laderas de roca sedimentaria, con pendientes moderadas a fuertes y terraza aluvial formada por los riachuelo Huatanay, Wintaray y Compimayo.
3. Según las características de los procesos hidrológicos se tiene la precipitación total anual de 658 mm evidenciando los meses con mayor precipitación octubre a abril; la temperatura máxima media mensual correspondiente 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 y el valor promedio de la temperatura media mensual es de 12.1°C, así mismo se obtuvo un caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años de $Q = 9.325 \text{ m}^3/\text{s}$ para la quebrada Ccompimayo y $Q = 7.33 \text{ m}^3/\text{s}$ para la quebrada de Wintaray.

4. El modelo conceptual del flujo evidencia que la interacción entre la topografía, la geomorfología, la geología y el clima es determinante en la ocurrencia de flujos de detritos. En las quebradas de Ccompimayo y Wintaray, estos flujos pueden ser altamente destructivos debido a la alta concentración de material sólido y la velocidad de desplazamiento, constituyendo una de las principales causas de desastres naturales. Y el modelo numérico de flujo de detritos se desarrolló en FLO-2D a partir del modelo conceptual, da resultados para Juquiskapampa y Mojaspampa, con un periodo de retorno de 100 años, muestran alturas de flujo de hasta 19.41 m y velocidades de 6 m/s, lo que implica afectación a viviendas, erosión de laderas y riesgo de represamiento por acumulación de troncos, rocas y lodo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más puntos de calicatas para obtener información más detallada sobre el estudio de suelos principalmente sobre depósitos cuaternarios en la zona de estudio.
2. Se recomienda realizar un inventario más a detalle de todas las posibles zonas de recarga, puntos críticos y zonas de sedimentación dentro de la zona de estudio considerando los límites de ambas quebradas.
3. Se recomienda a la población mantener y reforzar la vegetación existente debido a que servirá como reductor de velocidad de flujo de los detritos acumulados y de esta manera disminuir formaciones de detritos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaska Satellite Facility. (2023). *ASF Data Search - ALOS PALSAR Digital Elevation Model (DEM) 12.5m*. NASA Distributed Active Archive Center (DAAC).

Bankwitz, P. (1966). *Joint systems in rocks and their mechanical significance*. Tectonophysics, 3(2), 129–156.

Benavente, C., & Fernández, M. (2004). Mapa de peligros de la ciudad del Cusco. Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y Cooperación Técnica Alemana – GTZ.

Bodoque, J. M., et al. (2005). El tránsito entre procesos fluviales y movimientos en masa: una cuestión de escala. *Cuaternario y Geomorfología*, 19(3–4), 109–121.

Cabrera, J. (1988). *Geología del cuadrángulo de Cusco (28-s IV)*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET. Boletín Serie A – Carta Geológica Nacional, 38.

Calvo, B. (2015). *Geodinámica externa: Procesos y formas del modelado terrestre*. Editorial UNED.

Camargo, J. (2004). *Manual de geología estructural*. Ecoe Ediciones.

Cárdenas, J., Vizcarra, J., & Callirgos, R. (2013). Mapa de peligros geológicos del Valle del Cusco. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000—[Boletín A 138]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/99>

Carlotto, V., Cardona, A., Julca, D., Rojas, R., & Macharé, J. (2010). *Geología del cuadrángulo de Cusco (28-s IV)*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET. Boletín Serie A, Carta Geológica Nacional, 131.

Carlotto, V., Vizcarra, J., Callirgos, R., Cárdenas, J., & Rodríguez, E. (2011). Boletín N.º 138 Serie A – Geología del cuadrángulo de Cusco (Hoja 28-s). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Córdova Delgado, J. M. (2018). *Modelamiento de flujo de detritos con el software FLO-2D para la evaluación de peligros en la quebrada Infiernillo, distrito de Parobamba, provincia de Pomabamba, Áncash* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio UNSAM.

Corrales, I., Llamas, M. R., Custodio, E., & Gómez, M. (1977). *Hidrogeología: fundamentos y aplicaciones*. Ediciones Omega.

Crozier, M. J. (1986). *Landslides: Causes, consequences and environment*. Croom Helm.

Crozier, M. J., & Glade, T. (1999). Frequency and magnitude of landslide triggering. In T. Glade, M. J. Crozier & M. G. Anderson (Eds.), *Landslide hazard and risk* (pp. 231–255). Wiley.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27–29.

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (pp. 36–75). Transportation Research Board Special Report No. 247. National Academy Press.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (Vol. 1). Editorial Omega.

FLO-2D Software Inc. (2018). *FLO-2D user manual: Version Pro 12.2*. Flagstaff, Arizona, USA.

Fossen, H. (2016). *Structural geology* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Franks, C. (1999). *Debris flow dynamics and modeling*. Natural Hazards Review, 1(2), 35–45.

Gao, L., Hou, Y., Zhang, M., & Chen, G. (2016). Debris flow hazard assessment using GIS and a probabilistic approach: A case study in southwest China. *Engineering Geology*, 214, 62–73.

- Gao, L., Zhang, L. M., & Chen, H. X. (2016). Mechanism of the initiation and motion of the 2008 Wenchuan debris flows triggered by a rainfall after the earthquake. *Engineering Geology*, 214, 41–54.
- Giai, C. (2008). *Geografía física: el agua en el territorio*. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Filosofía y Humanidades.
- Griem, W. (2020). *Apuntes geología estructural y tectónica*. Geovirtual. Recuperado el 8 de agosto de 2025, de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/Intro01.htm>
- INGEMMET. (2012). *Informe Técnico A6598 – Peligro por flujo de detritos en Llohegua, provincia Huanta, Ayacucho*. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- INGEMMET. (2021). *Informe Técnico A7170 – Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en las quebradas Miraflores, San Lorenzo y Pacpachayoc*. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- INGEMMET. (2022). *Informe Técnico A7313 – Evaluación de los procesos de flujo de detritos, inundación y erosión fluvial en el centro poblado de Uchucyacu, San Francisco – Huánuco*. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI. (2011). *Guía metodológica para la identificación de peligros geológicos por movimientos en masa*. Dirección Nacional de Prevención.
- Las formas del relieve*. (s. f.). TuGuíaDeAprendizaje. Recuperado el 8 de agosto de 2025, de https://tuguia de aprendizaje.co/taller-las-formas-del-relieve/#google_vignette
- Lo, K. W. (2000). *Landslide hazards and debris flows: Initiation and propagation mechanisms*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(4), 287–296.
- Martínez Alfaro, H., Fernández, J., & Rodríguez, A. (2006). *Hidrología general y aplicada*. Editorial McGraw-Hill.

- Martínez, F. (2002). *Geología estructural: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial Síntesis.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (1997, 27 de enero). *Norma técnica de edificación E.050: Suelos y cimentaciones* (Resolución Ministerial N.º 048-97-MTC-/1-S.V.C.). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú.
- Minu, A., Takara, K., & Apip. (2022). Calibration methods for debris flow modeling using cross-sectional area and topographic change: A case study with DFS 2D. *Natural Hazards*, 110, 1037–1055.
- Moore, M. (2018). *Python GUI programming with Tkinter*. Packt Publishing.
- Muñoz, J. (s. f.). *Gestión integrada de cuencas hidrográficas: enfoque sistémico*.
- Namay Poncca, M. E. (2017). *Aplicación del modelo hidráulico FLO-2D para simular el flujo de detritos en la subcuenca del río Siete Cuarteles - Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – UNC.
- Nickelsen, R. P., & Hough, V. N. D. (1967). *Jointing in the Appalachian Plateau of Pennsylvania*. Geological Society of America Bulletin, 78(5), 609–629.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(8), 877–887.
- Ordoñez, J. (2011). *Manejo de cuencas hidrográficas: teoría y práctica*. Editorial AgroPerú.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas* (Publicación Geológica Multinacional n.º 4, 432 p.). Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
- Segall, P., & Pollard, D. D. (1983). *Joint formation in granitic rock of the Sierra Nevada*. Geological Society of America Bulletin, 94(5), 563–575.

Serrano, E., González-Trueba, J. J., Sanjosé, J. J., & García, M. (2004). Propuesta metodológica para la delimitación de unidades geomorfológicas en áreas de montaña: aplicación a los Picos de Europa (España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (38), 49–70.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (s. f.). *Datos climatológicos de la Estación Meteorológica Granja Kayra (Cusco): Precipitación y temperatura, 1964–2017*. SENAMHI.

Sharpe, C. F. S. (1938). *Landslides and related phenomena: A study of mass-movements of soil and rock*. Columbia University Press.

Silgado, E. (1987). *Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco* (Boletín N.º 55, Serie C). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET.

Takahashi, T. (2009). *Debris flow: Mechanics, prediction and countermeasures* (2nd ed.). CRC Press.

Teixeira, W. (2008). *Geomorfología: conceptos y fundamentos*. Editorial Universitaria.

Vílchez, A., Paredes, J., Cuba, W., & Ortiz, J. (2019). *Mapa geomorfológico de la hoja Espinar (32-v)*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET.

Villon, M. (2005). *Hidrología: fundamentos y aplicaciones en ingeniería civil*. Editorial Universidad Nacional de Ingeniería.

Arlegui Lizama, M. (2015). Análisis de susceptibilidad de ocurrencia de flujos de detritos en la subcuenca alta del río Mapocho [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

Moreno Montes, P. (2023). *Deslizamiento - flujo de detritos y su incidencia en los medios de vida de la población de la microcuenca Aynamayo - distrito de Vitoc - Chanchamayo, Junín* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM.

Zhang, P., Liu, X., & Shu, H. (2024). Hazard assessment of debris flow by using FLO-2D and hazard matrix: A case study of Qingshui Gully in the southern Gansu Province, China. *Geoenvironmental Disasters*, 11(1), 1–16.

Anexos

Anexo 1: Salidas de campo realizadas en el cartografiado geológico.

Anexo 1.1: *Tamaño de los bolones de rocas rio Wintaray.*



Anexo 1.2: *Profundidad de socavación del rio Wintaray.*



Anexo 1.3: *Cárcava y terreno inestable, río Compimayo.*



Anexo 1.4: *Inestabilidad por erosión y pobre vegetación.*



Anexo 1.5: *Zona llana río Compimayo.*



Anexo 1.6: *Pequeño deslizamiento cauce del rio Wintaray, volumen de 0.5 m3.*



Anexo 1.7: *Terreno inestable cerca del rio Wintaray, pendiente fuerte.*



Anexo 1.8: *Profundidad del rio Wintaray.*



Anexo 1.9: *Terreno inestable cerca del rio Wintaray, pendiente fuerte, deslizamiento inactivo.*



Anexo 1.10: *Terreno inestable cerca del rio Wintaray, pendiente fuerte.*



Anexo 1.11: *Depositos coluviales y deluviales cerca del rio Wintaray.*



Anexo 1.12: *Altura del rio Wintaray.*



Anexo 1.13: *Pendiente fuerte, y material suspendido rio Compimayo.*



Anexo 1.14: *Clasto de 1.2 m de diámetro en el rio Compimayo.*



Anexo 1.15: *Ancho de cauce del rio Compimayo.*



Anexo 1.16: *Material colmatado en el rio Compimayo.*

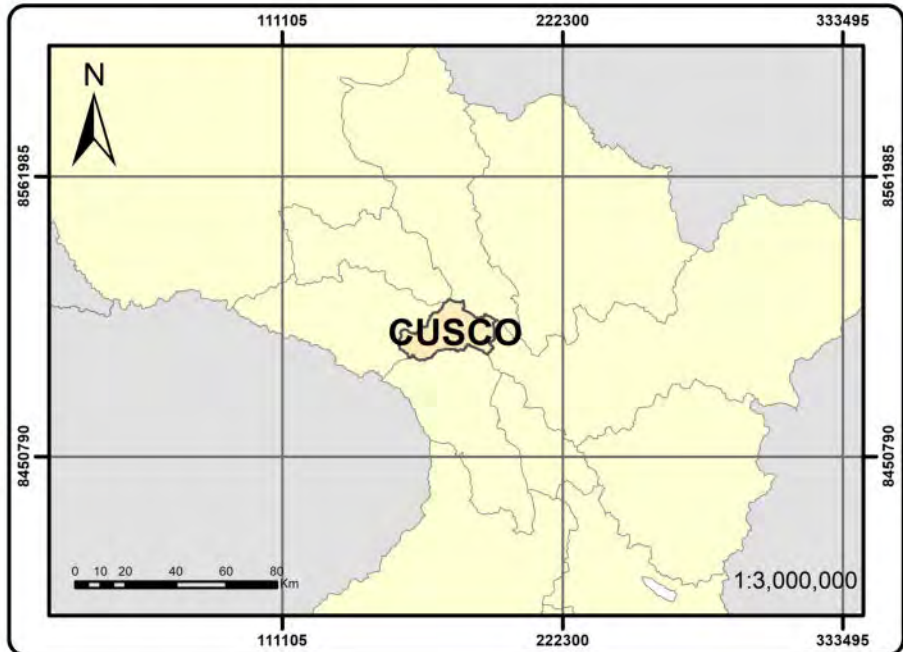
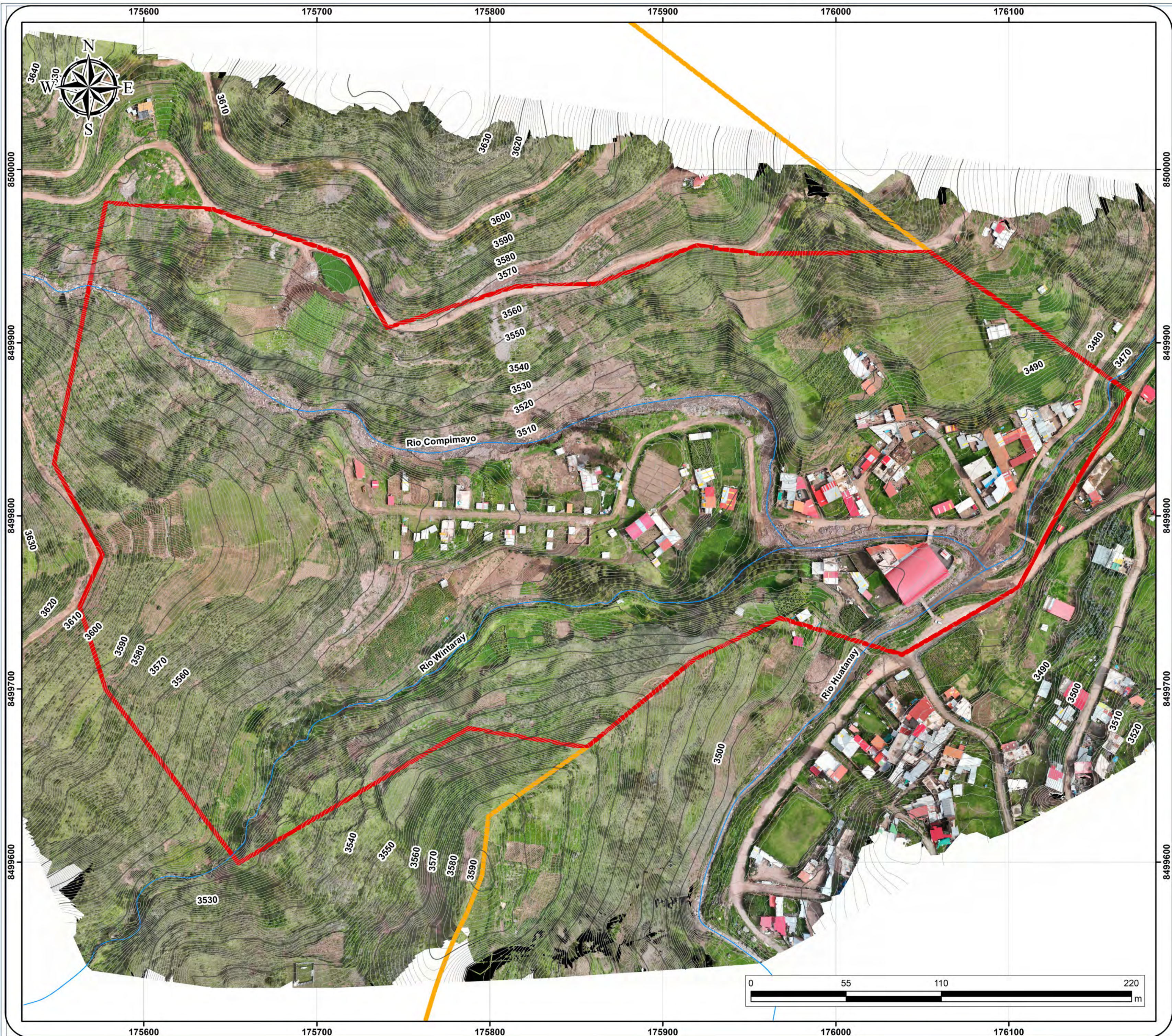


Anexo 1.17: *Material colmatado en el rio Compimayo, bolones de 1.2m de diámetro.*



Anexo 2 *Mapas*

UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

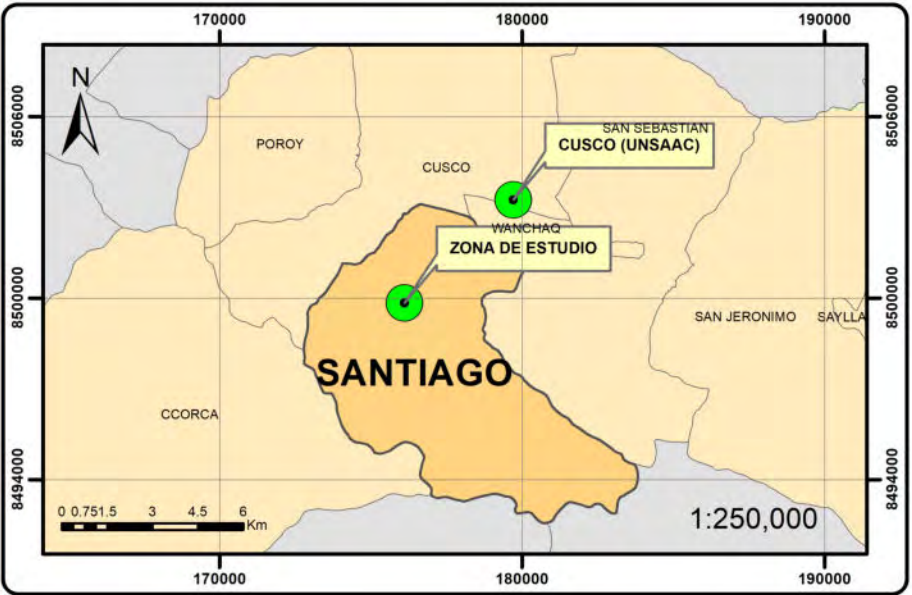
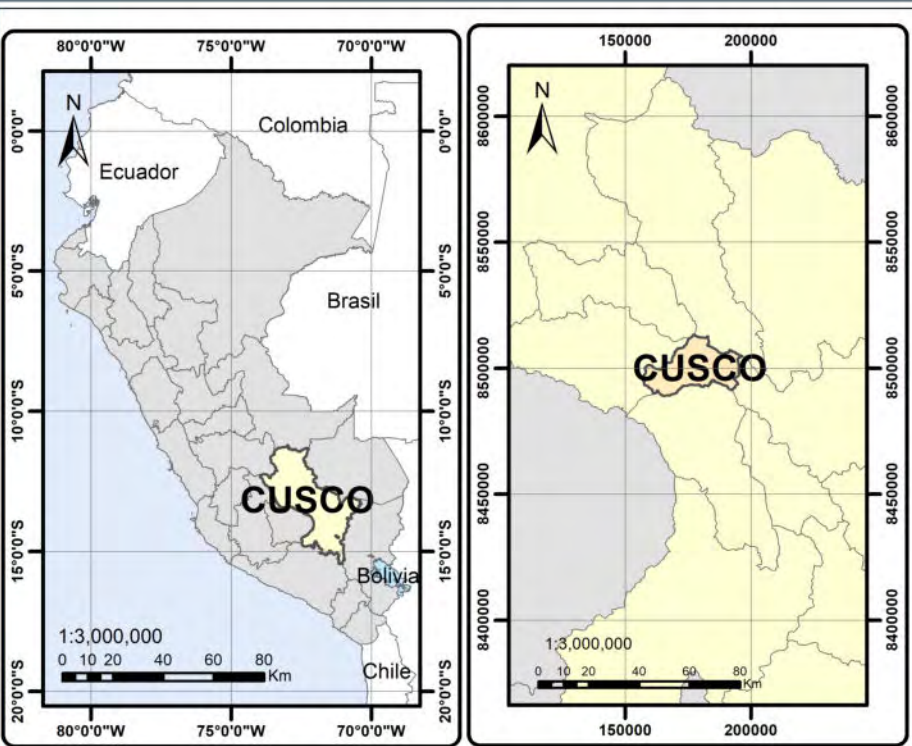
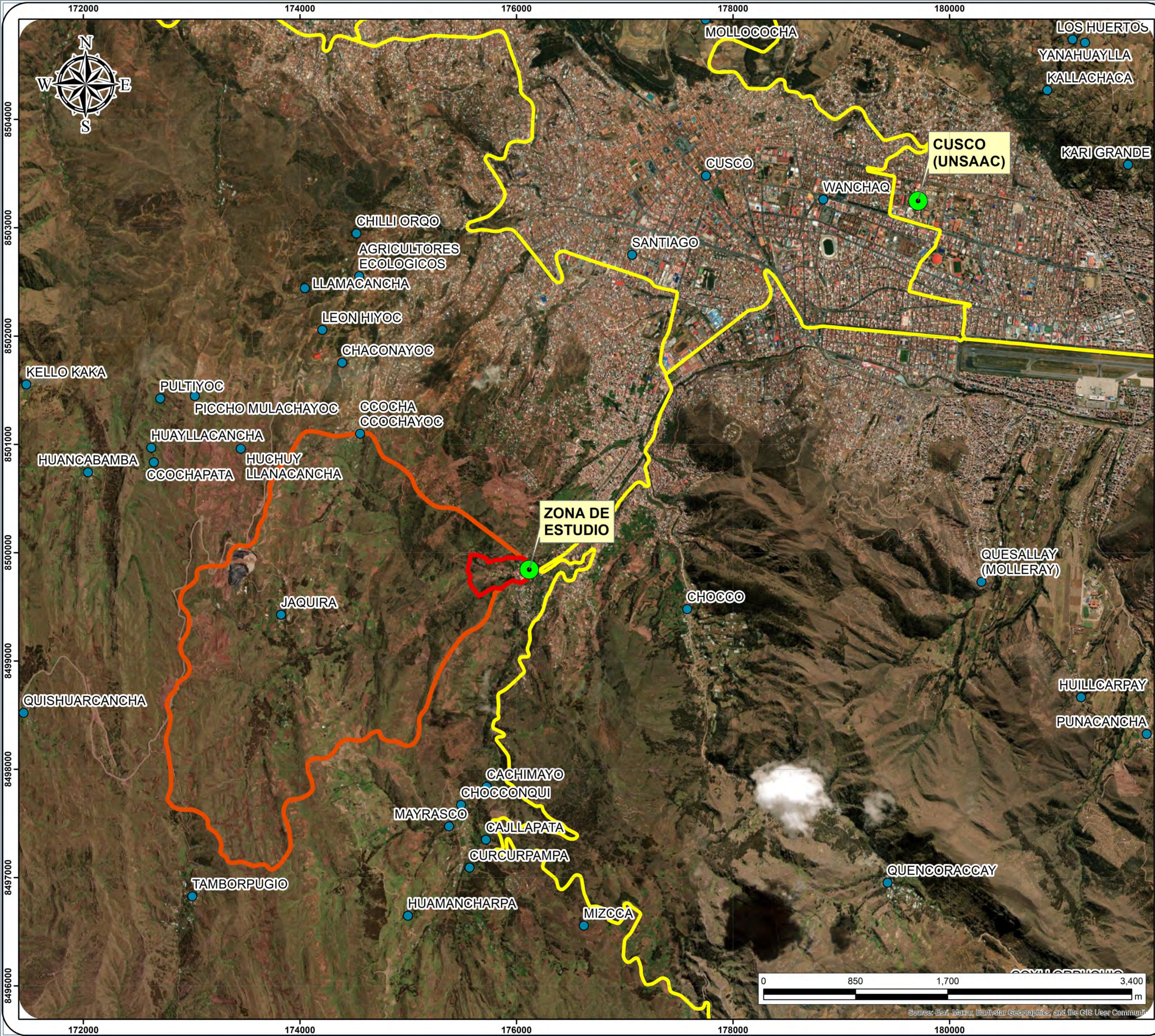
	Área de trabajo		Curvas de nivel
	Área de influencia		Primarias
	Rio		Secundarias

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS
EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL
DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR
JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA,
C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO**

MAPA:		UBICACIÓN	
TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel		FECHA: JULIO DEL 2025	CÓDIGO: 01
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio		ESCALA: 1:1,500	

ACCESIBILIDAD



SIMBOLOGÍA

- Puntos de ubicación
- Centros poblados
- Red vial departamental
- Red vial nacional
- Área de trabajo
- Área de influencia

CUADRO DE ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO

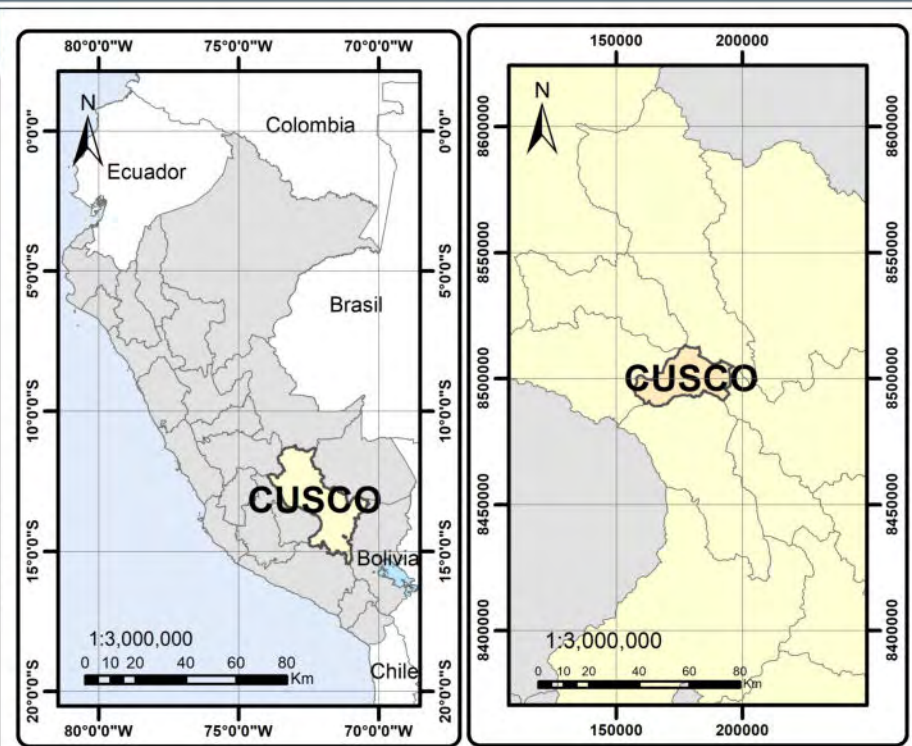
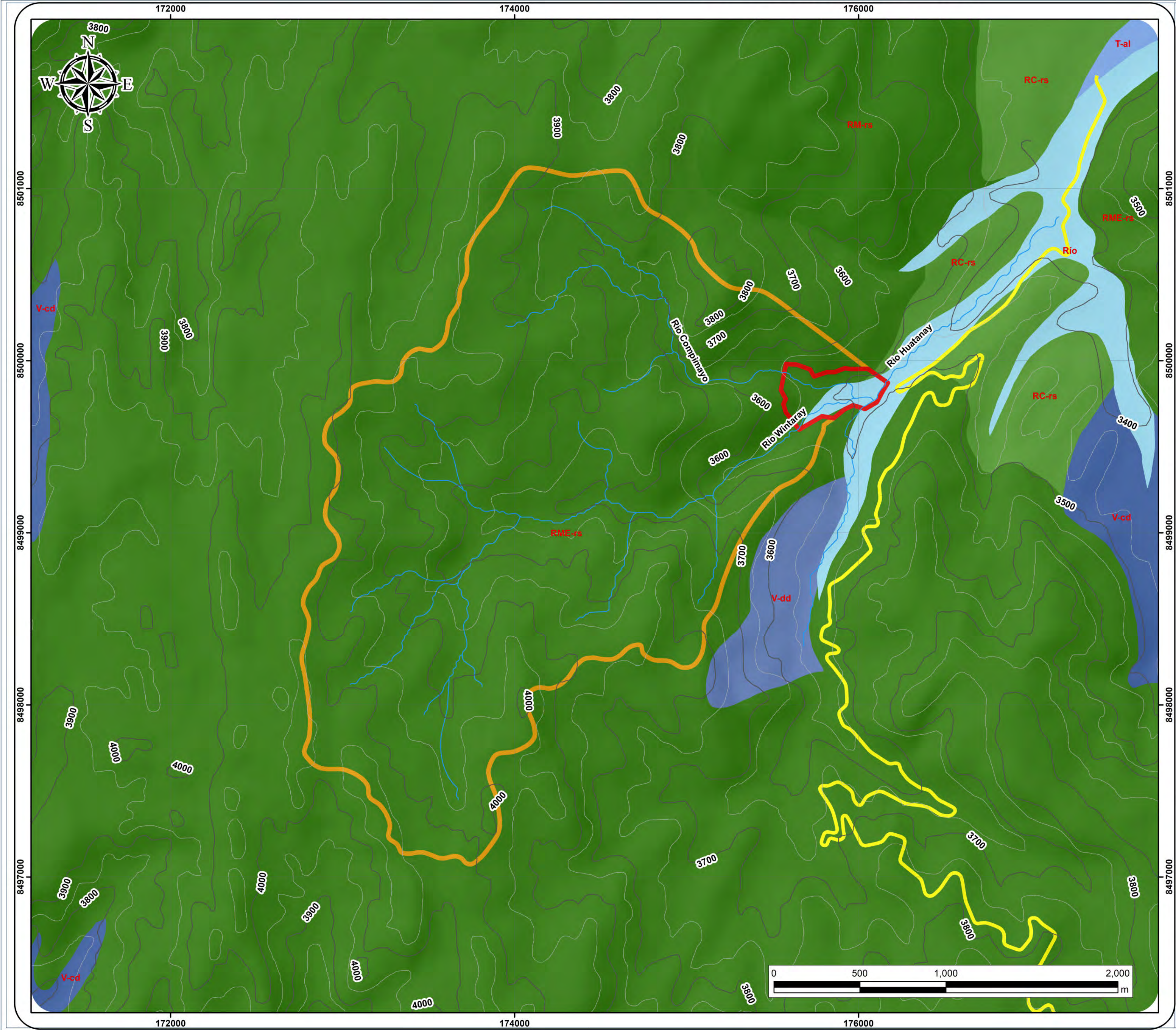
INICIO	DESTINO	MEDIO DE TRANSPORTE	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA
Cusco (UNSAAC)	Mercado Huancaro	Transporte Urbano Huancaro o Expreso San Jerónimo	2.3 km	20 min aprox.	Concreto - Asfaltado
Mercado Huancaro	Zona de estudio (Entrada al sector Juquiskapampa y Mojasapampa)	Transporte hacia Paruro	2.4 km	10 min aprox.	Concreto - Asfaltado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO

MAPA: ACCESIBILIDAD		CÓDIGO: 02
TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel	FECHA: JULIO DEL 2025	
Para optar el título profesional de ingeniero geólogo	ESCALA: 1:24,000	
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio		

GEOMORFOLÓGICO REGIONAL



SIMBOLOGÍA

	Área de trabajo		Curvas de nivel
	Área de influencia		Primarias
	Rio		Secundarias
	Red vial departamental		

LEYENDA

Unidades geomorfológicas, código

	Cauce del río, Río
	Colina en roca sedimentaria, RC-rs
	Montaña en roca sedimentaria, RM-rs
	Montaña estructural en roca sedimentaria, RME-rs
	Terraza aluvial, T-al
	Vertiente con depósito de deslizamiento, V-dd
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, V-cd

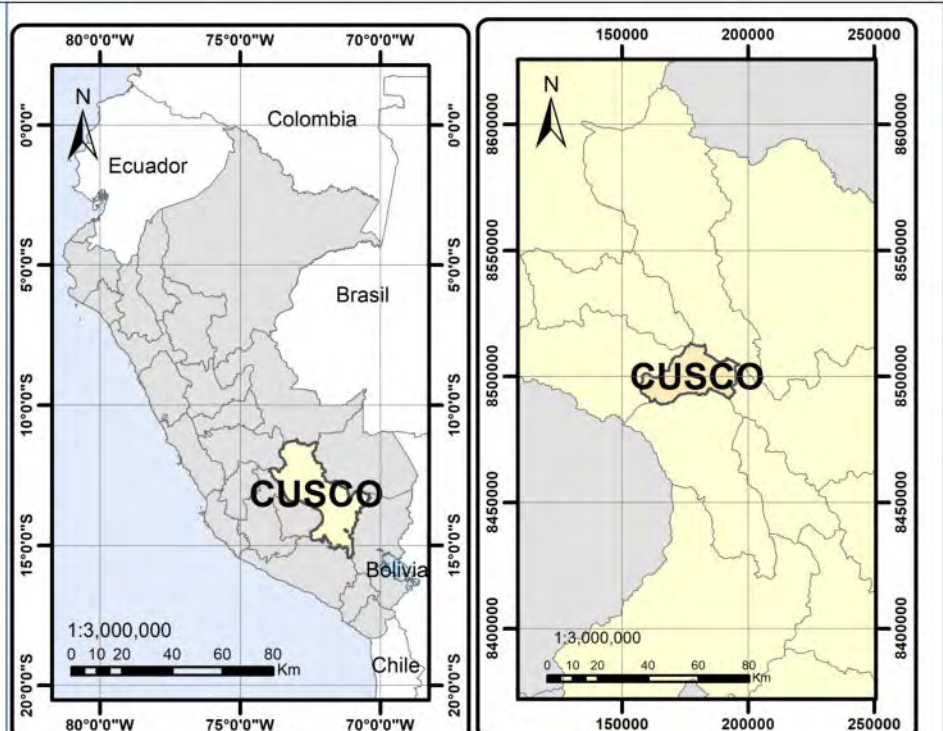
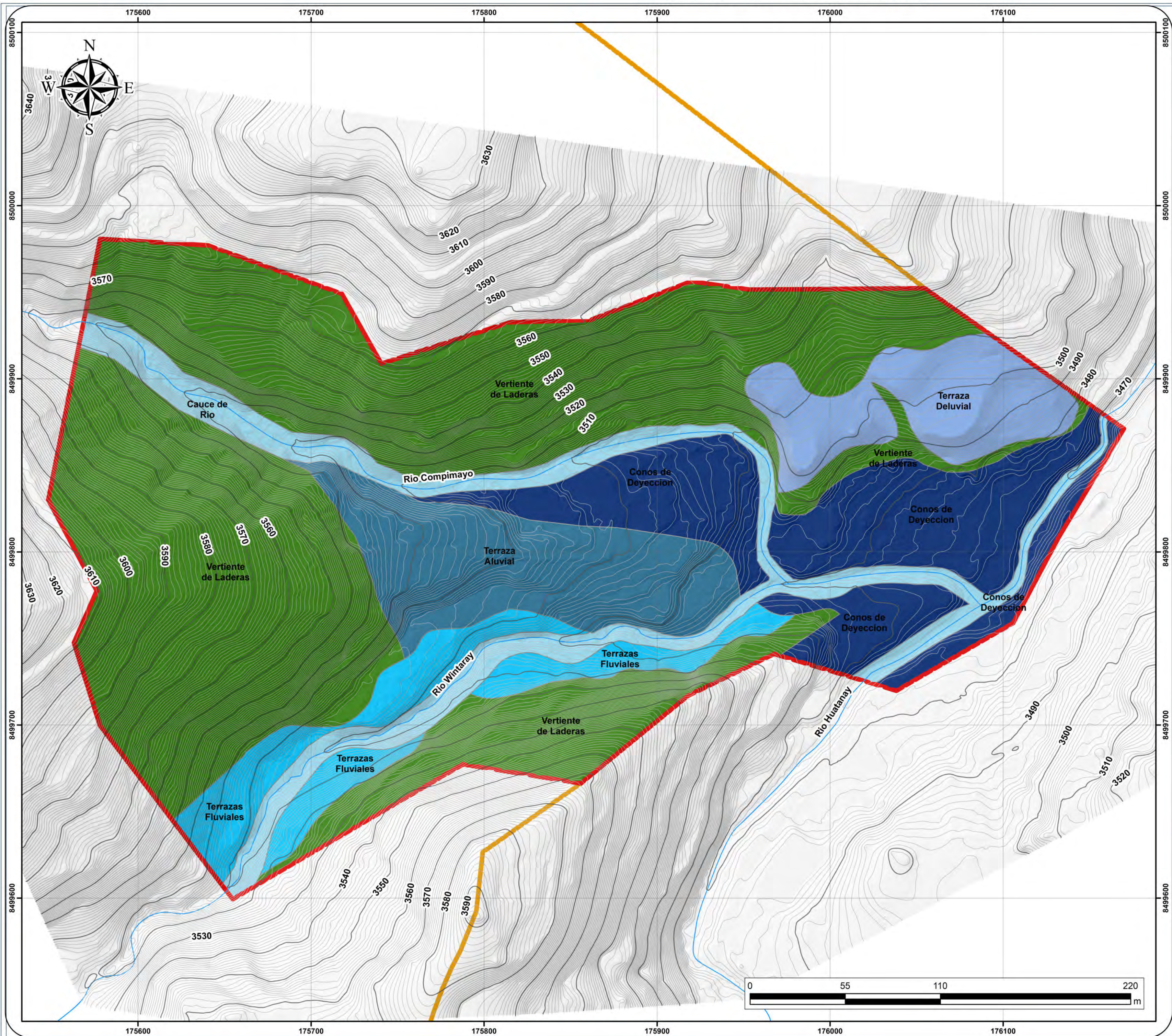
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO

MAPA: GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel	FECHA: JULIO DEL 2025	CÓDIGO: 03
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio	ESCALA: 1:15,000	

GEOMORFOLÓGICO LOCAL



SIMBOLOGÍA

	Área de trabajo		Curvas de nivel
	Área de influencia		Primarias
	Rio		Secundarias

LEYENDA

Unidades geomorfológicas

	Cauce de Rio
	Conos de Deyeccion
	Terraza Aluvial
	Terraza Deluvial
	Terrazas Fluviales
	Vertiente de Laderas

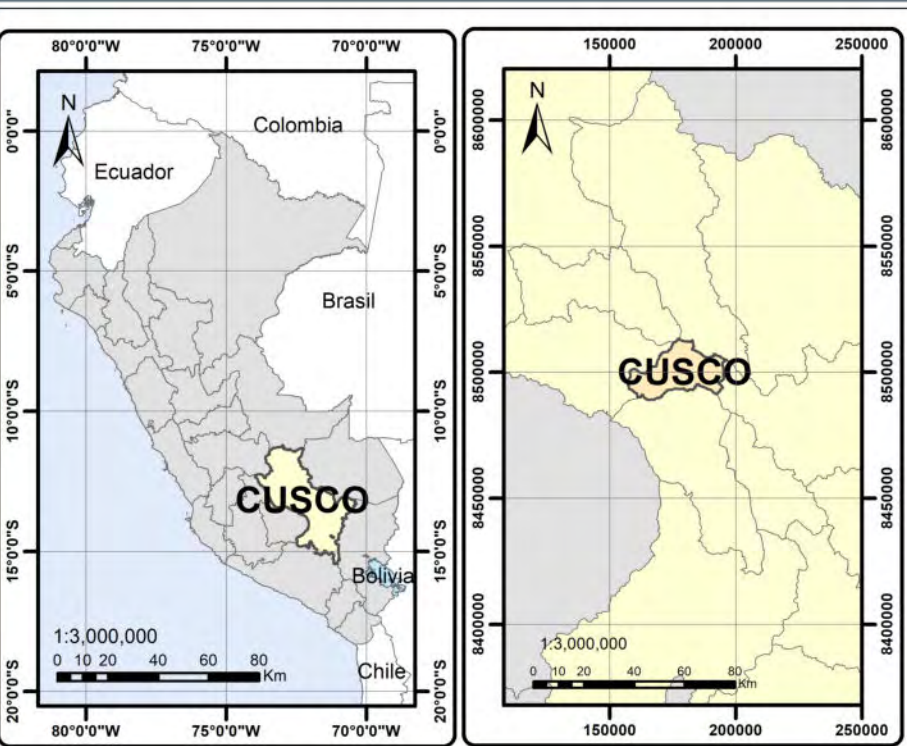
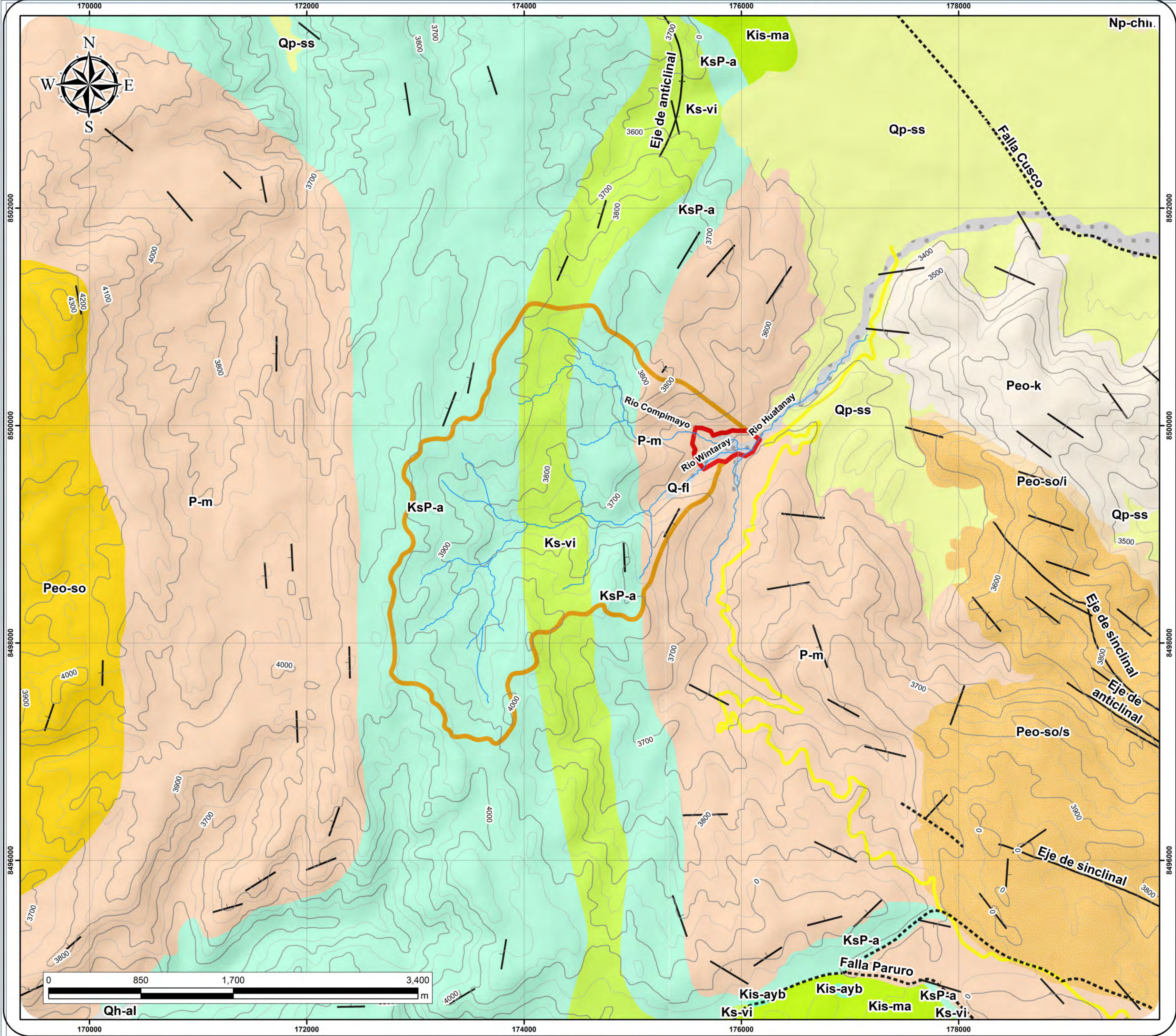
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO

MAPA: GEOMORFOLÓGICO LOCAL

TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel	FECHA: JULIO DEL 2025	CÓDIGO: 04
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio	ESCALA: 1:1,500	

GEOLOGICO REGIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO

MAPA: GEOLOGICO REGIONAL

TESIS PRESENTADA POR:
Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto
Br. Yupanqui Monge Jhonel

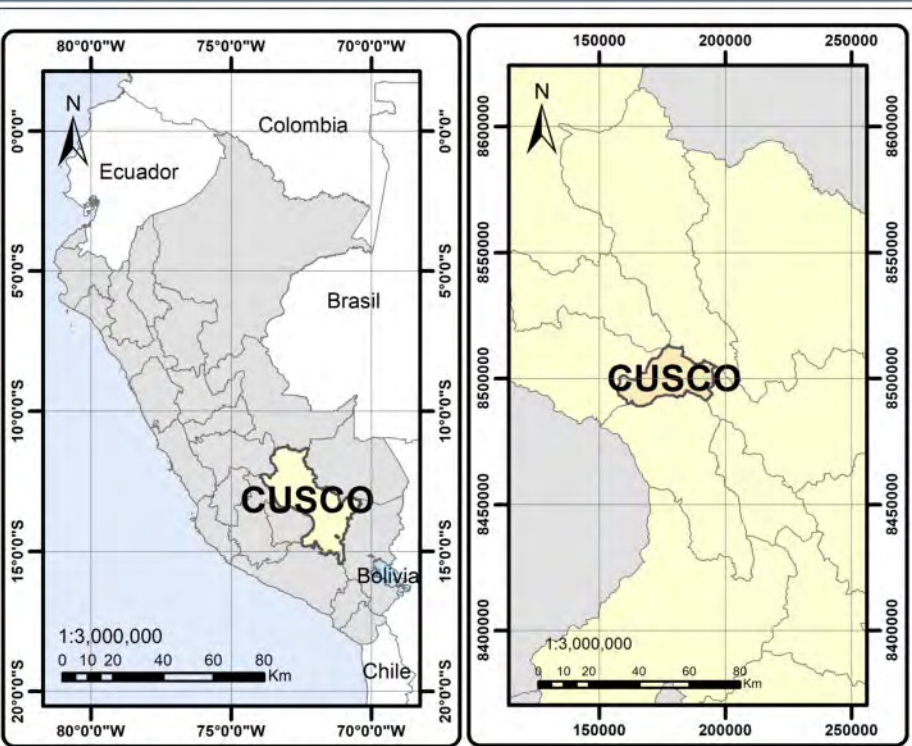
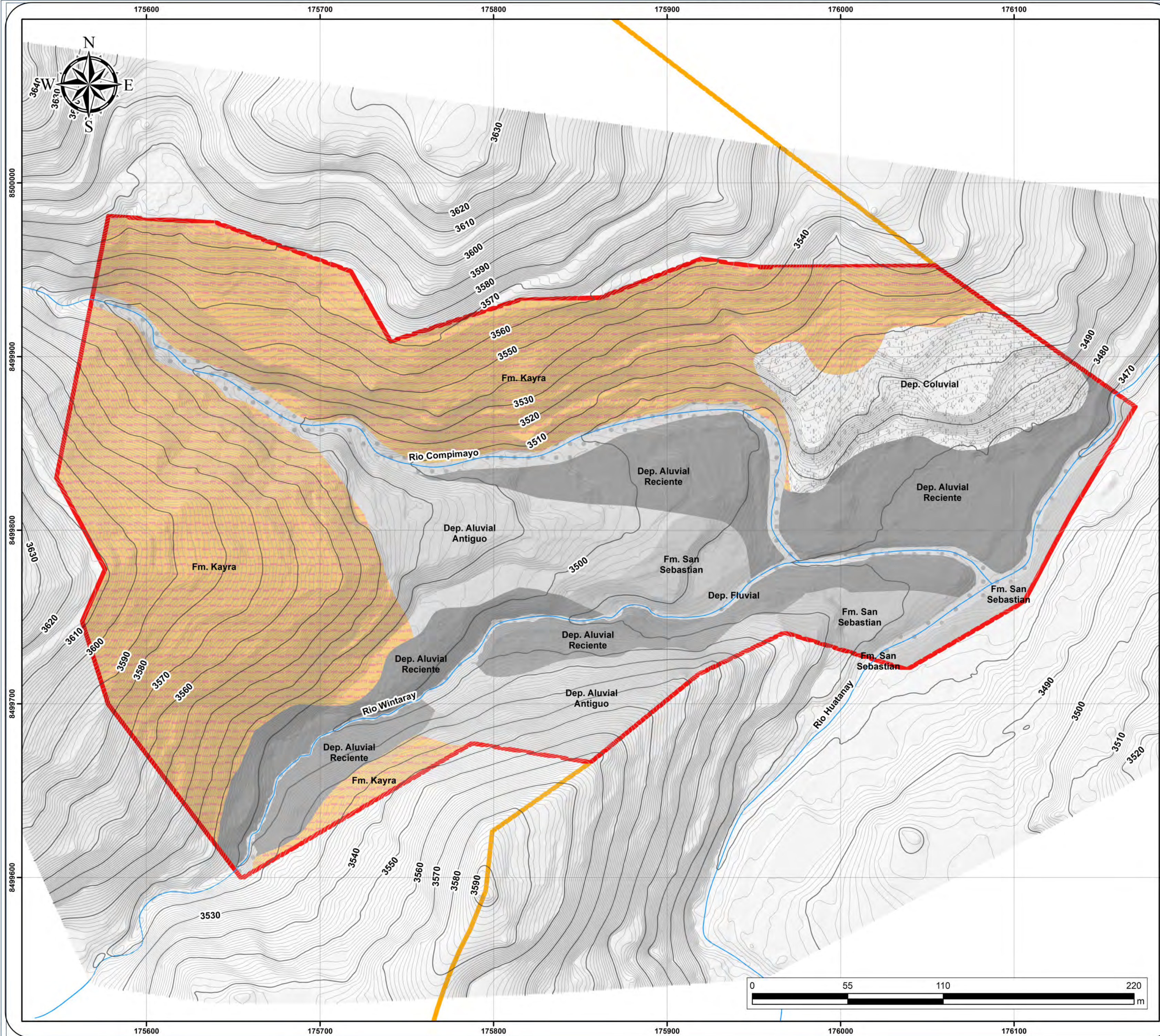
FECHA:
JULIO DEL 2025

ESCALA:
1:24,000

CÓDIGO:
05

Para optar el título profesional de ingeniero geólogo
ASESOR:
Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio

GEOLÓGICO LOCAL



SIMBOLOGÍA

	Área de trabajo		Curvas de nivel
	Área de influencia		Primarias
	Rio		Secundarias

LEYENDA

Unidades geológicas

	Dep. Aluvial Antiguo
	Dep. Aluvial Reciente
	Dep. Coluvial
	Dep. Fluvial
	Fm. Kayra
	Fm. San Sebastian

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS
EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL
DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR
JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA,
C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO**

MAPA: GEOLÓGICO LOCAL

TESIS PRESENTADA POR:
Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto
Br. Yupanqui Monge Jhonel

FECHA:
JULIO DEL 2025

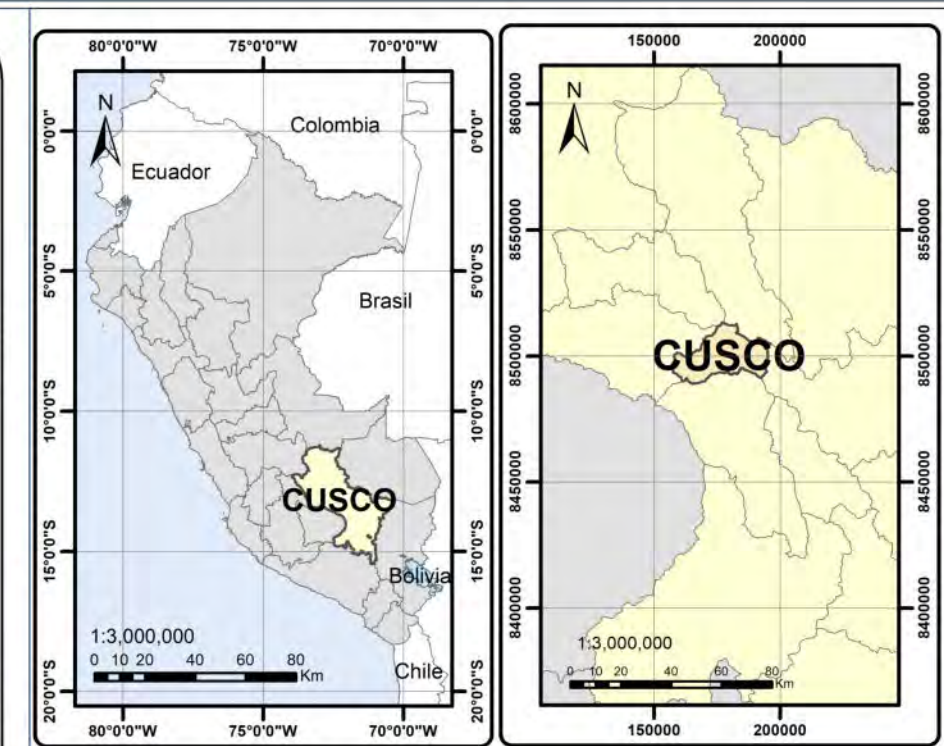
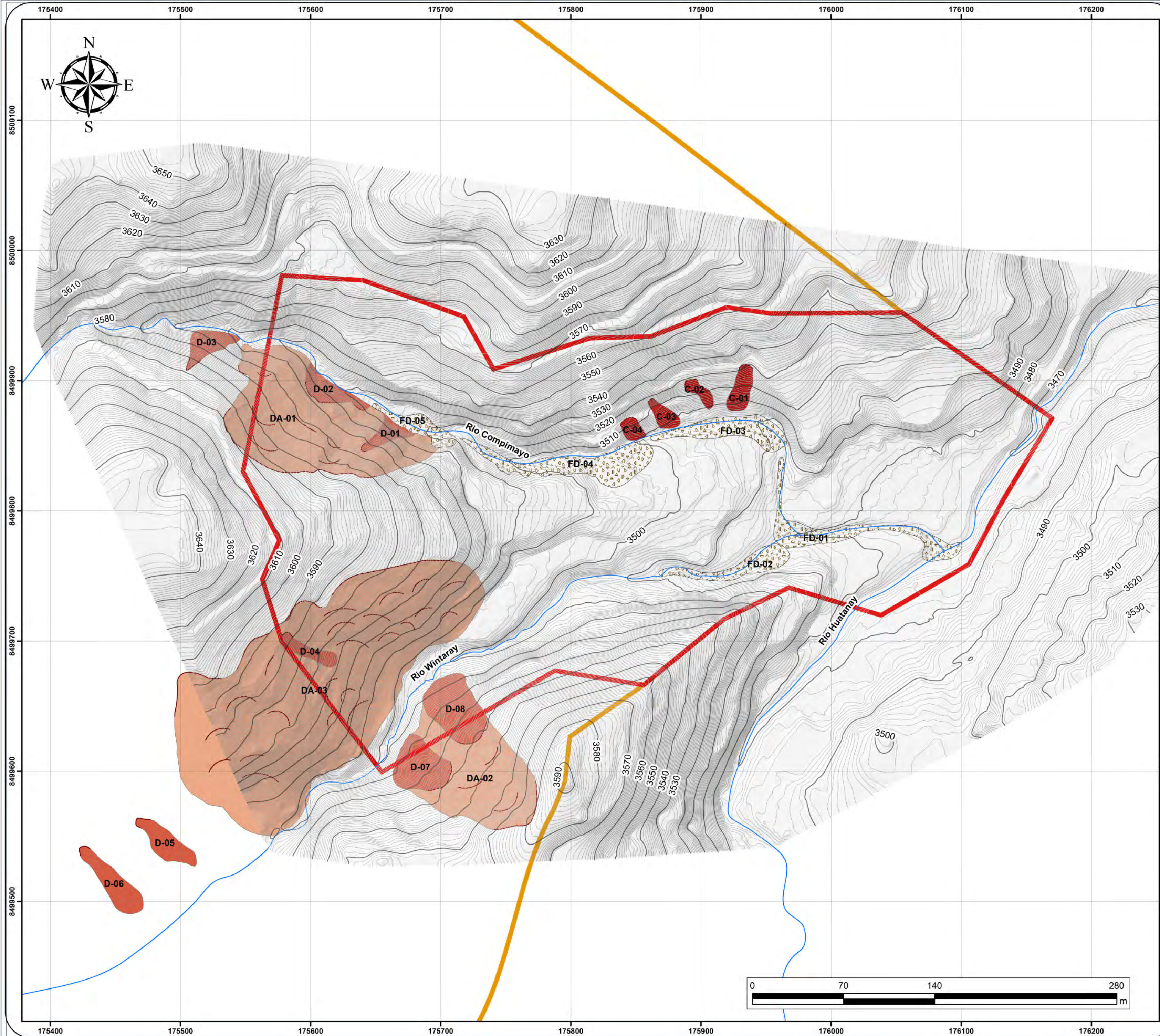
CÓDIGO:
06

Para optar el título profesional de ingeniero geólogo

ASESOR:
Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio

ESCALA:
1:1,500

GEODINÁMICA EXTERNA





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS
EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL
DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR
JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA,
C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO**

MAPA: GEODINÁMICA EXTERNA

TESIS PRESENTADA POR:
Br. Cañahuire Huallpa Edwin Humberto
Br. Yupanqui Monge Jhonel

FECHA:
JULIO
DEL 2025

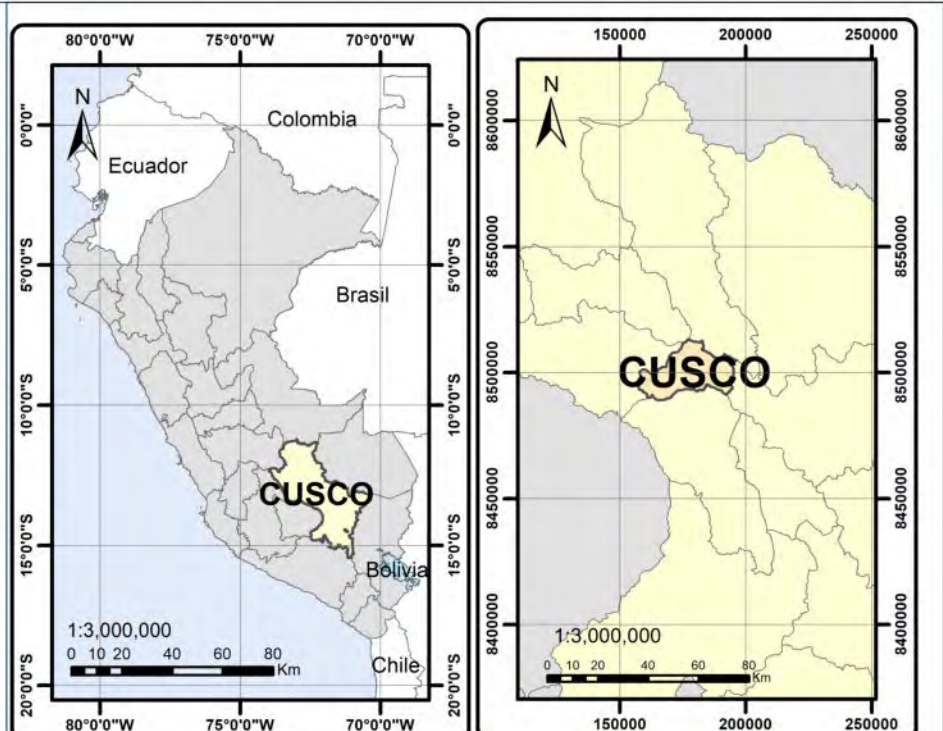
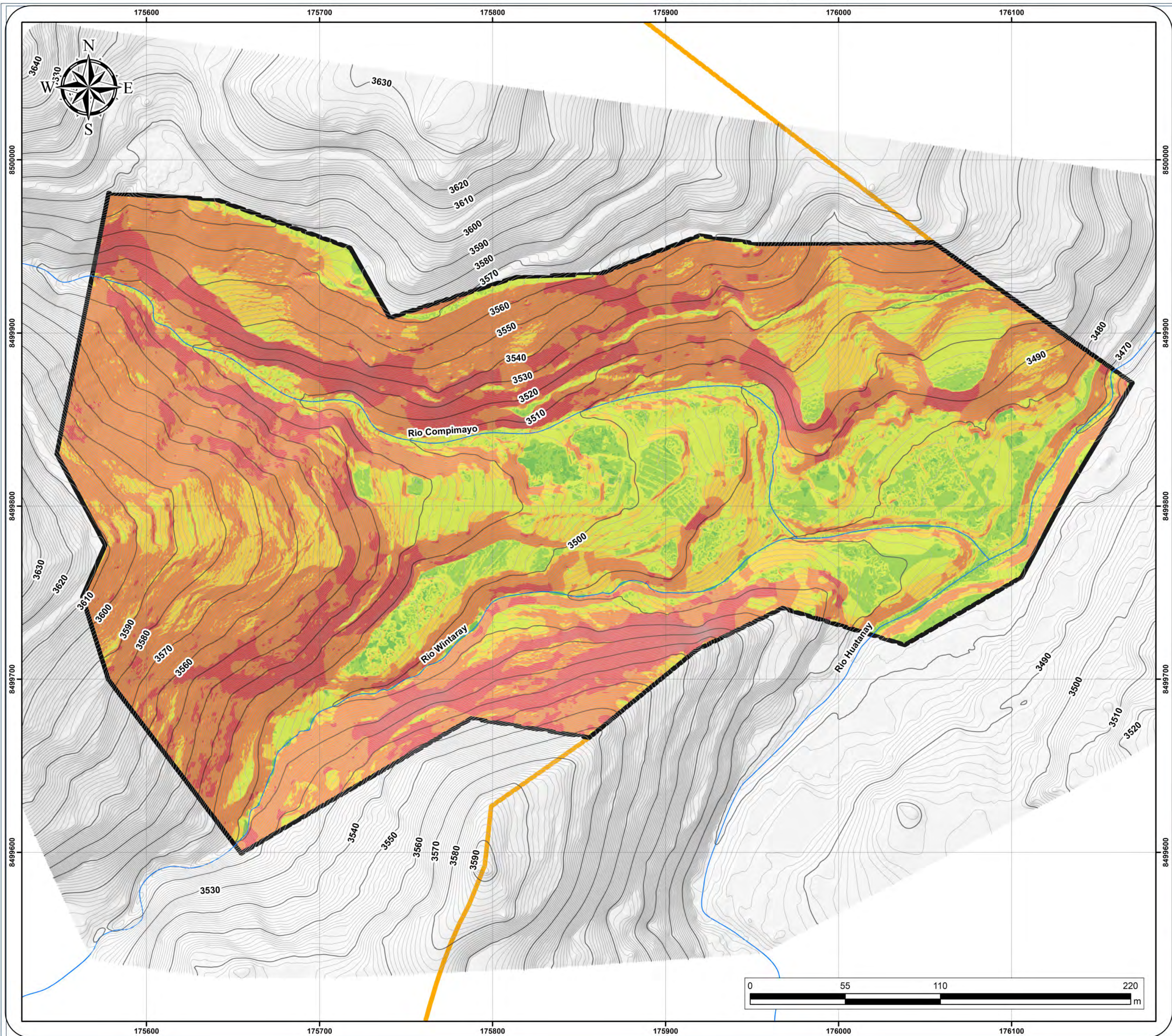
CÓDIGO:
07

Para optar el título profesional de ingeniero geólogo

ASESOR:
Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio

ESCALA:
1:2,000

PENDIENTES



SIMBOLOGÍA

	Área de trabajo		Curvas de nivel
	Área de influencia		Primarias
	Rio		Secundarias

LEYENDA

Rango de pendientes

	0°-1°
	1°-5°
	5°-15°
	15°-25°
	25°-45°
	>45°

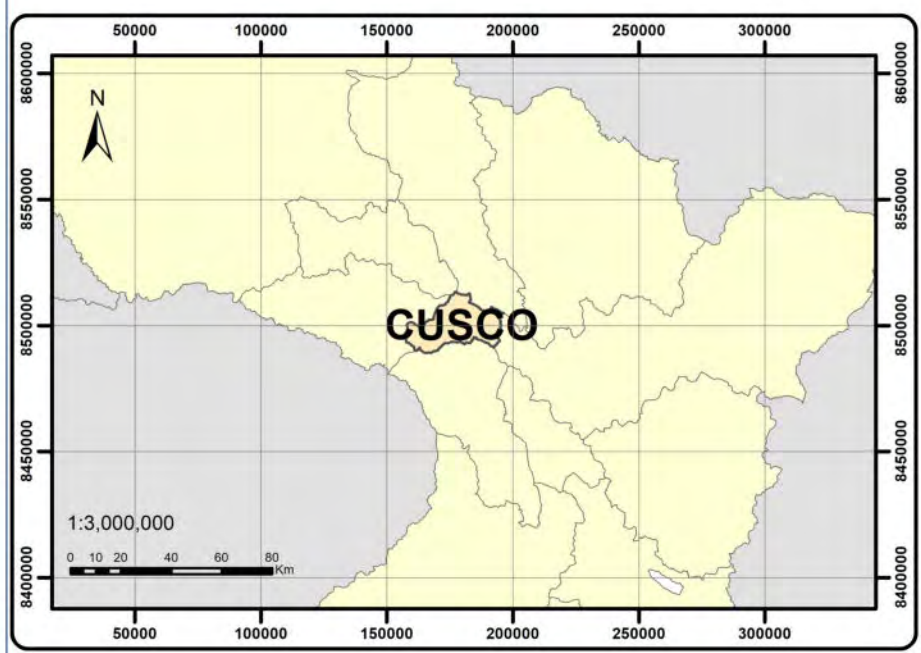
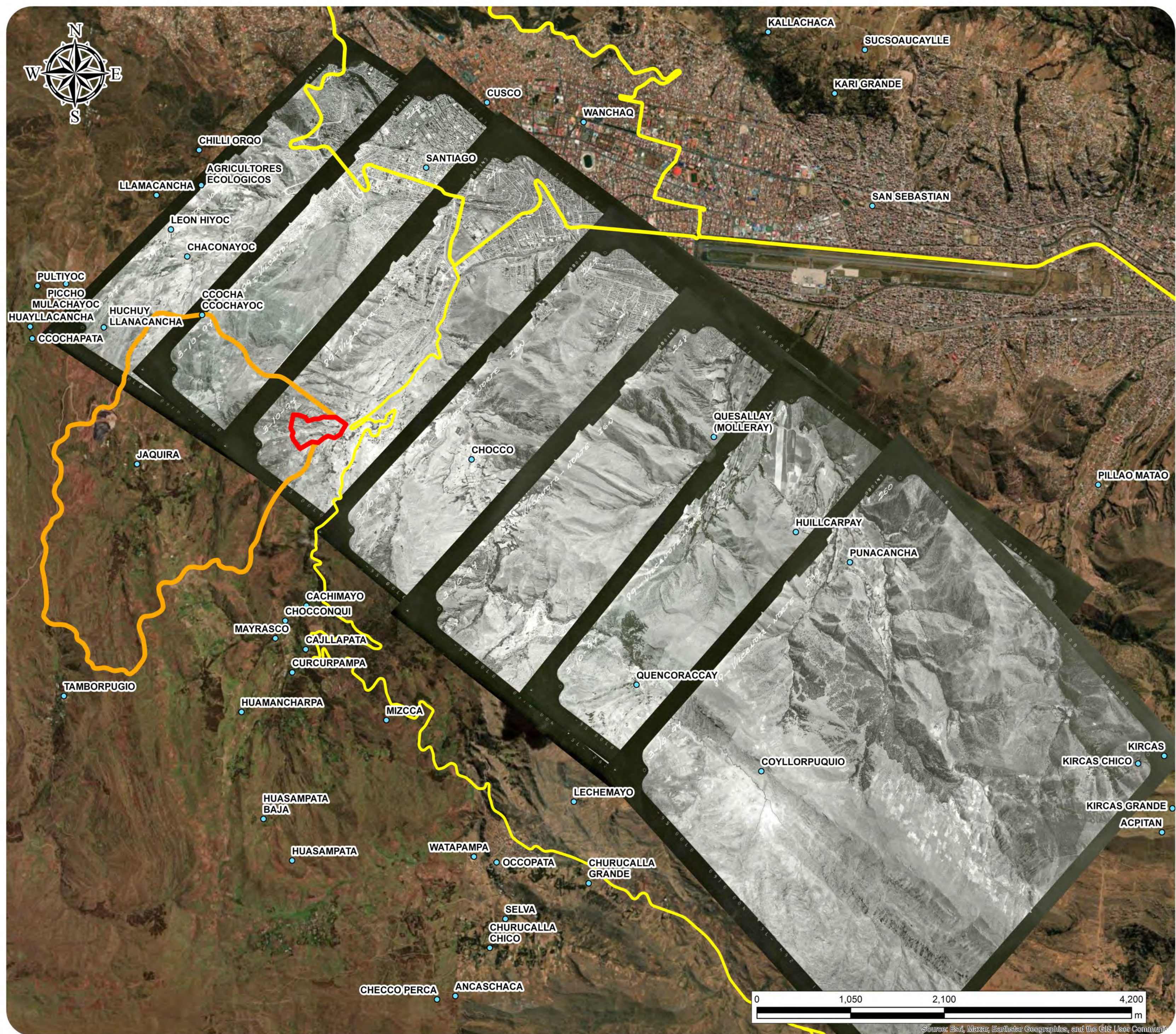
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA, C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO

MAPA: PENDIENTES

TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel	FECHA: JULIO DEL 2025	CÓDIGO: 08
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio	ESCALA: 1:1,500	

FOTOGRAFÍAS AÉREAS



SIMBOLOGÍA

- Centros poblados
- Red vial nacional
- Área de trabajo
- Red vial departamental
- Área de influencia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**INFLUENCIAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS
EN UN EVENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN EL
DOMINIO DEL CUATERNARIO DEL SECTOR
JUQUISKAPAMPA Y MOJASPAMPA,
C. C. CACHONA, SANTIAGO-CUSCO**

MAPA: FOTOGRAFÍAS AÉREAS

TESIS PRESENTADA POR: Br. Cañahuire Hualpa Edwin Humberto Br. Yupanqui Monge Jhonel	FECHA: JULIO DEL 2025	CÓDIGO: 09
Para optar el título profesional de ingeniero geólogo	ESCALA: 1:30,000	
ASESOR: Ing. Mgt. Cárdenas Roque José Dionicio		