

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALURGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



TESIS DE INVESTIGACION:

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA,
QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO,
CUSCO”**

BACHILLERES: RICARDO EDDSON VILA GARRAFA

WALTHER JAVIER VASQUEZ QQUENAYA

ASESOR: ING. JORGE HENRY CUENCA SANCHEZ

CUSCO- 2016

DEDICADO

Con muchísimo cariño este trabajo a las personas que más quiero y siempre me han apoyado: Mi Papá desde lo alto, Mamá, hermanos y a mi novia Saida.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá Ruth Garrafa, por su fortaleza y apoyo en todo sentido, responsable de mi formación educativa.

A mi Facultad de Ingeniería Geológica y sus docentes que me brindaron conocimiento básico profesional.

De igual manera al Ing. Henry Silva por su paciencia al transmitirme sus amplios conocimientos, el apoyo y ánimo constante para el trabajo de tesis.

A mi Asesor de Tesis: Ing. Jorge Cuenca por su paciencia, y apoyo constante en el desarrollo de este trabajo.

De igual forma, agradezco a mis dictaminantes Ing. Carlos Barrientos y el Ing. Iván Cáceres por sus consideraciones, sugerencias para llevar a buen término este trabajo de tesis.

Finalmente un agradecimiento especial a mi novia Saida Suarez por sus observaciones y conocimiento en hidrología, así como su constante apoyo incondicional durante todo el desarrollo del trabajo.

Ricardo Eddson Vila Garrafa

DEDICADO

A mi gran familia Mariano Vasquez, María Qquenaya, a mis hermanos Uriel, Roger y a mi hermana Denis.

AGRADECIMIENTOS

Mi más enorme agradecimiento a Dios por permitirme culminar este trabajo con éxito.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos

A todas las personas magníficas que han hecho participe de esta obra tan importante que resalta en vida profesional.

Y finalmente a los docentes de esta gran carrera profesional de Ingeniería Geológica.

Walther Javier Vasquez Qquenaya

RESUMEN

La quebrada Thuniyoc se ubica en la subcuenca Huatanay, dentro de la región Cusco. El área de estudio es de 277.5 ha, tiene un relieve abrupto con pendientes empinadas, geológicamente está conformado por rocas areniscas intercaladas con lutitas y zonas de ladera material aluvial. El análisis mediante un SIG del cartografiado de los movimientos en masa, la topografía, litología, cobertura vegetal, uso de suelos, erosión y datos hidrológicos de precipitación e intensidad, así como el modelamiento de flujos en base al Modified Single – Flow Direction Model (MSF) y posteriormente usando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) en la quebrada Thuniyoc, ha permitido obtener un mapa de peligros de movimientos en masa. Con datos de tipología de viviendas se pudo construir un mapa de vulnerabilidad. Posteriormente se realizó el mapa de riesgo que se obtuvo de unir el mapa de peligros con el de vulnerabilidad. Como resultado, se observa que la quebrada Thuniyoc tiene un comportamiento de flujo de detritos, que tiene una zona de arranque en la parte norte, con deslizamientos asociados a fallas locales y regionales y una zona de deposición en la parte urbana, donde se encuentran dos disipadores. En esta zona de deposición del flujo de detritos se ubican viviendas que se encuentran en peligro por la proximidad que tienen al cauce y en la zona del disipador, ya que éste puede rebasar su capacidad en un escenario con precipitaciones intensas. Es así que estas viviendas se encuentran en riesgo mitigable.

INDICE

INDICE.....	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	6
1.1. INTRODUCCION.....	6
1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	7
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	7
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. JUSTIFICACION.....	8
1.6. HIPOTESIS.....	8
1.7. ANTECEDENTES.....	9
1.8. MARCO CONCEPTUAL.....	10
1.8.1. Movimientos en masa.....	10
1.8.2. Clasificación de movimientos en masa.....	10
1.8.3. Riesgos por movimientos en masa.....	15
1.8.4. Peligro.....	16
1.8.5. Vulnerabilidad.....	16
1.8.6. Sistemas de Información Geográfica.....	17
1.9. MARCO LEGAL.....	17
1.10. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	18
1.10.1. Ubicación.....	18
1.10.2. Accesibilidad.....	19
1.10.3. Población.....	19
1.10.4. Vivienda.....	20
1.10.5. Clima.....	20
1.10.6. Geomorfología Regional.....	21

1.10.7.	Geomorfología local	25
1.10.8.	Geología Regional	30
1.10.9.	Geología local	34
1.10.10.	Geología Estructural	48
1.10.11.	Sismicidad.....	59
1.10.12.	Hidrología	66
1.10.13.	Hidrogeología	77
CAPITULO II: METODOLOGIA		81
2.1.	TRABAJOS PRELIMINARES	81
2.1.1.	Recopilación, revisión y clasificación de la información existente.....	81
2.1.2.	Elección de escala de trabajo de campo	82
2.1.3.	Delimitación del ámbito de estudio	82
2.1.4.	Fotointerpretación.....	82
2.1.5.	Preparación de mapas preliminares	83
2.2.	INVENTARIO.....	84
2.2.1.	Inventario de los movimientos en masa	84
2.2.2.	Inventario de viviendas/lotés y equipamiento e infraestructura urbana ...	91
2.3.	PREPARACION DE BASES DE DATOS ESPACIALES.....	92
2.3.1.	Digitalización y conversión de formatos	92
2.3.2.	Organización de la información espacial.....	92
2.3.3.	Clasificación y depuración de los datos espaciales	92
2.4.	EVALUACION DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	92
2.4.1.	Modelos de peligrosidad por movimientos en masa	93
2.4.2.	Modelo, escala y variables elegidas	95
2.4.3.	Parámetros de evaluación del peligro de movimientos en masa	111
2.4.4.	Ponderación de los parámetros de evaluación del peligro de movimientos en masa	113

2.4.5.	Susceptibilidad de la quebrada Thuniyoc a los movimientos en masa...	114
2.4.6.	Mapa de Susceptibilidad a los movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc.....	119
2.4.7.	Estratificación del nivel de peligrosidad	120
2.4.8.	Mapa de peligros	123
2.5.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	124
2.5.1.	Modelo, escala y variables elegidas	124
2.5.2.	Parámetros de evaluación de la vulnerabilidad	124
2.5.3.	Ponderación de los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad	130
2.5.4.	Estratificación del nivel de vulnerabilidad	133
2.5.5.	Mapa de Vulnerabilidad	135
2.6.	EVALUACIÓN DEL RIESGO	136
2.6.1.	Cálculo y determinación de los niveles de riesgo.....	136
CAPITULO III: RESULTADOS		137
3.1.	ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO	137
3.2.	MAPA DE RIESGO	139
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		140
4.1.	CONCLUSIONES	140
4.2.	RECOMENDACIONES.....	143
CAPITULO V: ANEXOS		144
4.3.	ANEXO I: GRAFICOS Y MAPAS.....	144
4.4.	ANEXO II: FICHAS INVENTARIO MM.....	144
4.5.	ANEXO III: DATOS DE PRECIPITACION E INTESIDADES	144
4.6.	ANEXO IV: CATALOGO SISMICO	144
Referencias		145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de movimientos en masa	11
Tabla 2 Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).....	11
Tabla 3 Datos de rumbo y buzamientos	51
Tabla 4 Factores de zona "Z"	60
Tabla 5 Relación de aceleración y percepción del sismo.	64
Tabla 6 Ubicación de estaciones meteorológicas	70
Tabla 7 Volúmenes calculados a partir de intensidades máximos y mínimos.	76
Tabla 8 Ensayo de permeabilidad (C. Barrientos, 2012).....	79
Tabla 9 Inventario de caída de suelos en la quebrada Thuniyoc.	85
Tabla 10 Inventario de deslizamientos de suelos en la quebrada Thuniyoc.....	85
Tabla 11 Inventario de deslizamientos compuestos en la quebrada Thuniyoc.....	86
Tabla 12 Inventario de deslizamiento traslacionales en la quebrada Thuniyoc.	87
Tabla 13 Inventario de flujos de detritos en la quebrada Thuniyoc.	89
Tabla 14 Escala de medidas de Saaty.	94
Tabla 15 Clasificación del Rango de Pendientes.....	96
Tabla 16 Clasificación del Parámetro de Geomorfología.	97
Tabla 17 Clasificación del Parámetro de Litología	100
Tabla 18 Clasificación de Parámetros de Cobertura Vegetal	102
Tabla 19 Clasificación del Parámetro Uso Actual de Suelos	106
Tabla 20 Clasificación del Parámetro de Erosión de Suelos.....	109
Tabla 21 Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996).....	111
Tabla 22 Intensidad de precipitación.....	114
Tabla 23 Precipitaciones máximas anuales	114
Tabla 24 Temperatura media mensual.....	114
Tabla 25 Litología e hidrogeología	116
Tabla 26 Pendientes.....	116
Tabla 27 Erosión.....	116
Tabla 28 Geomorfología.....	116
Tabla 29 Cobertura Vegetal.....	117
Tabla 30 Uso Actual de Suelos.....	117
Tabla 31 Estratificación del peligro en la quebrada Thuniyoc.	122
Tabla 32 Localización de la edificación	130

Tabla 33 Material de construcción de la edificación.....	131
Tabla 34 Configuración de elevación de la edificación	131
Tabla 35 Estado de conservación de las edificaciones.....	131
Tabla 36 Antigüedad de construcción de las edificaciones.....	131
Tabla 37 Topografía del terreno.....	132
Tabla 38 Estratificación del nivel de vulnerabilidad.....	134
Tabla 39 Matriz simplificada, peligrosidad vs vulnerabilidad	136
Tabla 40 Estratificación del nivel de riesgo	137

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCION

El riesgo natural es definido, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado, de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes.

En el Perú, la Ley N° 29664, ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), define al riesgo de desastre como la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.

La peligrosidad para los efectos de esta investigación será entendida como un fenómeno de origen natural, cuya dinámica puede desbordar sus umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo ocasionar daños a las personas y a sus bienes. La vulnerabilidad, en cambio, es estimada como la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de un peligro y su exposición fundamentalmente, alude a la población medida en número de bienes por unidad de superficie, situados al interior de una zona de peligro.

En el Perú se han realizado mapas de riesgo, en diferentes departamentos, por las diferentes instituciones nacionales, por ejemplo el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), así también el Centro de Estudios y Prevención de Desastres – PREDES, y como entidad actual que rige normativas y lineamientos para la elaboración de mapas de riesgo el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Una zona en riesgo es el caso de la quebrada Thuniyoc, ubicada al noreste de la provincia de Cusco. Zona que se encuentra actualmente con un gran potencial de producirse movimientos en masa, y que podría llegar a afectar sectores urbanos que se encuentran debajo de esta quebrada.

1.2.DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Los movimientos en masa, constituyen una de las causas más frecuentes de pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo y del ámbito nacional (Schuster, 1996; Sidle & Ochiai, 2006), por lo que la evaluación del riesgo de desastre que generan estos movimientos en masa es de gran interés.

La quebrada Thuniyoc se encuentra en la sub-cuenca Huatanay, dentro de la región del Cusco, región que se encuentra en desarrollo, con zonas de expansión urbana periféricas en su ciudad principal con un desordenado crecimiento en sus periferias, y que son zonas de peligro (MPC, 2013). El peligro, en la quebrada Thuniyoc, como lo menciona la Municipalidad Provincial de Cusco, es por movimientos en masa, deslizamientos que desencadenan un flujo de detritos que afecta a la población en las partes bajas de la quebrada Thuniyoc.

En este entender, a pesar que en zonas bajas urbanizadas de la quebrada Thuniyoc aún no se han registrado pérdidas humanas, los movimientos en masa han generado importantes daños en la infraestructura de la zona (SINPAD, 2015), debido principalmente al desconocimiento del comportamiento de los mismos, quedando así expuestos y en riesgo las APV Huayana Pícol, APV Machupícol, urb. Santa María y la urb. Larapa; población que se ubica debajo de la microcuenca Thuniyoc.

La quebrada Thuniyoc, ubicada al noreste de la provincia de Cusco, es una zona que se encuentra actualmente con un gran potencial de producirse movimientos en masa, y que podría llegar a afectar sectores urbanos que se encuentran debajo de esta quebrada.

1.3.FORMULACION DEL PROBLEMA

Frente a la problemática planteada anteriormente surge la necesidad de conocer:

¿Cuál es el riesgo al que está expuesta la población, ubicada debajo de la quebrada Thuniyoc?

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar y zonificar los sectores expuestos al riesgo originado por movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc, tomando en cuenta la vulnerabilidad física.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un inventario de movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc, cartografiando y determinando su tipología y dimensión; analizando y estratificando el nivel de peligro.
- Evaluar el peligro por flujo de detritos, así como los deslizamientos en la quebrada Thuniyoc.
- Elaborar un mapa de zonificación de riesgo de desastres originado por movimientos en masa de la microcuenca Thuniyoc, analizando la vulnerabilidad física de las zonas expuestas al peligro.

1.5.JUSTIFICACION

Esta investigación busca generar conocimiento de los peligros existentes, las zonas vulnerables, dándole un uso para la planificación urbana y territorial, y fundamentalmente proteger a la persona, las viviendas y la infraestructura actualmente expuesta y en riesgo en el área de estudio.

Asimismo adecuar la metodología propuesta en el "Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales" presentada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED), para un sector relativamente pequeño, como es la quebrada Thuniyoc, de esta manera se podrá tener un punto de partida para la prevención y mitigación de desastres, en concordancia a la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riego de Desastres (SINAGERD), el cual tiene como fin minimizar los riesgos existentes.

1.6.HIPOTESIS

La población que se ubica en sectores bajos de la microcuenca Thuniyoc tiene un riesgo alto y muy alto ante desastres ocurridos por movimientos en masa.

- El movimiento en masa principal que genera peligro muy alto en zonas pobladas ubicadas en las partes bajas de la quebrada Thuniyoc, es el flujo de detritos.
- Los bordes de la quebrada Thuniyoc pueden ser afectados por el flujo de detritos considerándolo zonas de riesgo.

1.7.ANTECEDENTES

Entre los distintos trabajos realizados en la zona de estudio, cuatro son de especial relevancia para el desarrollo de la presente Tesis de Pre-grado, a saber: "Estudio geológico y análisis del peligro y riesgo geológico en Pícol San Jerónimo Cusco", tesis realizada por Quispe Condo (2011); "Evaluación Ingeniero – Geológica del Cerro Pícol, distrito de San Jerónimo – Región Cusco", estudio realizado el INGEMMET (Delgado Madera, 2011); "Estudio geodinámico del distrito de San Jerónimo" realizado por la Corporación Allin Puriy (2013); y el "Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia de Cusco 2013 – 2023" (MPC, 2013).

En el "Estudio geológico y análisis del peligro y riesgo geológico en Pícol San Jerónimo Cusco", realizado por Quispe Condo (2011), realiza una descripción y análisis de los movimientos en masa centrándose en la parte del alta y la quebrada de la microcuenca Thuniyoc, llegando a estimar volúmenes de material proclive a deslizarse.

En la "Evaluación Ingeniero – Geológica del Cerro Pícol, distrito de San Jerónimo – Región Cusco", Delgado Madera (2011), realiza una caracterización de las condiciones geológicas que tiene la quebrada Thuniyoc, así también clasifica los movimientos en masa. Da importancia al sistema de fallas Tambomachay, estructura geológica que pasaría por la microcuenca en mención.

En el "Estudio geodinámico del distrito de San Jerónimo" realizado por la Corporación Allin Puriy (2013), muestra información general del entorno fisiográfico de la quebrada Thuniyoc.

Asimismo el "Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia de Cusco 2013 – 2023" (MPC, 2013), en su diagnóstico en el sub componente de gestión de riesgos identifica a la quebrada Thuniyoc como zona de peligro muy alto.

Finalmente el estudio de "La zonificación y evaluación de los riesgo naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción"

(Mardones & Vidal, 2001) tomado en cuenta por su proceso metodológico y análisis de resultados para zonas con riesgo de movimientos en masa.

1.8.MARCO CONCEPTUAL

En este ítem, y con el fin de facilitar el seguimiento del presente documento, se ha considerado oportuno tocar conceptos referidos al riesgo de desastres y los movimientos en masa, también a los sistemas de información geográfica (SIG) que es la herramienta utilizada para el proceso de los mapas de riesgo.

1.8.1. Movimientos en masa

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden D. , 1991). Algunos autores consideran que el agua puede ser un factor acompañante de la gravedad para su ocurrencia (Sharpe, 1938); 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, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Croizer & Glade, 1999)

1.8.2. Clasificación de movimientos en masa

En la literatura científica se encuentran muchas clasificaciones de movimientos en masa; la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación.

La clasificación de movimientos en masa de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988) son hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo de habla inglesa e hispana. Varnes (1958 y 1978) emplea como criterio principal la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar el tipo de material. Así divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra. De esta manera, presenta definiciones para varias posibles combinaciones de tipo de movimiento y material.

Tabla 1 Tipos de movimientos en masa

TIPO	SUBTIPO
Caídas	Caídas de roca (detritos o suelo)
	Volcamiento de roca (bloque)
Volcamiento	Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento rotacional
	Propagación lateral lenta
Propagación	Propagación lateral por licuación (rápida)
	Flujo de detritos
Flujo	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 de suelos
Reptación	Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)

Tabla 2 Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996)

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

A. Caídas.

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra

desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes D. J., 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^3 mm/s. el estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

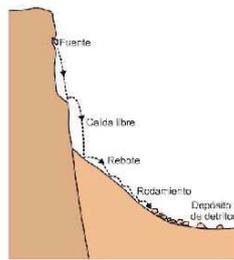


Figura 1 Esquema de la caída de rocas

B. Volcamiento.

Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes D. J., 1978). El volcamiento puede ser en bloque, flexional (o flexural).

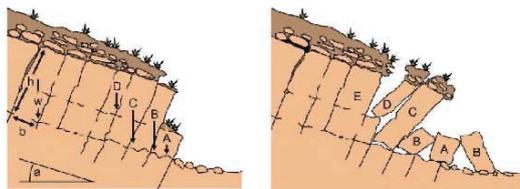


Figura 2 Esquema del vuelco en bloque (De Freitas & Watters, 495-514)

C. Deslizamiento.

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

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

Deslizamiento traslacional.

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981).

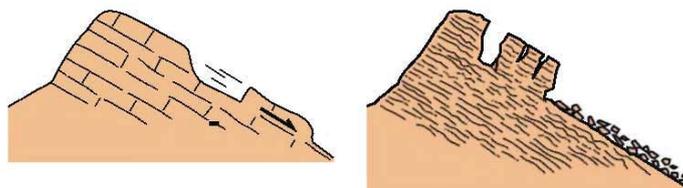


Figura 3 Esquema de un deslizamiento traslacional.

En los casos en que la traslación se realiza a través de un sólo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek & Bray, 1981). El deslizamiento en cuña, es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos.

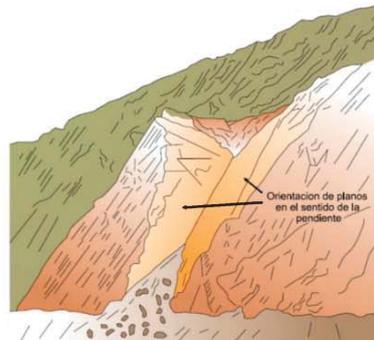


Figura 4 Esquema de un deslizamiento en cuña

Deslizamiento rotacional.

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



Figura 5 Esquema de deslizamiento rotacional mostrando rasgos morfológicos característicos

Algunos deslizamientos tienen superficies de falla que no son ni rotacionales ni planares. Este tipo de deslizamiento es denominado por Hutchinson (1988) deslizamiento compuesto. La superficie de ruptura se desarrolla a lo largo de planos de plegamiento, o

por la intersección de varias discontinuidades planares o por la combinación de superficies de ruptura y de planos de debilidad de la roca. El movimiento a lo largo de superficies de deslizamiento compuestas no es cinemáticamente posible sin que ocurra cizalla interna significativa en el cuerpo del deslizamiento (Hutchinson, 1988).

Flujo.

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

Hungr (Hungr, Evans, Bovis, & Hutchinson, 2001) clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas. Esta clasificación de flujos es *flujos secos*, *flujos de detritos*, *crecida de detritos*, *flujo de lodo*, *flujo de tierra*, *deslizamiento por flujo*, *avalancha de detritos* y *avalancha de rocas*.

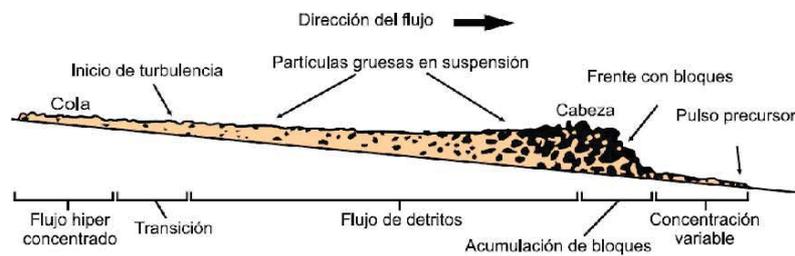


Figura 6 Esquema de un flujo de detritos.

1.8.3. Riesgos por movimientos en masa

El riesgo ante los movimientos en masa involucra la estimación de esta mediante la utilización de un parámetro de intensidad, la identificación de los elementos expuestos y la calificación de su vulnerabilidad frente a estos fenómenos.

Para efectos de la investigación, la acción de los movimientos en masa se evaluará en términos de parámetros de intensidad que refleje de forma adecuada la severidad de aquel, que pueda medirse, estimarse, compararse y predecirse con algún grado de confiabilidad.

Así mismo es necesario identificar los elementos expuestos que pueden sufrir un determinado efecto o impacto cuando los movimientos en masa se presentan. Entonces se requiere, conocer la ubicación y las características principales de los elementos expuestos, que para esta investigación sólo se tomará el aspecto físico de las estructuras y equipamiento existente, entendiéndose como vulnerabilidad física. La vulnerabilidad física corresponde a la susceptibilidad o predisposición que dichos elementos tienen de sufrir daños si se presentan eventos con una intensidad determinada.

En términos matemáticos el riesgo es definido por la siguiente ecuación:

$$R = P \times V$$

Siendo:

R: Riesgo, P: Peligro y V: Vulnerabilidad.

1.8.4. Peligro

El Peligro, de acuerdo al SINAGERD se considera como la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos.

Para el presente estudio estos fenómenos físicos potencialmente dañinos, y de origen natural son los movimientos en masa.

1.8.5. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad, de acuerdo a la terminología del SINAGERD, es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividad socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Para el presente estudio, se han considerado la estructura física de las viviendas aledañas a la zona de peligro.

1.8.6. Sistemas de Información Geográfica

El uso y la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es cada vez más común, ya que aproximadamente el 70% de la información que manejamos en cualquier disciplina está georeferenciada. Es decir que se trata de información a la cual se puede asignar una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización (Olaya, 2012).

Según F. J. Moldes (Moldes, 1995) un SIG es un "conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos organizados en base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas".

Cabe aclarar que no se trata sólo de un sistema de software. En efecto, como señala la NCGIA, un SIG es "un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión" (NCGIA, 1990).

Además de la capacidad propia de los SIG, técnicas ajenas a éstos han sido integrados a los mismos, como son las técnicas de evaluación multicriterio, importante para la elaboración de mapas de susceptibilidad (Barredo Cano & Gómez Delgado, 2006).

Estos SIG usan bases de datos espaciales para organizarlos. Siendo el formato vectorial el que representa la realidad, utilizando puntos, líneas y polígonos. Y el formato raster divide el espacio geográfico en celdas de igual tamaño que se asocian a un dato temático.

1.9. MARCO LEGAL

En el Perú, se ha instaurado a partir del 19 de febrero del 2011, la ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, la Ley N° 29664, cuya finalidad "es identificar y reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos, así como evitar la generación de nuevos riesgos, y preparación y atención ante situaciones de desastre mediante el establecimiento de principios, lineamientos de política, componentes, procesos e instrumentos de la Gestión del Riesgo de Desastres" (SINAGERD, 2011).

Es también importante mencionar que a través de ordenanza municipal (MPC, 2013), se aprobó el Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia del Cusco 2013 – 2023, en el que muestra como zonas de peligro muy alto a la microcuenca Thuniyoc.

En este sentido el presente estudio contribuye a la gestión para la prevención de riesgos en la quebrada Thuniyoc, siendo sus principales afectados la población que reside en las APV Huaynapicol y Machupicol, y las urb. Santa María y Larapa, ubicados en las zonas más bajas de la quebrada en mención.

1.10. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.10.1. Ubicación

La provincia de Cusco, está ubicada en la parte central del departamento de Cusco, limita por el norte con las provincias de Calca y Urubamba, por el sur con la provincia de Paruro, por el este con la provincia de Quispicanchi, y por el oeste con la provincia de Anta.

La quebrada Thuniyoc se ubica al borde izquierdo de la Cuenca Huatanay, entre los distritos de San Sebastián y San Jerónimo, en la provincia de Cusco.

Esta quebrada, se encuentra entre los 3330 a 4250 msnm, tomados desde su punto más bajo en el Condominio Las Rocas y COVIPONA, y su parte más alta en el Cerro Pícol, en la cabecera de microcuenca.

Geográficamente la quebrada Thuniyoc se ubica aproximadamente en la coordenadas UTM: 187000 E y 8504295 N, punto tomado dentro de la quebrada Thuniyoc.

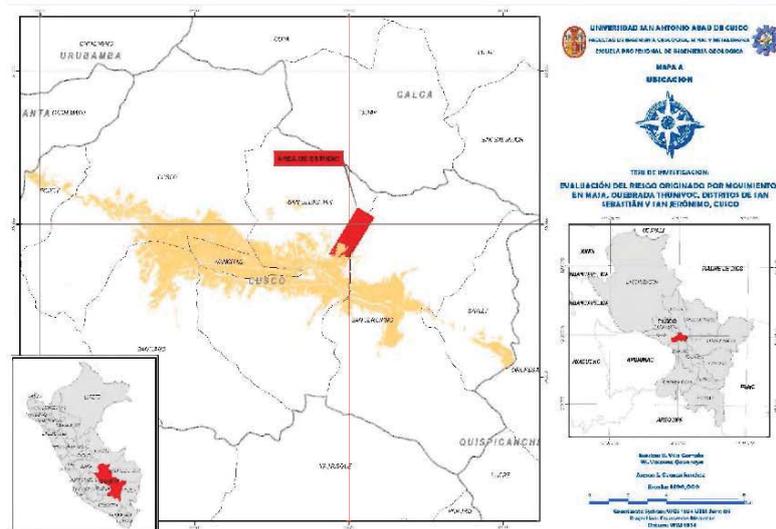


Figura 7 Mapa de Ubicación del área de estudio.

1.10.2. Accesibilidad

El acceso a la quebrada Thuniyoc, se realiza mediante vía terrestre desde el centro de la ciudad de Cusco hacia el distrito de San Jerónimo en la Universidad Andina del Cusco, para luego dirigirse hacia el noreste, con un total de recorrido aproximado de 45 min.

1.10.3. Población

La provincia de Cusco, tiene una población total de 442,629 habitantes (INEI, 2014), siendo la capital departamental es eminentemente urbana con el 94.9% (420,137 habitantes) de la población, mientras que sólo el 5,1% representa la población rural, por tanto concentra a las principales instituciones del gobierno central, oficinas del gobierno regional, servicios educativos de carácter público y privado, servicios de salud, mercados de abastos, centros comerciales, empresas etc. que permiten dinamizar la economía, no solo de la provincia, sino también del departamento, constituyendo atractivos para la población rural de las provincias vecinas que no encuentran oportunidades en sus lugares de origen, generando el fenómeno de migración.

Esto hace pues, que la población tenga que ocupar las periferias de la ciudad, llegando hasta ocupar conos de deyección como la quebrada Thuniyoc, o invadir cauces del río

Huatanay u otros, a fin de tener un lugar donde vivir, colocándolos en riesgo a movimientos en masa.



Figura N° 1 Vista panorámica del área urbana de la zona de estudio, tomado de norte a sur.

En el área de estudio se encuentran las asociaciones pro vivienda Huaynapicol, Machupicol y la urbanización Larapa en el distrito de San Jerónimo y; la urbanización Santa María en el distrito de San Sebastián. Se estima que el número de habitantes en las mencionadas asociaciones y urbanizaciones asciende a un total de 3296 habitantes. De ellos el 49,4% corresponde a la población femenina y el 50.6% a la población masculina.

1.10.4. Vivienda

Respecto a la tenencia de la propiedad, el 83,3% de las familias ocupan su vivienda propia, mientras el 15,0% de las familias se encuentran en condición de inquilinos. Adicionalmente se encontró a familias que ocupan estas viviendas en condición de cuidantes, casos que se presentaron principalmente en la asociación Huaynapicol.

1.10.5. Clima

La quebrada Thuniyoc es parte de una geografía diversa que presenta la provincia del Cusco. El relieve en la provincia presenta alturas que abarcan niveles ecológicos de naturaleza fría, y debido a su variado relieve, crea mesoclimas y microclimas diversos en diferentes estaciones del año. De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite y SENAMHI, la provincia de Cusco, donde se encuentra la quebrada Thuniyoc, tiene dos tipos de clima en particular, el primer dominante es el Semiseco Semifirio con Invierno Seco, que se presenta entre los 3000 y 3600 msnm, con precipitaciones anuales promedio

de 500 a 1000 mm y temperaturas anuales promedio de 12° a 14° C, y el segundo es el clima Lluvioso frío con Invierno Seco, que se presenta entre los 3600 a 4400 msnm, con precipitaciones anuales promedio de 980 a 1600 mm y temperaturas anuales promedio de 6.5° a 9°C. Los meses con mayores precipitaciones es de diciembre a marzo, y el resto del año es relativamente seco.

1.10.6. Geomorfología Regional

La característica en la evolución morfológica del territorio peruano se manifiesta por un relieve inmaduro desarrollado entre el mar, la región cordillerana y la región Sub-Andina oriental con características climáticas particulares a cada región, y, la ubicación geográfica del territorio peruano en la zona de convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica, causantes de la actividad sísmica y volcánica.

Como es de verse en la interpretación de los planos regionales, la zona de altas cumbres (4,000 msnm.), el tipo de roca, los sistemas estructurales, aunado a la presencia de agua superficial y subsuperficial, juegan un papel importante y determinan el modelado del relieve. Siendo así que encontramos las siguientes unidades geomorfológicas regionales:

A. Cordillera Oriental

La cordillera oriental se encuentra al noreste de la microcuenca Thuniyoc. Presenta relieves ondulados con alturas que varían entre 4000 y 4500 msnm., donde las laderas que forman el flanco norte del río Vilcanota son accidentadas ya que esta última se halla entre 3300 y 3150 m de altitud. En esta ladera destaca la presencia de quebradas transversales de dirección NE-SO con relieves igualmente accidentados.

Las alturas de los relieves son muy variables, así, en el límite con el Altiplano son relativamente bajas y pueden alcanzar en promedio 3200 msnm, en cambio cuando limita con la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, el relieve es muy empinado. Las partes más elevadas alcanzan 4500 msnm, destacando los cerros de Quimsa Cruz (4238 msnm) al norte y de Acopia Grande (4491 msnm) al sur.

La Cordillera Oriental expone esencialmente una litología de pizarras de la Formación Ananea (Siluro-Devónico) y escasamente de cuarcitas y diamictitas de la Formación Ccatcca (Devónico terminal) cuyos espesores superan los 2000 m. Igualmente aparecen algunos cuerpos intrusivos que señalan sistemas de fallas importantes. La tectónica se manifiesta por fallas inversas y cabalgamientos NO-SE convergencia SO, asociados a

pliegues que hacen repetir las formaciones del Siluro-Devónico. La Cordillera Oriental está bordeada al sur por fallas NO-SE que la separan del Altiplano. Estas fallas son de Pitucancha y principalmente la de Urcos, que se muestran actualmente como inversas convergencia SO. Al norte se encuentra el sistema de fallas Churo. Estos sistemas, junto con el sistema Ccatcca-Ocongate, son los controles estructurales de la Cordillera Oriental.

B. Montañas

Se caracterizan por tener relieves abruptos e imponentes en las cumbres de los límites de la cuenca. Al noreste están las Montañas de Pachatusan y al suroeste las Montañas del Cusco, mientras que al sur se encuentran las Serranías de Vilcaconga.

Montañas del Cusco

Se encuentra al norte de las mesetas de Sacsayhuaman y Tambillo, y está separada de ellas por la falla Tambomachay. Alcanzan altitudes que van desde 3450 hasta 4400 msnm, resaltando el Huaynapicol y el Sencca, donde las pendientes son mayores al 50 %. Están constituidas por rocas sedimentarias del Grupo San Jerónimo.

Montañas del Pachatusan

Se encuentran al norte de la meseta de Huaccoto. Es una zona prominente que domina el paisaje. Tiene elevaciones que alcanzan 4800 msnm, con relieves abruptos donde la pendiente varía entre 40 y más de 50 %. Predominan las rocas volcánicas del Grupo Mitu, sin embargo, en algunos sectores se aprecian pastizales naturales y vegetación rala.

Serranías de Vilcaconga

Se caracteriza por ser una zona de relieves prominentes, con elevaciones que alcanzan 4300 msnm y sigue por la margen derecha de todo el valle del Huatanay. La pendiente varía entre 25 y 50 %, presentando cerros y lomas cortados por quebradas y pequeños valles como el del río Kayra. La geología está determinada por la presencia de areniscas del Grupo San Jerónimo, que son las rocas más importantes desde el punto de vista hidrogeológico, ya que constituyen los mejores acuíferos de la región.

C. Mesetas

Son superficies caracterizadas por una topografía relativamente plana, cortada por quebradas que le dan un aspecto de lomadas disectadas. En general, la pendiente varía entre 4 y 25 %. Las principales mesetas son:

Meseta de Sacsayhuaman

Se encuentra al norte de las Laderas Norte y al sur de las Montañas del Cusco, entre 3600 y 3750 msnm, donde se localiza el parque arqueológico del mismo nombre. Presenta afloramientos de rocas del Grupo Yuncaypata, donde sobresalen las calizas, las areniscas, las lutitas y los lentes de yeso.

Meseta de Tambillo

Localizada al norte de las Laderas Norte, en el sector de San Sebastián, entre 3,500 y 3,650 msnm. Está conformada por afloramientos de calizas, areniscas, lutitas y conglomerados del Grupo Yuncaypata y la Formación Pumamarca.

Meseta de Huaccoto

Constituye una altiplanicie situada entre 4000 y 4350 msnm. Separa la empinada Ladera Norte de las Montañas de Pachatusan. Destaca por la presencia de dos cuerpos volcánicos cuaternarios: Huaccoto y Huancachahuana. Si bien es una altiplanicie, por estar recortada por algunas quebradas, desarrolla relieves moderados con pendientes que varían entre 4 y 25 %. Se caracteriza por la presencia de riachuelos, pequeñas lagunas y humedales.

D. La Depresión del Cusco

La ciudad de Cusco y las poblaciones de los distritos de Santiago, Wanchaq, San Sebastián, San Jerónimo, Saylla, Oropesa y Lucre, son los principales centros urbanos que se ubican en la cuenca del río Huatanay, dentro del cuadrángulo de Cusco, mientras que los poblados de Poroy y Ccorca se encuentran en cuencas adyacentes y en los cuadrángulos de Urubamba y Tambobamba, respectivamente.

La Depresión de Cusco-Huacarpay es alargada, longitud de 30 km y altura que va de 3400 a 3150 msnm corresponde a un valle de dirección NO-SE, localizado entre el Altiplano y la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental. El valle de Cusco tiene una serie de micro cuencas que drenan sus aguas al río Huatanay: en la margen izquierda están las de Saphy, Cachimayo, Tenerías, Huaccoto, Huasao, Choquepata y Oropesa, y en la margen derecha las de Tancarpata, Huilcarpay, Pillao Matao, Kayra, Saylla y Lucre.

Por ser un valle interandino alto, su clima es frío y con altas precipitaciones entre los meses de octubre a marzo. La temperatura promedio es de 11.6 °C y la humedad oscila

entre 40 y 75%. El régimen de lluvias es estacional, varía de 500 mm a 1200 mm en épocas de lluvias.

El río Huatanay es parte de la cuenca del mismo nombre, que en realidad es un valle de dirección NO-SE, situado entre el Altiplano y la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, dentro de los Andes del Sur del Perú. La cuenca presenta diferentes unidades morfológicas locales, que pueden ser clasificadas en cuatro grandes grupos: piso de valle, laderas, montañas y mesetas. Además están los conos aluviales que se ubican entre el piso de valle y las laderas.

E. Altiplano

Se ubica al sur y sur este de la zona de estudio, gran parte del cuadrángulo de Cusco se localiza en la prolongación noroeste del Altiplano y corresponde a la terminación occidental de esta unidad que viene desde Bolivia. Limita al sur con el borde NE de la Cordillera Occidental y al norte con la Cordillera Oriental mediante la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, caracterizada por el anticlinal de Vilcanota. En el Altiplano afloran rocas mesozoicas de poco espesor por comparación a sus equivalentes de la Cordillera Occidental, sin embargo, las capas rojas continentales del Terciario son muy potentes, como el Grupo San Jerónimo (> 5000 m) que además muestra la superficie más amplia de afloramientos.

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 y por la acción glaciaria, que le dan una configuración muy agreste, a pesar de ser parte del Altiplano.

En el Altiplano de Cusco, se han distinguido las siguientes unidades locales: Serranías de Vilcaonga, Montañas Chinchay- Ichuloma, Montañas de Seratichin Orcco-Pumahuasi. Meseta de Huacocha, Planicie de Pomacanchi (V. Carlotto, J. Cárdenas, G. Carlier; boletín 138, Carta Geológica Nacional).

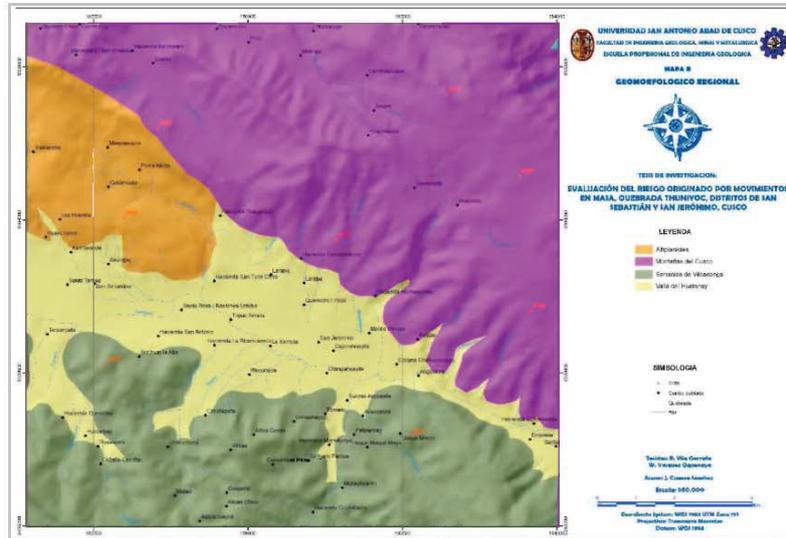


Figura 8 Mapa Geomorfológico regional.

1.10.7. Geomorfología local

El contexto geomorfológico local está situado dentro de la unidad regional Montañas altas, y se han distinguido 6 unidades geomorfológicas, las cuales son: laderas suaves, laderas medias, laderas escarpadas, plataformas tectónicas, terrazas aluviales, y cono aluvial.

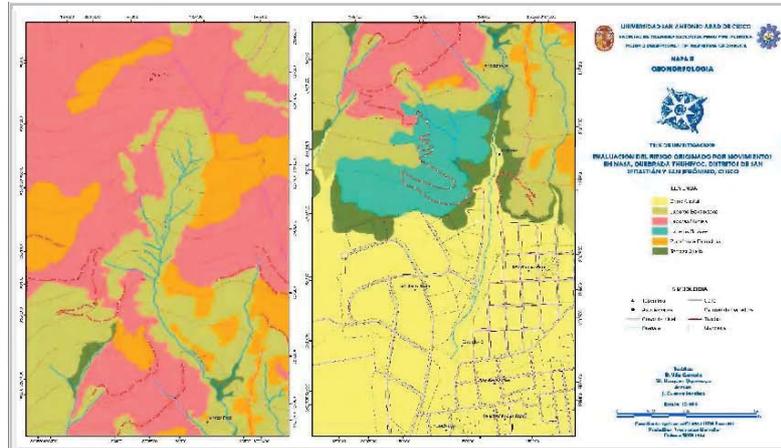


Figura 9 Mapa Geomorfológico local

A. Ladera suave

Esta unidad está comprendida en un medio geomorfológico de baja pendiente $10^{\circ} - 20^{\circ}$, ubicada en la parte baja del talud.

La topografía en esta unidad está controlada por las estructuras locales que se emplazan con una orientación NO-SE, siendo la principal y fundamental falla de Tambomachay. Sin embargo, existen algunos alineamientos NE-SO, los cuales juegan un papel importante en la configuración del relieve de esta unidad. La vegetación en esta unidad es relativamente tupida cuya función principal es de controlar la actividad de la geodinámica externa.



Figura 10 Se muestra ladera suave, ubicada en el lado derecho del disipador I, además se observa la densidad de la vegetación manteniendo el talud estable.

B. Ladera intermedia

Esta unidad se encuentra en la parte intermedia y alta del cerro Pícol, comprendida en talud de pendiente media 20° - 30° , y está sometida a un sistema de fracturas NO-SE, cuya génesis de estas están ligadas a la falla Pícol con orientación de O-E y algunos alineamientos NE-SO.

La manifestación de la actividad geodinámica en esta unidad es relativamente baja a media, dicho proceso se adapta al medio topográfico.



Figura 11 Se muestra la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc en ambas figuras, donde se encuentran las laderas intermedias, además se muestra una vegetación regular



Figura 12 Se muestra la parte superior de la zona de Pícol, apreciando las laderas intermedias en los flancos derecha e izquierda del deslizamiento principal.

C. Ladera escarpada

Esta unidad se ubica en las zonas de deslizamiento, formando una escarpa cuyo declive es mayor a 30° , además la mayoría de estas laderas, están situadas en la parte intermedia y alta del talud. La configuración de esta unidad está controlada por la falla Pícol de dirección O-E cuyo declive llega hasta los 70° en dirección N-S.

En las partes intermedias y flancos de la quebrada Thuniyoc es mayor la presencia de esta unidad ya que la densidad de los movimientos en masa aumenta. Además, manteniendo la actividad permanente de los elementos de peligros.



Figura 13 Vista de la parte superior del deslizamiento de Pícol. Se muestran los flancos de la quebrada Thuniyoc formados por las laderas escarpadas, en rojo la Falla Pícol W-E.

D. Plataforma estructural

Esta unidad se ubica en las zonas adyacentes a los deslizamientos, formando una superficie llana a manera de terrazas cuyo declive es variable de 0° - 10° , donde la configuración de esta unidad está controlada por las estructuras locales como la Falla Pícol, los alineamientos y la principal Falla Tambomachay, esta última orientada de NO-SE.



Figura 14 Vista desde el deslizamiento de Pícol, se observa la plataforma estructural, ubicada en la parte derecha e intermedia de la quebrada de Thuniyoc.

E. Cono aluvial

Esta unidad se ubica en las partes bajas de los drenajes efímeras, son depósito de materiales transportados, que generan zonas en forma de conos, y además distinguidas por la baja pendiente y el tipo de material que lo compone.

Esta unidad está controlada básicamente por la actividad de los drenajes, en este caso por la actividad erosiva de la quebrada Thuniyoc, el cual durante las épocas de precipitación genera gran cantidad de acumulación o depositación del material aluvial, donde la mayor parte de ellas se ubican en los disipadores 01 y 02.

F. Terraza aluvial

Esta unidad se ubica en las partes laterales de la quebrada Thuniyoc y las quebradas adyacentes, formando relieves casi llanos, donde la morfogénesis de esta unidad se debe básicamente a la acumulación de los materiales aluviales en las partes laterales del cauce de la quebrada, y son controladas por la actividad de cada agente del transporte.



Figura 15 Se muestra las terrazas aluviales que se encuentran al norte del dissipador 01.

1.10.8. Geología Regional

A. Estratigrafía

Grupo Cabanillas

El grupo Cabanillas se emplaza al noreste de la microcuenca Thuniyoc y al noroeste de la comunidad de Huaccoto.

Se trata de una secuencia bastante uniforme consistente en pizarras y esquistos, algunas veces calcárea, grises a negros, sin estratificación visible, intercaladas con escasos bancos pequeños de cuarcitas.

Grupo Mitu

El Grupo Mitu aflora hacia el noreste de la microcuenca Thuniyoc, al norte de la comunidad campesina de Huaccoto. Este grupo se divide en dos formaciones: Pisac y Pachatusan (Candia & Carloto, 1985) (Carlotto, Candia, & Marocco, Estudio geológico del anticlinal de Vilcanota, Cusco., 1988).

La formación Pisac está conformado por un nivel volcánico, sobre el cual se encuentran secuencias grano estrato crecientes de brechas y conglomerados intercalados con areniscas y limolitas rojas. Los conglomerados contienen clastos de calizas con fusulinas,

volcánicos y cuarcitas. Estas secuencias han sido interpretadas como originadas por conos aluviales, relacionadas una tectónica sinsedimentaria intra-Mitu (Carlotto, Candia, & Marocco, EStudio geológico del anticlinal de Vilcanota, Cusco., 1988).

La formación Pachatusan está constituida por brechas, aglomerados y coladas volcánicas de basaltos, aunque también se presentan riolitas e ignimbritas. Estas rocas volcánicas se intercalan con rocas sedimentarias, caracterizándose por su color rojo violáceo, que permite reconocerlas rápidamente en el campo. También se caracteriza por la presencia de conglomerados y areniscas fluviales que están intercalados con las rocas volcánicas.

Grupo Yuncaypata

El Grupo Yuncaypata agrupa las formaciones Paucarbamba, Maras, Ayabacas y Puquín (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996) de Albiano?-Maestrichtiano. En el área de influencia de la microcuenca Thuniyoc se ha encontrado sólo la formación Maras y Puquín que se describen a continuación:

Formación Maras

La formación Maras aflora al oeste de la microcuenca Thuniyoc, en los centros poblados de Quillahuata y Los Huertos en el borde izquierdo del río Tomahuayjo.

Esta formación está compuesta por mezclas de yesos y lutitas rojas y más escasamente lutitas verdes y algunos niveles de calizas de espesores delgados o calizas más gruesas que realidad corresponden a calizas deslizadas de la Formación Ayabacas. En la mayoría de los casos, las relaciones de contacto indican su emplazamiento por efectos de diapirismo o tectónico.

Formación Puquin

La formación Puquín (Carlotto, 1992) sobreyace a la formación Ayabacas, aflora al noreste de la microcuenca Thuniyoc, se extiende de noroeste a sureste de la comunidad de Huaccoto.

Esta formación tiene tres miembros, el primero está constituido por lutitas rojas, yesos laminados, nodulosos o en mallas por brechas con elementos pelíticos, que indican un medio de sabkha continental. El miembro M2 está compuesto por calizas, margas, lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita, también presentas secuencias de lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares, nodulosas y en mallas. El miembro M3 está constituido

por bancos arenosos fluviales seguidos por intercalaciones de lutitas, margas y calizas lacustres e intertidales y su parte superior son areniscas feldespáticas de color rojo y de origen fluvial.

Grupo San Jerónimo

Una potente serie roja de origen continental de más de 6000m de espesor conocida como Grupo San Jerónimo (Córdova, 1986), aflorando ampliamente en la microcuenca Thuniyoc, el borde izquierdo y derecho del río Huatanay. Actualmente se han definido como las formaciones Soncco y Kayra las que componen este Grupo San Jerónimo (Carlotto, Jaillard, Carlier, Cárdenas, & Cerpa, 2005).

Formación Kayra

Esta formación aflora en ambos bordes del río Huatanay, en las laderas del cerro Huayanapicol en el borde izquierdo, y en el borde derecho por Kirkas, Lloque Mocco.

Está constituido por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcitíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. La formación acaba con facies areno-pelíticas de llanura de inundación y canales divagantes. Las paleocorrientes indican que las partes proceden del sur y suroeste. El espesor de esta unidad varía entre 2000 y 3000m.

Formación Rumicolca

Mendivil y Dávila (1994) denominan a la formación Rumicolca a un conjunto de cuerpos volcánicos de dimensiones pequeñas que afloran a lo largo del límite Altiplano-Cordillera Oriental. En el mapa geológico regional se puede observar el domo de Huaccoto en el lado noreste.

La formación Rumicolca son lavas generalmente de color oscuro, de negro a gris. Se tratan de andesitas, dacita y traquitas ricas en potasio, así como shoshonitas (Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011)

Formación San Sebastián

La formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916) en la depresión de Cusco, donde sobreyace al basamento Cretácico y Tericiario. Esta formación aflora en el borde

izquierdo y derecho del río Huatanay, por los sectores de San Sebastián, Rinconada, Santa Rosa, Uvinachayoc.

Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988): la primera, grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda, grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca. Este cierre está expuesto por la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias.

B. Depósitos cuaternarios

Depósitos aluviales

Considerando los conos aluviales y de deyección dentro de estos depósitos. Estos conos están adosados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacente a las principales quebradas que se dirigen hacia el río Huatanay. Estos conos están compuestos por grandes bloques de rocas areniscas, envueltos por una matriz areno-arcillosa. Estos depósitos se reconocen en las quebradas, donde mayormente se emplazan asentamiento humanos y áreas agropecuarias.

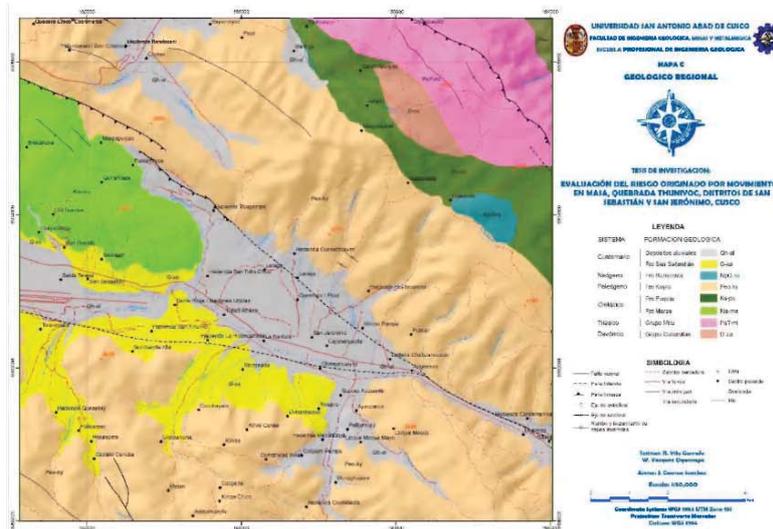


Figura 16 Mapa geológico regional (Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011)

1.10.9. Geología local

A. Litología

La geología local de la zona de estudios está basada dentro del contexto sedimentario fluvial (Grupo San Jerónimo – Formación Kayra), denominadas también como capas arcósicas, cuya edad esta datada en el cretácica superior-terciaria (Marocco, 1978; Córdova, 1986), Eoceno inferior, (Córdova, 1986; Carlotto, 1998), para el presente estudio se ha identificado 3 tipos de litología, las cuales se describen a continuación.

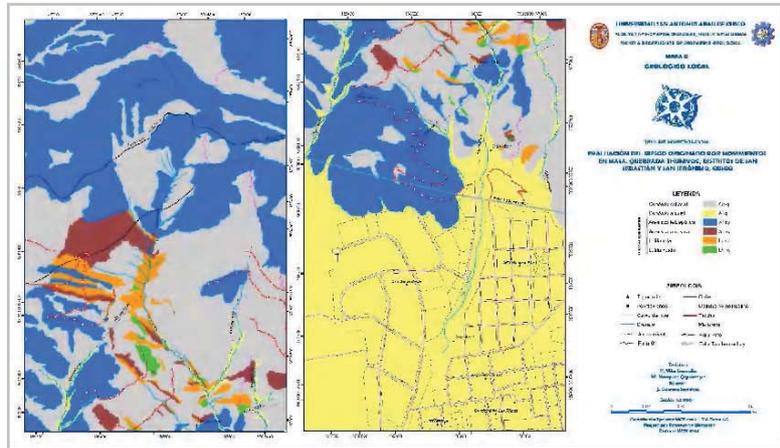
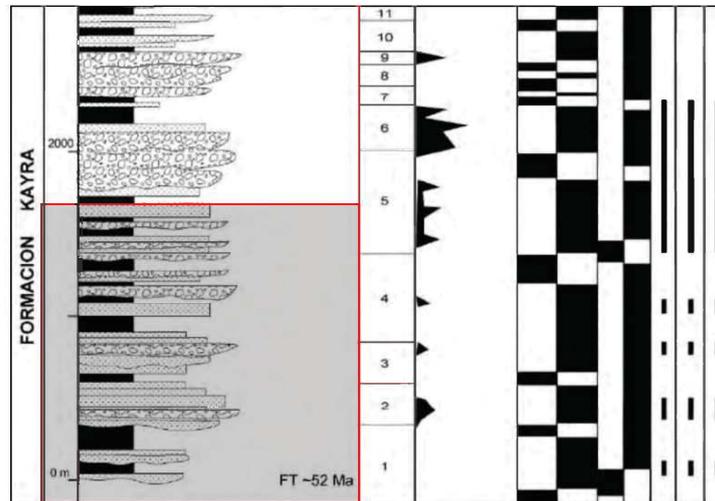


Figura 17 Mapa geológico local de la zona de estudio.

Formación Kayra (Grupo San Jerónimo)

Esta unidad geológica está compuesta por bancos de areniscas arcósicas y feldespáticas, las cuales están orientadas paralelas al sistema de estratificación general, NW-SE, con buzamientos que varían de 15°-82°. Estas areniscas se ubican adyacentes a las lutitas rojas y en la parte intermedia del talud de evaluación, así denotando la coloración rojiza y blanquecina, además mostrando una granulometría fina a media, con laminaciones paralelas y en algunos casos entrelazados en las partes superiores del talud.

En la zona de estudios se ha determinado dos tipos de areniscas las cuales se mencionan en el párrafo anterior, y la mayor predominancia de esta unidad litológica es la arenisca feldespática con respecto a la arenisca arcósica, donde ambas pertenecen a la formación Kayra del grupo San Jerónimo.



Columna estratigráfica de la formación Kayra, observando una secuencia de areniscas y lutitas rojas, cuya granulometría varía de fino a medio en la parte basal, fuente (Boletín N°138 Serie A carta geológica Nacional.).

En la columna estratigráfica anterior se muestra que la formación Kayra está conformada por una secuencia de areniscas y lutitas rojas y verdes, cuya granulometría de las areniscas varían de fino a media en algunos casos a gruesa y se ubican en las partes altas del talud del cerro Pícol, sin embargo, la presencia de conglomerados como indica en el boletín regional de cusco y local no se han evidenciado dentro de la zona de estudios.

El área de estudio que comprende el deslizamiento compuesto de Pícol está situado dentro de la parte basal de la formación Kayra, es decir que el deslizamiento actúa sobre secuencias de areniscas arcósicas y feldespáticas, además de las lutitas rojas y verdes, donde estas últimas son más propensas a ser alteradas en su estado dinámico.

La variación de coloración de las areniscas feldespáticas y arcósicas se torna desde la parte inferior del talud Pícol, llegando al tramo final superior del talud con una predominancia de areniscas feldespáticas, además la secuencia de lutitas verdes y rojas disminuye en cuanto a su potencia.



Figura 18 Esta imagen muestra la intercalación de areniscas arcósicas con las lutitas del mismo color, ubicadas en la parte baja del talud de evaluación.

En la imagen anterior se muestra el banco de intercalación entre areniscas y lutitas rojas, mostrando la configuración estratigráfica general cuya potencia de la primera son centimétricas, variando de 5-40 cm., además este paquete presenta laminaciones paralelas con algunas venillas de calcita y otros con cuarzo.

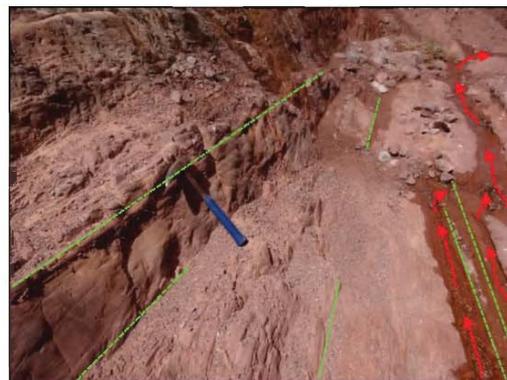


Figura 19 Se muestra intercalación de areniscas con lutitas ambas de coloración rojiza, ubicadas en la parte intermedia de la quebrada de Thuniyoc.

Hidrogeológicamente, estas areniscas pertenecen a la Formación Kayra, estas rocas se encuentran catalogadas como acuíferos heterogéneos. Tienen por característica su fuerte fracturamiento que le da una porosidad secundaria alta.



Figura 20 Se muestra la intercalación de areniscas feldespáticas con tultitas arcósicas ubicadas en la parte superior del deslizamiento Picoi.



Figura 21 Se muestra las areniscas feldespáticas medianamente fracturadas y ubicada en la parte baja de la quebrada de Thuniyoc.



Figura 22 Se muestra banco de lutitas rojas, con algunos niveles centimétricos de areniscas arcósicas, las flechas arcósicas indican la dirección del flujo de la quebrada Thuniyoc N-S.

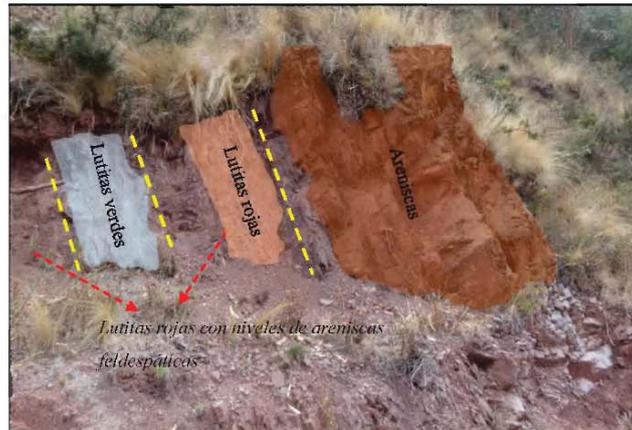


Figura 23 En esta imagen se muestra intercalación de lutitas rojas, verde y areniscas feldespáticas.



Figura 24 Se observa lutitas verdes con arcóscicas, cuya potencia alcanza hasta los 1m.



Figura 25 Se observa lutitas verdes intercaladas con lutitas rojas, cuya potencia alcanza hasta los 3m. ubicado en la parte intermedia del cerro Pícol.

Tanto las lutitas verdes y las lutitas rojas, hidrogeológicamente, tienen comportamiento de acuícludos, es decir que pueden almacenar agua pero que no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con dificultad, sin embargo, en la zona de estudios esta unidad litológica se encuentra muy fracturada, el cual da un comportamiento heterogéneo en cuanto a sus características hidrogeológicas.



Se observa una imagen panorámica de la parte superior de la zona de estudios que está conformado por la intercalación de arenisca y lutitas rojas, en sus alrededores se aprecian materiales coluviales con poca vegetación.



Se observa una imagen panorámica de la parte intermedia del talud Picol que está conformado por la intercalación de arenisca y lutitas rojas altamente fracturadas, y en alineamiento al eje de la quebrada se observan los materiales alterados, que son propias de las rocas antes mencionado.

Depósitos coluviales

Este tipo de depósitos están compuesta por bancos de suelos no consolidados, consistentes básicamente por bloques, gravas, arenas y finos, todas ellas ubicándose en las plataformas estructurales y pie de los deslizamientos.

Esta unidad litológica tiene una predominancia mayor con respecto al área total de la zona de estudios, cuya potencia en la parte superior del talud Pícol es variable 0.50 – 1.00m., en la zona intermedia esta potencia incrementa variando de 0.50-2.00m. cuyo origen es mayormente por deslizamiento y flujos que se sitúan en este sector, siguiendo hacia la parte inferior los coluviales aumentan su potencia en los bordes de la quebrada Thuniyoc (Ver mapa geológico local), cuya variación es 2.00-5.00m.

Las imágenes que se muestran a continuación son depósitos coluviales típicos de la zona de estudio, que hace referencia al origen factores exógenos de la geodinámica, es decir que estos suelos son producto de los deslizamientos activos e inactivos.



Se observa la parte superior, lado derecho del deslizamiento de Pícol, donde se aprecia material coluvial, que actúa como suelo de cobertura, cuya potencia alcanza hasta 0.50m.



Se observa la parte intermedia del talud Picol, se aprecia a lado izquierdo banco de materiales coluviales que han sido producto de los deslizamientos inactivos cuya potencia alcanza los 2.00m., además tiene una cobertura vegetal rala



Se observa la parte baja lado derecho de la quebrada Thuniyoc, apreciando el contacto entre el areniscas y suelo coluvial, donde esta última alcanza los 2.50m, con cobertura vegetal regular.



Se observa suelo coluvial, ubicado en una de las plataformas estructurales. Compuestas por gravas arenas y finos, usado como campo de cultivo.

Hidrogeológicamente, los suelos coluviales están considerados como acuitardos, pueden almacenar agua, pero lo transmiten con dificultad, ya que tienen una matriz arcillosa y limosa que impedirían los flujos de agua.

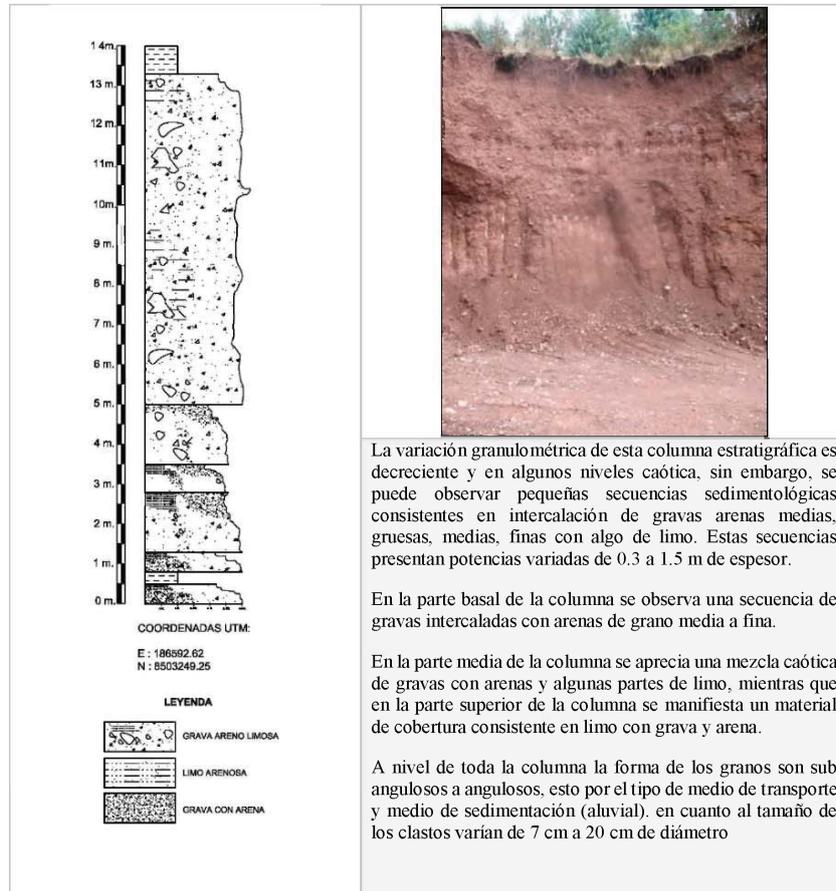
Depósitos aluviales

Este tipo de depósitos están compuesta por bancos de suelos no consolidados, de corto transporte y generalmente está compuesta por clastos, gravas, arenas y finos, donde los clastos son generalmente sub angulosos, alcanzando diámetros de hasta 0.30m.

Este depósito de aluviales se emplaza desde la parte intermedia siguiendo la dirección de la quebrada Thuniyoc, además estos se pueden apreciar en los bordes de la quebrada antes mencionada, teniendo en cuenta el bajo declive para su depositacion.

La potencia de esto depósitos en la parte intermedia alcanzan hasta los 2.50 m. en algunos casos se nota que existen una deposición temporal, ya que durante las precipitaciones estas son removidas y movilizadas para su posterior depositacion en las partes más bajas de la misma quebrada, cercanas al disipador 01.

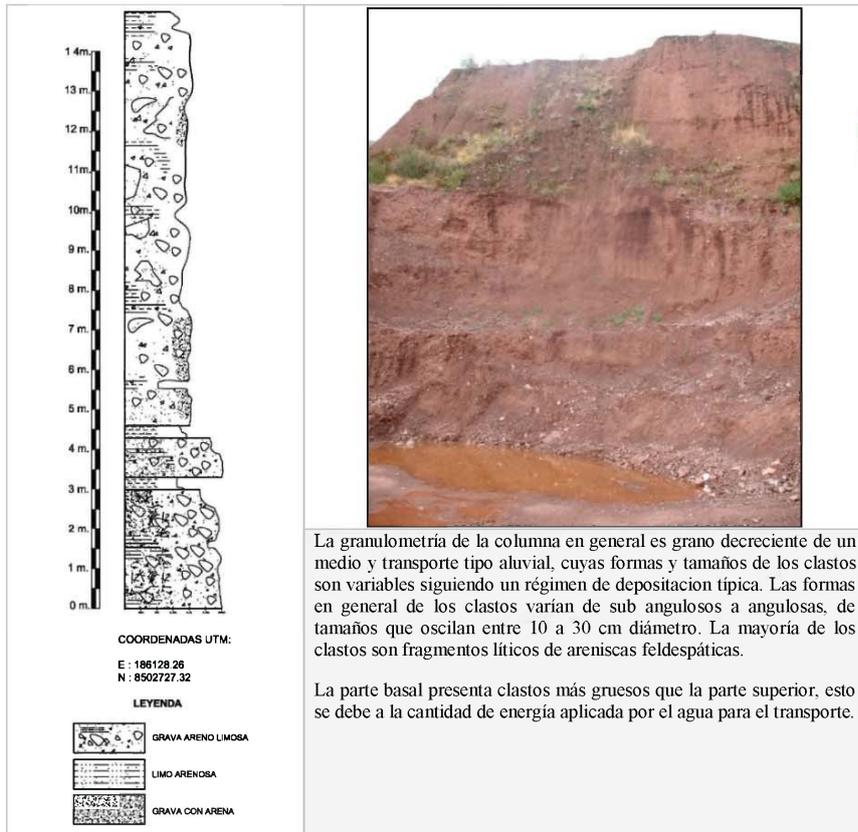
En sector del disipador 01 la potencia del material aluvial es considerable, ya que supera los 15 metros, con un orden caótico en cuanto a sus niveles de deposición, sin embargo, para efectos de más detalle se ha realizado una columna estratigráfica en el punto del disipador 01.



Columna estratigráfica, realizado en la zona de dissipador 01 margen derecha, apreciando los niveles de depositación de los bancos de gravas, arenas y algunos finos.

Hacia el sur de la quebrada Thuniyoc, este material juega un papel importante ya que la acumulación de esta aumenta en cuanto a su volumen, además cabe resaltar también que a partir del dissipador 01 pasando por el dissipador 02 hasta el río Huatanay está compuesto por este tipo de suelo.

La potencia de este material en la zona del disipador 02 puede superar los 30 metros. Ya que esto se debe a la geofoma de bajo declive, que este contribuye en la deposición mayor de los materiales transportados por el flujo proveniente de la quebrada Thuniyoc.



La granulometría de la columna en general es grano decreciente de un medio y transporte tipo aluvial, cuyas formas y tamaños de los clastos son variables siguiendo un régimen de depositación típica. Las formas en general de los clastos varían de sub angulosos a angulosos, de tamaños que oscilan entre 10 a 30 cm diámetro. La mayoría de los clastos son fragmentos líticos de areniscas feldespáticas.

La parte basal presenta clastos más gruesos que la parte superior, esto se debe a la cantidad de energía aplicada por el agua para el transporte.

Columna estratigráfica realizada en la zona del disipador 02, en el cual se aprecian niveles de acumulación de los materiales aluviales.



Figura 26 Se muestra depósito de material aluvial, conocida también como disipador 01, compuesta por gravas, arenas y finos.

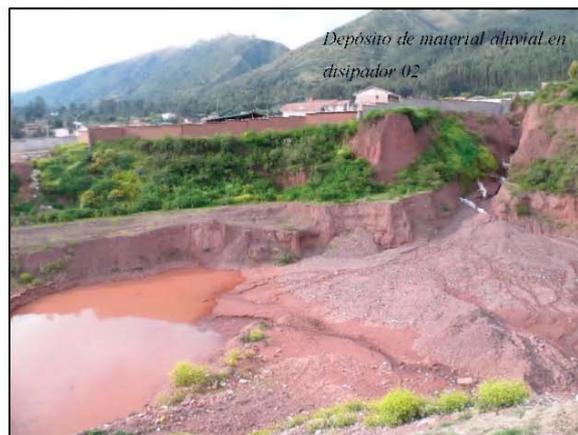


Figura 27 Se muestra depósito de material aluvial en el disipador 02, ubicado en la parte baja de la zona de estudio.

Estos depósitos aluviales, que se presentan en forma de conos aluviales, en la desembocadura de la quebrada Thuniyoc, hidrogeológicamente se pueden comportar como un acuífero poroso no consolidado. Son importantes ya que son el medio de descarga de los acuíferos de la formación Kayra que se encuentra al norte. Los valores de permeabilidad son altos en ciertas zonas, donde hay abundancia de clastos y ausencia de matriz fina.

1.10.10. Geología Estructural

A. Geología estructural regional

En la región de Cusco y particularmente en el cuadrángulo de Cusco existen varias fallas activas que han sido estudiadas en detalle por Sebrier et al. (1982) y principalmente Cabrera (1988). Estas fallas han controlado la evolución tectónica y sedimentaria pliocuaternaria de la región y particularmente de las cuencas Cusco y Ccatcca. Las fallas activas se hallan en la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental y en el límite Altiplano-Cordillera Occidental.

Las fallas activas de la región han sido divididas en dos sectores. El sistema de fallas Cusco y el sistema de fallas Vilcanota (Cabrera, 1988). Dentro del sistema Cusco se han reconocido las fallas de Tambomachay, Tamboray, Qoricocha, Pachatusan y Zurite, mientras que en el sistema Vilcanota están las fallas de Pomacanchis, Pampamarca y Langui. Hacia el este de la zona de estudio, en el cuadrángulo de Ocongate (28-t) el sistema de fallas activas se encuentra en la zona de Ausangate y Ccatca Ocongate que pasa al cuadrángulo de Cusco. En la zona de estudio regional, las fallas activas de Cusco son Tambomachay, Pachatusan y Cusco, mientras que las fallas del Vilcanota son: Urcos y Pomacanchis (ver Mapa Estructural).

Falla Tambomachay. - Se ubica al norte de la Ciudad del Cusco y separa la Meseta de Saqsaywaman de las Montañas del Cusco, es decir pone en contacto las formaciones del Grupo Yuncaypata (Cretácico) con las del Grupo San Jerónimo (Eoceno-Oligoceno). Esta falla NO-SE a ONO-ESE es un accidente antiguo que ha tenido muchos juegos, al menos desde el Mesozoico, y que en el Cenozoico ha tenido comportamientos con movimientos de rumbo e inverso (Carlotto, 1988). En efecto, la disposición actual de las rocas indica que se trata de una falla inversa. Sin embargo, esta falla tiene evidencias de un juego cuaternario antiguo de 400 m de desplazamiento caracterizado por las facetas triangulares.

El plano de falla tiene un buzamiento entre 60° y 70° al sur, y está cubierto parcialmente por detritos de pendiente de los conos de deyección (Cabrera, 1988). Reactivaciones recientes de la falla Tambomachay han creado escarpas menores orientadas hacia el sur en el pie de la escarpa principal (Sebrier et al. 1982, 1985; Cabrera, 1988). Estas escarpas menores se muestran a lo largo de 18 km, exhibiendo ligeramente un patrón arqueado

discontinuo entre $N80^\circ$ y $N125^\circ$. Tienen un desplazamiento promedio de 2m y un desplazamiento máximo de 4 m en su terminación más occidental, es decir a una altura de 4,100 m, hacia el noroeste de la zona de estudio. Las reactivaciones recientes han creado formas facetadas al pie de la escarpa, formando patrones en V que demuestran un claro movimiento normal reciente hacia el sur de la falla Tambomachay. Hacia el este, la falla activa desaparece bajo los conos aluviales de San Jerónimo, a una altura de 3400 msnm.

Falla Pachatusan. - El sistema de fallas Pachatusan está conformado por escarpas con buzamientos al sur que se extienden al pie de la montaña del mismo nombre, entre 3900 y 4400 msnm. Estas escarpas han sido talladas en las rocas volcánicas del Grupo Mítu (Triásico-Jurásico) y desplazan depósitos glaciares de morrenas y flujos del Cuaternario tardío (Cabrera, 1988). Estas fallas tienen una longitud de 10 km y dirección entre $N130^\circ$ y $N140^\circ$ con buzamiento entre 50 y $70^\circ S$. El desplazamiento es de 10 m como máximo. Las escarpas tienen formas en U donde ellos cortan los valles glaciares demostrando claramente un movimiento normal muy reciente (Cabrera, 1988). También se han observado escarpas pequeñas discontinuas, con dirección NE-SO y E-O, estas tienen bloques hundidos al este y al sur.

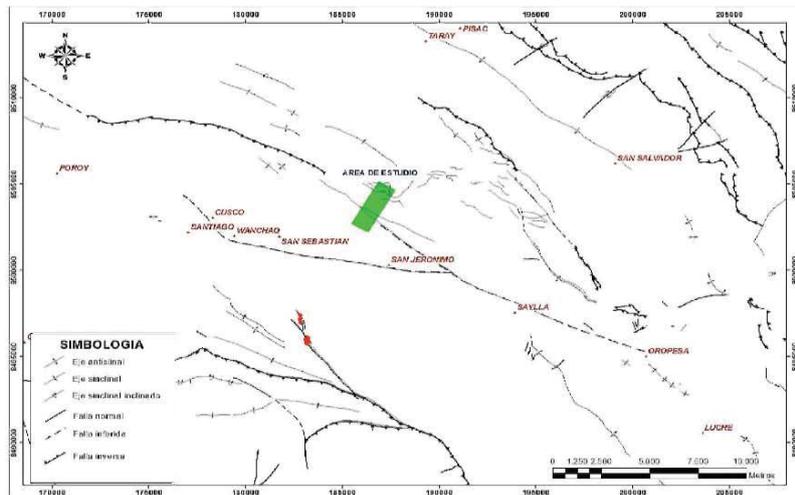


Figura 28 Mapa Geológico Estructural regional (tomado de INGEMMET 28s).

Estos movimientos podrían estar parcialmente relacionados a efectos de deslizamientos entre la montaña, al norte, y el valle de Cusco, al sur. Sin embargo, la zona de la falla con orientación NE-SO no puede ser interpretada como un gran corrimiento de tierra, sino más bien un sistema en echelon que se une a la falla Tambomachay. En efecto, algunas escarpas menores discontinuas se han formado cerca del cerro Huaynapicol, donde la escarpa principal atraviesa la terraza más joven de la quebrada Arcopunco al noroeste de San Jerónimo, y tiene 4 m de desplazamiento normal (Cabrera, 1988).

Falla Cusco. - Las fotografías aéreas y las imágenes satélites muestran un alineamiento NO-SE que coincide con el piso de valle del río Huatanay, desde Cusco y hasta Saylla-Oropesa. Desde el punto de vista geológico se interpreta como una falla antigua sellada con los sedimentos cuaternarios de la Formación San Sebastián. Esta falla separa en parte el Altiplano de la zona intermedia con la Cordillera Oriental. Actualmente esta estructura no muestra signos de reactivaciones recientes, sin embargo, durante el sismo del 21 de mayo de 1950 se observaron desplazamientos en terrenos recientes que afectaron la Formación San Sebastián. De acuerdo a lo que muestra la foto de Ericksen et al. (1954), las estructuras serían una consecuencia de la reactivación de la falla Cusco (Carlotto et al., 1996).

Falla Urcos. - La falla Urcos se localiza entre Huambutio al NO y Urcos al SE, entre 3200 y más de 3600 msnm. Ella corresponde a la prolongación hacia el este de la falla Pachatusan. Tiene dirección NO-SE y limita bloques de rocas paleozoicas de la Formación Ananea con rocas meso-cenozoicas en el límite Cordillera Oriental-Altiplano. Esta falla corta el volcánico cuaternario de Cerapata (Cabrera et al., 1987) cuyas lavas más jóvenes han sido datadas por K/Ar en <0.7 Ma (Kaneoka y Guevara, 1984).

El río Vilcanota corta transversalmente la escarpa exhibiendo un antecedente de proceso del río. Así la geomorfología fluvial muestra un canon escarpado donde el río Vilcanota corta un bloque emergente y muestra la unión de abanicos y terrazas aluviales con una amplia llanura del río Vilcanota donde se han desarrollado canales entrelazados (Cabrera et al., 1987). Por lo tanto, la tectónica extensional del Cuaternario parece ser responsable de la sedimentación fluvio aluvial dentro de las depresiones de Lucre y Andahuaylillas. Precisamente, la depresión de Lucre es una consecuencia de la neotectónica y de las actividades volcánicas. Así, el volcán Rumicolca bloquea la salida del río Huatanay al Vilcanota, causando la formación de la laguna de Huacarpay y luego la migración de

drenaje hacia el NE por Huambutio. Entonces la reactivación tectónica del sistema de fallas Urcos incremento las malas condiciones de drenaje. En el borde oriental, la terminación de la falla parece ser un sagpond (laguna de falla) donde se ha emplazado la laguna de Urcos (Cabrera et al., 1987).

B. Geología estructural local

La geología estructural en la zona de estudio juega un papel importante, siendo un factor desencadenante en la generación de los eventos de geodinámica externa, así identificando 4 unidades muy importantes, que a continuación se describen.

Para un análisis más detallado de las fracturas, en el macizo rocoso se ha realizado la recolección de datos de rumbos y buzamientos en las diaclasas, en campo, datos que se tomaron a lo largo de la quebrada Thuniyoc y en sus ambas márgenes, con el que se pudo construir una roseta de vientos y un mapa estructural. Dichos datos se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 3 Datos de rumbo y buzamientos

Nº	DIP	DIP DIR.																					
1	89	355	11	71	310	21	17	335	31	35	330	41	73	296	51	89	224	61	66	205	71	89	110
2	80	350	12	80	292	22	74	334	32	72	329	42	88	275	52	81	219	62	69	202	72	78	108
3	65	340	13	66	275	23	59	333	33	44	327	43	60	245	53	66	217	63	59	202	73	88	105
4	30	340	14	83	272	24	74	332	34	89	326	44	50	245	54	71	216	64	74	200	74	18	102
5	58	334	15	60	360	25	56	332	35	55	325	45	71	243	55	85	208	65	84	182	75	51	100
6	69	333	16	39	350	26	71	331	36	16	321	46	65	240	56	81	208	66	64	176	76	82	92
7	77	330	17	70	341	27	77	330	37	89	313	47	76	230	57	75	207	67	89	163			
8	69	325	18	58	338	28	63	330	38	75	304	48	32	230	58	65	207	68	86	150			
9	73	324	19	66	337	29	53	330	39	80	300	49	72	229	59	80	206	69	86	115			
10	85	310	20	69	335	30	51	330	40	50	298	50	70	226	60	81	205	70	61	114			

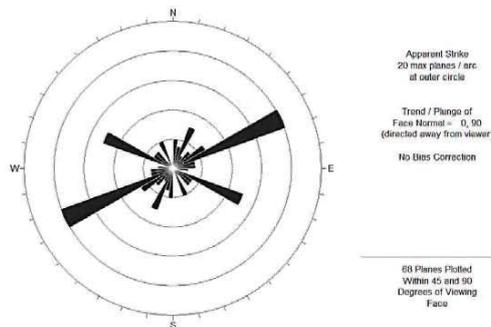


Figura 29 Roseta de vientos

Como se muestra en la roseta de vientos, las fracturas y diaclasas tienden en dirección NE-SO generalmente y algunas de NO-SE, donde es reflejo de los alineamientos que se han registrado en el mapa geológico estructural.

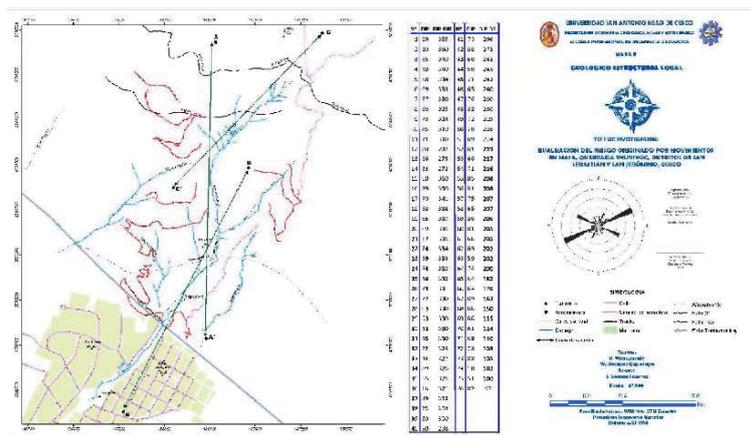


Figura 30 Mapa Estructural Local

Entonces se concluye que en la zona de estudios se registraron dos sistemas de fracturas principales, la primera que se alinea de NE-SO y la segunda de NO-SE, está obedeciendo a las fallas Pícol y Tambomachay.

Falla Tambomachay.

Esta unidad estructural de tipo normal, se emplaza por la parte baja de la zona de estudio, haciendo un control importante en la geodinámica externa de la zona de interés, además atraviesa material aluvial, ya que ésta pasa por debajo del dissipador 01 (ver mapa estructural local).

La orientación de esta unidad está basada de NO-SE, donde la mayoría de las unidades menores están ligadas a esta dirección, es así que se registraron algunos alineamientos, que se traducen en desequilibrio del talud en general.

Falla Picol

Esta unidad estructural se emplaza en la parte alta de la zona de estudio, siguiendo una dirección NO-SE. Esta estructura juega un papel muy importante en la inestabilidad del talud en conjunto y además rige a la generación de los eventos geodinámicos en la parte alta, prueba de ello se muestran algunos agrietamientos y escarpas activas e inactivas, además se encontrándose espejos de fallas que traducen como evidencia del desplazamiento.

Alineamientos NE - SO

Esta unidad local se emplaza durante toda la zona de estudio, donde las génesis de estas fueron dadas por las tensiones entre las fallas Tambomachay y Picol.

Este resultado hace denotar los alineamientos que actualmente se observan como quebradas y algunas cárcavas. Registrándose actualmente 4 unidades con estas características (ver mapa geológico estructural).

Alineamientos NO-SE

Estos alineamientos se presentan en la parte intermedia de la zona de estudio, que fueron originados por las tensiones entre las fallas Tambomachay y Picol.

Este resultado hace denotar los alineamientos que actualmente se observan como quebradas y algunas cárcavas. Registrándose actualmente 3 unidades (ver mapa geológico estructural).

Se ha realizado secciones estructurales a fin de mostrar la actividad tectónica en la zona de estudio.

SECCION 01.- En esta sección se observa, que existen 3 fallas locales, las cuales cortan a los paquetes de areniscas y lutitas. Dichas estructuras son de tipo normal.

Además, dentro de esta sección se observa una la formación de un anticlinal, el cual está ligado a los esfuerzos compresivos.

Esta sección se ha definido en dirección N-S, para determinar el comportamiento vertical de las estructuras que se ubican en este sector, a continuación, se muestran la sección general y las que corresponden a cada tramo, cada una con sus propias descripciones e interpretaciones geológicas.

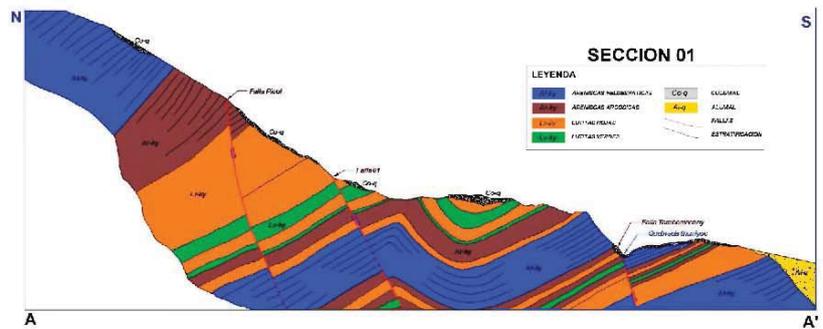
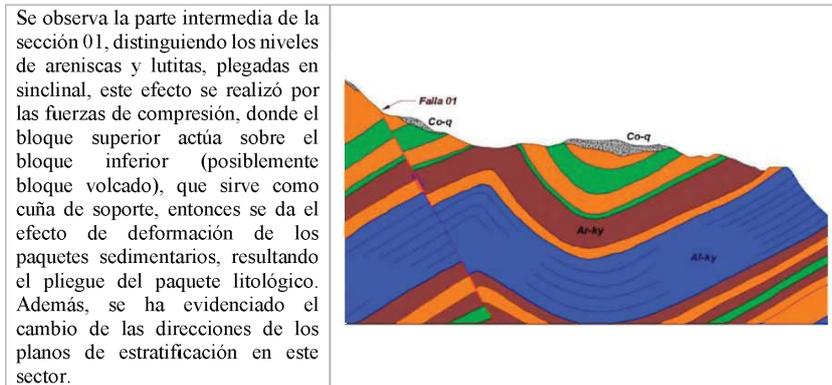


Figura 31 Sección 01 A-A', vista general del corte, mostrando secuencias de areniscas y lutitas rojas con verdes, las cuales presentan bandeamiento (Sinclinal).

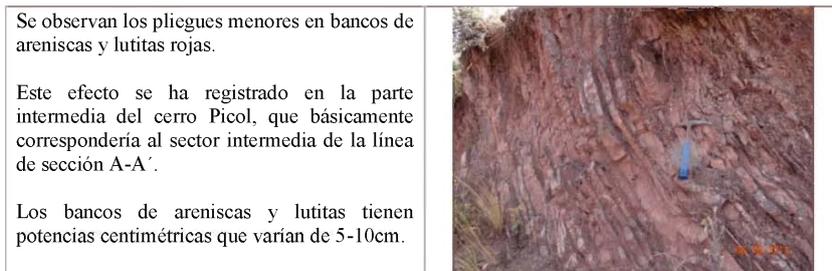
Como se puede apreciar en este tramo superior no se evidencian deformaciones considerables, sin embargo, el emplazamiento de la falla Pico por este sector juega un papel muy importante ya que esta es considerada como un factor desencadenante para la ocurrencia del movimiento de remoción en masa.

En este sector la falla Pico tiene un comportamiento de falla normal, ya que el desplazamiento de los niveles de horizontes se ha definido como se muestra en esta sección.

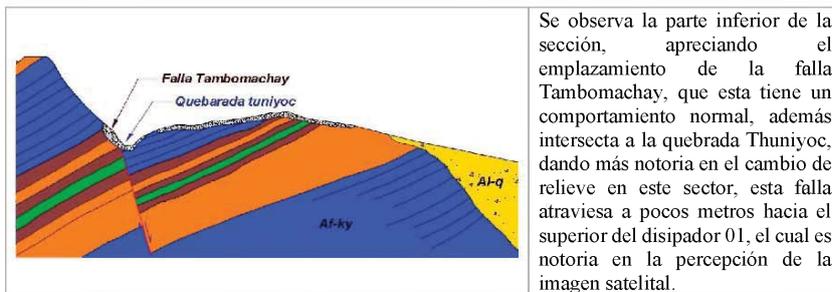
Parte superior de la sección 01 mostrando el comportamiento litológico



Parte intermedia de la sección 01 mostrando el comportamiento plegado de la estratificación



En esta imagen se observan pliegues menores en bancos de areniscas y lutitas



Parte inferior de la sección 01, mostrando las estructuras existentes en este sector

SECCION 02.- En esta sección se observa, que existen 2 alineamientos y una falla local el cual es también considerado como regional Tambomachay, las cuales cortan a los paquetes de areniscas y lutitas. Dichas estructuras son de tipo normal.

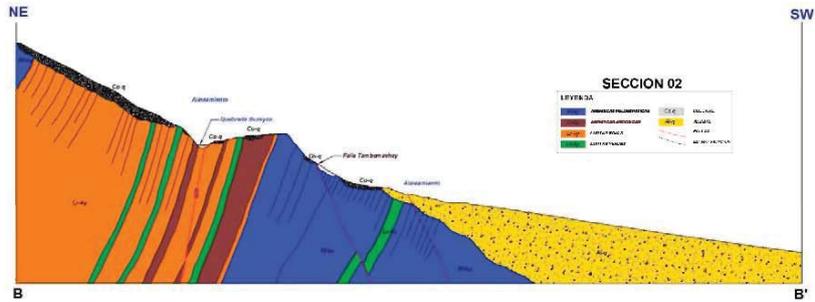
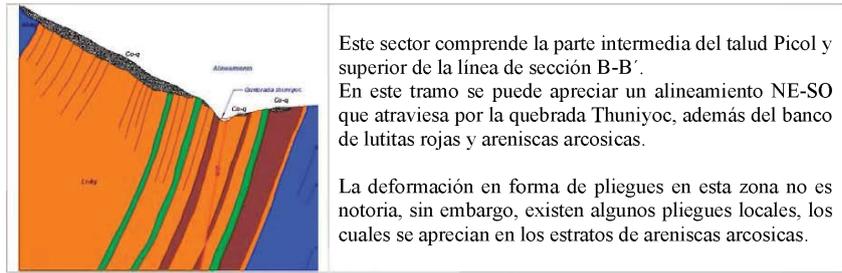


Figura 32 Sección 02, fuente de elaboración propia

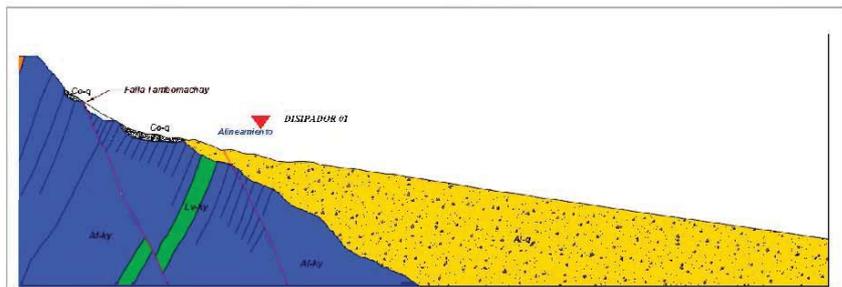
En la sección general 02 de la línea B-B' se observan las estructuras, cuyas variaciones de orientación buzamientos no son considerables, ya que la falla Picol no corta en este sector, sin embargo, se puede apreciar la falla Tambomachay, cortando el paquete de areniscas casi en contacto con los aluviales. A continuación, se describen por tramos:



Este sector comprende la parte intermedia del talud Picol y superior de la línea de sección B-B'. En este tramo se puede apreciar un alineamiento NE-SO que atraviesa por la quebrada Thuniyoc, además del banco de lutitas rojas y areniscas arcóscicas.

La deformación en forma de pliegues en esta zona no es notoria, sin embargo, existen algunos pliegues locales, los cuales se aprecian en los estratos de areniscas arcóscicas.

Parte superior de la línea de sección B-B'



En este sector se aprecian el banco de areniscas moderadamente fracturadas, sobre las cuales se emplaza la falla Tambomachay y el alineamiento NE-SO., el contacto entre el paquete de areniscas con los aluviales es notoria teniendo un buzamiento de contacto 25°SW aprox. La deformación de los planos de estratificación no es considerable, sin embargo, se aprecian algunos pliegues menores en los bancos de areniscas feldespáticas, donde ésta va perdiendo mientras se va acercando hacia la zona de contacto con lo aluviales.

Tramo inferior de la línea de sección B-B'

SECCION 03.- En esta sección se observa, que existe la falla Pícol, falla y el alineamiento que se ubica cercana a la quebrada Thuniyoc, las cuales cortan a los paquetes de areniscas y lutitas. Dichas estructuras son de tipo normal.

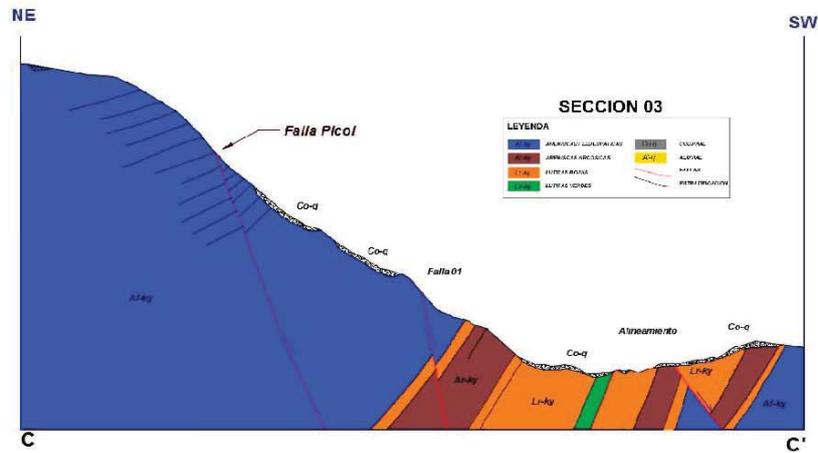
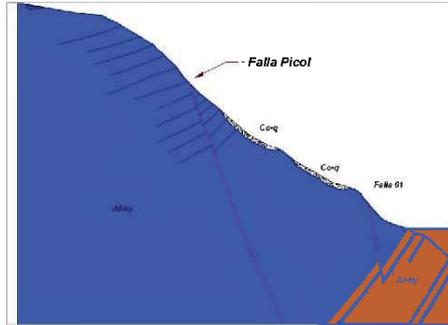


Figura 33 Sección 03 línea C-C'.



Este sector comprende la parte superior del talud Pícol y línea de sección C-C'. En este tramo se puede apreciar la falla Pícol, que genera el deslizamiento del mismo nombre, con dirección de buzamiento hacia 70°SO, que esta corta a los bancos de areniscas con algunas intercalaciones de lutitas rojas. La deformación en forma de pliegues en esta zona no es notoria, sin embargo, existen algunos pliegues locales, los cuales se aprecian en los estratos de areniscas arcósicas.

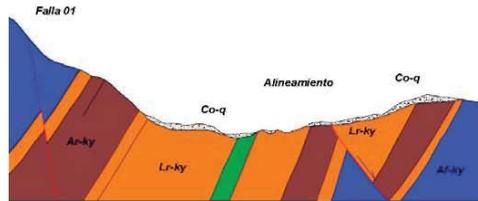
Tramo superior de la línea de sección C-C'



Esta imagen fue tomada en la parte superior del talud Pícol a la altura de la corona del deslizamiento Pícol, en el cual se puede apreciar el espejo de falla normal con una orientación de buzamiento de 70°SO, además de esta existen algunos sistemas de fracturas que cortan de forma transversal, donde estas debilitan aún más el macizo rocoso de tipo areniscas feldespáticas.

Imagen tomada en la parte superior del talud Pícol, observando el espejo de falla Pícol

Este sector comprende la parte inferior de la línea de sección C-C'. En este tramo se puede apreciar la falla 01 con dirección de buzamiento hacia 75°SO y alineamiento, que estas cortan a los bancos de areniscas con intercalaciones de lutitas rojas. La deformación en forma de pliegues en esta zona no es notoria, sin embargo, existen algunos pliegues locales, los cuales se aprecian en los estratos de areniscas arcósicas.



Tramo inferior de la línea de sección C-C'

1.10.11. Sismicidad

Dentro del contexto sísmo tectónico mundial, el Perú se encuentra ubicado en lo que se denomina “el Cinturón del Fuego Circumpacífico”, que es el ámbito territorial mundial donde se originan alrededor del 80% de los sismos del mundo. El entorno tectónico del Perú, está encuadrado dentro de lo que se denomina “La Tectónica de placas” que pone a la placa de nazca frente a la placa continental o sudamericana con colisión y subducción de la primera sobre a la segunda. Este desplazamiento convergente de placas explica la formación de la Cordillera de los Andes y la deformación continental, así como las grandes depresiones del fondo marino.

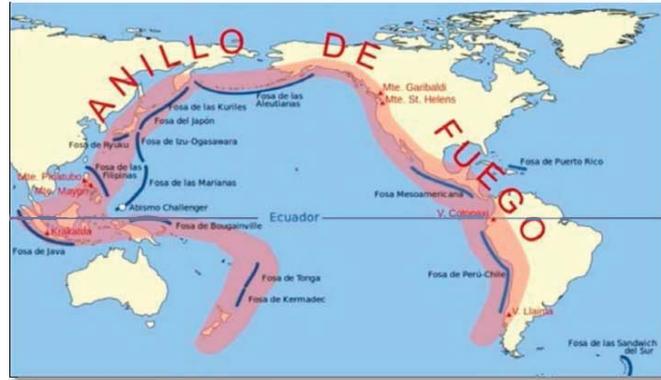


Figura 34 Cinturón de Fuego del Pacífico.

De acuerdo a la norma E-0030 del diseño sismorresistente, el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral así como en información neotectónica.

A cada zona se le asigna un factor Z. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

La quebrada Thuniyoc, se encuentra en la Zona 2, como se aprecia en la anterior figura, en el cual su factor de zona sería de 0.25 de acuerdo a la siguiente tabla.



Figura 35 Zonas sísmicas del Perú.

Tabla 4 Factores de zona "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

A. Catálogo sísmico

El catálogo sísmico, viene a ser una base de datos válida para realizar cualquier estudio en sismología. En tal sentido, el catálogo sísmico debe contener los parámetros que caracterizan a un sismo calculado bajo las mismas condiciones de contorno con la finalidad de constituir una lista de los eventos homogéneos.

Para el estudio "Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco" (INGEMMET, 2013), se han logrado recuperar los parámetros sismológicos de 33 eventos tanto del catálogo histórico (Huaco, 1986) como los del instrumental (Tavera et al., 2007), aunque solo para la falla Tambomachay, que es la más importante en la ciudad de Cusco y que atraviesa la presente zona de estudio. Los datos comprenden sismos con magnitudes de van de 3 a 5 Mw (ver Anexo IV). Además de ello se tienen evidencias, de acuerdo a

estudios palosismológicos (Cabrera, 1988 y Benavente et al., 2010), de sismos con magnitudes mayores a 6.5, todos estos superficiales (< 20 kilómetros). Con estos datos se graficó el histograma de la sismicidad en el tiempo, donde se muestra la magnitud de los eventos en función del tiempo; si bien es cierto la sismicidad que se describe en el gráfico no es homogénea, esta podría definir una sismicidad periódica. Por lo que se podría esperar un sismo de similar magnitud con periodos de retorno de 20 años.

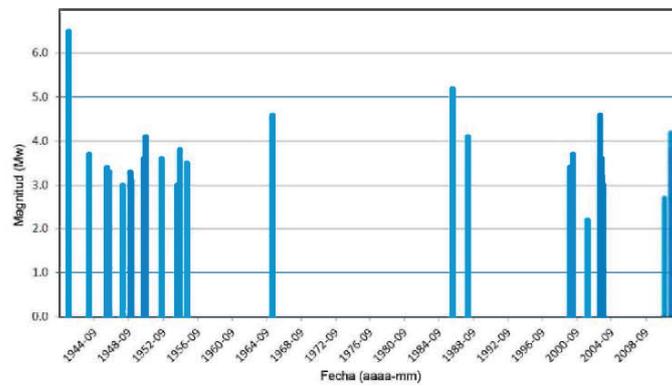


Figura 36 Histograma con la ocurrencia de los sismos vs la magnitud para la falla de Tambomachay.

B. Distribución espacial de los sismos

En la zona de estudio se encuentran fallas regionales y locales, y como se mencionó anteriormente la más importante es de la falla Tambomachay, aunque también existen sismos que se han generado alrededor de esta falla y del área de estudio.

El Instituto Geofísico del Perú tiene la distribución de estos sismos en la Región de Cusco y el Perú. El mapa muestra la ubicación, distribución, magnitud y profundidad de los sismos. Estos datos han sido tomados y analizados en tres secciones para el "Estudio Geodinámico del distrito de San Jerónimo" (Allin Puriy, 2013).

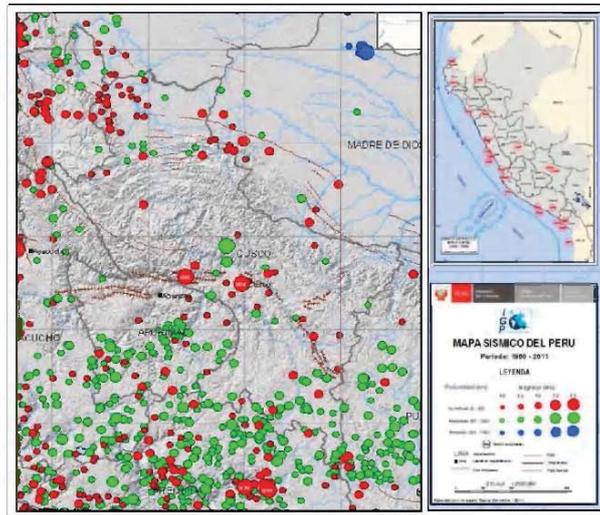


Figura 37 Mapa de distribución de Sismos en la Región cusco

En primer caso el perfil A - A', nos muestra un comportamiento típico de sismos producto de subducción en el extremo izquierdo del gráfico, ya que probablemente son restos de las placas de nazca las cuales se han fracturado en el punto intermedio, y continúa generando fricción y fracturándose generando sismos profundos.

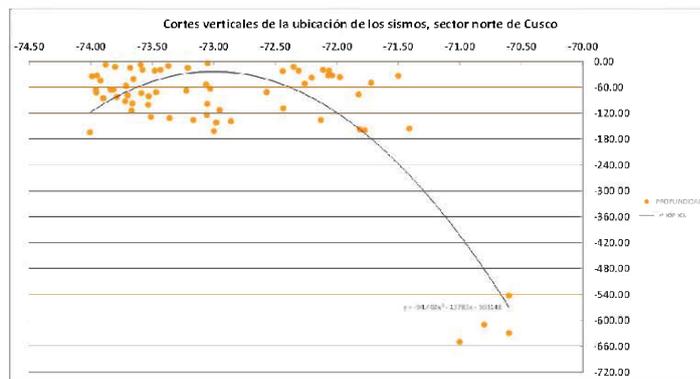


Figura 38 Corte vertical de ubicación de sismos A-A'

En todos los demás casos por ser sismos relativamente superficiales, se le atribuye a todo un proceso de fracturamiento y contacto de fallas del macizo andino, en el perfil B – B' podemos ver que la mayoría de los sismos están dentro de los 120 Km de profundidad.

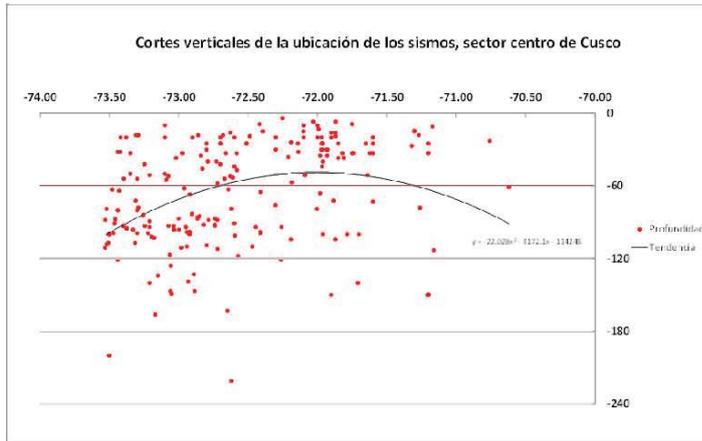


Figura 39 Corte vertical de ubicación de sismos B - B'

En el caso del perfil C- C' muestra las mismas condiciones de profundidad que explican que en la región Cusco hay un predominio de sismos superficiales, producto de fallas regionales activas.

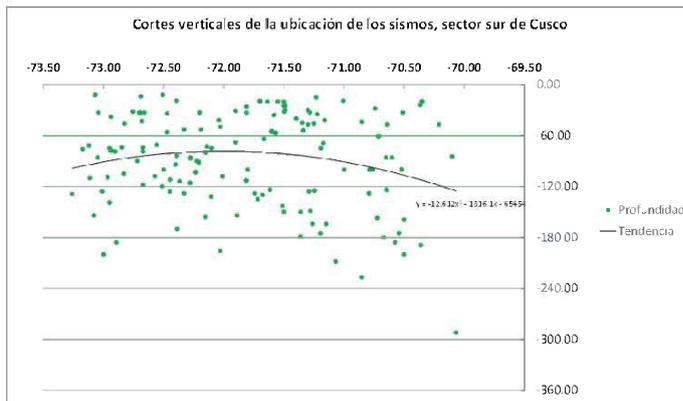


Figura 40 Corte vertical de ubicación de sismos C - C'

Los sismos que se presentan en la zona de Cusco generalmente están directamente asociados al proceso de contacto entre fallas geológicas activas. Estos procesos ocurren en intervalos de profundidad superficial (0 - 60 Km), no habiéndose identificado eventos profundos para esta zona.

C. Aceleraciones sísmicas

Las aceleraciones sísmicas en la zona de estudio y en la región del Cusco pueden llegar a niveles de VI – VII, donde la percepción del evento sísmico podría llegar a calificarse como fuerte y muy fuerte, con aceleraciones de 0.092 a 0.34 gals.

Tabla 5 Relación de aceleración y percepción del sismo.

Escala de Mercalli	Aceleración sísmica (gals)	Percepción del sismo
I	< 0.0017	No apreciable
II-III	0.0017 - 0.014	Muy leve
IV	0.014 - 0.039	Leve
V	0.039 - 0.092	Moderado
VI	0.092 - 0.18	Fuerte
VII	0.18 - 0.34	Muy fuerte
VIII	0.34 - 0.65	Severo
IX	0.65 - 1.24	Violento
X+	> 1.24	Extremo

Estas aceleraciones teóricas en la región de Cusco fueron calculadas siguiendo pautas de la metodología PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment), y los cálculos se realizaron usando el software OpenPSHA desarrollado por Edward H. Field, a través de su módulo escenario shakemap local model.

Hechos los cálculos de aceleración se ha generado un mapa para un periodo de retorno de PR=100 años, Un primer análisis de este mapa permite enfatizar los siguientes resultados: las mayores aceleraciones pico PGA.

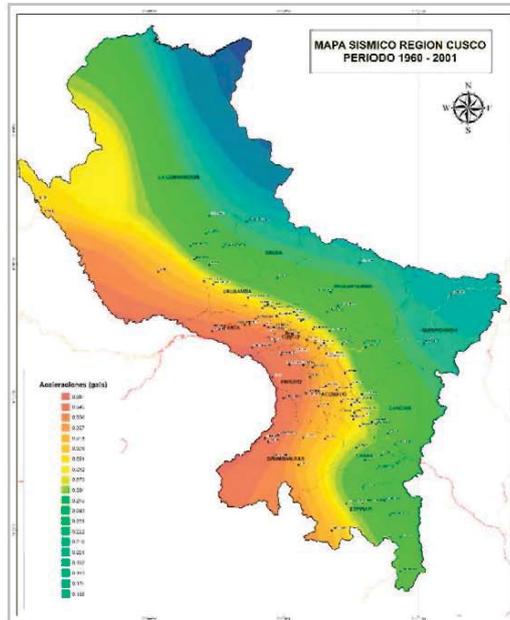


Figura 41 Mapa de aceleraciones sísmicas en la región Cusco. (Allin Puriy, 2013)

Para el periodo de retorno mencionado (100 años) se alcanzan valores máximos de GALS alrededor de 0.352 gals y esto es en el área occidental y central de la región, que es donde se ubica las zonas céntricas de la ciudad del Cusco la zona de estudio.

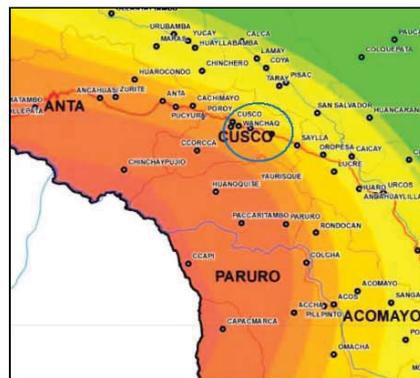


Figura 42 Mapa de Aceleración Sísmica. (Allin Puriy, 2013)

Para la zona en estudio se tiene una aceleración sísmica de 0.327g correspondiente a un periodo de exposición de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10%. Que equivale a un periodo de retorno de 500 años.

1.10.12. Hidrología

A fin de realizar los cálculos hidrológicos en la quebrada Thuniyoc se ha realizado una delimitación de su microcuenca, tomando sus parámetros geomorfológicos en referencia a ésta área delimitada. Ésta área de la microcuenca Thuniyoc no representa el total del área de estudio, sino que sólo se tomará como referencia para los cálculos hidrológicos.

Para describir los parámetros geomorfológicos, debemos tener en cuenta las características cuantitativas de la fisiografía de la microcuenca.

Para el cálculo de los parámetros geomorfológicos, como es el caso del área, perímetro, longitud del cauce; se utilizó el software ArcGis, los cuales se describen a continuación:

A. Área

La microcuenca de Thuniyoc, tiene un área de 0.7584 Km².

B. Perímetro

La microcuenca de Thuniyoc tiene un perímetro de 3.8897 Km.

C. Forma De La Microcuenca

El criterio a considerar, para determinar este parámetro, es el factor forma (Fc), que nos da de manera cuantitativa la forma de la cuenca, con la siguiente expresión:

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

Donde:

Fc; forma de la cuenca.

A; área de la Cuenca (Km²).

L; longitud del Curso de agua más largo (Km).

Además teniendo en cuenta el criterio de la forma de la cuenca:

RANGO	FORMA DE LA CUENCA
0.0 – 0.2	Estrecha y alargada
0.2 – 0.4	Semi alargada
0.4 – 0.6	Semi rectangular

De esta manera, obtendremos los datos de la forma de la cuenca.

Microcuenca Thuniyoc

$$F_c = \frac{0.7584}{1.4177^2}$$

La microcuenca de Thuniyoc con el Factor forma de 0.3773, tiene la forma semi-alargada.

D. Drenaje

Tomando en cuenta la densidad de drenaje, que se refiere a la relación entre la longitud total de los cauces de aguas (permanentes y temporales) y el área de la microcuenca, como indica la siguiente relación:

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

Donde:

D_c; densidad de drenaje.

L_c; longitud total de los cauces de agua (Km).

A; área total de la cuenca (Km²).

Además de los criterios de escala de drenajes:

RANGO	DENSIDAD DE DRENAJE
0.0 – 0.5	Poco drenado
0.5 – 1.0	Regular
> 1.0	Alto

Microcuenca del Thuniyoc

$$D_d = \frac{3.5858}{0.7584}$$

$$Dd = 4.72$$

Tomando en cuenta la densidad de 4.72, se tiene que la microcuenca de Thuniyoc es drenada bien drenada.

E. Pendiente Media

Para determinar este parámetro se tomó en cuenta la de pendiente media del cauce del río, está representado por la expresión:

$$Pm = \frac{(A - B)}{L} * 100 \%$$

Donde:

Pm; pendiente media del Cauce (%).

A; punto más alto de la cuenca (m).

B; punto más bajo de la cuenca (m).

L; longitud del Cauce principal (m).

Además de los criterios de pendiente media del cauce:

RANGO	PENDIENTE MEDIA
0.0 – 5.0	Ligeramente inclinado
5.0 – 10	Ligeramente empinado
10 – 15	Moderadamente empinado
> 15	Empinado

De esta manera se obtiene los datos de la pendiente media del cauce:

Microcuenca Thuniyoc

$$Pm = \frac{(3990 - 3480)}{1417.67} * 100\%$$

$$Pm = 35.97 \%$$

Tomando en cuenta la pendiente media de 35.97 %, se tiene que la microcuenca del Thuniyoc es empinado

Con los datos obtenidos de los parámetros geomorfológicos, a continuación, se resume en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	UNIDAD
Área (Km ²)	0.7584
Perímetro (Km)	3.8897
Factor Forma	0.3773
Densidad de Drenaje (Ríos/Km)	4.72
Pendiente media (%)	35.97 %

F. Hidrología Microcuenca Thuniyoc

La microcuenca Thuniyoc, se ubica en el borde izquierdo respecto al río Huatanay.

Para la descripción del ciclo hidrológico de la Microcuenca de Thuniyoc, debemos reunir datos meteorológicos referidos a la precipitación, temperatura, evapotranspiración. Los datos que se utilizaron fueron adquiridos de las estaciones meteorológicas ubicadas en el valle del Cusco, Estaciones de Perayoc, Kayra y Corpac.

La microcuenca Thuniyoc, recibe el aporte de 14 quebradas, de las cuales la mayoría son temporales; la dirección de flujo de las aguas de escorrentía es de Norte - Sur.

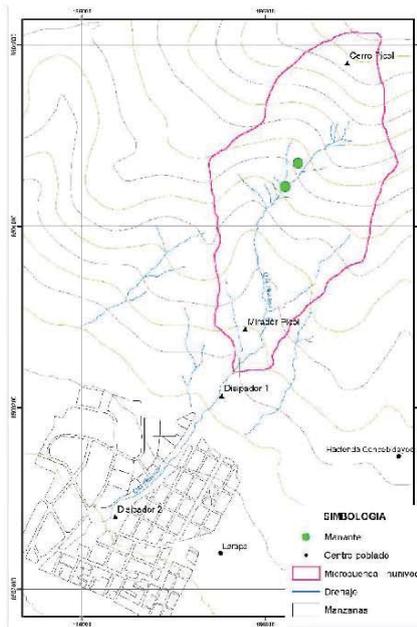


Figura 43 Mapa Hidrológico de la Quebrada Thuniyoc).

G. Precipitación

Se recopilaron datos de precipitaciones de tres estaciones meteorológicas (Kayra, Perayoc y Corpac) cercanas a la ubicación del punto de estudio, estos registros de datos están comprendidos desde el año 1964 al año 2015 (ver Anexo III).

Tabla 6 Ubicación de estaciones meteorológicas.

Estación	Latitud	Longitud	Coordenadas UTM 19s		Altitud msnm	Distrito
			X (m)	Y (m)		
Kayra	13°33'25"	71°52'31"	838,227	8,499,109	3219	San Jerónimo
Perayoc	13°31'11"	71°57'11"	830,157	8,503,641	3365	Cusco
Corpac	13°32'00"	71°58'00"	828,359	8,501,848	3399	Wanchaq

La precipitación para la microcuenca Thuniyoc se obtuvo a través de la regionalización de tres estaciones meteorológicas para la altitud media de la microcuenca del Thuniyoc, siendo las ecuaciones de regionalización por regresión simple (Lutz Scholz) lineal para la precipitación.

H. Precipitación Microcuenca Thuniyoc

Precipitaciones generadas para la microcuenca Thuniyoc.

REGISTRO COMPLETADO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
(mm)

Distrito:	San Seb-San Jer	Latitud:	-71.882401	Max (mm):	3773	Periodo:								
Provincia:	Cusco	Longitud:	-13.514047	Min (mm):	0.0		1964-2015							
Departamento:	Cusco	Altitud:	3735											
N° REG	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	154.7	162.6	207.7	27.4	10.7	0.0	1.8	9.6	56.9	64.9	68.9	89.1	854.4
2	1965	140.5	193.0	189.5	111.7	13.3	0.0	2.6	3.2	53.3	70.0	75.2	237.6	1,089.9
3	1966	149.4	248.8	112.5	21.5	30.3	0.0	0.0	1.6	46.9	101.3	83.9	71.7	867.9
4	1967	94.2	152.9	181.9	22.9	3.1	0.7	14.8	33.5	38.0	100.6	81.8	157.5	881.8
5	1968	168.5	141.3	90.6	35.9	3.6	7.1	50.8	10.3	20.9	68.8	104.0	82.8	784.6
6	1969	206.6	125.3	124.4	20.3	3.7	4.6	12.1	1.9	25.0	35.9	77.1	105.0	742.0
7	1970	201.6	116.7	144.0	112.9	9.7	4.8	5.6	2.9	48.2	47.1	53.5	263.2	1,010.2
8	1971	159.2	188.1	100.2	49.9	2.2	0.7	0.2	6.9	1.5	71.3	63.1	180.8	824.3
9	1972	232.7	94.6	76.6	48.4	3.0	0.0	8.7	32.5	30.5	11.2	83.3	159.1	780.6
10	1973	295.8	151.6	166.8	119.0	16.1	0.0	9.3	20.7	17.0	52.3	119.4	121.0	1,089.1
11	1974	161.6	243.8	176.3	76.5	12.4	15.6	1.8	46.8	14.7	31.4	63.3	159.5	1,023.8
12	1975	176.7	213.0	131.5	114.9	35.9	0.9	0.1	2.3	45.1	59.8	64.6	203.8	1,048.6
13	1976	217.4	163.0	173.7	56.8	21.6	10.3	0.7	6.5	71.9	30.9	63.8	130.3	947.0
14	1977	138.8	272.7	91.5	64.8	5.2	0.1	2.0	1.2	42.5	75.5	147.3	87.6	929.4
15	1978	266.9	104.2	109.1	57.5	11.1	0.9	1.9	0.0	12.2	18.6	170.2	166.4	919.1
16	1979	182.4	167.9	186.7	67.6	20.3	0.0	5.4	18.6	11.8	25.7	165.8	171.6	1,023.7
17	1980	146.6	205.1	180.2	41.4	9.1	0.9	4.3	0.6	9.0	109.1	98.0	101.3	905.7
18	1981	316.5	110.8	179.7	56.0	1.1	3.6	0.0	12.7	50.0	134.4	148.0	179.9	1,192.6
19	1982	249.6	178.9	221.5	69.6	0.0	4.7	3.2	14.0	42.4	78.5	179.9	140.5	1,182.9
20	1983	197.8	118.6	72.8	27.6	5.3	18.8	0.5	0.4	4.4	37.6	75.0	196.0	753.9
21	1984	354.3	258.1	96.6	96.1	0.4	5.2	7.4	24.9	18.8	157.3	111.5	148.6	1,278.9
22	1985	169.7	159.0	132.1	72.1	21.7	16.7	2.7	6.5	57.4	95.8	174.4	212.7	1,121.0
23	1986	176.5	159.2	221.2	108.3	8.4	0.0	5.2	13.7	22.1	40.2	109.3	111.3	975.5
24	1987	377.3	123.0	90.0	30.8	4.6	8.6	16.3	0.0	17.4	50.5	131.1	161.0	1,010.8
25	1988	236.0	135.5	274.4	88.2	6.9	0.0	0.0	0.0	26.6	39.8	82.2	162.3	1,051.8
26	1989	229.2	159.4	201.0	64.8	5.7	18.7	0.0	10.2	28.0	88.7	86.6	88.2	980.5
27	1990	282.2	121.8	86.5	114.9	11.9	41.8	0.0	9.9	25.1	125.6	129.2	110.9	1,059.7
28	1991	131.4	243.0	155.0	61.3	13.7	8.7	2.3	0.0	38.0	96.1	130.8	152.5	1,032.8
29	1992	155.5	165.4	124.1	29.8	0.4	11.4	9.6	31.6	22.6	92.3	156.6	148.2	947.7
30	1993	323.4	140.6	119.3	24.9	8.7	0.0	2.0	15.8	14.0	99.6	142.6	271.3	1,162.2
31	1994	258.5	266.3	267.6	73.5	16.7	0.0	0.0	0.0	26.3	55.7	80.2	186.0	1,230.7
32	1995	178.7	124.0	157.8	38.6	0.8	0.2	1.7	6.0	50.5	29.8	61.1	157.3	806.5
33	1996	229.3	137.8	81.5	51.4	13.7	0.0	0.0	9.5	23.4	83.2	85.9	210.4	926.2
34	1997	158.2	141.6	163.0	67.1	5.6	0.0	0.0	12.8	18.3	59.5	204.8	218.7	1,049.6
35	1998	188.5	221.3	63.4	44.4	6.8	3.3	0.0	5.6	3.7	78.9	67.2	83.5	766.6
36	1999	185.8	134.1	137.9	67.5	10.4	6.7	2.7	0.8	62.2	26.9	64.5	162.6	862.0
37	2000	287.6	171.5	132.6	9.0	3.1	4.8	4.5	8.6	26.6	73.6	53.2	115.8	890.9
38	2001	363.3	218.4	198.2	47.9	10.8	0.2	25.1	17.4	23.5	70.2	103.8	127.9	1,206.6
39	2002	215.1	252.4	217.1	28.2	15.9	4.6	36.2	7.1	14.5	98.8	141.2	179.1	1,211.1
40	2003	254.4	197.1	199.9	100.9	4.4	8.7	0.1	25.8	8.9	36.2	41.9	134.9	1,013.1
41	2004	251.1	180.3	104.7	38.4	4.3	27.9	16.9	12.6	32.8	42.8	73.1	125.6	908.3
42	2005	165.0	159.2	144.7	39.4	2.7	0.3	1.8	4.5	6.9	48.2	74.9	111.5	759.3
43	2006	283.0	166.9	177.5	79.2	0.1	8.9	0.0	10.4	15.2	107.6	88.5	223.2	1,160.6
44	2007	188.0	115.6	147.3	94.9	6.0	3.3	5.8	3.8	9.4	69.3	114.3	140.8	898.5
45	2008	174.9	166.3	111.1	16.6	10.3	3.5	1.4	7.5	19.6	100.0	100.1	163.1	874.4
46	2009	136.1	126.3	99.5	29.1	4.8	1.9	2.6	3.4	20.3	26.8	171.6	143.5	766.1
47	2010	363.9	274.2	243.8	47.7	12.5	1.0	0.6	2.5	16.1	85.1	67.6	221.9	1,336.9
48	2011	198.4	212.5	155.2	60.7	4.0	13.9	7.2	7.4	47.0	48.3	61.6	123.2	939.4
49	2012	172.7	183.1	121.6	83.3	6.1	4.8	0.0	9.3	19.5	21.2	113.1	192.4	927.1
50	2013	215.9	140.6	130.4	45.9	21.3	6.4	1.2	12.0	40.8	79.0	105.0	184.1	982.6
51	2014	182.8	215.9	58.0	51.3	13.6	3.0	6.2	6.2	14.3	19.0	56.5	206.8	833.5
52	2015	238.8	206.9	122.5	107.6	23.1	4.3	10.3	7.8	27.3	27.2	71.3	136.7	983.7
N° Datos	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Media	215.1	173.7	147.2	59.9	9.6	5.6233	5.6865	9.9966	27.7	65.7	100.8	156.1	97.1	97.1
Desv. Estándar	66.77	47.99	52.00	29.97	7.84	7.94	9.39	10.00	16.78	32.79	39.74	47.12	147.90	
Coeff. Variación	31.05	27.63	35.34	50.00	81.81	141.25	165.14	100.06	60.64	49.88	39.43	30.16	15.14	
Prec. Max	377.3	274.2	274.4	119.0	35.9	41.8	60.8	46.8	71.9	157.3	204.8	271.3	1,336.9	
Prec. Min	94.2	94.6	58.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	11.2	41.9	71.7	0.0	

FUENTE: ELABORACION PROPIA

FECHA Y HORA: 03/01/2016 11:43



I. Temperatura

La temperatura depende estrechamente de la elevación y de la morfología de la zona, así como también del cambio de las estaciones del año y de la variación de las precipitaciones pluviales; para el cálculo de la temperatura máxima, media y mínima, los datos fueron tomados de las estaciones meteorológicas de Kayra, Perayoc, Urubamba, Calca y Anta.

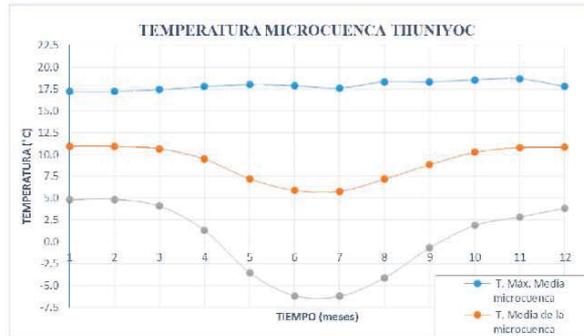
Las temperaturas: media anual, media mensual, mínima media mensual y máxima media mensual, han sido estimadas mediante el análisis de correlación regional entre la altitud de cada estación en estudio y la altitud de la microcuenca, resultando las siguientes tablas.

TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL - ANUAL vs ELEVACION														
Microcuenca Thuniyoc		3735 msnm.												
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	M					E		S		E		S	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°
KAYRA	3219	19.7	19.7	19.8	20.4	20.7	20.4	20.2	20.9	21.1	21.4	21.4	20.4	20.5
PERAYOC	3299	19.7	19.7	19.8	20.4	20.7	20.4	20.2	20.9	21.1	21.4	21.4	20.4	20.5
URUBAMBA	2863	21.9	21.8	21.9	22.5	22.9	22.4	22.2	22.7	22.9	23.5	23.3	22.5	22.5
CALCA	2926	21.5	21.8	21.8	22.5	22.6	22.2	22.3	22.6	23.0	23.4	23.2	22.3	22.4
ANTA	3435	18.9	18.8	19.0	19.4	19.6	19.4	19.2	19.7	19.7	20.1	20.1	19.4	19.5
Coeff. a		36.8654	37.3448	36.8230	38.6411	39.0354	37.5717	38.0043	37.5109	39.0119	40.2259	39.0114	38.1437	38.1825
Coeff. b		-0.0053	-0.0054	-0.0052	-0.0056	-0.0056	-0.0053	-0.0055	-0.0051	-0.0055	-0.0058	-0.0054	-0.0054	-0.0054
Coeff. r		-0.992	-0.989	-0.989	-0.991	-0.992	-0.993	-0.988	-0.988	-0.979	-0.987	-0.986	-0.993	-0.991
T. Máx. Media microcuenca		17.2	17.2	17.4	17.8	18.0	17.9	17.6	18.3	18.3	18.6	18.7	17.8	17.9

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL - ANUAL vs ELEVACION														
Microcuenca Thuniyoc		3735 msnm.												
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	M					E		S		E		S	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°
KAYRA	3219	13.4	13.4	13.1	12.2	10.6	9.5	9.2	10.5	12.1	13.3	13.7	13.5	12.1
PERAYOC	3299	13.4	13.4	13.1	12.2	10.6	9.5	9.2	10.5	12.1	13.3	13.7	13.5	12.1
URUBAMBA	2863	15.6	15.5	15.4	15.0	13.7	12.5	12.1	13.1	14.3	15.6	15.8	15.7	14.5
CALCA	2926	14.6	14.7	14.6	14.1	13.1	11.9	11.7	12.7	14.0	15.0	15.4	14.9	13.9
ANTA	3435	12.3	12.3	12.2	11.5	9.5	8.1	7.9	9.0	10.4	11.8	12.3	12.3	10.8
Coeff. a		29.4508	29.6839	30.0191	31.7527	34.5884	33.9404	32.7010	32.5816	32.8301	32.7994	32.4360	30.9259	31.9758
Coeff. b		-0.0050	-0.0050	-0.0052	-0.0060	-0.0072	-0.0075	-0.0072	-0.0068	-0.0064	-0.0060	-0.0058	-0.0054	-0.0061
Coeff. r		-0.974	-0.981	-0.987	-0.983	-0.993	-0.993	-0.993	-0.991	-0.985	-0.983	-0.985	-0.982	-0.991
T. Média de la microcuenca		11.0	10.9	10.7	9.5	7.2	5.9	5.8	7.2	8.8	10.3	10.8	10.8	9.1

TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL - ANUAL vs ELEVACION														
Microcuenca Thuniyoc		3735 msnm.												
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	M					E		S		E		S	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°	c°
KAYRA	3219	7.2	7.3	6.6	4.1	0.6	-1.4	-1.8	0.3	3.1	5.2	6.0	6.6	3.7
PERAYOC	3299	7.2	7.3	6.6	4.1	0.6	-1.4	-1.8	0.3	3.1	5.2	6.0	6.6	3.7
URUBAMBA	2863	9.2	9.2	8.9	7.3	4.4	2.5	1.9	3.5	5.7	7.7	8.4	8.9	6.5
CALCA	2926	7.7	7.6	7.4	5.7	3.4	1.3	0.9	2.7	5.0	6.6	7.6	7.6	5.3
ANTA	3435	5.8	5.8	5.4	3.4	-0.8	-3.5	-3.7	-1.9	1.0	3.4	4.4	5.2	2.0
Coeff. a		21.4224	21.3099	22.3738	24.1865	29.3264	29.9497	27.6489	28.1592	26.6082	25.6196	26.0561	23.7619	25.5352
Coeff. b		-0.0044	-0.0044	-0.0049	-0.0061	-0.0088	-0.0097	-0.0091	-0.0086	-0.0073	-0.0064	-0.0062	-0.0053	-0.0068
Coeff. r		-0.905	-0.884	-0.939	-0.945	-0.989	-0.987	-0.989	-0.986	-0.975	-0.963	-0.978	-0.947	-0.976
T. Mín. Media microcuenca		4.8	4.9	4.1	1.3	-3.5	-6.2	-6.2	-4.1	-0.7	1.9	2.9	3.8	0.3

Como resultado se tiene que: para la altura media de la microcuenca Thuniyoc, la temperatura media mensual es de 9,1 °C, la temperatura máxima media mensual de 17,9 °C y la temperatura mínima media mensual de 0,3 °C.



J. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la suma de todas las pérdidas por transformación del agua en vapor, sea cual sea el factor que ha actuado; la evapotranspiración está en función esencialmente de la alimentación del agua y por consiguiente del grado de humedad del suelo, el cual limita con frecuencia su acción. La tasa de evapotranspiración está determinada por un conjunto de factores que regulan la evaporación y la transpiración, siendo estos físicos y biológicos (Peña, 2001), se calcula mediante el método de Thornthwaite.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN LA MICROCUENCA													
METODO: THORNTHWAITE													
PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura media mensual (t °C)	11.0	10.9	10.7	9.5	7.2	5.9	5.8	7.2	8.8	10.3	10.8	10.8	9.1
Índice termico mensual (i)	3.28	3.27	3.15	2.63	1.75	1.28	1.25	1.73	2.36	2.97	3.20	3.22	2.51
Índice termico anual (I)	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10
Ecuación cubica (a)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
Evapotranspiración potencial en mm	56.6	56.5	55.1	49.1	37.7	30.9	30.3	37.5	45.8	53.1	55.7	56.0	564.3
Factor de corrección (e)	1.11	0.98	1.05	0.98	0.99	0.95	0.98	1.00	1.00	1.07	1.05	1.11	1.02
Evapotranspiración Potencial mensual (ETP) en mm	62.7	55.2	57.9	48.3	37.3	29.2	29.7	37.6	45.8	56.6	59.3	62.4	582.0



K. Escorrentía

La escorrentía es la cantidad de agua que en el curso de una precipitación escapa a la infiltración y a la evapotranspiración, es la que genera las avenidas que se escurre con producciones de crecidas hacia los causes de riachuelos y ríos.

Para la determinación porcentual del agua de lluvia que escurre, se aplica la relación de JUSTIN quien trata de relacionar factores tales como la pendiente promedio de la cuenca, la precipitación promedio anual y la temperatura media de la cuenca; para tal efecto la fórmula es:

$$Es = 0.18(m)^{0.155} \frac{P^2}{(160 + 9T)}$$

Dónde:

Es; escorrentía de la Microcuenca.

P; precipitación media anual promedio de la zona (mm).

T; temperatura media de la zona (°C).

m; pendiente media de la cuenca (%).

Aplicando la formula y los datos obtenidos, para la microcuenca de Thuniyoc, se tiene:

$$P=977.1 \text{ mm.}$$

$$T=9.1 \text{ °C.}$$

$$m=32 \text{ \%}$$

Entonces, remplazando en la fórmula:

$$Es = 0.18(0.32)^{0.155} \frac{977.1^2}{(160 + 9(9.1))}$$

$$Es = 595.41 \text{ mm/año.}$$

L. Generación De Caudales

Determinación del coeficiente de escurrimiento superficial (ce).

Se denomina coeficiente de escurrimiento al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso (lluvia neta), y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma (lluvia total). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escurrimiento superficial

En la siguiente tabla se indican los valores típicos del coeficiente de escurrimiento para distintos tipos de suelo y para diferentes tipos de superficies.



Tabla II. Coeficientes de escurrimiento, según Benitez *et al.* (1980), citado por Lemus & Navarro (2003)

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pasos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla para determinar 'indistintamente' caudales punta por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

Para el área de estudio se tomaron en cuenta un coeficiente de escurrimiento igual a 0.30.

Intensidades

Se obtiene el registro de intensidades de la estación más próxima a la zona de estudios (Estación Perayoc). La tabla siguiente presenta intensidades media, máxima y mínima, consideradas desde el año 2000 hasta el 2013 (ver Anexo IV).

FECHA	HORA INICIO – FIN	TIEMPO MIN	LLUVIA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h
28-dic-04	20h10m - 20h40m	30.00	4.90	9.80
15-dic-08	15h50m - 16h00m	10	09.40	56.40
28-ene-10	15h40m - 18h00m	140	0.5	0.20

Cálculo de Caudales

El cálculo de caudal de aguas pluviales se obtiene mediante el Método Racional. Este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1.906, si bien los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1.850, permite determinar el caudal máximo que discurrirá por una determinada sección de la red de alcantarillado, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad media máxima constante correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{(3.6)}$$

Donde:

Q; Caudal (m³/seg).

C; Coeficiente de escorrentía (Típicamente entre 0.1 a 0.7)

I; Intensidad de precipitación (mm/hora)

A; Superficie de la microcuenca (Km²)

Tabla 7 Volúmenes calculados a partir de intensidades máximos y mínimos.

INTENSIDAD mm/h	AREA km²	COEF. DE ESCORRENTIA	Q= m³/s	Q=I/s	VOLUMEN
9.80	0.7584	0.30	0.172	172.04	309.68
56.40	0.7584	0.30	0.990	990.13	594.08
0.20	0.7584	0.30	0.004	3.51	29.49

M. Infiltración

Es la cantidad de agua que penetra en el suelo y en el subsuelo para alimentar las aguas subterráneas, el método para calcular la infiltración puede ser en forma directa (por medio de Infiltrómetro) o a través de expresiones matemáticas; en el presente trabajo determinaremos la infiltración mediante la siguiente formula:

$$I = \left(\frac{Q_m \cdot t}{S} \right) * 1000$$

Donde:

I = Altura de agua infiltrada anual en mm.

Q_m = Caudal medio en m³/seg.

T = Tiempo=365 días
S = Superficie de la microcuenca en m².

Aplicando la formula y los datos obtenidos, para la microcuenca de Thuniyoc, se tiene:

$$I = \left(\frac{0.17 * 31536000}{75840000} \right) * 1000$$

$$I = 70.68 \text{ mm}$$

77

1.10.13. Hidrogeología

A. Acuíferos

Los acuíferos, que son las formaciones geológicas más importantes y más representativas en un estudio de carácter hidrogeológico, se pueden clasificar en:

- *Según el tipo de porosidad*
 - Acuíferos porosos (consolidados y no consolidados).
 - Acuíferos fisurados.
 - Acuíferos karsticos.
- *Según su litología*
 - Acuíferos detríticos.
 - Acuíferos carbonatados.
- *Según la presión del agua.*
 - Acuíferos libres.
 - Acuíferos confinados.
 - Acuíferos semiconfinados

Acuífero San Jerónimo

El Grupo San Jerónimo, (Peña et al, 2004); ostenta los mejores acuíferos del valle del Huatanay, así como también de la Región, debido a que presentan las superficies de afloramientos más grandes de la cuenca (~50%), y además por el gran espesor de las capas que pasan los 5000 m., consta principalmente de areniscas con porosidad secundaria importante debido a la esquistosidad asociada al plegamiento.

Los valores de la porosidad total 9 a 18 %, mientras que la permeabilidad total es de 1 a 2.5 m/día, las aguas son blandas y de buena calidad, aptas para el consumo humano.

Acuífero Kayra

La Formación Kayra viene a ser el acuífero más importante del valle del Huatanay, por su composición litológica, la distribución de sus granos y el amplio afloramiento que presenta, además a esta se le suma el fuerte fracturamiento que le da una porosidad secundaria alta.

Catalogado como un acuífero heterogéneo, con algunas secuencias de areniscas feldespáticas porosas, con matriz limosa a arena muy fina, poco cementadas, fracturadas, contienen buenos horizontes de acuíferos. En la actualidad arrojan buenos caudales naturales en galerías filtrantes, afloran ampliamente en la zona del Cusco, prácticamente circundando la ciudad.

La distribución de los estratos de areniscas finas a gruesas, con potencias de microconglomerados, le da una porosidad primaria efectiva de 4.48 a 6.65 %, así como la permeabilidad efectiva primaria de 1.12 a 6.03 cm/día; sumado a esto el grado de fracturamiento que le da importancia hidrogeológica por la porosidad secundaria de 4.48 a 13.27 % y la permeabilidad en fracturas de 0.25 a 2.44 m/día.

B. Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad de transmitir de una roca, la mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas o muy bajas, la filtración y el flujo de agua a través de la matriz rocosa se produce a favor de los poros y fisuras, dependiendo de la interconexión entre ellos y de otros factores como el grado de meteorización, la anisotropía o el estado de esfuerzos a que está sometido el material (González de Vallejo, 2002).

Para que una roca sea permeable es preciso que posea intersticios a través de los cuales se pueda infiltrar el agua. En cambio, el postulado inverso no es cierto, y toda roca porosa no es necesariamente permeable, en efecto solo se necesita que los poros que posee no se comuniquen entre sí (porosidad cerrada) para que la roca sea perfectamente impermeable (asperón cavernoso) (Aubouin et al, 1981).

Fuente: hidrología subterránea e. custodio. R.LLAMAS PÁG. 473. TOMO-I

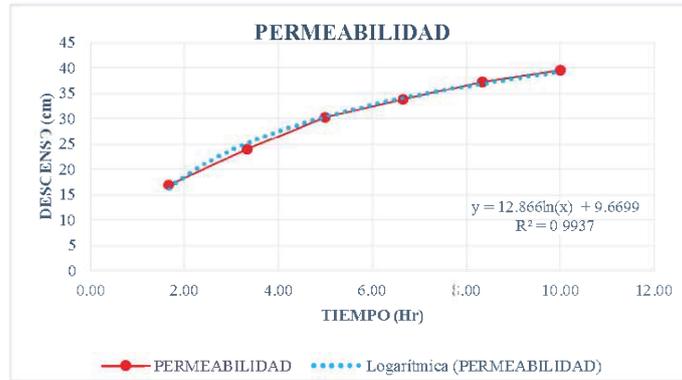
Permeabilidad m/día	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Clasificación	Impermeable		Poco permeable			Algo permeable		Permeable		Muy permeable	
Tipos de materiales	Arcilla compacta Pizarra Grieta		Limo arenosa Limo Arcilla limosa Brechas volcánicas hacuras			Arcilla fina Arenas limosa		Arena limpia Grava y arena Volcánico Sedimentarios, cuarcitas fracturadas		Gravilla Grava	
Clasificación del acuífero	Acuífugo		Acuífardo			Acuífero pobre		Acuífero regular buena		Acuífero excelente	

En la siguiente tabla se observa los ensayos de permeabilidad, obtenidas del Estudio geodinámico y análisis de peligro deslizamiento Pícol – Sector Larapa – 2012 (C. Barrientos, 2012).



Tabla 8 Ensayo de permeabilidad (C. Barrientos, 2012)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD Nº 01									
UBICACIÓN POLÍTICA			UBICACIÓN GEOGRÁFICA			CARACTERÍSTICAS			
Sector:	PICOL		Este	Norte	Altura	Long. Tubo:	50.00 cm		
Comunidad:	SANTA MARIA		186974	8504388	3891	Diámetro (cm):	5,08		
Distrito:	SAS SEBASTIAN - SAN JERONIMO				Penetración en terreno:		20.00 cm		
Provincia:	CUSCO				Regimen:		Permanente		
Fecha:	12/07/2012								
Origen:									
Hora		Hora decimal	Descenso	H	ΔH	ΔT	Hm	c=(ΔH/ΔT) ² Hm	
Horas	Minutos	(horas)	(cm)	(cm)	(cm)	(seg)	(cm)	(cm/seg)	
0	0		0,00	50,00					
0	1,00	0,0167	17	33,00	17	60	41,5	0,002167671	
0	2,00	0,0333	24	26,00	7	60	29,5	0,00125565	
0	3,00	0,0500	30,3	19,70	6,3	60	22,85	0,001458972	
0	4,00	0,0667	33,8	16,20	3,5	60	17,95	0,001031801	
0	5,00	0,0833	37,4	12,60	3,6	60	14,4	0,001322917	
0	6,00	0,1000	39,6	10,40	2,2	60	11,5	0,001012319	
PROMEDIO							0,008249329		



Como resultado se obtiene el promedio de la permeabilidad, mostrando en el siguiente cuadro; en el cual el valor promediado se ha castigado con el 75 % de persistencia, obteniendo una permeabilidad de 0.61 m/día

	Prom.	Unid.	Permeabilidad
Total Prom.	0.82	m/día	Alta
Al 75% de Persistencia	0.61	m/día	Moderada

C. Inventario De Recursos Hídricos

El criterio que se realizó para el inventario de los recursos hídricos, fue de la siguiente manera:

D. Mapeo en campo de los puntos de agua.

Se encontraron zonas donde existen algunos puntos de afloramiento de agua, estas son permanentes durante todo el año, incrementando su caudal en épocas de lluvias y disminuyendo en temporada de sequía.

Nº	ESTE	NORTE
Manante 1	186942	8504277
Manante 2	186886	8504175

CAPITULO II: METODOLOGIA

La metodología seguida para la presente tesis de investigación se realizó en seis fases. La primera comprende los trabajos preliminares que ha servido de base para las demás etapas o fases del estudio. La segunda fase, corresponde al inventario y cartografiado, que fue básicamente trabajos de campo en los que se han identificado las características físicas del suelo y la infraestructura del área urbana. La tercera fase, que consistió en la preparación de las bases de datos espaciales obtenidos de las etapas anteriores. La cuarta fase, fue la evaluación del peligro por movimientos en masa, en la que se han utilizado las bases de datos para ser procesados con un SIG para mayor facilidad. De la misma forma en la quinta fase, se analizaron los datos de vulnerabilidad. En la sexta y última fase, se han procesado y evaluado datos de riesgo de desastres.

2.1. TRABAJOS PRELIMINARES

Es importante conocer la información disponible en el área estudio antes de definir la escala y la precisión del trabajo a aplicar para el análisis de riesgo por movimientos en masa, y no contar con la información suficiente. Con la finalidad de obtener esta información se ha realizado los trabajos preliminares que consistieron en recopilar, revisar y clasificar la información, así también se hizo la elección de la escala de trabajo, la fotointerpretación y la preparación de mapas preliminares para el cartografiado.

2.1.1. Recopilación, revisión y clasificación de la información existente

Se ha recopilado información digital de estudios sobre cobertura vegetal, uso actual de suelos, erosión, movimientos en masa (geodinámica externa), datos poblacionales, entre otros. Respecto a mapas, se han recopilado fotografías aéreas de los años 50, imágenes satelitales IKONOS de alta resolución, topografía digital a escala 1/25,000 y topografía escala 1/2,500 en zonas urbanas proporcionadas por imágenes satelitales. Todos los datos

e información obtenida se seleccionó de tal manera que fueran las más actualizadas y fiables posibles.

2.1.2. Elección de escala de trabajo de campo

Una vez que se recopiló y se obtuvo toda la información, se procedió a elegir la escala de trabajo que ha sido de 1/2500 y escala de presentación de 1/5000. Para el cual fue necesario realizar un levantamiento topográfico en zonas no urbanas, donde se encuentran la mayor parte de los movimientos en masa, es decir, desde el disipador 01 hacia el cerro Pícol. Asimismo se ha realizado una unión de cartografía digital, de la zona no urbana con levantamiento topográfico realizado por estación total, y la zona urbana con topografía realizada por imagen satelital.

82

2.1.3. Delimitación del ámbito de estudio

Para la delimitación del ámbito de estudio se ha tomado en cuenta los movimientos en masa de interés detectados por las imágenes satelitales e información recopilada y sus zonas de afectación directa e indirecta. Por lo que la zona está en el límite de los distritos de San Sebastián y San Jerónimo.

Así mismo se ha considerado 2 áreas de trabajo. La primera delimitada por la microcuenca Thuniyoc, que tiene un área aproximada de 0.7584 Km², tomada para realizar los estudios hidrológicos, y la segunda área que abarca un superficie más extensa a la microcuenca siendo una zona rectangular definiéndolo por el norte hasta la cima del cerro Pícol, y en la parte baja hasta la el condominio Las Rocas y COVIPONA. Ésta última área de trabajo será usada para realizar el análisis de peligros, siendo un total de 277.50 ha.

2.1.4. Fotointerpretación

Para el estudio se ha utilizado fotografías aéreas para la identificación de los movimientos en masa y la evolución demográfica en la zona. Asimismo imágenes satelitales IKONOS que sirvieron para el reconocimiento de estructuras geológicas, movimientos en masa y cartografiado de la población asentada en el lugar.



Fotografía aérea de 1956, en celeste se muestra la quebrada Thuniyoc.

Fotografía aérea de 1962, en celeste se muestra la quebrada Thuniyoc.

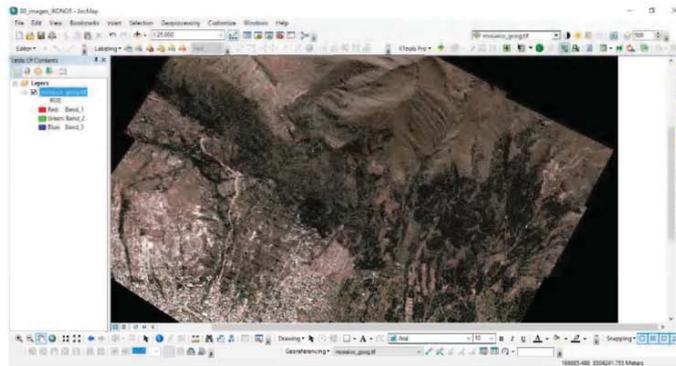


Figura 44 Imagen IKONOS de la zona de estudio.

2.1.5. Preparación de mapas preliminares

Luego de efectuar los trabajos mencionados anteriormente, se prepararon mapas preliminares que se emplearon en las labores de campo. Los principales fueron el mapeo geológico, litológico, estructural, de movimientos en masa, reconocimientos e inventario de la infraestructura urbana. Con ayuda de la imagen satelital se pudo construir en los mapas base los caminos de herradura, las carreteras, las vías de acceso, modificar los datos de manzanas y lotes en la zona urbana. Con ayuda de las bases geológicas del INGEMMET se identificaron las formaciones geológicas regionales en la zona.

2.2. INVENTARIO

En este apartado se describen los trabajos de inventario de movimientos en masa y el inventario de la infraestructura y equipamiento urbano físico dentro del área de estudio.

2.2.1. Inventario de los movimientos en masa

Este inventario de movimientos en masa, consistió en la recopilación de datos de los movimientos en masa tomados directamente en campo y ajustados en gabinete. Estos datos incluyen información de ubicación, factores condicionantes como pendiente, erosión, cobertura vegetal, usos de suelos, composición de roca o suelo, estructuras geológicas, factores desencadenantes del movimientos en masa, longitud, ancho, área y volumen de los mismos. De este trabajo se han obtenido fichas que corresponden a los movimientos en masa identificado en la quebrada Thuniyoc.

Se han identificado 07 caída de suelos, 04 deslizamientos compuestos, 01 deslizamiento de suelos, 12 deslizamientos traslacionales y 01 flujo de detritos, que se describen a continuación, y que para más detalle se presentan fichas en el Anexo II. (ver Mapa I)

Caída de suelos

En la quebrada Thuniyoc estas caída de suelos se encuentran en la parte alta y media de la quebrada. Está compuestos por suelos coluviales en terrenos con pendientes empinadas a muy empinadas y con cobertura vegetal escasa que es por el desprendimiento del suelo hay sectores en los que no hay cobertura alguna.



Figura 45 Caída de suelos en la parte alta de la quebrada

Tabla 9 Inventario de caída de suelos en la quebrada Thuniyoc.

CODIGO	AREA (m2)	ESTE	NORTE
CS-01	1754.31	187064	8504384
CS-02	4682.78	187099	8504337
CS-03	3090.01	187011	8504334
CS-04	732.75	186803	8504043
CS-05	340.91	186782	8503733
CS-06	436.74	186777	8503691
CS-07	1754.31	186872	8503609

Deslizamiento de suelos

En la quebrada Thuniyoc este deslizamiento de suelos se ubica en la parte superior en su borde izquierdo, se componen por materiales coluviales con clastos de areniscas de 2 a 25 centímetros, con una matriz arenosa limosa con escasa arcilla. Sus pendientes son muy empinadas y cobertura vegetal rala a baja.

Tabla 10 Inventario de deslizamientos de suelos en la quebrada Thuniyoc.

CODIGO	AREA (m2)	ESTE	NORTE
DS-01	1231.56	186851	8504100

Deslizamiento compuesto

Son considerados compuestos aquellos deslizamientos en los que no se tiene definido un plano de falla. Es así que se ha identificado estos deslizamientos en la quebrada, siendo el principal el deslizamiento Pícol, denominado así porque se encuentra en la cabecera de la quebrada y en el cerro que lleva el mismo nombre.

Se han identificado otros deslizamientos compuestos en la parte media y baja de la quebrada Thuniyoc.

Tabla 11 Inventario de deslizamientos compuestos en la quebrada Thuniyoc.

CODIGO	AREA (m2)	ESTE	NORTE
DC-01	28651.35	187165	8504468
DC-02	11016.61	186801	8503955
DC-03	16742.90	186830	8503824
DC-04	20323.03	187006	8503851



Figura 46 Cabecera de deslizamiento Pícol, se aprecian sus escarpas.



Figura 47 Vista desde la parte norte y cabecera de deslizamiento Pícol, se aprecia cómo se forman flujos en la parte baja del deslizamiento.

Deslizamiento traslacional

Este tipo de deslizamiento son los que más se encuentran en la quebrada Thuniyoc, debidos a su relación con la tectónica local y regional. Entre sus planos de falla se ha identificado una dirección de N115° y buzamiento 50°NO, N350° y bz 80°NE, en ocasiones se forman deslizamiento en cuña, que son deslizamiento con 3 planos de falla definidos.

Tabla 12 Inventario de deslizamiento traslacionales en la quebrada Thuniyoc.

CODIGO	AREA (m2)	ESTE	NORTE
DT-01	2435.61	186935	8504506
DT-02	8841.13	186932	8504275
DT-03	16827.92	187025	8504245
DT-04	13498.10	186816	8504203
DT-05	2013.86	186889	8504134
DT-06	23971.54	186720	8504169
DT-07	1090.24	186799	8504104
DT-08	2232.37	186744	8504042
DT-09	2870.30	186732	8503996
DT-10	8321.35	186734	8503876
DT-11	959.89	186777	8503605
DT-12	2166.86	186715	8503482



Figura 48 DT-06. Deslizamiento en el que se aprecian flujos dentro. Se encuentra en la margen derecha de la quebrada Thuniyoc.

Flujo de detritos

Los flujos de detritos se encuentran en el cauce de la quebrada Thuniyoc y sus afluentes, estos se forman principalmente a causa de una saturación del suelo y material suelto produciendo deslizamientos en la cabecera de la quebrada, es así que para la quebrada Thuniyoc, se ha podido identificar 3 zonas por donde recorre estos flujos.

La primera zona que es la parte superior de la quebrada, donde se acumulan y se captan todos los materiales sueltos producto de los deslizamientos, esta zona se caracteriza por tener pendientes muy empinadas, los cuales hacen que el material baje rápidamente. La segunda que es una parte intermedia en la quebrada Thuniyoc se caracteriza por tener zonas de pendiente media en los que los materiales se transportan, luego empiezan zonas que de forma natural se han formado pequeñas terrazas. Por último se tiene la parte baja, que es donde se depositan todos los materiales del flujo de detritos, en estas zonas se encuentran 2 disipadores que son hoyos que se hicieron de tal forma que el material no descienda mucho más, y afecte a la población.



Figura 49 Zona intermedia de la quebrada Thuniyoc. Se aprecia el material depositado en esta zona.

Tabla 13 Inventario de flujos de detritos en la quebrada Thuniyoc.

CODIGO	AREA (m2)	ESTE	NORTE
FD-01	30302.13	186607	8503518



Figura 50 Disipador 1, se aprecia la cantidad de material que va arrastrando las aguas en la quebrada Thuniyoc.

Los disipadores tienen una capacidad aproximada total de 134,880m³, de los cuales 13,395m³ son del disipador 1, y 109,200m³ son del disipador 2 y el canal que une a ambos disipadores de aproximadamente 650 metros lineales con capacidad de 12,285 m³.

Cada temporada de lluvias o precipitación pluvial, entre los meses de noviembre a marzo, los disipadores son colmatados por el flujo de detritos que desciende de esta quebrada. El año 2010, debido a precipitaciones intensas, estos disipadores han sido colmatados, rebasando su capacidad de almacenamiento llegando a afectar viviendas que se encuentran al lado oeste del disipador 2.



Figura 51 Disipador 2, se puede apreciar el agua estancada y rastros de material que ya ha sido retirado.

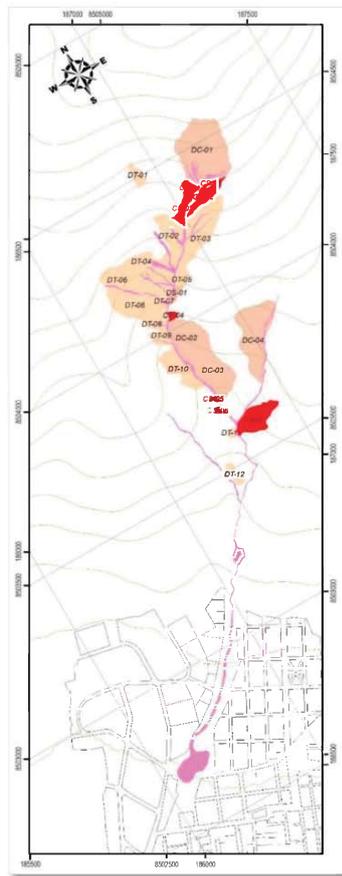


Figura 52 Mapa inventario movimientos en masa

En general, en la quebrada Thuniyoc, se distinguen 3 zonas en la que se encuentran los movimientos en masa. 1) Las zonas de arranque, donde se encuentran los deslizamientos, zonas con pendientes muy fuertes, con suelos poco consolidados y rocas altamente fracturadas. 2) La zona media de la quebrada por donde estos materiales fluyen con ayuda del agua, proveniente de las precipitaciones pluviales y manantes que se encuentran dentro de esta quebrada, en esta zona media, en el cauce, también se encuentran pequeños disipadores de energía naturales, y otros de concreto que han sido construidos por los pobladores y también quiebres en la dirección de flujo, que hace que el flujo de estos materiales se disipe y no avancen rápidamente. 3) La zona de acumulación, que es la parte donde se depositan los materiales, y este se encuentra en la parte baja, donde las pendientes se reducen llegando a ser menores de 20° , y son desde el disipador 1 hacia el sur, incluso es la zona donde actualmente se encuentran asentados los pobladores del lugar.

2.2.2. Inventario de viviendas/lotes y equipamiento e infraestructura urbana

En el área urbana, en el borde derecho de la quebrada Thuniyoc, que pertenece al distrito de San Jerónimo se encuentran las Asociaciones Pro vivienda Huaynapicol, Machupicol, la urbanización Larapa y los condominios Las Rocas y Covipona. En el borde derecho de la quebrada, que pertenece al distrito de San Sebastián se encuentra la urbanización Santa María.

Viviendas

Se han identificado la mayor cantidad de viviendas o lotes en la APV Huaynapicol con 286 lotes, y la urbanización Larapa tiene la menor cantidad de viviendas o lotes siendo 37.

SECTOR	VIVIENDAS/LOTES
APV Huaynapicol	286
APV Machupicol	89
Condominio las rocas	44
COVIPONA	88
Urb Larapa	37
Urb Santa María	53

Infraestructura urbana

En toda la zona de estudio no se han identificado infraestructuras de salud, pero sí una de educación que se encuentra en la urbanización Santa María, que es una Institución Educativa Albergue de educación primaria y secundaria.



Figura 53 Institución Educativa, en la urb Santa María.

2.3. PREPARACION DE BASES DE DATOS ESPACIALES

2.3.1. Digitalización y conversión de formatos

Debido a que la información que se requiere debe tener un mismo formato, se ha digitalizado y convertido en formato shapefile (*.shp).

Los datos topográficos del levamiento en estación total, así como datos de catastro, se realizaron en formato *.dwg por su facilidad de trabajo y los datos topográficos obtenidos del satélite están en formato *.shp, por lo que estos se convirtieron y combinaron a un mismo formato que es el *.shp para poder ser analizados en el software ArcGIS v10.1.

92

2.3.2. Organización de la información espacial

Para facilitar el trabajo y procurar un buen seguimiento del estudio, se creó una estructura de carpetas con una nomenclatura organizada y de acuerdo a su contenido.

Se ha creado una matriz de carpeta con el nombre "Mapa", dentro de este se encuentran las carpetas "mxd", "shp", "pdf", "kmz", "xls" y "raster"; debido al tipo de extensión que tienen los archivos.

Una vez organizados los directorios donde se guardaron todos los datos, se procedió a revisar, clasificar y depurar la información.

2.3.3. Clasificación y depuración de los datos espaciales

La clasificación y depuración de datos espaciales ha consistido en la revisión, corrección, unión y depuración de la información base, de tal manera que quede en esta óptimo para ejecutar el análisis SIG.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a generar atributos útiles para los procesos posteriores, los cuales permiten alcanzar la uniformidad de datos espaciales para el análisis SIG correspondiente.

2.4. EVALUACION DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA

En este ítem se describirá la metodología usada para la evaluación del peligro por movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc mediante los SIG.

2.4.1. Modelos de peligrosidad por movimientos en masa

A. Modified Single – Flow Direction Model (MSF)

En español: Modelo de Flujo de Dirección Única Modificado. Fue desarrollado por Huggel (2003), para determinar zonas de peligro asociadas a flujos de detritos generados por el desbordamiento de lagos glaciales en alta montaña.

Este modelo está integrado en el ambiente ArcGIS y posee 2 componentes: trayectoria y confinamiento. La componente de trayectoria usa un algoritmo que supone que el flujo siga como trayectoria, la dirección con mayor pendiente. Para zonas más planas, donde el flujo tiende a expandirse lateralmente, se agregó una función especial que permite al flujo desviarse de la dirección principal de mayor pendiente, hasta 45° en ambos lados. Una vez que las zonas potencialmente afectadas por el paso de un flujo son delineadas, el programa también asigna un valor de probabilidad a cada celda del DEM de ser afectadas por el flujo. Esta probabilidad está descrita por la función Fr, que utiliza como principio el hecho que mientras más se desvíe una celda de la trayectoria de mayor pendiente, mayor es la resistencia. La razón H/Fr, donde H representa la distancia horizontal con respecto al punto de partida del flujo, determinado por el usuario, representa una función probabilística, y cada celda del DEM tiene asignada una probabilidad de ser afectada por el flujo, definida por:

$$Pq(i) = H(i) / Fr(i)$$

Pq(i) no es una función de probabilidad en sentido estricto, sino más bien una probabilidad cualitativa. La componente de confinamiento, a su vez, está dada por la relación V/L, en que V es la distancia vertical que el flujo desciende y L es la distancia horizontal recorrida. La relación V/L debe ser definida por el usuario y debe corresponder al "peor escenario", esto es, la máxima extensión que podría tener un flujo en la zona estudiada, de acuerdo a los datos de que se dispongan.

B. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Este Proceso de Análisis Jerárquico (AHP – Analytic Hierarchy Process), fue desarrollado por Thomas L. Saaty para resolver el tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS, actualmente utilizado por tener características de un sistema flexible de metodología de análisis de decisión multicriterio discreta (número

finito de alternativas u opciones de elección). Permite a los actores tomar decisiones y estructurar el problema de forma visual.

Para utilizar este proceso, primero se construye una estructura jerárquica del problema, de modo que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel.

Luego de construir la estructura jerárquica del problema se realiza la valoración de los parámetros o elementos. Esta valoración se realiza por una comparación entre uno y otro elemento basándose en factores cuantitativos o cualitativos en escalas del 1 al 9, según la propuesta de Saaty. De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes se asignará al par de elementos un "1"; moderadamente preferido se representa por "3", fuertemente preferido por "5" y extremadamente preferido por "9". Los números pares se usan para expresar situaciones intermedias.

Tabla 14 Escala de medidas de Saaty.

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante que...	El juicio y la experiencia favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante que...	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más importante que...	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Extremadamente más importante que...	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

El resultado de estas comparaciones con la escala de medidas de Saaty, es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada "Matriz de comparaciones pareadas", en el que cada uno de sus componente reflejan la intensidad de preferencia de un elemento frente al otro respecto del atributo considerado.

Luego de formar las matrices de comparación, se realiza la fase de priorización y síntesis. El objetivo es calcular la prioridad de cada elemento, que Saaty la define: "Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios

concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia" (Saaty, 1998).

Paso seguido se realiza el cálculo del vector de pesos relativos asociados a un nivel, este vector debe expresar la importancia relativa de los elementos considerados en ese nivel. Saaty propone el método del autovector principal por la derecha para realizar éste cálculo.

Por último, la prioridad total de las alternativas comparadas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales (forma lineal multiaditiva). La prioridad total nos permitirá realizar la síntesis del problema, ordenando el conjunto de alternativas consideradas y seleccionar las más indicadas para conseguir el objetivo propuesto. Un aspecto importante es en cuidar el resultado final, ya que éste debe ser consistente con las preferencias manifestadas por el decisor; pudiendo ser controlado mediante el indicar "Razón de Consistencia" de Saaty (1998).



2.4.2. Modelo, escala y variables elegidas

El modelo elegido para realizar la evaluación del peligro por movimientos en masa se ha utilizado ambos modelos descritos anteriormente, el MSF se ha utilizado en un primer momento para definir las áreas posibles por donde los flujos de detritos recorrerían en la quebrada Thuniyoc, luego se utilizó el AHP para la toma de decisión y la evaluación del peligro por movimientos en masa en la quebrada.

La escala de presentación es de 1/5,000 por considerar que el trabajo de campo se hizo a escalas mayores.

Las variables o criterios elegidos para realizar esta evaluación del peligro fueron la geomorfología, geología, uso actual de suelos, cobertura vegetal, erosión, pendientes, así como los sismos y la precipitación pluvial.

A. Pendientes

La pendiente está definida como la inclinación o declive del terreno desde un punto cualquiera respecto al plano horizontal. La metodología aplicada para la determinación de las pendientes del terreno se sustenta en la topografía de la zona de estudio. Para realizar este mapa de pendientes se ha usado la topografía del levantamiento topográfico y curvas de nivel generados a partir de una imagen satelital proporcionada por el IMA, 2012.

Con las curvas de nivel completas en el área de estudio, se generan modelos de elevación digital (DEM) con un tamaño de celda de 2 metros. Luego se genera un modelo espacial de pendientes (Slope), realizando todo este proceso con el software ArcGIS v10.1.

Luego se ha realizado una reclasificación, dividiendo el área de estudio en 5 grupos de pendientes que a continuación se presentan y se describen. (Ver Mapa IV).

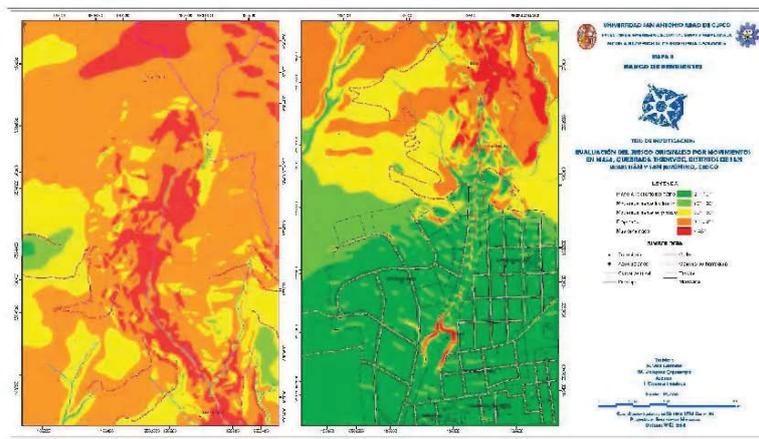


Figura 54 Mapa de Pendientes.

Tabla 15 Clasificación del Rango de Pendientes

DESCRIPCION	RANGO DE PENDIENTES	AREA (m2)	AREA (ha)	AREA (%)
Plano a ligeramente plano	0° - 10°	642932.94	64.29	23.17
Moderadamente inclinado	10° - 20°	253943.32	25.39	9.15
Moderadamente empinado	20° - 30°	567706.26	56.77	20.46
Empinado	30° - 45°	1086631.37	108.66	39.16
Muy empinado	> 45°	223731.29	22.37	8.06

Plano a ligeramente plano (0° - 10°)

Estas zona de pendiente plana a ligeramente plana se encuentran principalmente en la parte baja de la quebrada Thuniyoc, son zonas de depósitos aluviales los cuales fueron arrastrados por flujos de detritos. Abarcan un área de 64.29ha.

Moderadamente inclinado (10° - 20°)

Las zonas moderadamente inclinadas se encuentran contiguo a zonas de pendiente plana, se puede identificar dos sectores principales, el primero en la parte norte en una terraza de la plataforma estructural y el otro en el sur entre el área urbana y las laderas del cerro. Abarcan 25.39ha de superficie.

Moderadamente empinado (20° - 30°)

Las zonas moderadamente empinadas se encuentran en la parte intermedia de la quebrada en ambos márgenes, y en las laderas bajas entre el área urbana y el cerro Pícol. Abarcan 56.77ha.

Empinado (30° - 45°)

Las zonas empinadas se encuentran en casi todo el cerro Pícol, desde su cabecera hasta las partes bajas. Son en estas zonas en la que se encuentran afloramientos de roca en su mayoría. Abarcan 108.66 ha de superficie.

Muy empinado (>45°)

Las zonas con ladera muy empinadas son las que se encuentran dentro de la quebradas, en estas pendientes son comunes los cortes de roca o deslizamientos en el sector. Abarcan 22.37 hectáreas de superficie.

B. Geomorfología

El contexto geomorfológico local está situado dentro de la unidad regional Montañas altas, y se han distinguido 6 unidades geomorfológicas, las cuales son: laderas suaves, laderas medias, laderas escarpadas, plataformas tectónicas, terrazas aluviales, y cono aluvial. (Ver Mapa II).

Tabla 16 Clasificación del Parámetro de Geomorfología.

DESCRIPCION	AREA (m2)	AREA (ha)	AREA (%)
Cono Aluvial	801023.78	80.10	28.87
Laderas Escarpadas	673674.88	67.37	24.28
Laderas Medias	796010.29	79.60	28.69
Laderas Suaves	134743.50	13.47	4.86
Plataforma Estructural	269786.83	26.98	9.72
Terraza Aluvial	99704.46	9.97	3.59

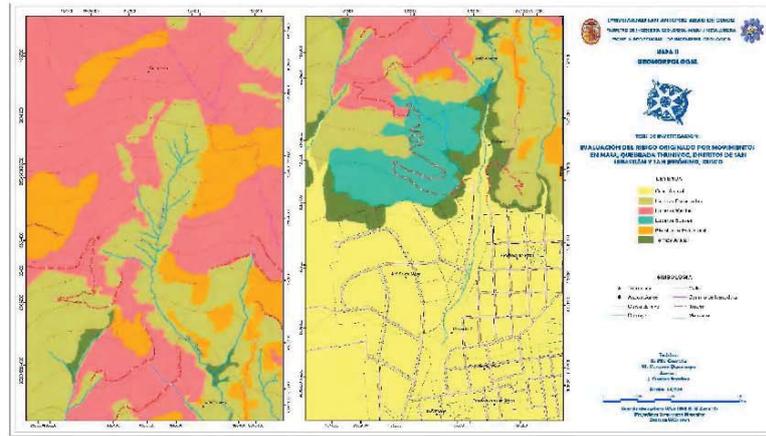


Figura 55 Mapa Geomorfológico local

Laderas escarpadas

Esta unidad se ubica en las zonas de deslizamiento, formando una escarpa cuyo declive es mayor a 30°, además la mayoría de estas están situadas en la parte intermedia y alta del talud, haciendo una extensión en superficie de 67,36 Ha y 24.28% con respecto al total.

Esta unidad se define como prioridad de primer orden, ya que en estos sectores existe la mayor probabilidad de la ocurrencia de eventos de geodinámica externa.

Laderas suaves

Esta unidad está comprendida en un medio geomorfológico de baja pendiente 10° – 20°, ubicada en la parte baja del talud generalmente y ocupa un área de 13.47 Ha y 4.85% con respecto al área total de estudios.

Esta unidad geomorfológica se categoriza como descriptor de segundo orden ya que existen posibilidades de la ocurrencia de algunos eventos geodinámicos.

Laderas intermedias

Esta unidad se encuentra en la parte intermedia y alta del cerro Pícol, comprendida en talud de pendiente media 20°-30°, ocupando un área de 79.6Ha y 28.68% con respecto del total de la zona de estudios.

Esta unidad geomorfológica se categoriza como descriptor de segundo orden, ya que estas zonas hay posibilidades de la ocurrencia de los eventos geodinámicos.

Terraza aluvial

Esta unidad se ubica en las partes laterales de la quebrada Thuniyoc y las quebradas adyacentes, ocupando un área de 9.97 Ha y 3.59% con respecto al área total de la zona de estudios.

Esta unidad geomorfología se categoriza como descriptor de tercer orden ya que existen posibilidades de ocurrir cualquier evento de la geodinámica externa.

Plataforma estructural

Esta unidad se ubica en las zonas adyacentes a los deslizamientos, formando una superficie llana a manera de terrazas cuyo declive es variable de 0°-10°, ocupando un área de 26.97 Ha y 9.72% con respecto al área total.

Esta unidad geomorfológica local se categoriza como descriptor de cuarto orden, ya que existen menores posibilidades de la ocurrencia de eventos de la geodinámica externa.

Conos aluviales

Esta unidad se ubica en las partes bajas de los drenajes efímeras, las cuales han depositado los materiales transportados, ocupando un área de 80.1 Ha y 28.86% con respecto al área total de estudios.

Esta unidad geomorfología se categoriza como descriptor de quinto orden, ya que en estas áreas la posibilidad de ocurrencia de los eventos de geodinámica externa es casi nula.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las áreas que ocupan cada unidad geomorfológica local, el cual también se puede apreciar en el mapa Geomorfológico local.

C. Litología

La geología local de la zona de estudios está basada dentro del contexto sedimentario fluvial (Grupo San Jerónimo – Formación Kayra), denominadas también como capas rojas, cuya edad esta datada en el cretácica superior-terciaria (Marocco, 1978; Córdova, 1986), Eoceno inferior, (Córdova, 1986; Carlotto, 1998), para el presente estudio se ha

identificado 4 descriptores las cuales consisten en diferentes unidades litológicas y se describen a continuación. (Ver Mapa III).

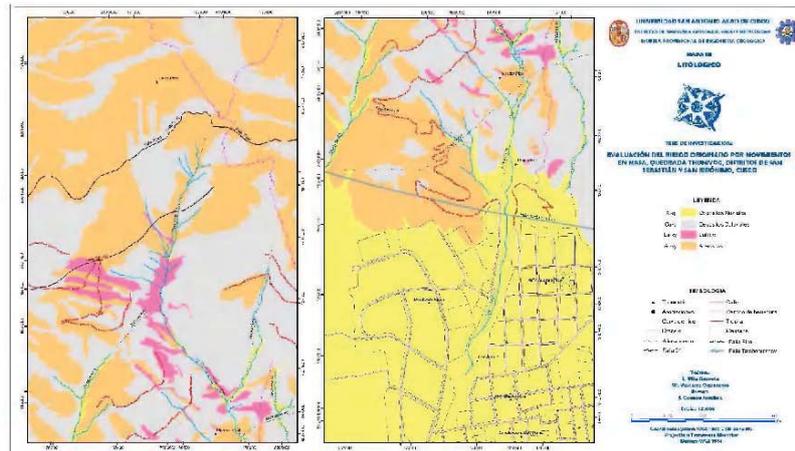


Figura 56 Mapa Litológico de la zona de estudio.

Tabla 17 Clasificación del Parámetro de Litología

DESCRIPCION	AREA (m2)	AREA (%)
Arenisca feldespática	85,97	30,98
Arenisca arcósicas	6,71	2,42
Lutitas rojas	5,78	2,08
Lutitas verdes	0,91	0,33
Coluviales	86,88	31,31
Aluviales	91,24	32,88

Areniscas

Estas areniscas se ubican adyacentes a las lutitas rojas y en la parte intermedia del talud de evaluación, así denotando la coloración rojiza y blanquecina, además mostrando una granulometría fina a media, con laminaciones paralelas y en algunos casos entrelazados.

Esta unidad litológica ocupa un área de 92.68 ha y ocupa un 33.4% con respecto al área total de estudio, se considera como descriptor de cuarto orden, ya que existen menores posibilidades de la ocurrencia de movimientos en masa.

Hidrogeológicamente, estas rocas se encuentran catalogadas como acuíferos heterogéneos. Tienen por característica su fuerte fracturamiento que le da una porosidad secundaria alta.

Lutitas

Este paquete de lutitas rojas y verdes es considerado como un solo descriptor para fines de evaluación de nuestro contexto litológico, yace en la parte intermedia del talud de Picol, extendiéndose en un área de 6.69 ha y ocupa el 2.41% con respecto al área total de estudio.

Esta unidad se consideró como descriptor de tercer orden, ya que la ocurrencia de movimientos en masa es más probables.

Hidrogeológicamente, estas rocas están catalogadas como acuíferos heterogéneos. Tienen por característica su fuerte fracturamiento que le da una porosidad secundaria alta.

Depósitos coluviales

Este tipo de depósitos están compuestos por bancos de suelos no consolidados, consistentes básicamente por bloques, gravas, arenas y finos, todas ellas ubicándose en las plataformas estructurales y al pie de los deslizamientos, ocupando un área de 86.88 ha que corresponde al 31.31% con respecto al área total de estudio.

Esta unidad se categorizo como descriptor de primer orden ya que la probabilidad de movimientos en masa es alto.

Hidrogeológicamente, los suelos coluviales están considerados como acuitardos, pueden almacenar agua, pero lo transmiten con dificultad, ya que tienen una matriz arcillosa y limosa que impedirían los flujos de agua.

Depósitos aluviales

Este tipo de depósitos son bancos de suelo no consolidado, de corto y mediano transporte y generalmente está compuesta por gravas, arenas y finos, encontrándose en las partes intermedias y bajas de la zona de estudios, principalmente en sus zonas de deposición. Estos depósitos ocupan un área de 91.24 ha que corresponde al 32.88% con respecto al área total de estudio.

Esta unidad se consideró como descriptor de segundo orden, debido a que existen las probabilidades de la ocurrencia de los movimientos en masa.

Hidrogeológicamente se pueden comportar como un acuífero poroso no consolidado. Son importantes ya que son el medio de descarga de los acuíferos de la formación Kayra que se encuentra al norte. Los valores de permeabilidad son altos en ciertas zonas, donde hay abundancia de clastos y ausencia de matriz fina.

D. Cobertura Vegetal

La zonificación de cobertura vegetal, se ha realizado en base al estudio de “Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo de la Sub Cuenca del Río Huatanay – Cusco”, (Palomino, 2011). En estos mapas se toman como referencia las siguientes variables: ubicación, estructura, fisonomía, composición florística y estado actual. (Ver Mapa V).

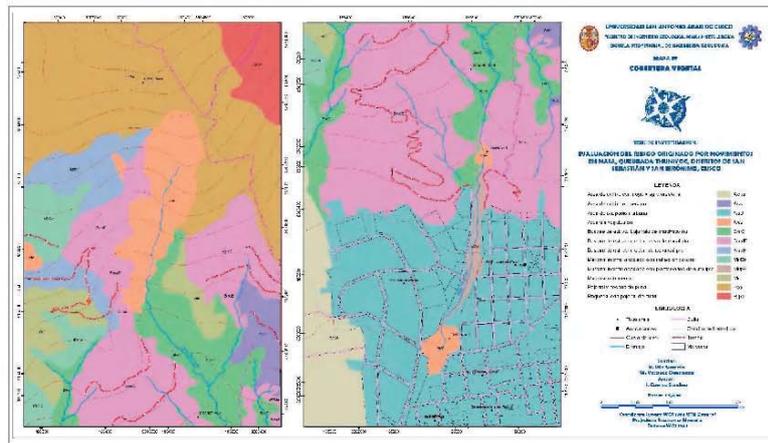


Figura 57 Mapa de Cobertura Vegetal.

Tabla 18 Clasificación de Parámetros de Cobertura Vegetal

DESCRIPCION	AREA (ha)	AREA (m2)	AREA (%)
Bosque de estrato medio denso de eucalipto	69.60	696015.25	25.08
Área de ocupación urbana	60.44	604447.45	21.78
Pajonal y césped de puna	48.14	481385.41	17.35
Bosque de estrato bajo ralo de chachacomo	22.93	229270.42	8.26
Área de cultivo con riego y agroforesteria	16.53	165311.08	5.96
Área sin vegetación	14.21	142083.83	5.12
Matorral inerme asociado con cultivo en secano	11.06	110608.04	3.99
Bosque de estrato medio ralo de eucalipto	10.10	101010.60	3.64

Matorral ralo inerme	9.44	94375.73	3.40
Roquedal con pajonal de puna	7.49	74850.02	2.70
Área de cultivo en secano	5.55	55471.73	2.00
Matorral inerme asociado con plantaciones de eucalipto	2.01	20115.64	0.72

Área de cultivo con riego y agroforestería (Acr/a)

Las áreas de cultivo con riego se extienden en una superficie de 16.53 hectáreas que representan el 5.96 % del total de superficie de la zona de estudio.

Esta unidad de vegetación se sitúa en la zona suroeste del área de estudio, al oeste de la urbanización Santa María. Son zonas con pendientes planas a moderadamente inclinadas. Estas áreas son sistemas agroforestales, en donde se han asociado la siembra de árboles en áreas de cultivo con riego, en formas de barreras vivas.

Área de cultivo en secano

Las áreas de cultivo en secano ocupan una superficie de 5.55 hectáreas, representando el 2.00 % de la superficie total del área de estudio.

Esta unidad de vegetación se localiza en zonas con pendientes planas en el borde izquierdo de la quebrada. Se caracteriza por el desarrollo de una actividad de cultivos anuales en limpio, con el agua proveniente de las lluvias.

Área de ocupación urbana (AoU)

El área de ocupación urbana ocupa una superficie de 60.44 hectáreas y representa el 21.78% del total del área de estudio.

Se caracteriza por estar conformada por un conjunto de viviendas delimitadas por calles y avenidas, y que la mayoría cuenta con los servicios básicos.

Área sin vegetación (AsV)

Se caracterizan por ser áreas desnudas o sin ningún tipo de vegetación, se extienden sobre una superficie de 14.21 hectáreas que representan el 5.12 % del total de superficie del área en estudio.

Las áreas sin vegetación se deben a que se han producido movimientos en masa recientemente y/o están en constante movimiento, tal es así que la zona norte donde se encuentra el deslizamiento Picol se encuentra actualmente sin vegetación.

Bosque de estrato bajo ralo de chachacomo (BbrC)

El bosque de estrato bajo ralo de chachacomo se extiende sobre una superficie de 22.93 hectáreas que representan el 8.26% de la superficie total del área en estudio.

Estos bosques se encuentran en el interior de la quebrada Thuniyoc así como en el la quebrada ubicada al oeste. Los chachacomos tienen una altura promedio de 3.5 metros, con un diámetro del tronco de 10 cm y con una densidad promedio de 200 und/ha.

Bosque de estrato medio denso de eucalipto (BmdE)

Esta unidad de vegetación se caracteriza por formar macizos forestales, los mismos que se extienden en una superficie de 69.60 hectáreas y representan el 25.08% del total del área de estudio.

Estos macizos forestales se ubican desde la parte media de la quebrada Thuniyoc hasta la parte baja del cerro hasta llegar a la parte urbana. Estas especies fueron sembradas en áreas cubiertas por matorrales y bosques nativos. El dosel de estos bosques tienen una altura promedio de 15 metros y un diámetro promedio del tronco de 60 cm, su densidad promedio es de 2060 und/ha.

Bosque de estrato medio ralo de eucalipto (BmrE)

Esta unidad de vegetación se presenta sobre una superficie de 10.10 hectáreas que representa el 3.64% del total de superficie del área de estudio.

Estos bosques se encuentran en parte norte del borde derecho de la quebrada Thuniyoc y son producto de diferentes programas de deforestación. Se estima un promedio de 375 und/ha de densidad de estos eucaliptos.

Matorral inerme asociado con cultivo en secano (Mi/Cs)

Los matorrales inerme asociado con cultivos en secano se extienden sobre una superficie de 11.06 hectáreas que representan el 3.99% de la superficie total del área en estudio.

Este tipo de matorral se localiza en la parte media y alta de la quebrada en el borde derecho. Las pendientes son moderadamente empinadas.

Esta unidad de vegetación es el producto de la carencia de áreas con aptitud agrícola en la sub cuenca; debido a esta carencia los pobladores han aperturado áreas al interior de los matorrales para desarrollar un tipo de agricultura en secano.



Es importante indicar que en la apertura de estas áreas, los pobladores han dejado restos de matorrales en forma de líneas, los mismos que cumplen la función de rompe vientos y contra la erosión.

Matorral inerte asociado con plantaciones de eucalipto (Mi/pE)

Esta unidad de vegetación ocupa una superficie de 2.01 hectáreas que representan el 0.72% de la superficie total del área de estudio.

Estos matorrales se localizan en los bordes del canal que une el dissipador 1 y el dissipador 2 en la parte sur del área de estudio.

Matorral ralo inerte (Mri)

Los matorrales ralos inertes se extienden sobre una superficie de 9.44 hectáreas que representan el 3.40 % del total de la superficie del área de estudio.

Esta unidad de vegetación se localiza en la parte media de la quebrada dividida en ambos márgenes. Son zonas con pendientes moderadamente empinadas. Estos matorrales se caracterizan por la predominancia de especies de estrato arbustivo inerte (sin espinas), con una altura promedio de 1 metro y con una distribución dispersa, producto de la deforestación a las que han sido sometidas.

Pajonal y césped de puna

Esta unidad de vegetación es la que sobresale en el pico del cerro Pícol y sus alrededores, se extienden sobre una superficie de 48.14 hectáreas que representan el 17.35% de la superficie total del área en estudio.

Se caracterizan por la presencia de un tipo de vegetación herbácea, predominando por una diversidad de pastos o gramíneas, los mismos que tienen una apariencia de atos o manojos de una altura promedio de 40 cm. (pajonal), en el caso del césped estos tienen una altura promedio de 5 cm.

Roquedal con pajonal de puna (Rpp)

Los roquedales con pajonal se extienden sobre una superficie de 7.49 hectáreas representando el 2.70 % del total de superficie del área de estudio.

Esta unidad de vegetación se caracteriza por la presencia de afloramientos rocosos, que se localiza en la parte noreste del área de estudio, tiene pendientes empinadas a muy empinadas.

E. Uso Actual de Suelos

La zonificación del Uso Actual de Suelos, se ha realizado en base al estudio de “Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo de la Sub Cuenca del Río Huatanay – Cusco”, (Palomino, 2011)

Para definir las unidades del uso actual de tierra se usó como referencia el sistema de clasificación propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI); en base a ello se agruparon en grandes unidades de acuerdo al uso del poblador. (Ver Mapa VI).

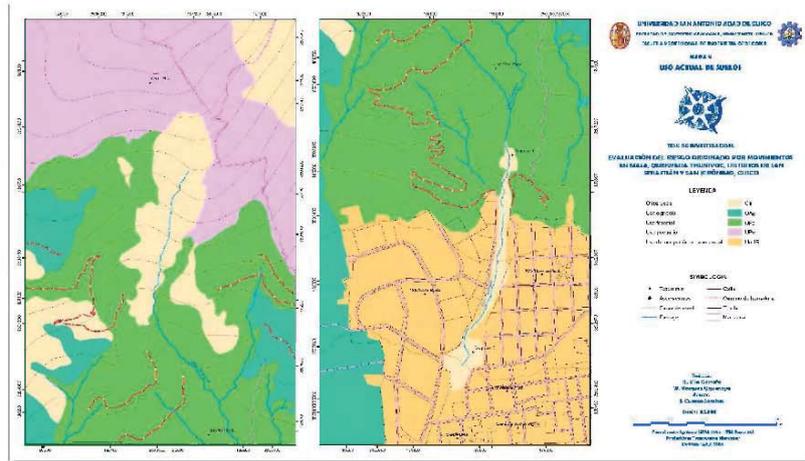


Figura 58 Mapa de Uso Actual de Suelos.

Tabla 19 Clasificación del Parámetro Uso Actual de Suelos

USO ACTUAL DE SUELOS	SIMBOLOGIA	AREA (m2)	AREA (ha)	AREA (%)
Uso forestal	UoUR	1026296.27	102.63	36.98
Uso de ocupación urbano-rural	UFo	604447.45	60.44	21.78
Uso pecuario	UPe	481385.41	48.14	17.35
Otros usos	Ou	331425.21	33.14	11.94
Uso agrícola	UAg	331390.85	33.14	11.94

Uso forestal

Las áreas de uso forestal ocupa una superficie de 102.63 hectáreas que representa el 36.98 % de la superficie total del área de estudio.

En esta unidad se consideran las áreas cubiertas por bosques nativos como los de chachacomo, queuña, tasta y molle, y los bosques exóticos que son el resultado de diferentes programas de forestación, en donde se utilizaron en mayor cantidad eucalipto.

Estos bosques se constituyen como una fuente de madera para carpintería, construcción de viviendas y para leña (como fuente energética); la tecnología empleada por los pobladores de la sub cuenca para la extracción de estos productos son de un nivel artesanal.

Se encuentran en casi todo el área de estudio, principalmente en la parte media de la quebrada Thuniyoc.

Uso de ocupación urbano-rural

Las áreas con ocupación urbano – rural se extiende sobre una superficie de 60.44 hectáreas que representan el 21.78 % de la superficie total del área de estudio.

Esta unidad comprende las áreas ocupadas por los pobladores en el área de estudio se encuentran en las parte sur.

Uso pecuario

La área de uso pecuario se extienden sobre una superficie de 48.14 hectáreas que representan el 17.35 % del total de superficie del área en estudio.

Esta unidad se localiza en la parte norte del área de estudio, son zonas con pendientes empinadas. Se considera dentro de esta unidad, los pajonales, césped de puna. Son lugares en donde se practica pastoreo libre de ganado ovino, camélidos sudamericanos y equinos; son llevados sin un manejo adecuado, lo cual conlleva a la degradación de estos sistemas naturales.

Otros usos

Esta unidad de uso ocupa una superficie de 33.14 hectáreas que representan el 11.94 % del total de la superficie del área en estudio.

Se considera dentro de esta unidad de uso a todas aquellas áreas que no presentan un uso agrícola, pecuario, forestal ni urbano, en ella se incluyen los matorrales, las áreas sin vegetación, los roquedales, etc.

Se encuentran en zonas con alta erosión, dentro de deslizamientos, en los disipadores y en el canal que une a ambos.

Uso agrícola

El uso agrícola ocupa una superficie de 33.14 hectáreas que representan el 11.94 % del total de la superficie del área en estudio.

Las áreas de uso agrícola se localizan hacia el suroeste en zonas con pendiente moderadas, también se encuentran en la parte media de la quebrada en su borde izquierdo.

En esta unidad de uso se incluye las áreas de cultivo en secano, riego y con sus diferentes asociaciones, ya se han matorrales, bosques o sistemas agroforestales. Estas tierras son utilizadas para el cultivo de especies anuales de corto periodo.

F. Erosión

Para definir estas áreas se ha utilizado como referencia el "Estudio de caracterización del suelo de la cuenca del río Huatanay", (Pauca Perez, 2012). Para la identificación de unidades de erosión se utilizó como referencia el documento de Mapa de Erosión de Suelos del Perú año 1999 del Ministerio de Agricultura.

A continuación se describen los procesos, las unidades y el agente de erosión en la quebrada Thuniyoc y el área de estudio. (Ver Mapa VII).



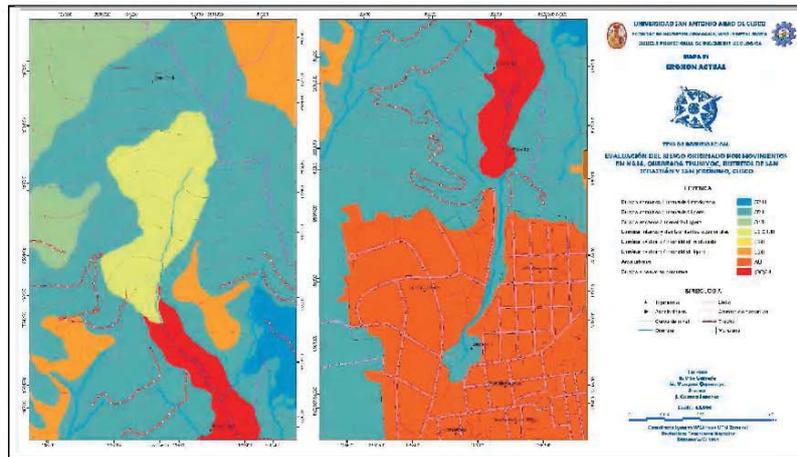


Figura 59 Mapa de Erosión.

Tabla 20 Clasificación del Parámetro de Erosión de Suelos

UNIDAD	INTENSIDAD	SIMBOLO	AGENTE	AREA (ha)	AREA (%)
Surcos comunes	Ligera / Moderada	S2/II - S2/III	Pluvial	152.24	54.86
Área Urbana		AU	Antrópico	60.41	21.77
Surcos escasos	Ligera	S1/II	Pluvial	19.24	6.93
Laminar evidente	Ligera	L2/II	Pluvial	18.25	6.58
Laminar intensa y deslizamientos ocasionales	Moderada	L3-D1/III	Pluvial	16.51	5.95
Surcos y cárcavas comunes	Ligera	(SC)2/II	Pluvial	10.86	3.91

Surcos comunes (S2/II,III)

Abarcan una superficie de 152.24 hectáreas que representan el 54.86 % de superficie total del área en estudio.

Este tipo de erosión se localiza en la mayor parte del área de estudio. En estas zonas se presentan procesos de escurrimiento concentrado en surcos, la intensidad de erosión es de ligera a moderada por presentar entre 30 a 60% del área afectada por surcos.

Área urbana

El área urbana se extiende en una superficie de 60.41 hectáreas que representan el 21.77 % de la superficie total del área en estudio.

Estas áreas se encuentran en la parte baja de la quebrada, son zonas con pendientes moderadas.

Laminar evidente (L2/II)

Abarca un área de 60.41 hectáreas que representan el 21.77 % de la superficie total del área en estudio.

Se localizan dispersos en varias zonas de la quebrada Thuniyoc, tanto en la parte noreste y la parte media en ambos márgenes.

Su intensidad de erosión es ligera y su aporte de sedimentos es escaso.

Surcos escasos (S1/II)

Abarca una superficie de 19.24 hectáreas que representan el 6.93 % de la superficie total del área en estudio.

Se localiza en la parte noroeste del área de estudio, son laderas empinadas con superficies onduladas cubiertas por pastizales naturales.

La intensidad de esta unidad de erosión es moderada, presentan un proceso de escurrimiento concentrado que forman surcos difusos no mayor a 50 cm de profundidad en sentido de la pendiente; su aporte de sedimentos va desde escasos a regulares.

Laminar intensa y deslizamientos ocasionales (L3-D1/III)

Abarcan una extensión de 16.51 hectáreas que representan el 5.95 % de la superficie total del área en estudio.

Se localizan en la parte superior de los deslizamientos que se encuentra en la quebrada Thuniyoc. Se dan ladera empinadas a muy empinadas, esta erosión se da por la ausencia de cobertura natural.

Surcos y cárcavas comunes ((SC) 2/II)

Abarcan una superficie de 10.86 hectáreas que representan el 3.91 % de la superficie total del área en estudio.

Se localizan en el eje de la quebrada Thuniyoc en ambos márgenes del cauce, donde se encuentran pendientes muy empinadas, sin vegetación. Las zonas afectadas presentan procesos de escurrimiento concentrado que forman surcos y cárcavas. La intensidad de la erosión es de ligera a severa, como fenómeno secundario se producen deslizamientos y derrumbes.

2.4.3. Parámetros de evaluación del peligro de movimientos en masa

A. Velocidad de desplazamiento

En la etapa del inventario de los movimientos en masa se ha podido identificar caídas de suelos, deslizamientos y flujos de detritos. Cada uno de ellos tiene en particular una determinada velocidad de desplazamiento dependiendo de sus factores intrínsecos. Es así que se ha tomado una escala de velocidades, los cuales se relacionan con la intensidad de los movimientos en masa, según Cruden y Varnes (1996).

Tabla 21 Escala de velocidades según Cruden y Varnes (1996)

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

Por las características de los movimientos en masa que se han identificado en campo se asumen las siguientes velocidades Caída de suelos - muy rápido, Deslizamiento traslacional - rápido - extremadamente rápido, Deslizamiento compuesto - muy rápido, Flujo - extremadamente rápido.

Para el caso particular del deslizamiento Pícol se ha considerado con una velocidad extremadamente rápida, ya que tiene una pendiente escarpada.

Así mismo para la evaluación de los flujos de detritos se ha considerado el modelo MSF que nos muestra las zonas de posible afectación.

Usando el modelo MSF para la quebrada Thuniyoc, en base a un DEM de resolución de 2 metros y una imagen satelital base de un mosaico tomado del servidor de Google Earth se tienen las siguientes áreas probables por donde el flujo recorrería y se depositaría hacia el sur y oeste del dissipador 2. Así mismo como se puede apreciar en la siguiente figura, en el medio del canal que conduce el flujo del dissipador 1 al dissipador 2, hay una tendencia de que el flujo se dirija hacia la urbanización Santa María, y esto se debe a que la topografía le es favorable.

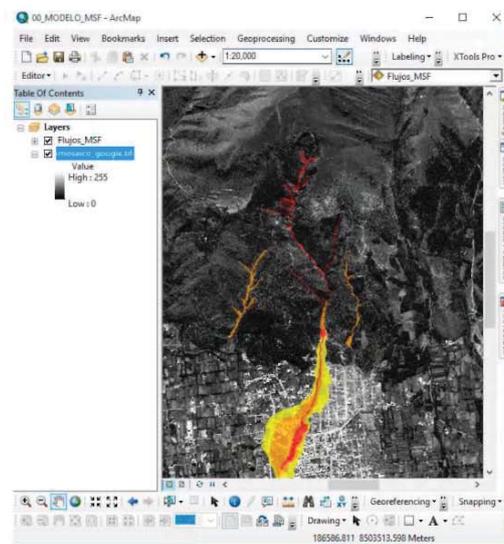


Figura 60 Modelo MSF en la quebrada Thuniyoc.

Calculo de Volúmenes

Para un escenario en el que ocurra un flujo de detritos que llegue a afectar a las viviendas en la quebrada Thuniyoc tiene que ser un escenario siguiente: 1) Intensas Precipitaciones que lleguen a saturar el suelo y provoque deslizamientos en la cabecera de la microcuenca así como en sus bordes. 2) Que haya un sismo superficial de magnitud considerable en época de lluvias.

Dicho lo anterior se ha modelado un flujo de detritos con los siguientes datos calculados a partir de estimaciones hidrológicas, hidrogeológicas, litológicas y topográficas:

- Volumen de agua disponible calculado para un tiempo de 10 minutos con una intensidad de precipitación de 56.40 mm/h.
- Volumen de deslizamiento y cauce de flujos tomados a partir de mediciones en campo y cartografiados en un SIG. Se han considerado principalmente material suelto, llámese material coluvial dentro los movimientos en masa identificados.

DESCRIPCION	VOLUMEN (m3)
AGUA	594
DESLIZAMIENTO	145,333
FLUJOS CAUCE	17,001
TOTAL	162,928

- Volumen de disipadores y canal a partir de la topografía elaborada con estación total e imágenes satelitales.

DESCRIPCION	VOLUMEN (m3)
DISIPADOR	109,200
DISIPADOR 1	13,395
CANAL	12,285
TOTAL	134,880

Por lo que el volumen de material sólido y líquido total que se estaría distribuido en terrenos que afecten a las viviendas en el sector y que los disipadores no fueran capaces de contener es de **28048 m3**.

2.4.4. Ponderación de los parámetros de evaluación del peligro de movimientos en masa

PARAMETRO	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	PESO PONDERADO: 1		
DESCRIPTORES	VD1	Extremadamente rápido	PLI1	0.503
	VD2	Muy rápido	PLI2	0.260
	VD3	Rápido	PLI3	0.134
	VD4	Moderado	PLI4	0.068
	VD5	Lento	PLI5	0.035

2.4.5. Susceptibilidad de la quebrada Thuniyoc a los movimientos en masa

A. Factores desencadenantes

Son factores que desencadenan eventos y /o sucesos asociados que pueden generar peligros en la quebrada Thuniyoc.

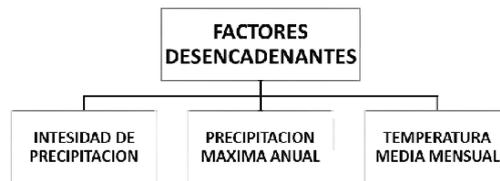


Tabla 22 Intensidad de precipitación

PARAMETRO		INTENSIDAD DE PRECIPITACION	PESO PONDERADO: 0.633	
DESCRIPTORES	IP1	Mayores a 50mm/h	PLI1	0,503
	IP2	30mm/h - 50 mm/h	PLI2	0,260
	IP3	20 mm/h - 30 mm/h	PLI3	0,134
	IP4	10 mm/h - 20mm/h	PLI4	0,068
	IP5	Menores a 10mm/h	PLI5	0,035

Tabla 23 Precipitaciones máximas anuales

PARAMETRO		PRECIPITACION MAXIMA ANUAL	PESO PONDERADO: 0.260	
DESCRIPTORES	PM1	> 1100mm	PLI1	0.503
	PM2	900mm – 1100mm	PLI2	0.260
	PM3	700mm – 900mm	PLI3	0.134
	PM4	500mm – 700mm	PLI4	0.068
	PM5	400mm – 500mm	PLI5	0.035

Tabla 24 Temperatura media mensual

PARAMETRO		TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	PESO PONDERADO: 0.106	
DESCRIPTORES	TM1	> 17.9° C	PLI1	0.503
	TM2	13.5°C -17.9°C	PLI2	0.260
	TM3	9.1°C – 13.5°C	PLI3	0.134
	TM4	4.7°C – 9.1°C	PLI4	0.068
	TM5	0.3°C – 4.7°C	PLI5	0.035

MATRIZ DE COMPARACION DE PARES

PARÁMETRO	IP	PM	TM
IP	1.00	3.00	5.00
PM	0.33	1.00	3.00
TM	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN

PARÁMETRO	IP	PM	TM	Vector Priorización
IP	0.652	0.692	0.556	0.633
PM	0.217	0.231	0.333	0.260
TM	0.130	0.077	0.111	0.106
	1.000	1.000	1.000	1.000

HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO

Resultados de la operación de matrices			Vector Suma Ponderada
0.633	0.781	0.531	1.946
0.211	0.260	0.318	0.790
0.127	0.087	0.106	0.320

HALLANDO EL λ_{max}

	Vector Suma Ponderado/Vector Priorización
	3.072
	3.033
	3.011
SUMA	9.116
PROMEDIO	3.039

ÍNDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.019
RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.04 (*)	RC	0.037

B. Factores condicionantes

Son parámetros propios de la quebrada Thuniyoc, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo de los movimientos en masa, así como su distribución espacial.

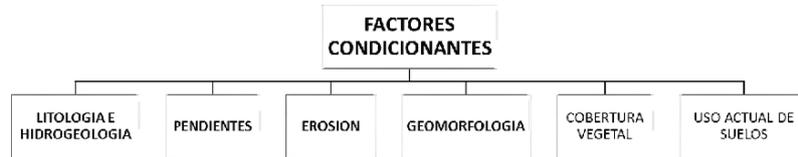


Tabla 25 Litología e hidrogeología

PARAMETRO		LITOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	PESO PONDERADO: 0.470	
DESCRIPTORES	LI1	Coluviales	PLI1	0.503
	LI2	Aluviales	PLI2	0.260
	LI3	Lutitas	PLI3	0.134
	LI4	Areniscas arcóscicas	PLI4	0.068
	LI5	Areniscas feldepáticas	PLI5	0.035

Tabla 26 Pendientes

PARAMETRO		PENDIENTES	PESO PONDERADO: 0.262	
DESCRIPTORES	PE1	> 45°	PPE1	0.503
	PE2	30° - 45°	PPE2	0.260
	PE3	20° - 30°	PPE3	0.134
	PE4	10° - 20°	PPE4	0.068
	PE5	0° - 10°	PPE5	0.035

Tabla 27 Erosión

PARAMETRO		EROSION	PESO PONDERADO: 0.147	
DESCRIPTORES	ES1	Laminar intensa, deslizamientos ocasionales, surcos y cárcavas comunes	PES1	0.503
	ES2	Surcos comunes	PES2	0.260
	ES3	Surcos escasos	PES3	0.134
	ES4	Laminar evidente	PES4	0.068
	ES5	Area Urbana	PES5	0.035

Tabla 28 Geomorfología

PARAMETRO		GEOMORFOLOGIA	PESO PONDERADO: 0.082	
DESCRIPTORES	GO1	Laderas escarpadas	PGO1	0.503
	GO2	Laderas medias y suaves	PGO2	0.260
	GO3	Terraza aluvial	PGO3	0.134
	GO4	Plataforma estructural	PGO4	0.068
	GO5	Cono aluvial	PGO5	0.035

Tabla 29 Cobertura Vegetal

PARAMETRO	COBERTURA VEGETAL	PESO PONDERADO: 0.039		
DESCRIPTORES	CV1	Area sin vegetación	PCV1	0.503
	CV2	Pajonal y césped de puna	PCV2	0.260
	CV3	Roquedal con pajonal de puna	PCV3	0.134
		Area de cultivo en secano		
	CV4	Matorral inerme asociado con cultivo en secano	PCV4	0.068
		Matorral ralo inerme		
		Bosque de estrato bajo ralo de chachacomo		
	CV5	Matorral inerme asociado con plantaciones de eucalipto	PCV5	0.035
		Bosque de estrato medio ralo de eucalipto		
		Bosque de estrato medio denso de eucalipto		
	Area de ocupación urbana			
	Área de cultivo con riego y agroforestería			

Tabla 30 Uso Actual de Suelos

PARAMETRO	USO ACTUAL DE SUELO	PESO PONDERADO: 0.026		
DESCRIPTORES	US1	Otros usos	PUS1	0.503
	US2	Uso agrícola	PUS2	0.260
	US3	Uso pecuario	PUS3	0.134
	US4	Uso forestal	PUS4	0.068
	US5	Uso de ocupación urbano-rural	PUS5	0.035

MATRIZ DE COMPARACION DE PARES

PARAMETRO	LI	PE	ES	GO	CV	US
LI	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	10.00
PE	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
ES	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
GO	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
CV	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
US	0.10	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	33.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04	0.03

MATRIZ DE NORMALIZACION

PARAMETRO	LI	PE	ES	GO	CV	US	Vector Priorización
LI	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.303	0.470
PE	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.273	0.262
ES	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.212	0.147
GO	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.152	0.082

CV	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.061	0.039
US	0.056	0.024	0.015	0.012	0.020	0.030	0.026

HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO

Resultados de la operación de matrices							Vector Suma Ponderada
0.470	0.787	0.737	0.572	0.352	0.262	3.179	
0.157	0.262	0.442	0.409	0.274	0.236	1.779	
0.094	0.087	0.147	0.245	0.196	0.183	0.953	
0.067	0.052	0.049	0.082	0.117	0.131	0.499	
0.052	0.037	0.029	0.027	0.039	0.052	0.238	
0.047	0.029	0.021	0.016	0.020	0.026	0.159	

HALLANDO EL λ_{max}

	Vector Suma Ponderado / Vector Priorización
	6.771
	6.782
	6.469
	6.102
	6.081
	6.077
SUMA	38.283
PROMEDIO	6.380

INDICE DE CONSISTENCIA
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)

IC	0.076
RC	0.061

2.4.6. Mapa de Susceptibilidad a los movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc

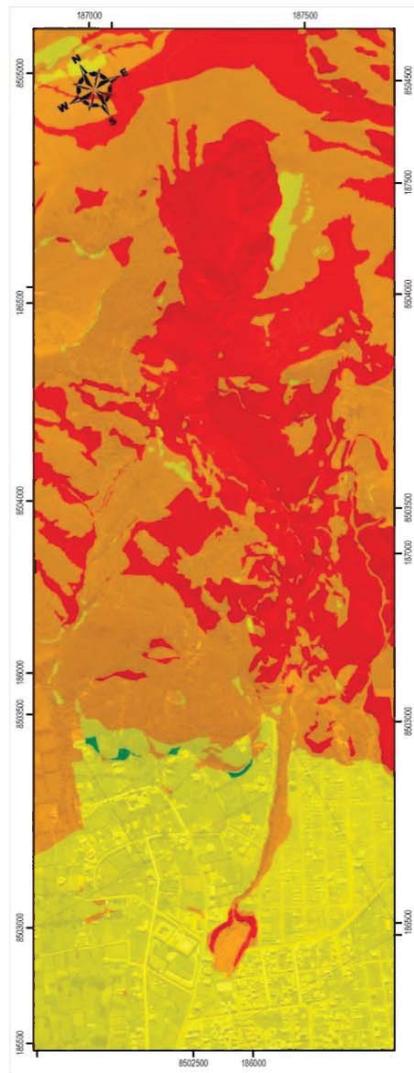


Figura 61 Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa

Para el presente mapa de susceptibilidad se ha considerado factores condicionantes y desencadenantes, como se puede ver en la Figura 61.

Las zonas de muy alta susceptibilidad son de color rojo y representan zonas en las que se encuentran suelos coluviales o zonas en las que las areniscas o lutitas se encuentran muy alteradas y fracturadas, de fuertes pendientes y fácilmente erosionables.

Las zonas de susceptibilidad alta comprenden sectores con rocas altamente alteradas y fracturadas, de pendientes fuertes, y suelos erosionables, así mismo como se muestra en la figura, en estas áreas se encuentran los disipadores y el canal que conduce a ambos.

Las zonas de susceptibilidad media, se encuentra en todo el área de suelo aluvial, con pendientes medias a bajas, y donde se asentó la población.

2.4.7. Estratificación del nivel de peligrosidad



Para determinar los niveles de peligrosidad se tomaron en cuenta los parámetros de evaluación del fenómeno, la determinación de la trayectoria de flujos de detritos en la quebrada hallado por medio del Modelo de Flujo de Dirección Única Modificado (MSF), y la susceptibilidad con los factores condicionantes y desencadenantes.

En los parámetros para la evaluación de la susceptibilidad se ha considerado la litología, pendientes, erosión, geomorfología, cobertura vegetal y uso actual de suelos. Y para la evaluación del fenómeno se usó el modelamiento MSF, considerando la trayectoria y zonas probables de afectación y velocidad del movimiento en masa.

Cada parámetro considera 5 descriptores, los cuales tienen sus propios pesos detallados en tablas anteriores.

A continuación se muestra el procedimiento del cálculo para el mapa de peligros.

Paso 1: Se determinan los parámetros de evaluación de susceptibilidad y sus respectivos descriptores. Y se calcula el valor del peso para la evaluación del fenómeno.

$$\sum_{i=1}^n \text{Parámetro} \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

Paso 2: Se analiza la susceptibilidad a movimientos en masa. Se consideran los factores condicionantes y desencadenantes.

$$\sum_{i=1}^n \text{Parámetro} \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

FACTORES CONDICIONANTES	Litología e Hidrogeología	Parámetro	0.470	
		Descriptor	0.260	
	Pendiente	Parámetro	0.262	
		Descriptor	0.503	
	Erosión	Parámetro	0.147	
		Descriptor	0.035	
	Geomorfología	Parámetro	0.082	
		Descriptor	0.260	
	CV	Parámetro	0.039	
		Descriptor	0.503	
	UAS	Parámetro	0.026	
		Descriptor	0.134	
	Valor		0.304	

FACTORES DESENCADENANTES	Intensidad de precipitación	Parámetro	0.558	
		Descriptor	0.260	
	Precipitación máxima anual	Parámetro	0.263	
		Descriptor	0.503	
	Magnitud del sismo	Parámetro	0.122	
		Descriptor	0.035	
	Aceleración sísmica	Parámetro	0.057	
		Descriptor	0.260	
	Valor		0.296	

Paso 3: La susceptibilidad se obtiene al sumar los valores de los factores condicionantes y desencadenantes.

$$Fac\ Condicionantes * Peso + Fac\ Desencadenante * Peso = Valor$$

Susceptibilidad				
Factor Condicionante		Factor desencadenante		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.134	0.50	0.035	0.50	0.085

Paso 4: El valor de peligrosidad se obtiene de la siguiente forma.

$$Susceptibilidad * Peso + Fenómeno * Peso = Peligro$$

Peligro				
Susceptibilidad		Fenómeno		Valor
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.367	0.260	0.633	0.503	0.477

Estos valores han sido calculados mediante métodos SIG en el software ArcGIS 10.1, en todo el área de estudio. Por consiguiente se pudo estratificar los peligros teniendo así la siguiente tabla:

Tabla 31 Estratificación del peligro en la quebrada Thuniyoc.

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
PELIGRO MUY ALTO	Se ubica principalmente en la quebrada Thuniyoc y sus afluentes. Zonas conformadas por depósitos coluviales y aluviales con pendientes mayores a 45°, con erosión laminar intensa, deslizamientos ocasionales, surcos y cárcavas comunes, laderas escarpadas, áreas sin vegetación, y zonas con uso urbano, de recreación y sin uso. Estas áreas de peligro muy alto representan el 5.22% de la superficie total del área de estudio.	$0.260 < R \leq 0.503$
PELIGRO ALTO	Zonas contiguas a las quebradas, zonas conformadas por suelos coluviales, aluviales y lutitas, con pendientes entre 20° a 45°, con erosión en surcos comunes y escasos, de laderas medias y suaves, en pajonales, césped de puna, roquedales, áreas de cultivo en secano, matorral inerme asociado con cultivo en seca, matorral ralo inerme y bosques de estrato bajo ralo de chachacomo, con uso de suelo forestal, agrícola y urbano. Estas áreas de peligro alto representan el 34.77% del total de la superficie del área de estudio.	$0.134 < R \leq 0.260$
PELIGRO MEDIO	Zonas rocosas compuestas por areniscas y en la parte baja de la quebrada por coluviales, pendientes que varían entre 10° a 30°, con erosión en surcos escasos y laminar evidente, zonas de terrazas aluvial y plataforma estructural, con vegetación de matorral inerme asociado con plantaciones bosques de estrato medio ralo y medio denso de eucalipto, de uso forestal, y ocupación urbano-rural. Estas áreas de peligro medio representan el 45.51% del total de superficie del área de estudio.	$0.068 < R \leq 0.134$
PELIGRO BAJO	Zonas compuestas por suelos aluviales en la parte baja de la quebrada Thuniyoc, con pendientes de 0° a 20°, con escasa erosión, ubicado en el cono aluvial, y de ocupación urbana. Estas áreas de peligro bajo representan el 14.50% del total de superficie del área de estudio.	$R \leq 0.068$

2.4.8. Mapa de peligros

Como se muestra en la Figura 62, las zonas de peligro muy alto, simbolizados por el color

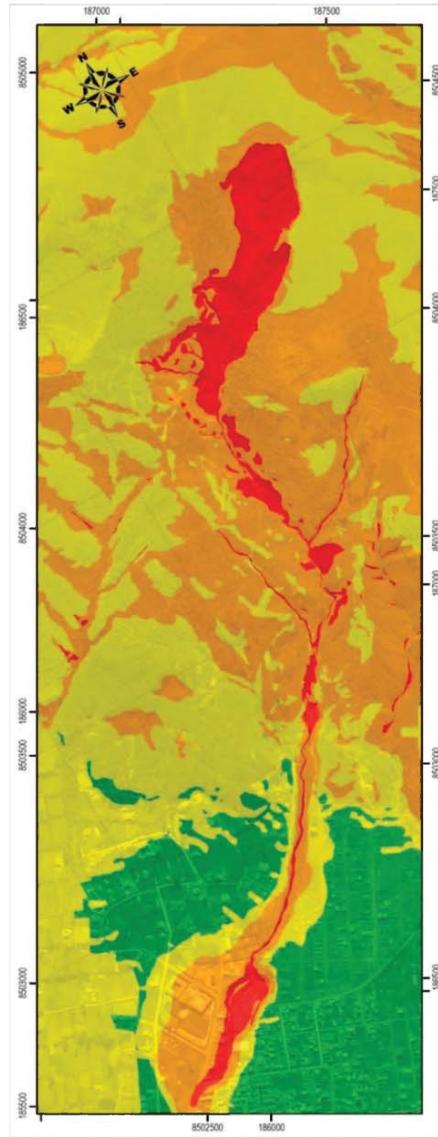


Figura 62 Mapa de peligros de la quebrada Thuniyoc.

rojo, zonas de peligro alto en color naranja, zonas de peligro medio en amarillo y zonas de peligro bajo en verde.

En la parte norte y la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc se encuentran deslizamientos que podrían activarse en un escenario de peligro de sismos superiores a VII e intensidades de precipitación mayores a 50mm/h así como precipitaciones máximas anuales que lleguen a superar los 1100mm anuales.

Los deslizamientos y los otros movimientos en masa de la quebrada Thuniyoc, tienen un volumen total estimado de 162,334 m³. Y un volumen de agua total de 594m³.

Considerando el total de material y agua que es de 162,928 m³ que llegaría como flujo de detritos hacia la población dependiendo del nivel de este se consideran las siguientes alturas distribuido por el nivel de peligro. Para el nivel muy alto, se tienen alturas de 1.35 m, para el nivel alto se tiene 0.33 m. y para el nivel medio 0.15 m.

2.5. ANALISIS DE VULNERABILIDAD

2.5.1. Modelo, escala y variables elegidas

Siendo la vulnerabilidad la susceptibilidad de la población o estructura física de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza, se ha analizado parámetros que permitan definir el grado de vulnerabilidad en la zona de estudio. La presentación de los mapas de vulnerabilidad de realizaron en una escala 1:2,500 usando curvas de nivel con un intervalo de 1 metro.

El modelo usado para el análisis de vulnerabilidad es del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas L. Satty. (Ver ítem 2.4.1.). Los parámetros usados son descritos a continuación.

2.5.2. Parámetros de evaluación de la vulnerabilidad



A. Localización de la edificación

Está referido en relación al lugar donde se ubican respecto al peligro, que en este caso para las zonas de población son los flujos de detritos que en su mayor parte se depositan en los disipadores.

De las 597 viviendas, entre 462 se encuentran alejadas, 105 medianamente cerca, 24 cerca y 6 viviendas muy cercanas al peligro.





Figura 63 Imagen Satelital de agosto del 2002 (Google Earth)



Figura 64 Imagen Satelital de setiembre del 2015 (Google Earth)

La explosión demográfica tan solo entre los años de 2002 y 2015 (como se aprecian en las anteriores figuras), hizo que la población se asentó en zonas de peligro; en el área de estudio, con este crecimiento urbano, la población se asentó muy próximo al dissipador 2 y al canal que conducen los flujos que bajan de la quebrada Thuniyoc, se construyeron viviendas y una loza deportiva. Además que se la APV

Huaynapicol, retiró árboles de eucalipto de las laderas para poder asentarse en estos lugares, aumentando el grado vulnerabilidad y su exposición al peligro.

B. Material de construcción de la edificación

Se refiere al material con el que se ha construido la edificación, depende de estos materiales la resistencia que llega a tener la edificación frente al peligro del flujo de detritos.

De las 411 viviendas, se tienen 2 viviendas de estera, 148 de adobe, 2 de madera y 259 de concreto. Como se aprecia en la siguiente figura, el 63% de viviendas son de concreto, este tipo de construcción es positivo por su comportamiento estructural respecto al adobe, reduciendo su vulnerabilidad y por consiguiente el riesgo de desastres frente a un flujo de detritos.



Figura 65 Construcción de adobe en la APV Machupicol.



Figura 66 Construcción de concreto en la APV Huaynapicol.

C. Configuración de elevación de la edificación

Se refiere a la cantidad de pisos que tiene la edificación. Se entiende que a mayor cantidad de pisos, mayor será su vulnerabilidad frente al peligro.

Se ha identificado 98 viviendas con 1 nivel de piso, 200 viviendas con 2 niveles, 81 viviendas con 3 niveles, 20 viviendas con 4 niveles, 9 viviendas con 5 niveles, 1 vivienda con 6 niveles y 2 viviendas con 8 niveles de pisos.



Figura 67 Vivienda de 5 pisos al norte de la APV Huaynapicol

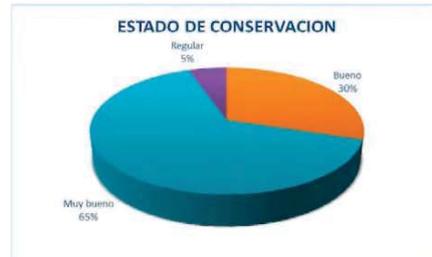


Figura 68 Vivienda de 7 pisos en la APV Machupicol

D. Estado de conservación de las edificaciones

El estado de conservación de las edificaciones está relacionado con el mantenimiento periódico que se le hace a la construcción. Entendiendo así que mientras menos conservado está la construcción más vulnerable será.

Se ha identificado 266 viviendas en muy buen estado que representan el 65% del total de edificaciones, 123 en buen estado que representan el 30% y 22 en regular estado que representan el 5%.



En general las viviendas se encuentran en buen y muy buen estado de conservación debido a que son asentamientos relativamente nuevos, como lo es la APV Huaynapicol y Machupicol. Las viviendas de la urbanización Santa María tienen en su gran mayoría muy buen estado de conservación, esto estaría relacionado al alto nivel socioeconómico que poseen.



Figura 69 Vivienda en la APV Machupicol, nótese lo deteriorado de la vivienda



Figura 70 Vivienda en la urb. Santa María, nótese que su estado de conservación es muy bueno

E. Antigüedad de construcción de la edificación

La antigüedad de la construcción está referida al año en que fue construida, entendiéndose que mientras más años de construcción tenga la edificación, mayor será su vulnerabilidad.

Se ha identificado 225 viviendas con una antigüedad de 5 a 10 años que representan el 55% del total de edificaciones, y 186 viviendas con una antigüedad entre 10 y 20 años que representan el 45% del total de edificaciones.



La antigüedad de las viviendas en la zona de estudio, en las urbanizaciones Santa María y Larapa, no superan están alrededor de 20 años, y las APV Machupicol y Huaynapicol que son de reciente construcción se encuentran entre los 10 años.



Figura 71 Vivienda con una antigüedad menor a 5 años, en la APV Machupicol



Figura 72 Viviendas con antigüedad entre 10 a 20 años.

F. Topografía del terreno

Está definido tomando en cuenta la pendiente del terreno, entendiéndose así que mientras mayor sea la pendiente mayor vulnerabilidad tendrá la construcción.

Se ha identificado 328 viviendas con pendientes que varía entre 10% a 20%, 22 viviendas ubicadas en pendientes que varían entre 20% a 30% y 7 viviendas ubicadas en pendientes que varían entre 30% a 50%.



Toda la población o en su gran mayoría se encuentran en las zonas con pendientes entre 10% y 20%, y esto es debido a que están asentadas en el cono de deyección de la quebrada Thuniyoc y de otras quebradas que han dejado materiales coluvio-aluviales en estos sectores.



Figura 73 Vista panorámica de la APV Machupicol, se puede apreciar que las pendientes son regulares entre 10 a 20%

2.5.3. Ponderación de los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad

Tabla 32 Localización de la edificación

PARAMETRO	LOCALIZACION DE LA EDIFICACION	PESO PONDERADO: 0.470		
DESCRIPTORES	LE1	Muy cercana	PLE1	0.503
	LE2	Cercana	PLE2	0.260
	LE3	Medianamente cerca	PLE3	0.134
	LE4	Alejada	PLE4	0.068
	LE5	Muy alejada	PLE5	0.035

Tabla 33 Material de construcción de la edificación

PARAMETRO		MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LA EDIFICACION	PESO PONDERADO: 0.262	
DESCRIPTORES	MC1	Calamina	PMC1	0.503
	MC2	Quincha	PMC2	0.260
	MC3	Adobe	PMC3	0.134
	MC4	Madera	PMC4	0.068
	MC5	Ladrillo o bloque de cemento	PMC5	0.035

Tabla 34 Configuración de elevación de la edificación

PARAMETRO		CONFIGURACION DE ELEVACION DE LA EDIFICACION	PESO PONDERADO: 0.147	
DESCRIPTORES	EE1	Mayor a 5 Pisos	PEE1	0.503
	EE2	4 Pisos	PEE2	0.260
	EE3	3 Pisos	PEE3	0.134
	EE4	2 Pisos	PEE4	0.068
	EE5	1 Piso	PEE5	0.035

Tabla 35 Estado de conservación de las edificaciones

PARAMETRO		ESTADO DE CONSERVACION DE LAS EDIFICACIONES	PESO PONDERADO: 0.082	
DESCRIPTORES	EC1	Muy malo	PEC1	0.503
	EC2	Malo	PEC2	0.260
	EC3	Regular	PEC3	0.134
	EC4	Bueno	PEC4	0.068
	EC5	Muy bueno	PEC5	0.035

Tabla 36 Antigüedad de construcción de las edificaciones

PARAMETRO		ANTIGÜEDAD DE CONSTRUCCION DE LA EDIFICACION	PESO PONDERADO: 0.039	
DESCRIPTORES	AC1	De 40 a 50 años	PAC1	0.503
	AC2	De 30 a 40 años	PAC2	0.260
	AC3	De 20 a 30 años	PAC3	0.134
	AC4	De 10 a 20 años	PAC4	0.068
	AC5	De 5 a 10 años	PAC5	0.035

Tabla 37 Topografía del terreno.

PARAMETRO	TOPOGRAFIA DEL TERRENO		PESO PONDERADO: 0.026	
DESCRIPTORES	TT1	50% < P < 80%	PTT1	0.503
	TT2	30% < P < 50%	PTT2	0.260
	TT3	20% < P < 30%	PTT3	0.134
	TT4	10% < P < 20%	PTT4	0.068
	TT5	P < 10%	PTT5	0.035

MATRIZ DE COMPARACION DE PARES

PARAMETRO	LE	MC	EE	EC	AC	TT
LE	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	10.00
MC	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
EE	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
EC	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
AC	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
TT	0.10	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00	33.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04	0.03

MATRIZ DE NORMALIZACION

PARAMETRO	LE	MC	EE	EC	AC	TT	Vector Priorizacion
LE	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.303	0.470
MC	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.273	0.262
EE	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.212	0.147
EC	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.152	0.082
AC	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.061	0.039
TT	0.056	0.024	0.015	0.012	0.020	0.030	0.026

HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO

Resultados de la operación de matrices							Vector Suma Ponderada
0.470	0.787	0.737	0.572	0.352	0.262		3.179
0.157	0.262	0.442	0.409	0.274	0.236		1.779
0.094	0.087	0.147	0.245	0.196	0.183		0.953
0.067	0.052	0.049	0.082	0.117	0.131		0.499
0.052	0.037	0.029	0.027	0.039	0.052		0.238
0.047	0.029	0.021	0.016	0.020	0.026		0.159

HALLANDO EL λ_{max}

	Vector Suma Ponderado / Vector Priorización
	6.771
	6.782
	6.469
	6.102
	6.081
	6.077
SUMA	38.283
PROMEDIO	6.380

INDICE DE CONSISTENCIA
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)

IC	0.076
RC	0.061

(*) Para determinar el indice aleatorio que ayuda a determinar la relación de consistencia se utilizó la tabla obtenida por Aguarón y Moreno, 2001. Donde "n" es el número de parametros en la matriz.

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

2.5.4. Estratificación del nivel de vulnerabilidad

Para determinar los niveles de vulnerabilidad de tomaron en cuenta los parámetros de localización de la edificación, material de construcción de la edificación, configuración de elevación de la edificación, estado de conservación de las edificaciones, antigüedad de la edificación y la topografía del terreno.

Cada parámetro considera 5 descriptores, los cuales tienen sus propios pesos detallados en el ítem anterior de este escrito.

El procedimiento es como sigue:

Paso 1: Se determinan los parámetros de evaluación de vulnerabilidad y sus respectivos descriptores.

$$\sum_{i=1}^n \text{Parámetro} \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor de Vulnerabilidad}$$

Parámetros de Evaluación de Vulnerabilidad	Localización de la edificación	Parámetro	0.470
		Descriptor	0.260
	Material de construcción de la edificación	Parámetro	0.262
		Descriptor	0.503
	Configuración de elevación de la edificación	Parámetro	0.147
		Descriptor	0.035
	Estado de conservación de las edificaciones	Parámetro	0.082
		Descriptor	0.260
	Antigüedad de la edificación	Parámetro	0.039
		Descriptor	0.503
	Topografía del terreno	Parámetro	0.026
		Descriptor	0.134
Valor		0.304	

Tabla 38 Estratificación del nivel de vulnerabilidad

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Viviendas localizadas muy cerca al área de peligro muy alto (disipadores y canal), con construcciones de estera, cartón, algunos de adobe y concreto, con niveles de pisos mayores a 4, con estado de conservación malo a muy malo, y antigüedad mayor a 30 años, con pendientes del terreno entre 30 y 80%. La cantidad de lotes en muy alta vulnerabilidad representa el 1% del total del área de estudio.	$0.260 < R \leq 0.503$
VULNERABILIDAD ALTA	Viviendas localizadas cerca a medianamente cerca de áreas de peligro, con construcciones de adobe, con niveles de pisos entre 3 y 4 pisos, en estado de conservación regular a mala, de antigüedad de la vivienda entre 10 y 30 años, con pendientes del terreno entre 20 y 50%. La cantidad de lotes que se encuentran en alta vulnerabilidad representa el 6% del total dentro del área de estudio.	$0.134 < R \leq 0.260$
VULNERABILIDAD MEDIA	Viviendas localizada alejada de las área de peligro, con construcciones de madera o ladrillo, con niveles de pisos entre 1 y 2, con estado de conservación bueno, antigüedad de la vivienda de 10 a 20 años, y pografía entre 10 y 20%.	$0.068 < R \leq 0.134$

	La cantidad de lotes que se encuentran en vulnerabilidad media es de 60% del total dentro del área de estudio.	
VULNERABILIDAD BAJA	Viviendas que se encuentran muy alejadas de la zona de peligro, de material de construcción de ladrillo, de un nivel de edificación, con estado de conservación muy bueno, con antigüedad de construcción entre 5 y 10 años, con una topografía del terreno menor a 10%. La cantidad de lotes que se encuentran en vulnerabilidad baja es de 33% del total dentro del área de estudio.	$R \leq 0.068$

2.5.5. Mapa de Vulnerabilidad

Los valores para obtener el nivel de vulnerabilidad han sido calculados mediante métodos SIG en el software ArcGIS 10.1, en todo el área de estudio. De los cuales se observó que 6 viviendas tienen un nivel muy alto, 24 viviendas nivel alto, 245 viviendas nivel medio y 136 viviendas nivel bajo. Por consiguiente se pudo estratificar los niveles de vulnerabilidad, teniendo así el siguiente mapa:

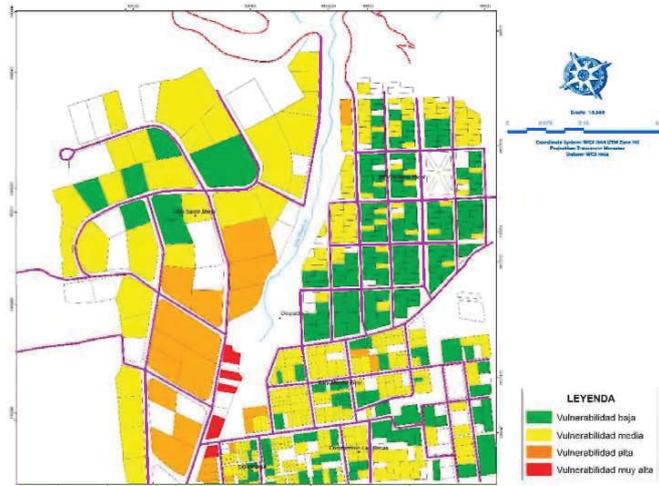


Figura 74 Mapa de vulnerabilidad física en la quebrada Thuniyoc.

2.6. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para la evaluación del riesgo se identificó y analizó el peligro al que está expuesto la población que se ubica en la quebrada Thuniyoc, así como se analizó el nivel de susceptibilidad ante movimientos en masa, luego se analizó la vulnerabilidad física de la infraestructura de viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada Thuniyoc. Por último se procede a la determinación de los niveles de riesgo.

2.6.1. Cálculo y determinación de los niveles de riesgo

La determinación de los valores de riesgo se realizó para la unidad mínima de análisis, siendo el lote para la presente tesis.

Los datos cartográficos de lotes han sido obtenidos de información catastral de la Municipalidad Distrital de San Jerónimo y de la Provincia de Cusco.

La determinación del valor de riesgo se realiza en base a la construcción de una base de datos del cual cada fila representa un lote.

El método para la determinación de los niveles de riesgo se utilizó una Matriz de Riesgo, el cual permite determinar el nivel de riesgo, sobre la base del conocimiento de la peligrosidad y de la vulnerabilidad calculada en las secciones precedentes.

Para la estratificación del nivel de riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada, para tal efecto en el eje Y estarán los niveles de peligro y en el eje X estarán los niveles de vulnerabilidades.

Tabla 39 Matriz simplificada, peligrosidad vs vulnerabilidad

PMA	0.503	0.034	0.069	0.143	0.27
PA	0.26	0.017	0.036	0.074	0.14
PM	0.134	0.009	0.018	0.038	0.072
PB	0.068	0.005	0.009	0.019	0.037
		0.067	0.138	0.284	0.537
		VB	VM	VA	VMA

CAPITULO III: RESULTADOS

Los resultados de la presente tesis de investigación permiten definir áreas de riesgo por movimientos en masa, definidos a partir del impacto que puede recibir una vivienda o infraestructura ante un flujo de detritos.

A continuación se presenta el mapa de riesgo por movimientos en masa en la quebrada Thuniyoc.

3.1. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO

Tabla 40 Estratificación del nivel de riesgo

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
RIESGO MUY ALTO	Viviendas localizadas muy cerca al área de peligro muy alto (disipadores y canal), con construcciones de estera, cartón, algunos de adobe y concreto, con niveles de pisos mayores a 4, con estado de conservación malo a muy malo, y antigüedad mayor a 30 años, con pendientes del terreno entre 30 y 80%. Se ubica principalmente en la quebrada Thuniyoc y sus afluentes. Zonas conformadas por depósitos coluviales y aluviales con pendientes mayores a 45°, con erosión laminar intensa, deslizamientos ocasionales, surcos y cárcavas comunes, laderas escarpadas, áreas sin vegetación, y zonas con uso urbano, de recreación y sin uso.	$0.068 < R \leq 0.253$
RIESGO ALTO	Viviendas localizadas cerca a medianamente cerca de áreas de peligro, con construcciones de adobe, con niveles de pisos entre 3 y 4 pisos, en estado de conservación regular a mala, de antigüedad de la vivienda entre 10 y 30 años, con pendientes del terreno entre 20 y 50%. Zonas contiguas a las quebradas, zonas conformadas por suelos coluviales, aluviales y lutitas, con pendientes entre 20° a 45°, con erosión en surcos comunes y escasos, de laderas medias y suaves, en pajonales, césped de puna, roquedales, áreas de cultivo en seco, matorral inerte asociado con cultivo	$0.018 < R \leq 0.068$

	en seca, matorral ralo inerme y bosques de estrato bajo ralo de chachacomo, con uso de suelo forestal, agrícola y urbano.	
RIESGO MEDIO	Viviendas localizada alejada de las área de peligro, con construcciones de madera o ladrillo, con niveles de pisos entre 1 y 2, con estado de conservación bueno, antigüedad de la vivienda de 10 a 20 años, y pografía entre 10 y 20%. Zonas rocosas compuestas por areniscas y en la parte baja de la quebrada por coluviales, pendientes que varían entre 10° a 30°, con erosión en surcos escasos y laminar evidente, zonas de terrazas aluvial y plataforma estructural, con vegetación de matorral inerme asociado con plantaciones bosques de estrato medio ralo y medio denso de eucalipto, de uso forestal, y ocupación urbano-rural.	$0.005 < R \leq 0.018$
RIESGO BAJO	Viviendas que se encuentran muy alejadas de la zona de peligro, de material de construcción de ladrillo, de un nivel de edificación, con estado de conservación muy bueno, con antigüedad de construcción entre 5 y 10 años, con una topografía del terreno menor a 10%. Zonas compuestas por suelos aluviales en la parte baja de la quebrada Thuniyoc, con pendientes de 0° a 20°, con escasa erosión, ubicado en el cono aluvial, y de ocupación urbana.	$0.001 < R \leq 0.005$

3.2. MAPA DE RIESGO

De la evaluación del riesgo por movimientos en masa, realizado con un software SIG se observa que 6 viviendas se encuentran en niveles muy altos de riesgo, 22 viviendas con niveles altos de riesgo, 65 viviendas con niveles medios y 318 viviendas en niveles bajos.

Las viviendas con mayor afectación que se encuentran con niveles muy altos de riesgo se encuentran al oeste del disipador 02 y los de nivel alto de riesgo son zonas aledañas, en la que podrían ser afectados por el flujo de detritos con menor grado de afectación.

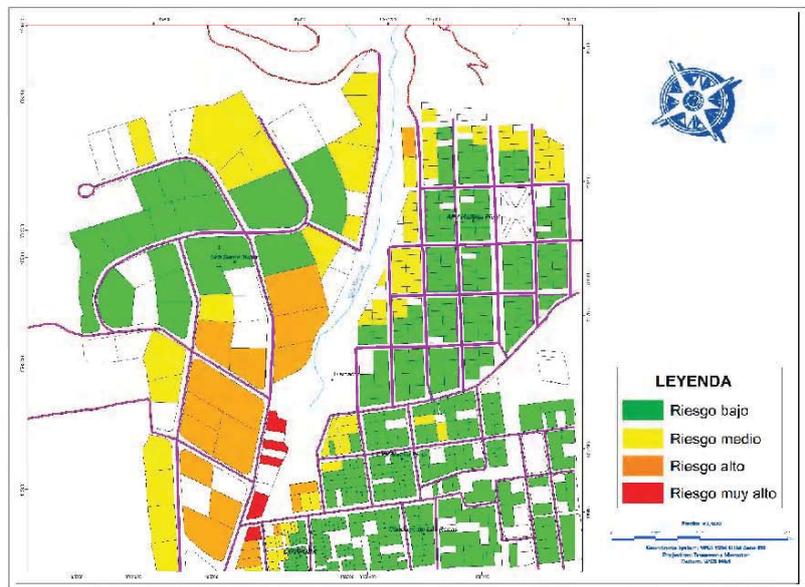


Figura 75 Mapa de Riesgo en la quebrada Thuniyoc.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Geomorfológicamente y regionalmente la zona de estudios pertenece a montañas de Cusco, y localmente la zona de estudio está dividido en 6 unidades claramente definidas las cuales son: Cono aluvial, Laderas escarpadas, Laderas medias, Laderas suaves, Plataforma estructural y Terrazas aluviales.

Geológicamente la zona de estudios está emplazada sobre rocas sedimentarias del Grupo San Jerónimo - Formación Kayra, parte basal a intermedia, las cuales son paquetes de areniscas y lutitas cuyas potencias son variables que pueden alcanzar hasta 3.00m, y en las zonas bajas de la zona de estudios se ha podido identificar suelos cuaternarios como aluviales y coluviales.

Estructuralmente la zona de estudios está alineada con la trayectoria de la falla Tambomachay, el cual es considerado como falla normal, sin embargo, dentro del contexto de la zona de estudios se evidencio la existencia de Falla Picol, 04 alineamientos en sistema NE-SO y 03 alineamientos en sistema NO-SE.

Se han realizado 03 secciones A-A', B-B' y C-C', en los cuales se muestran las deformaciones y discontinuidades locales bien demarcadas, es así que, en la sección A-A' orientada N-S, se muestra un plegamiento ligero en la parte intermedia de la línea de sección, esto se debe a la compresión del bloque superior e inferior sobre un posible bloque volcado de estratos, además se nota la falla Picol ubicado en la parte superior, seguido de la falla 01 y el alineamiento en la parte baja. En la sección B-B' orientada NE-SO, se muestran alineamientos y la falla Tambomachay, en esta sección no se ha evidenciado mayores detalles. En la sección C-C' orientada NE-SO, en el cual se aprecian, la falla Picol, falla 01 y el alineamiento ubicado en la parte inferior, todas estas estructuras se han considerado como estructuras/fallas normales, ya que el

comportamiento es propio de ello, además evidencia de ello se han identificado grietas, cuyas aperturas pueden llegar hasta los 7.00 metros de ancho.

El inventario y cartografiado de movimientos en masa son herramientas que proveen información confiable a los modelos de susceptibilidad. De estos datos se tienen que 12 movimientos en masa son los deslizamientos traslacionales, 7 son caídas de suelos, 4 son deslizamientos compuestos, 1 es deslizamiento de suelos, y 1 flujo de detritos, que tienen material suelto dispuesto a ser removidos con un volumen total de 162,334 m³.

El Modelo de Flujo de Dirección Única Modificado – Flow Direction Model (MSF) es una herramienta de bajo costo, que muestra zonas de afectación por flujos de detritos con facilidad y rapidez de trabajo. Con este modelo se identificó que las áreas más afectadas por el flujo de detritos se encuentran en su mayoría en la urbanización Santa María, área que sería de 286,191m².

El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) muestra confiabilidad y facilidad de trabajo para el procesamiento y análisis de riesgo, que se ha demostrado en el proceso para la elaboración de la presente tesis.

La susceptibilidad de movimientos en masa está relacionado al tipo de suelo o roca y a su topografía, considerando sus pendientes y relieve, se ha considerado también 6 factores condicionantes y 3 factores desencadenantes para la elaboración del mapa de susceptibilidad.

Se ha tomado en cuenta un escenario de peligro, el cual es tener un sismo superficial, activado por fallas cercanas a la zona de estudio, posiblemente la falla Tambomachay, sismo de grado VII en la escala de Mercalli, y con intensidades de precipitación mayores a 50 mm/h. Estas serían las condiciones de peligro para que un flujo de detritos fuera activado en la quebrada Thuniyoc, y sea capaz de afectar a viviendas que se encuentran en la parte baja.

Los niveles de peligrosidad por movimientos en masa muestran superficies de terreno elevados en los niveles alto y muy alto, siendo 34.77% nivel alto y 5.22 % nivel muy alto. Sin embargo gran parte de estas zonas se encuentran deshabitadas ya que se encuentran en las partes altas de la quebrada, y en la parte baja llegaría a afectar a viviendas de la urbanización Santa María y la APV Huaynapicol.

De acuerdo a los cálculos estimados de volúmenes, el flujo de detritos de la quebrada Thuniyoc, afectaría en diferente proporción, dependiendo del nivel de peligro en que se encuentre. Para el nivel muy alto, el flujo llegaría a 1.35 metros, para el nivel alto la altura es de 0.33 metros y para el nivel medio 0.15 metros.

Las viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada Thuniyoc, en su mayor parte tienen niveles de vulnerabilidad baja a media, sólo los que se encuentran muy cercanos al peligros (flujo de detritos), y que estarían muy próximos al dissipador 02, son los que estarían con niveles altos a muy altos de vulnerabilidad.

Las zonas de riesgo muy alto y alto están ubicadas cercanos a los dissipadores, las viviendas que se encuentran en estas zonas próximas, muestran signos de debilitamiento en sus paredes y estructuras, por erosión y asentamientos. Siendo 6 de estas viviendas las que estarían un nivel muy alto de riesgo, 22 en alto riesgo y 65 en riesgo medio. Las pérdidas económicas y de vidas humanas podrían verse afectados si no se toman medidas correctivas en dichas zonas.

4.2.RECOMENDACIONES

Estructurales

Construir zanjas de coronación en la cabecera de la microcuenca Thuniyoc, a fin de evitar la infiltración de aguas y la sobre saturación del suelo que podría deslizarse.

Realizar limpiezas periódicas de los disipadores 1 y 2, a fin de evitar su colmatación.

Construir un canal de evacuación de aguas de la quebrada Thuniyoc, a partir del disipador 2 hasta llegar al río Huatanay.

Reforestar las zonas que se encuentran cercanos a los disipadores y en ambos bordes del canal que los une. Estos árboles mitigarían el impacto del flujo de detritos que llegaría a producirse.

No estructurales

Realizar capacitaciones de Gestión del Riesgo de Desastres a la población expuesta directa e indirecta, haciéndoles conocer los peligros a los cuales ellos se encuentran expuestos.

Diseñar e implementar un Sistema de Alerta Temprana automatizado, con puntos de control ubicados en parte alta e intermedia fundamentalmente, y sensores que permitan la constante medición del flujo de detritos.

Señalizar las zonas de escape, y zonas seguras a fin de garantizar y salvaguardar la vida de los pobladores del lugar.

CAPITULO V: ANEXOS

4.3.ANEXO I: GRAFICOS Y MAPAS

GRAFICOS

- A. UBICACIÓN
- B. GEOMORFOLOGIA REGIONAL
- C. GEOMORFOLOGIA LOCAL
- D. GEOLOGIA REGIONAL
- E. GEOLOGIA LOCAL
- F. ESTRUCTURAL LOCAL

MAPAS

- I. INVENTARIO MM
- II. GEOMORFOLOGIA
- III. LITOLOGIA
- IV. PENDIENTES
- V. COBERTURA VEGETAL
- VI. USO ACTUAL DE SUELOS
- VII. EROSION
- VIII. SUSCEPTIBILIDAD
- IX. PELIGROS
- X. VULNERABILIDAD
- XI. RIESGOS

SECCIONES

4.4.ANEXO II: FICHAS INVENTARIO MM

4.5.ANEXO III: DATOS DE PRECIPITACION E INTESIDADES

4.6.ANEXO IV: CATALOGO SISMICO

Referencias

- Allin Puriy. (2013). *Estudio geodinámico del distrito de San Jerónimo*. San Jerónimo, Cusco.
- Ayala Carcedo, F. J. (2002). *Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera. Su naturaleza, funciones, problemática y límites*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ayala Carcedo, F. J., & Olcinas, J. (2002). *Riesgos Naturales*. Barcelona: Ariel.
- Ayala-Carcedo. (1993). Estrategias para la reducción de desastres naturales. *Investigación y Ciencia*, 6-13.
- Barredo Cano, J. I., & Gómez Delgado, M. (2006). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Alfaomega-Ra-Ma.
- Bodoque, J. y. (2005). *Resúmenes del VI Congreso Nacional de Geomorfología de España*. Santiago de Compostela. España: Sociedad Geológica de España.
- Cabrera, J. (1988). Neotectonique et sismotectonique dans la Cordillere Andine au niveau du changement de géometrie de la subduction: la région de Cusco, Pérou. *Thèse Docteur 3ème cycle, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay*, 275.
- Candia, F., & Carloto, V. (1985). Estudio geológico de la zona Huambutío-Lamay. *Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad*, 86.
- Carloto, V. (1992). Relations entre sédimentation, paléogéographie et tectonique dans la région de Cuzco (Sud du Pérou) entre le Jurassique supérieur et le Paléocène. *Mémoire DEA, Université de Grenoble*, 113.
- Carloto, V., Candia, F., & Marocco, R. (julio de 1988). Estudio geológico del anticlinal de Vilcanota, Cusco. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 137-147.
- Carloto, V., Cárdenas, J., & Carlier, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:5000. *INGEMMET, Boletín, Serie A: 138*, 258.
- Carloto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. *INGEMMET, Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional*, 65, 245.

- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., & Cerpa, L. (2005). Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. *Lima: Sociedad Geológica del Perú, Volumen Especial 6*, 103-126.
- Córdova, E. (1986). Un bassin intramontagneux andin peruvien. Les couches rouges du bassin de Cuzco (Maestrichtien-Paleocene). *Docteur du 3eme cycle, Université de Pau et des Pays de L'Adour, Laboratoire de Geodynamique des Bassins Sedimentaires, Pau*, 272.
- Corominas Dulcet, J., & García Yagué, A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, 1051-1072.
- Croizer, M. (1986). *Landslides. Causes, Consequences and environment*. London y New York: Routledge.
- Croizer, M. J., & Glade, T. (1999). Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues. *International Conference on Geomorphology*, (págs. 141-155). Bologna.
- Cruden, D. (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En *Landslides investigation and mitigation: Washington D.C.* (págs. 36-75). Turner, K. y Schuster, R.L.
- De Freitas, M., & Watters, R. (1995). Some field examples of toppling failure: Geotechnique.
- Delgado Madera, F. (2011). Evaluación ingeniero - geológica del cerro Picol, distrito de San Jerónimo - región Cusco. *INGEMMET*.
- GEMMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*.
- Gregory, H. E. (1916). A geological reconnaissance of the Cuzco valley, Peru. *American Journal of Sciences*, 1-100.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). Rock slopes engineering. En I. o. Metallurgy.

- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M., & Hutchinson, J. N. (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 22-238.
- Hutchinson, J. N. (1988). Morphological an geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *5ta International Conference on Landslides*, 3-35.
- INEI. (2007). *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*.
- Mardones, M., & Vidal, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la de Concepción. *EURE (Santiago)*, 97-122.
- Mendivil, S., & Dávila, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 52, 115.
- Moldes, F. J. (1995). *Tecnología de los sistemas de información geográfica*. Ed. RA-MA.
- MPC. (2013). Plan de desarrollo urbano de la provincia de Cusco. *Ordenanza Municipal N° 032-2013 - MPC*.
- NCGIA. (1990). Introduction to GIS. California, Santa Barbara: National Center for Geographic Information an Analysis/University of California.
- Olaya, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Quispe Condo, J. L. (2011). Estudio geodinámico y análisis del peligro y riesgo geológico en la montaña Pícol, San Jerónimo Cusco.
- Schuster, R. L. (1996). Socieconomic significance of landslides. *Landslides Investigation an Mitigation*, 129-177.
- Sharpe, C. (1938). *Landslides and related phenomena*. New Jersey: Pageant Books Inc.
- Sidele, R. C., & Ochiai, H. (2006). Landslides: processes, prediction, and land use. *Water Resources Monograph 18*.
- SINAGERD. (2011). Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. *Ley N° 29664*. Diario Oficial el Peruano.

Varnes, D. J. (1958). Landslides types and processes. *Landslides and engineering practise, Special Report 28*, 20-47.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements tupes and processes. *Landslides anaysis and control*, 9-33.

ANEXO I
GRAFICOS Y MAPAS

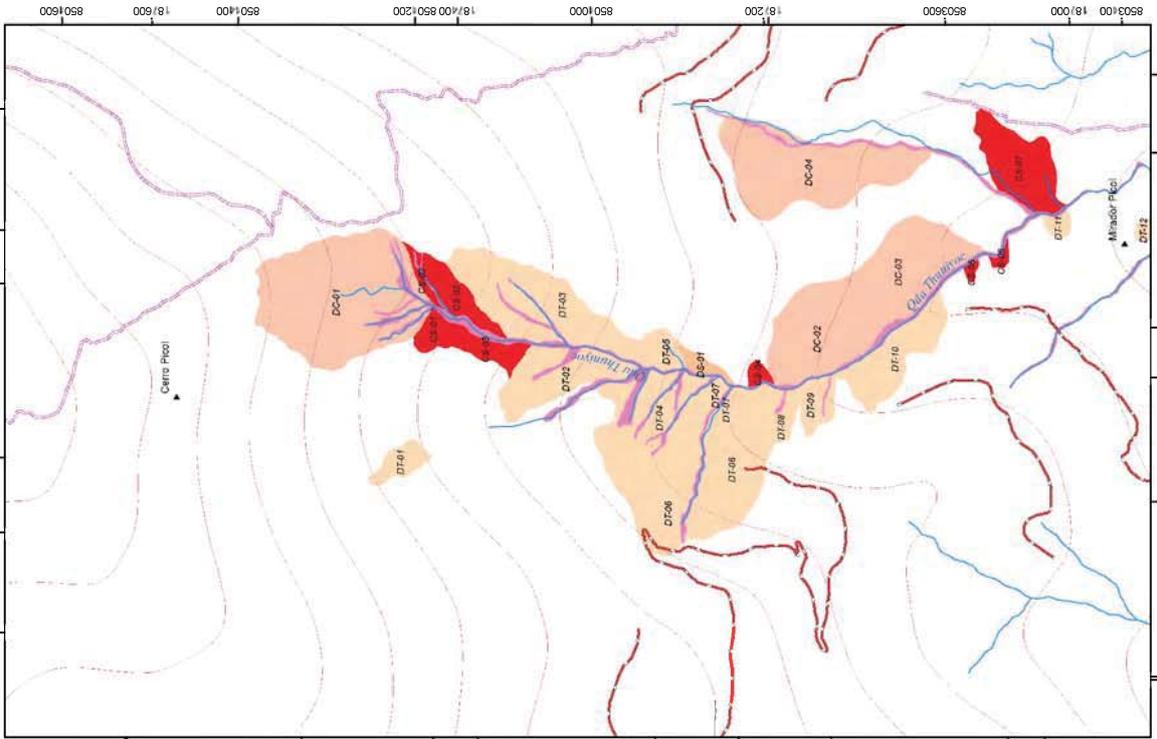
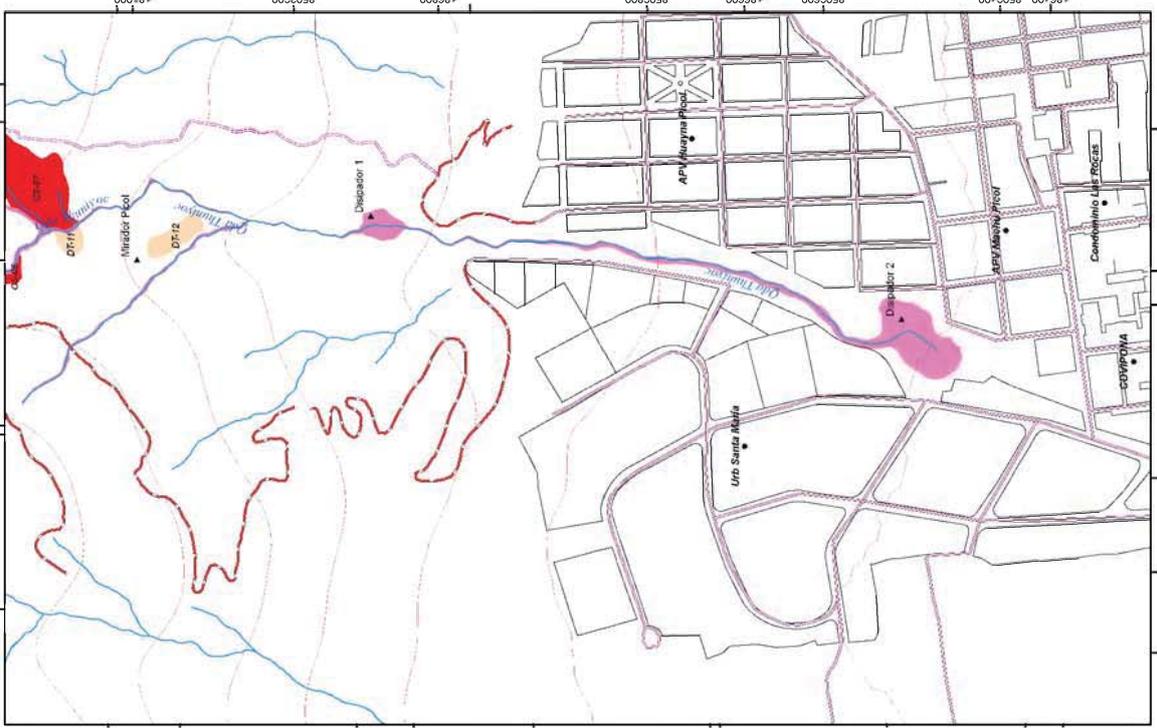


TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

- LEYENDA**
- fd Flujo de detritos
 - cs Caída de suelos
 - dc Deslizamiento compuesto
 - ds Deslizamiento de suelos
 - dt Deslizamiento traslacional

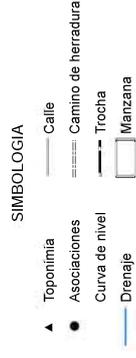
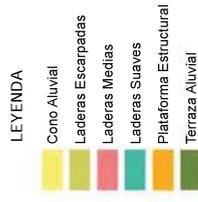
- SIMBOLOGIA**
- ▲ Toponimia
 - Asociaciones
 - Curva de nivel
 - Calle
 - Camino de herradura
 - Trocha
 - Manzana
 - Drenaje

Tecistas:
 R. Vila Carrera
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez
 Escala: 1:5,000
 0.125 0.25 0.5 Km
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

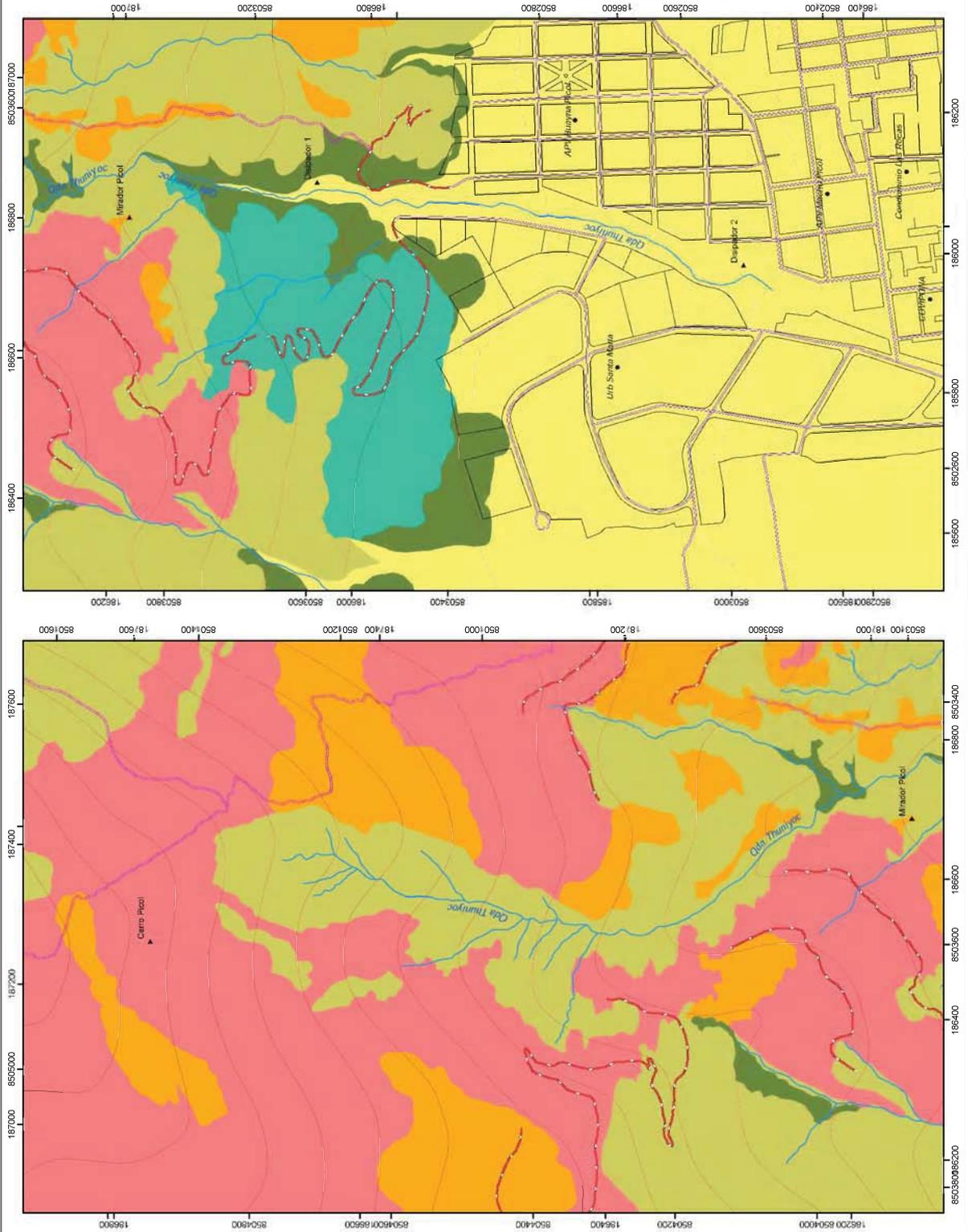




TESIS DE INVESTIGACION:
**EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
 EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN
 SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO**



Tecistas:
 R. Vila Carreña
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez
 Escala: 1:5,000
 0.125 0.25 0.5 Km
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TESIS DE INVESTIGACION:
**EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
 EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN
 SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO**

LEYENDA

- Al-q Depositos Aluviales
- Co-q Depositos Coluviales
- Lu-ky Lutitas
- Ar-ky Areniscas

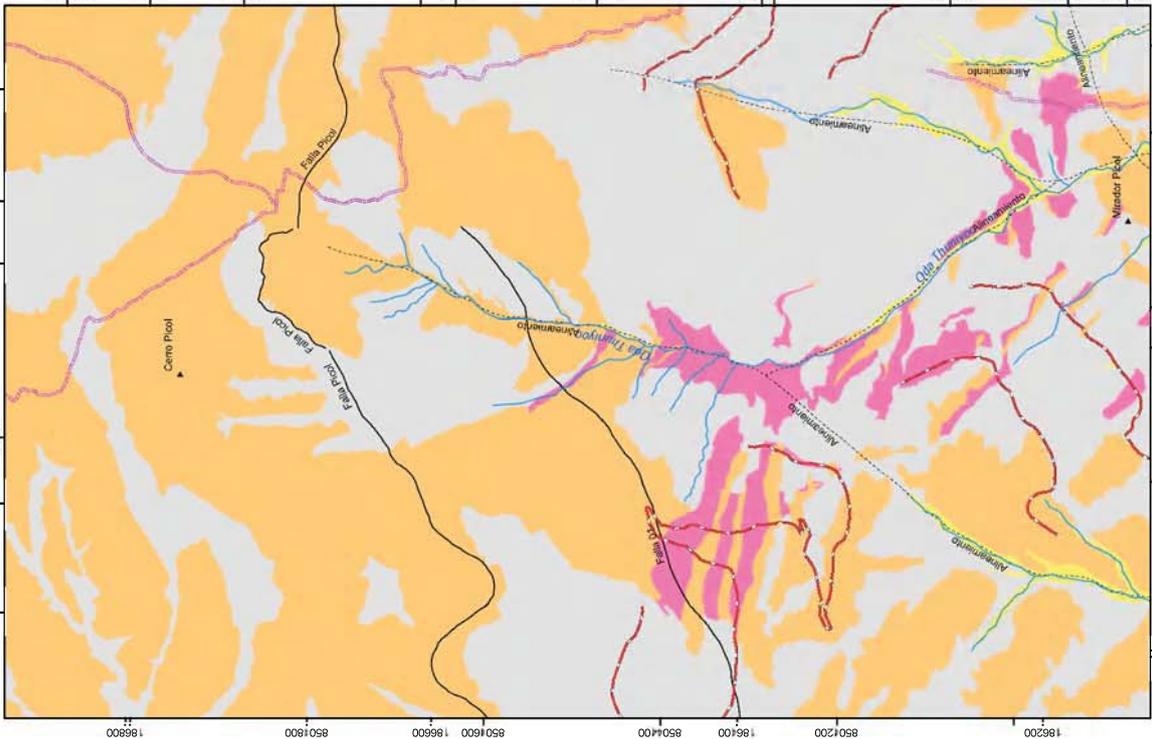
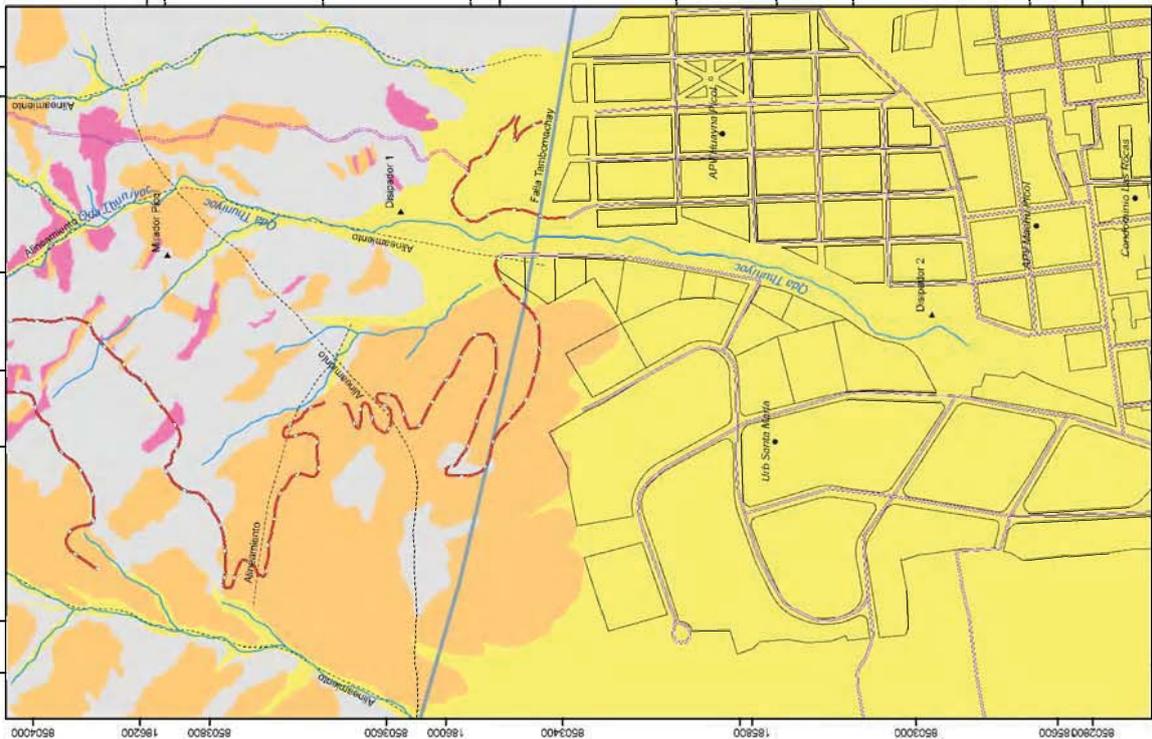
SIMBOLOGIA

- ▲ Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Alineamiento
- Falla 01
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana
- Falla Picoi
- Falla Tambomachay

Tesis por:
R. Vila Carreña
W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



MAPA IV
RANGO DE PENDIENTES



TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN
SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

LEYENDA

- Plano a ligeramente plano 0° - 10°
- Moderadamente inclinado 10° - 20°
- Moderadamente empinado 20° - 30°
- Empinado 30° - 45°
- Muy empinado > 45°

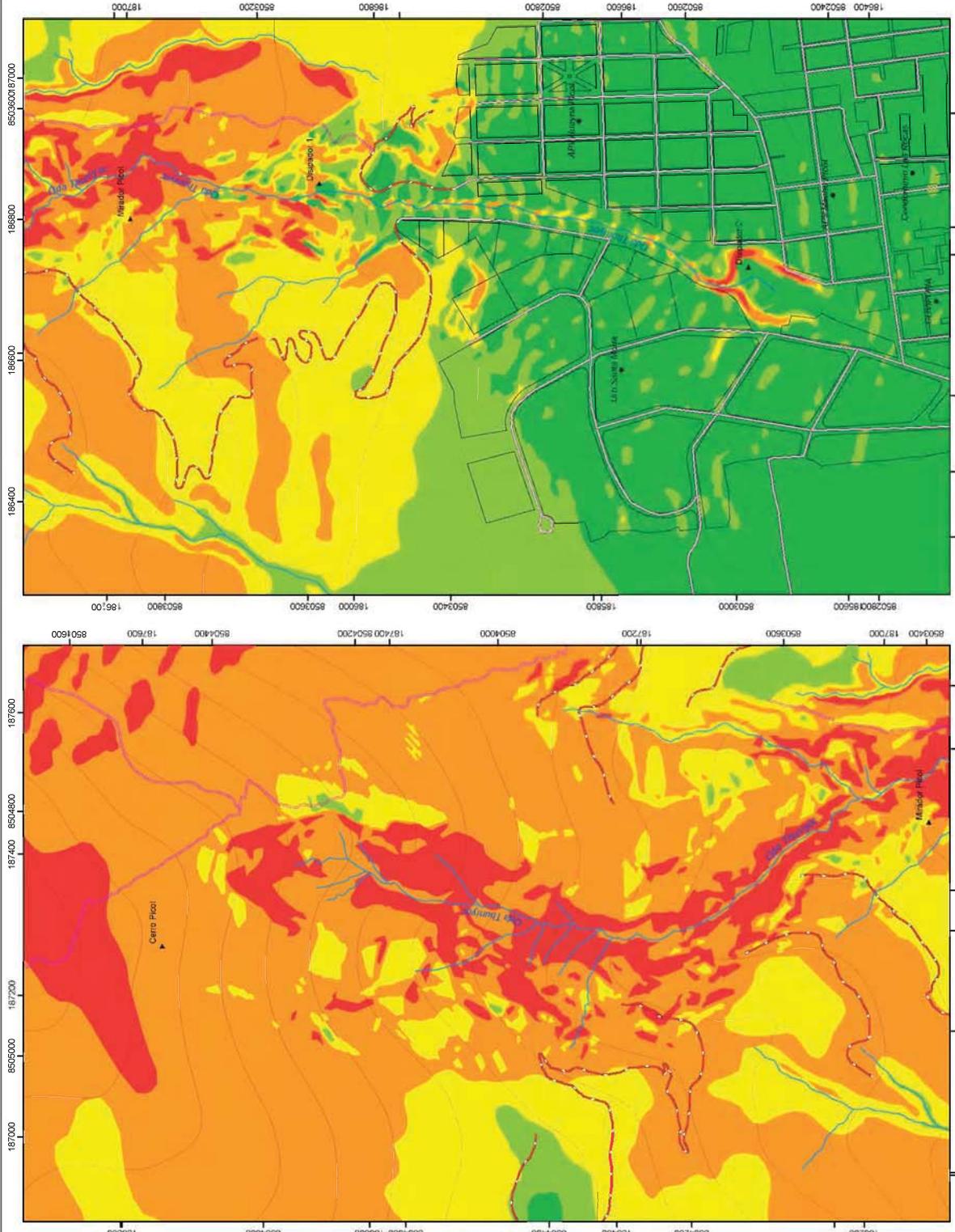
SIMBOLOGIA

- ▲ Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana

Tesis:
 R. Vila Carreña
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

LEYENDA

- Acria
 - ACS
 - AoU
 - ASV
 - Bb/C
 - Bm/E
 - Bm/E
 - Mi/Cs
 - MiPE
 - Mri
 - Pcp
 - R/yp
- Area de cultivo con riego y agroforestería
 Area de cultivo en seco
 Area de ocupación urbana
 Area sin vegetación
 Bosque de estrato bajo ralo de chaetacomo
 Bosque de estrato medio denso de eucalipto
 Bosque de estrato medio ralo de eucalipto
 Matorral inerme asociado con cultivo en seco
 Matorral inerme asociado con plantaciones de eucalipto
 Matorral ralo inerme
 Pajonal y cesped de puna
 Roquetal con pajonal de puna

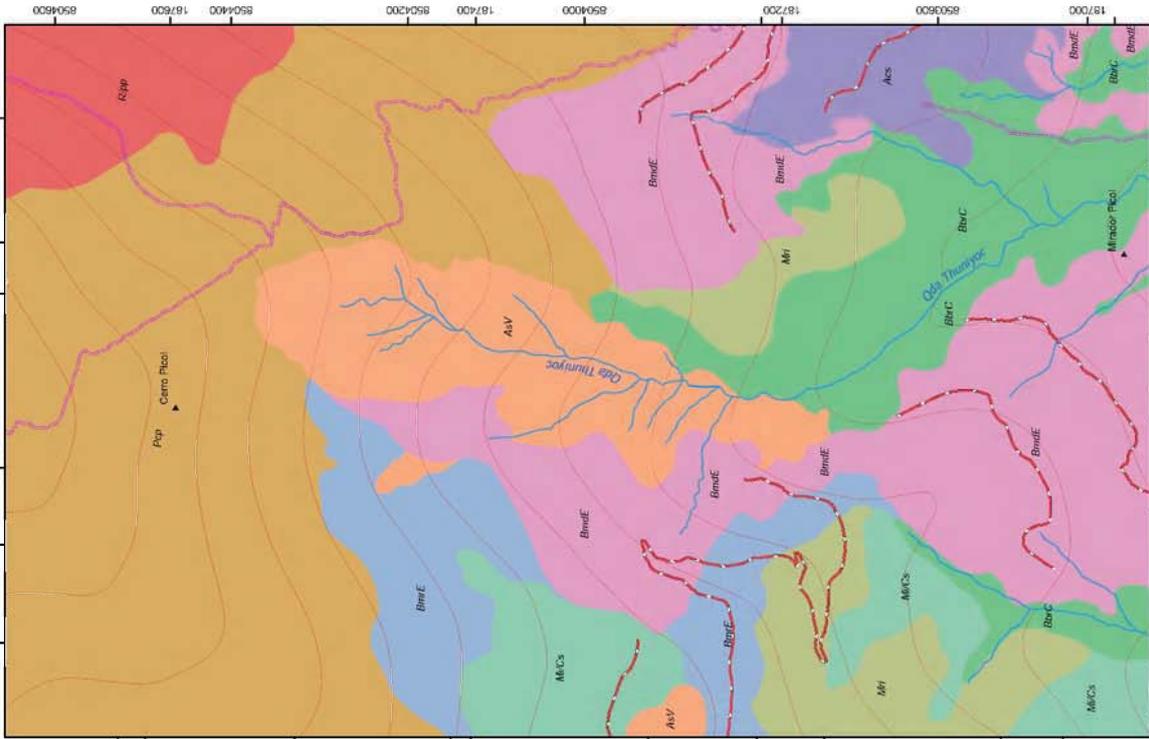
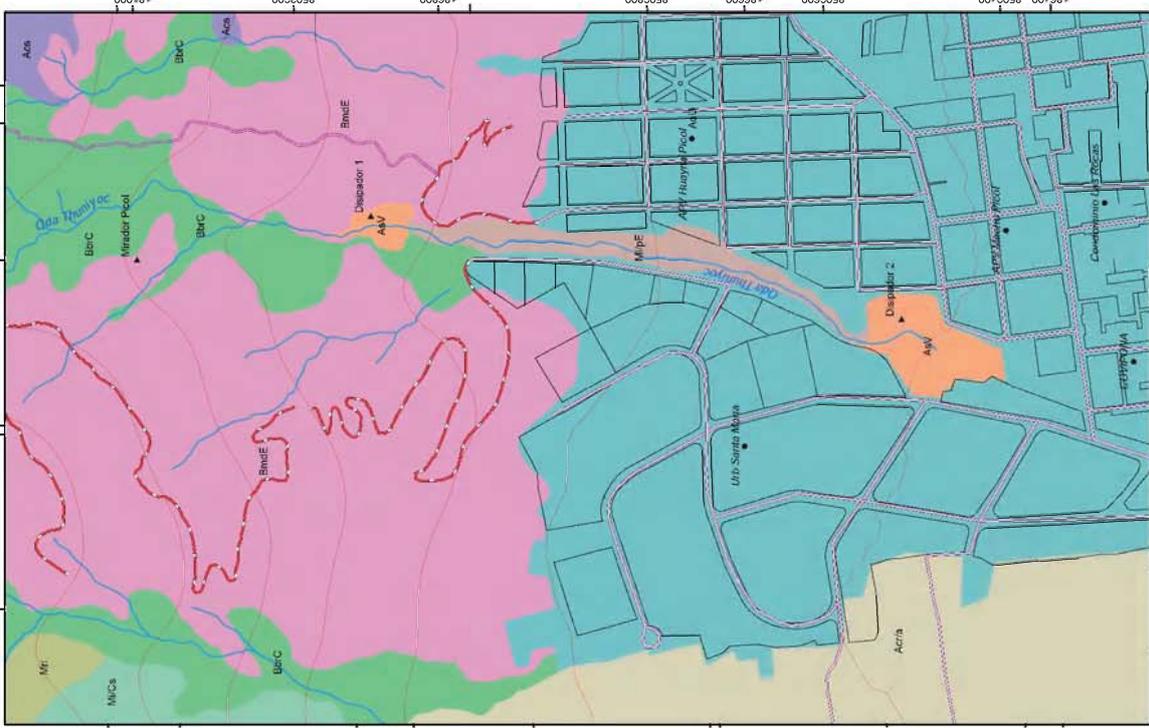
SIMBOLOGIA

- Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana

Tesis:
 R. Vila Carreña
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



MAPA VI
USO ACTUAL DE SUELOS



TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

LEYENDA

Otros usos	Ou
Uso agrícola	UAg
Uso forestal	UFo
Uso pecuario	UPe
Uso de ocupación urbano - rural	UoUR

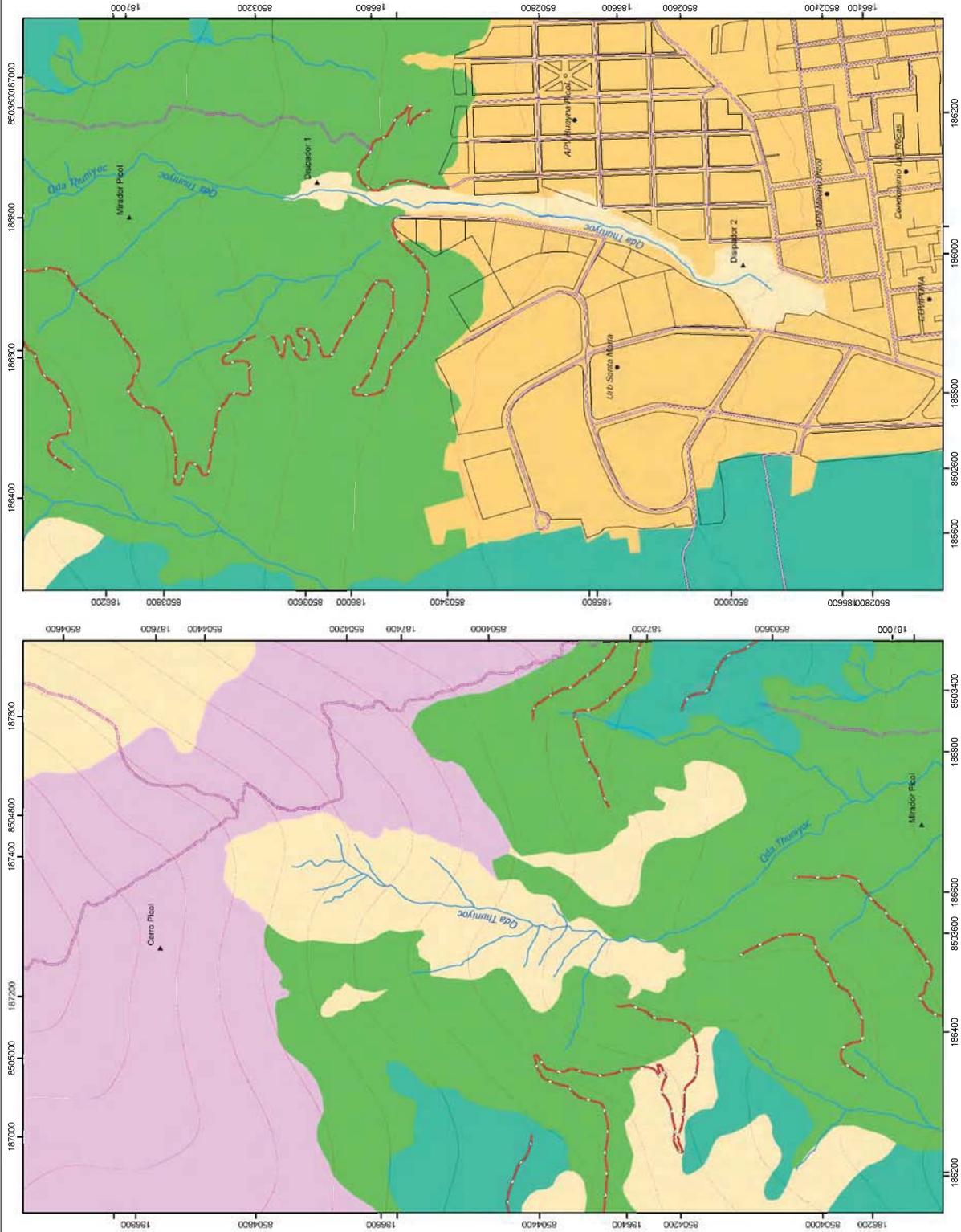
SIMBOLOGIA

▲ Toponimia	— Calle
● Asociaciones	--- Camino de herradura
— Curva de nivel	- - - Trocha
— Drenaje	□ Manzana

Tesis:
 R. Vila Carreña
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

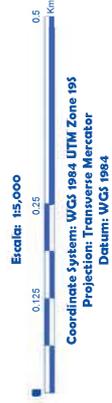
LEYENDA

- S2/III Surcos comunes / intensidad moderada
- S2/II Surcos comunes / intensidad ligera
- S1/III Surcos escasos / intensidad ligera
- L3-D1/III Laminar intensa y deslizamientos ocasionales
- L2/III Laminar evidente / intensidad moderada
- L2/II Laminar evidente / intensidad ligera
- AU Área urbana
- (SC)2/III Surcos y cárcavas comunes

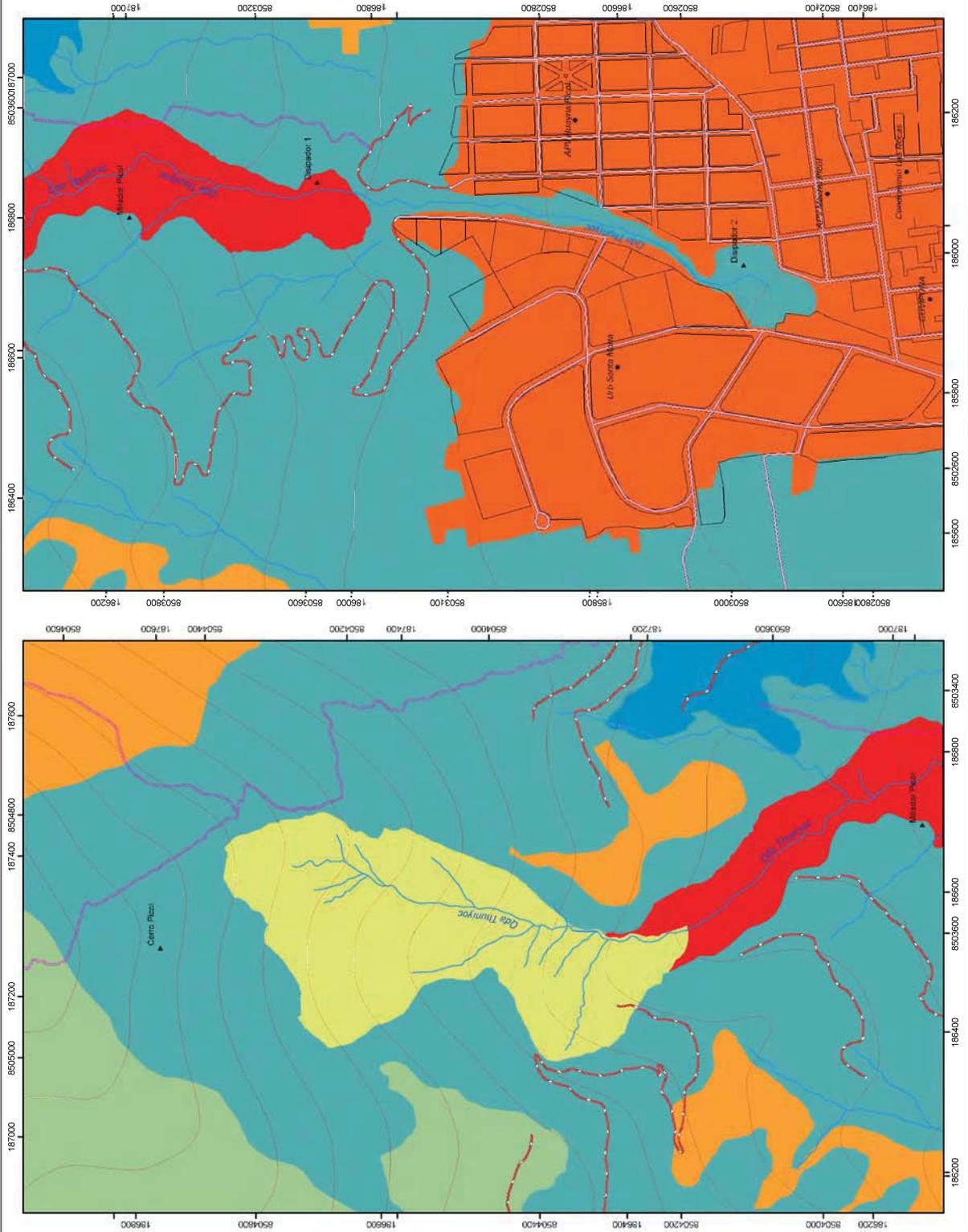
SIMBOLOGIA

- ▲ Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana

Tesis de:
R. Vila Carrera
W. Viquez Quesenaya
 Asesor:
J. Cuenca Sanchez

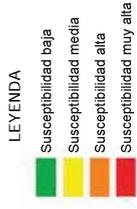


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO



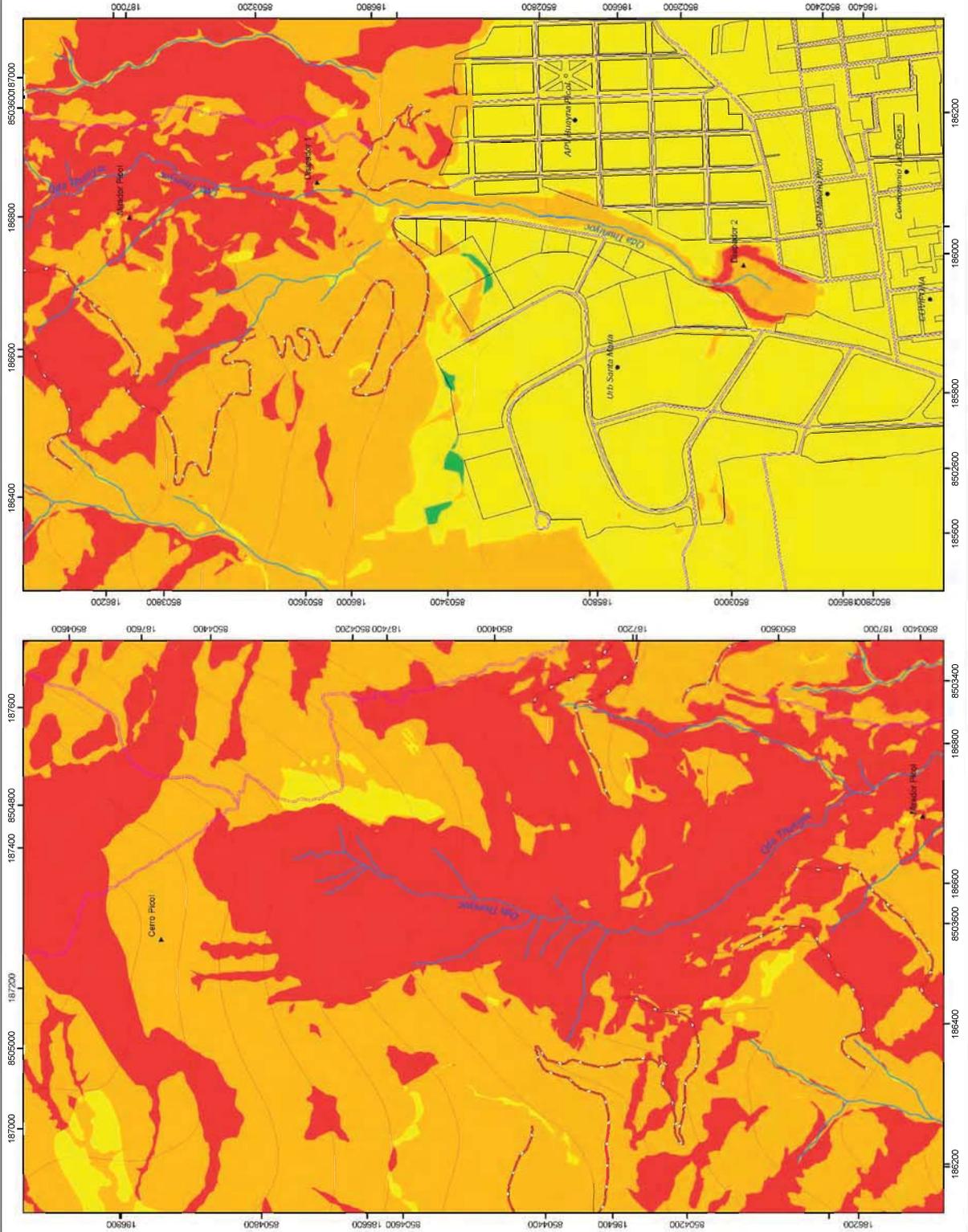
SIMBOLOGIA

- Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana

Tesis:
 R. Vila Carreña
 W. Varquez Quesenaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

- LEYENDA**
- Peligro bajo
 - Peligro medio
 - Peligro alto
 - Peligro muy alto

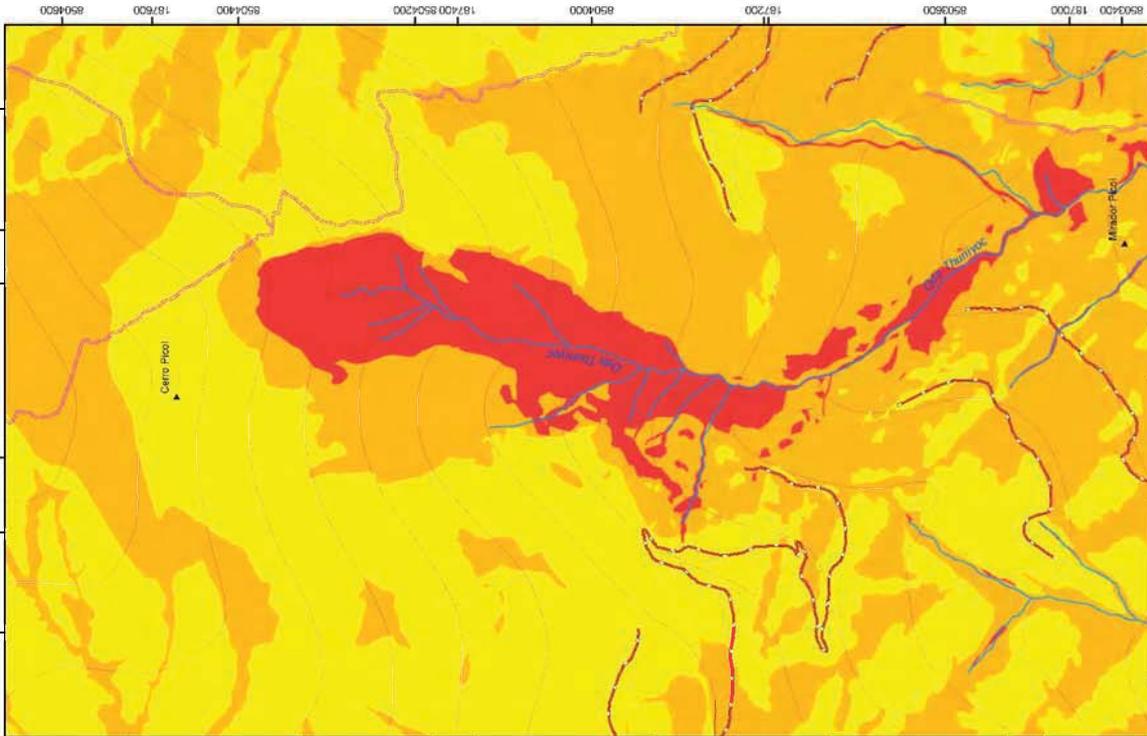
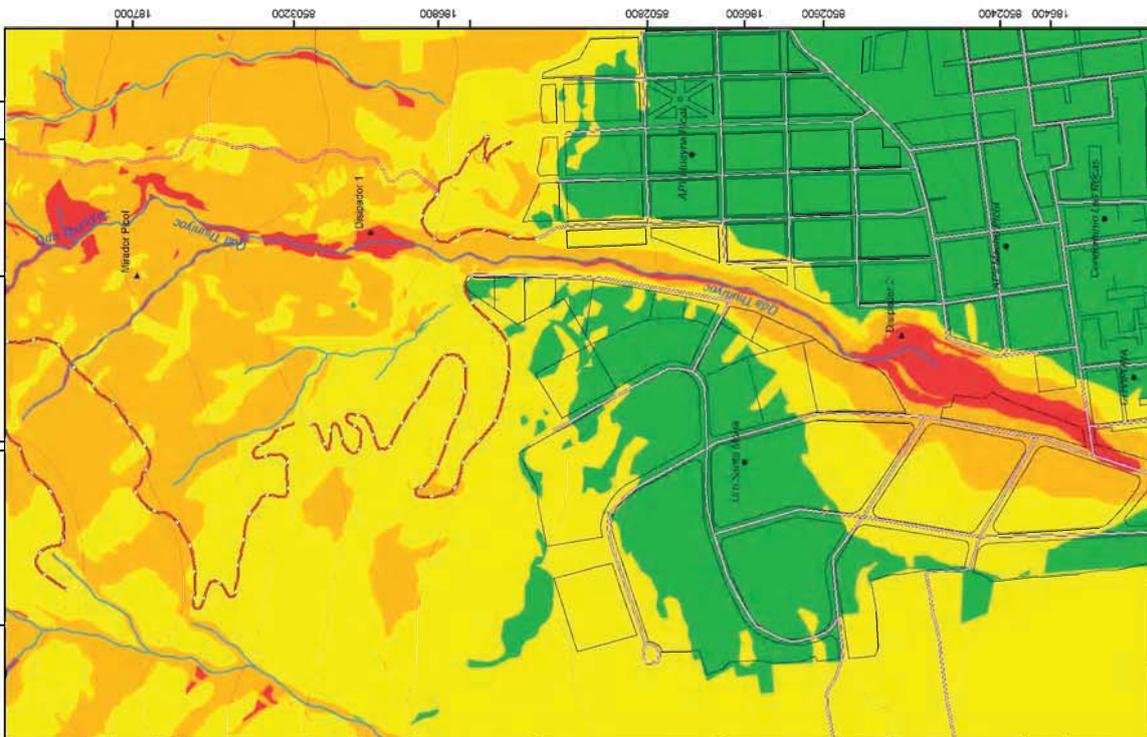
SIMBOLOGIA

- Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana

Tesis:
 R. Vila Carreña
 W. Varequez Oqueneña
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



MAPA X
VULNERABILIDAD FISICA



TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNUYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIAN Y SAN JERONIMO, CUSCO

LEYENDA

- Vulnerabilidad baja
- Vulnerabilidad media
- Vulnerabilidad alta
- Vulnerabilidad muy alta

SIMBOLOGIA

- Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Lote

Teistas:
R. Vila Carraffa
W. Vasquez Oquenanaya
Aesor:
J. Cuenca Sanchez



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984





UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



MAPA XI

RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA



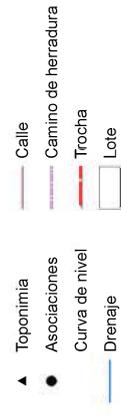
TESIS DE INVESTIGACION:

EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNUYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIAN Y SAN JERONIMO, CUSCO

LEYENDA



SIMBOLOGIA

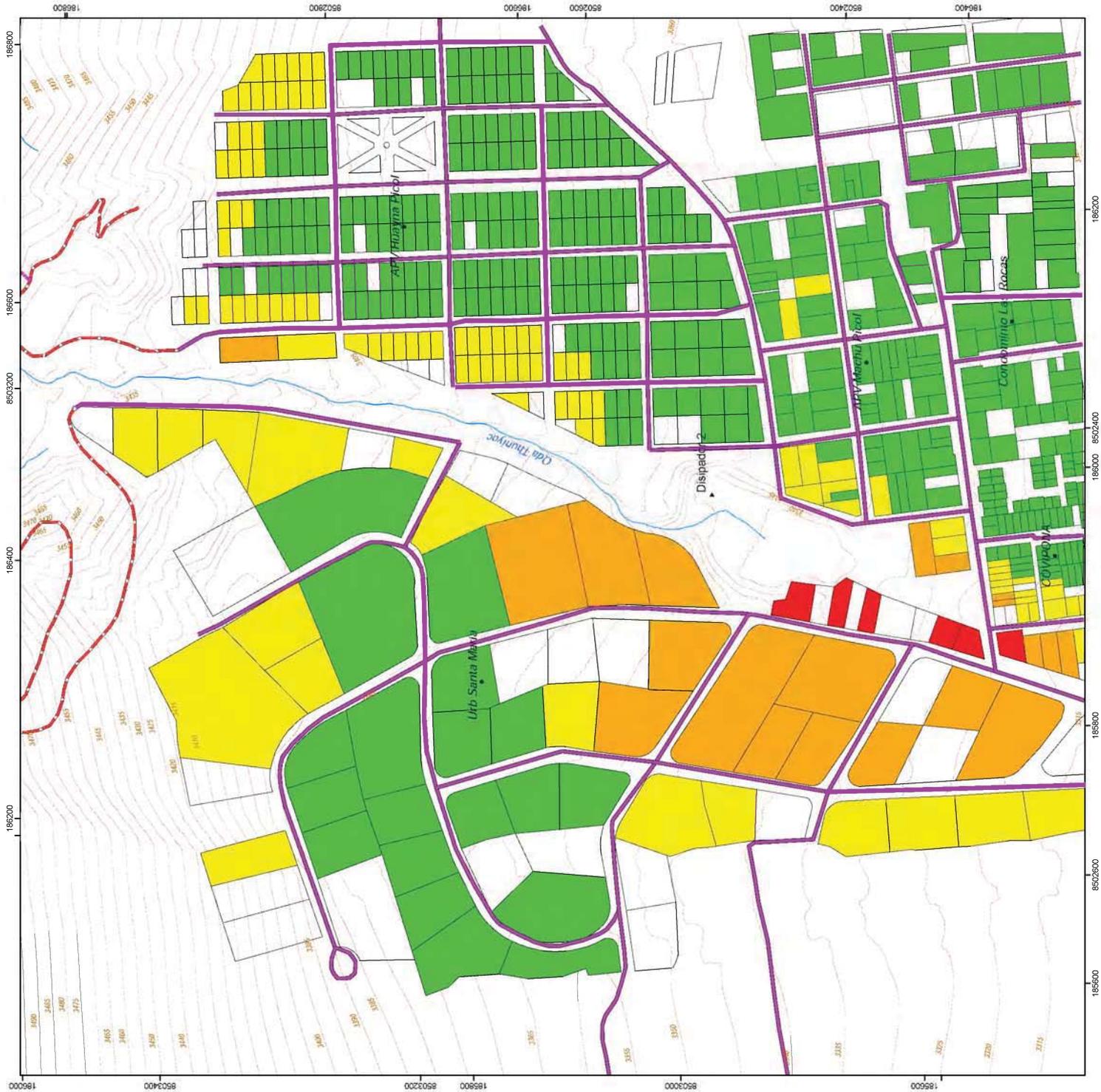


Tesisistas:
 R. Vila Carraffa
 W. Vasquez Oquenanaya
 Asesor:
 J. Cuenca Sanchez

Escala: 1:2,500



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984



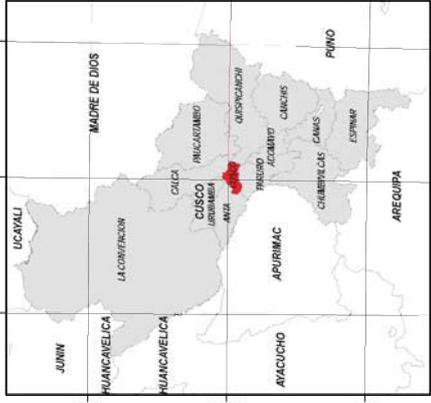
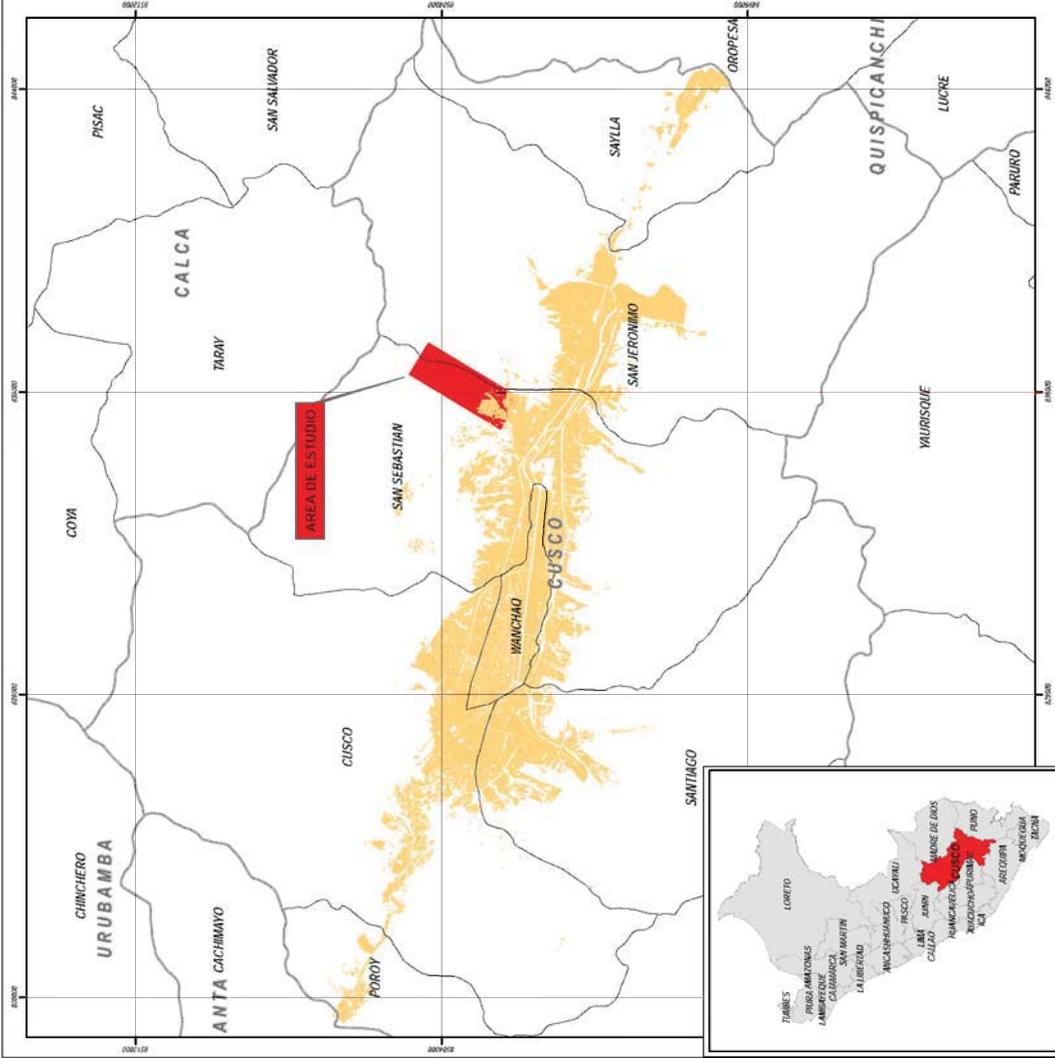


UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAAD DE CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

MAPA A
 UBICACION



TEJIS DE INVESTIGACION:
**EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
 EN MASA, QUEBRADA THUINIVOC, DISTRITOS DE SAN
 SEBASTIAN Y SAN JERONIMO, CUSCO**



Telistas: R. Villa Garrafa
 W. Vasquez Oquenyaya
 Asesor: J. Cuena Sanchez
 Escala: 1:100,000
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TEJES DE INVESTIGACION:
**EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
 EN MASA, QUEBRADA THUINIVOC, DISTRITOS DE SAN
 SEBASTIAN Y SAN JERONIMO, CUSCO**

LEYENDA

- Altiplanicies
- Montañas del Cusco
- Serranías de Vilcabamba
- Valle del Huatamayo - Depresión del Cusco

SIMBOLOGIA

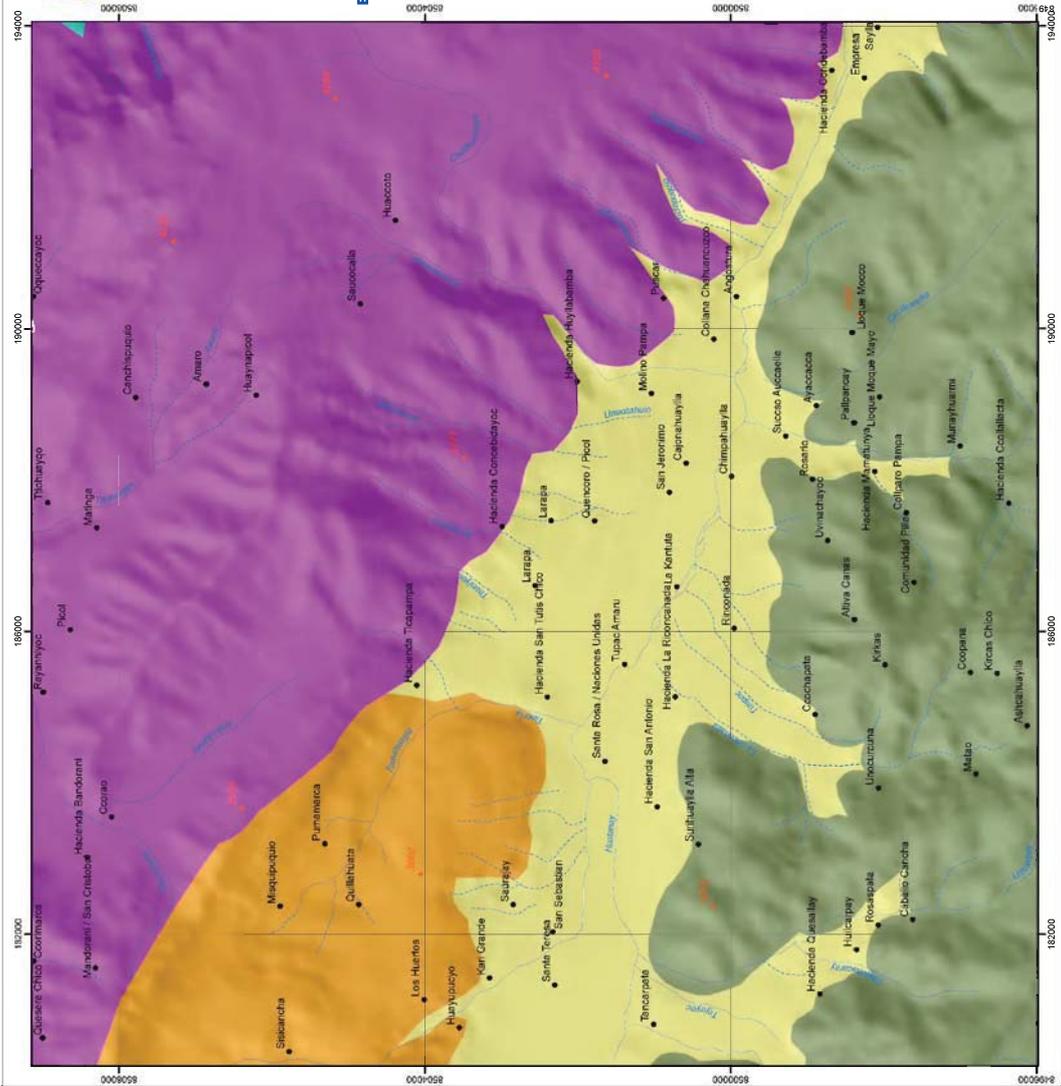
- Cota
- Centro poblado
- Quebrada
- Río

Tejistas: R. Villa Garrafa
 W. Vasquez Quienaya
 Asesor: J. Cuenca Sanchez

Escala: 1:50,000

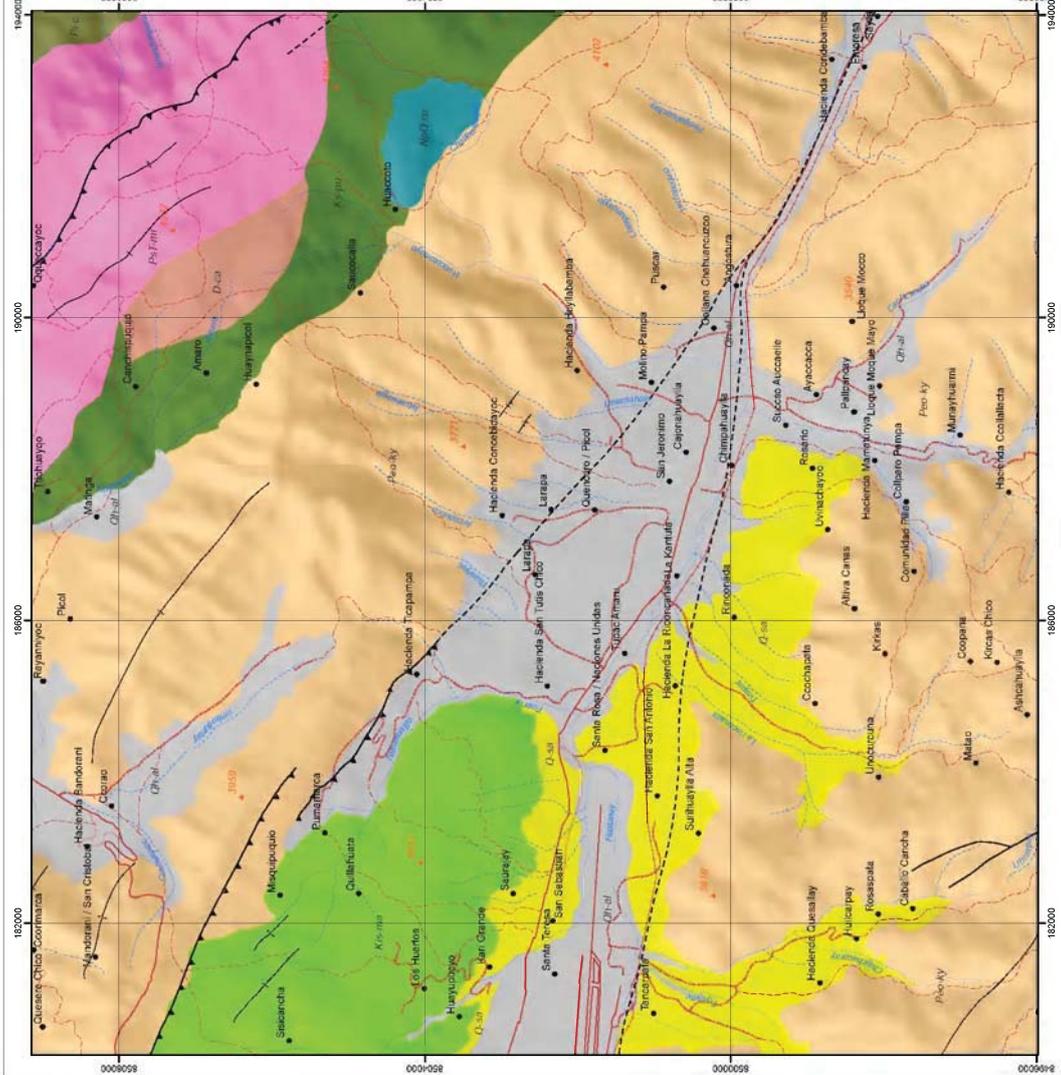


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





TEJES DE INVESTIGACION:
**EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS
 EN MASA, QUEBRADA THINUYOC, DISTRITOS DE SAN
 SEBASTIAN Y SAN JERONIMO, CUSCO**



LEYENDA

SISTEMA	FORMACION GEOLOGICA
Cuaternario	Depósitos aluviales (Qh-al)
	Fm San Sebastián (Q-sa)
Neógeno	Fm Rurimicola (Np-ru)
	Fm Kaysa (Pec-ky)
Paleógeno	Fm Puquin (Ks-pu)
	Fm Maras (Kis-ma)
Cretácico	Grupo Mitu (Pst-mi)
	Grupo Cabanillas (D-ca)
Triásico	
Devónico	

SIMBOLOGIA

—	Falla normal	—▲—	Cota
- - -	Falla inversa	●	Centro poblado
—▲—	Falla inversa	—	Quebrada
—▲—	Eje de anticlinal	—	Rio
—▲—	Eje de sinclinal		
—▲—	Rumbo y buzamiento de capas inclinadas		

Tejistas: R. Villa Garrafa
 W. Vasquez Quiñenoya
 Asesor: J. Cuenca Sanchez
 Escala: 1:50,000





TESIS DE INVESTIGACION:
EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUINYOQ, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

LEYENDA

Depósito coluvial	Ce-q
Depósito aluvial	Al-q
Arenisca feldespática	Af-ky
Arenisca arcósica	Ar-ky
Lutita roja	Lr-ky
Lutita verde	Lv-ky

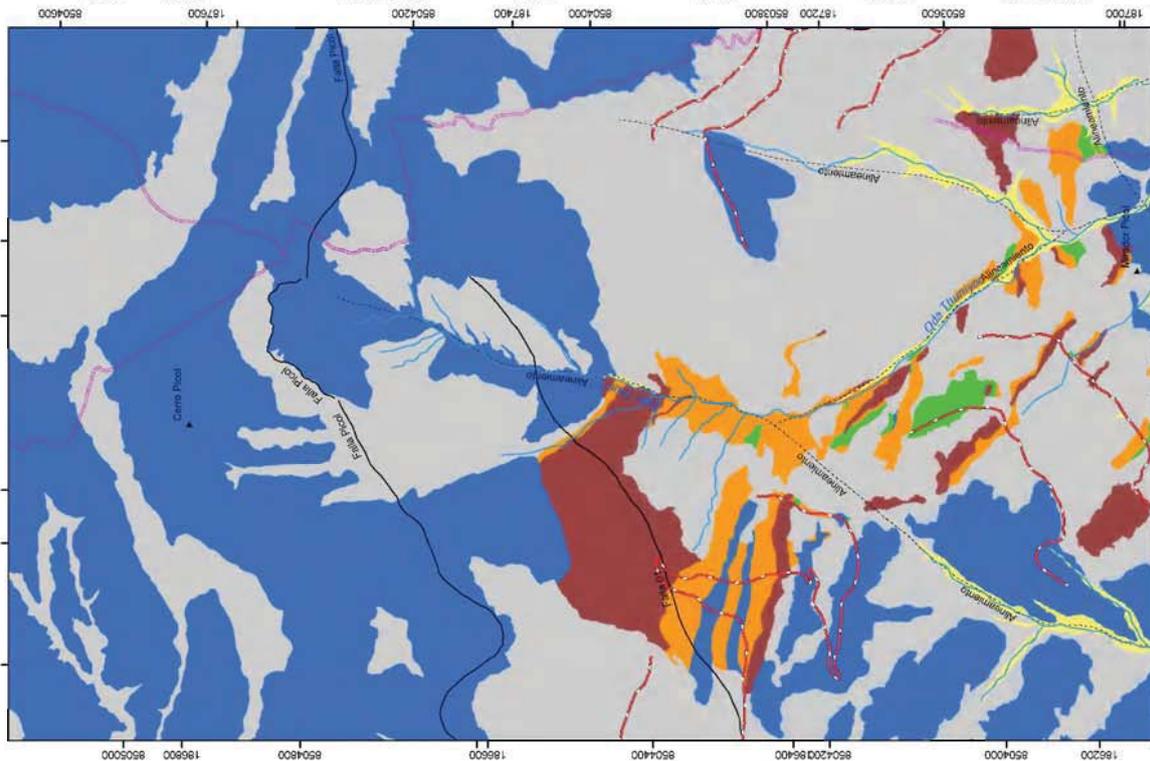
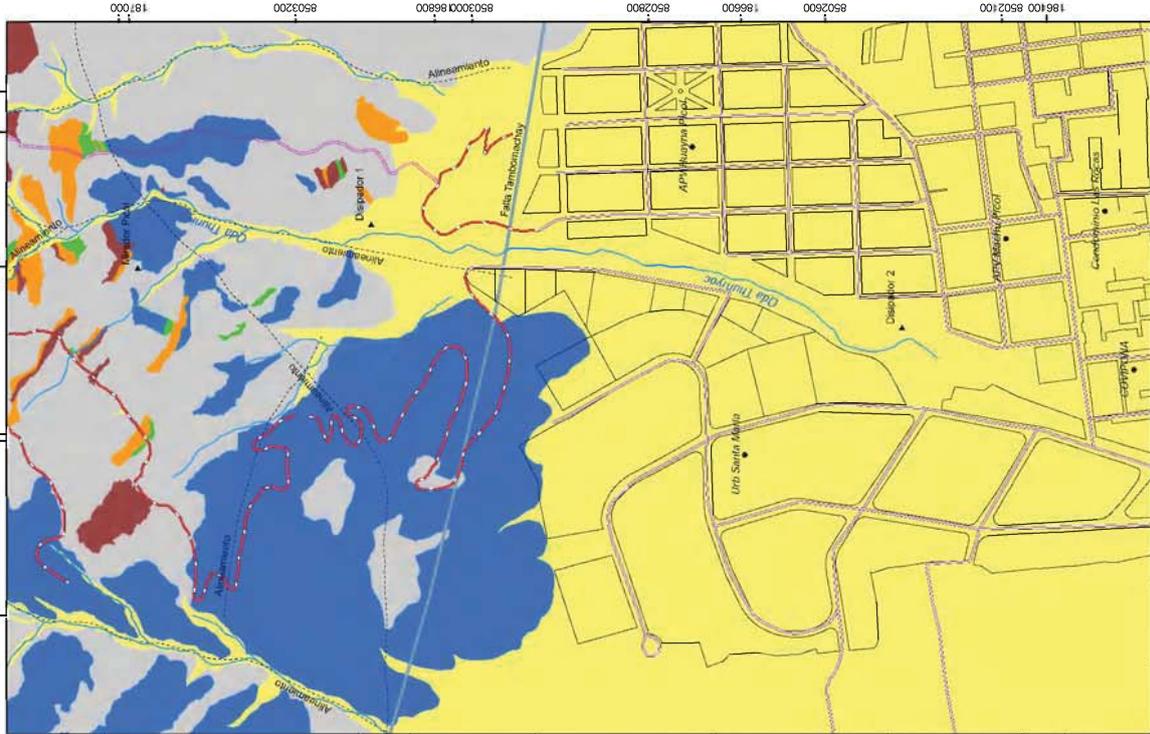
SIMBOLOGIA

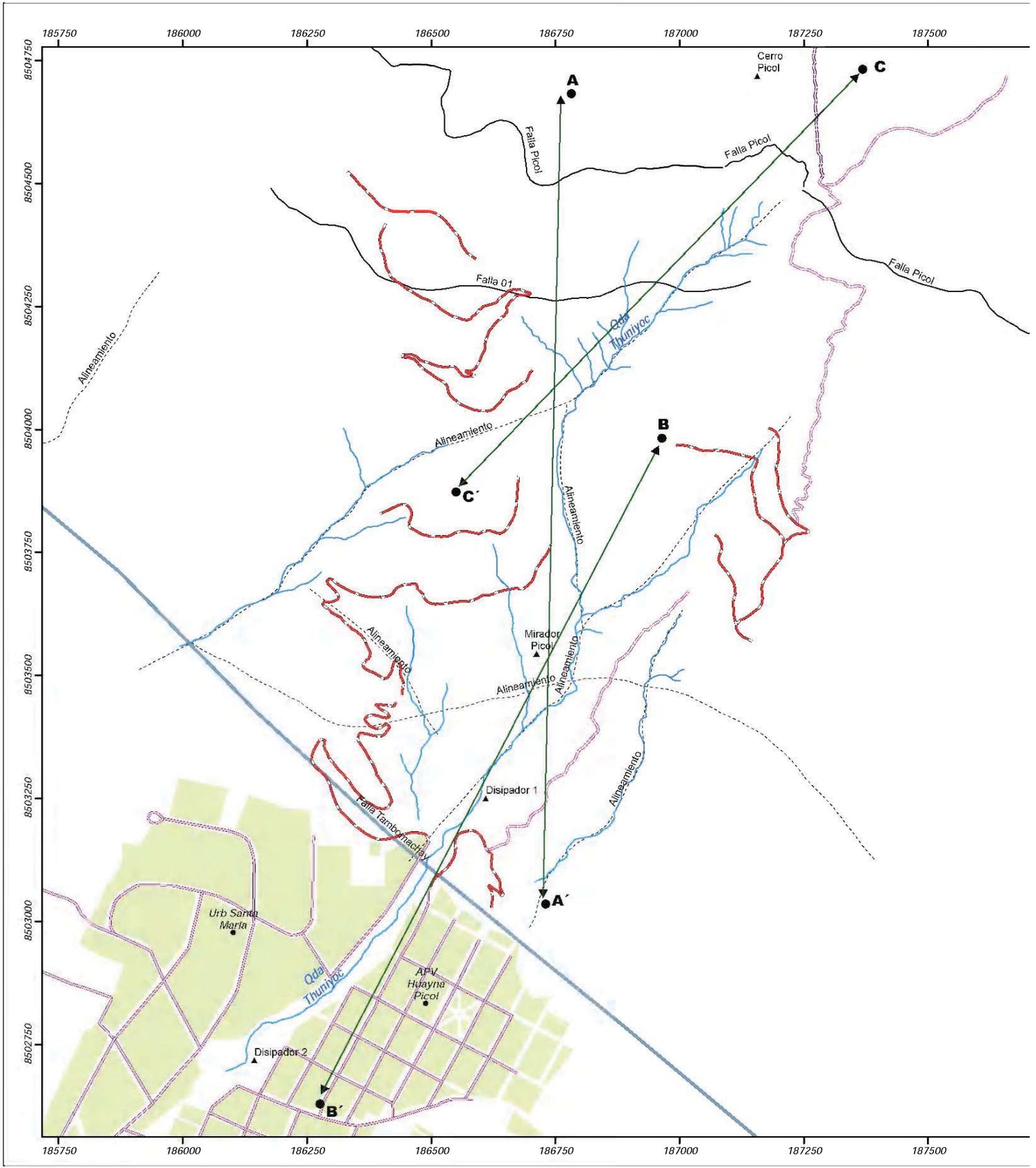
▲ Toponimia	— Calle
● Asociaciones	— Camino de herradura
— Curva de nivel	— Trocha
— Drenaje	— Manzana
— Alineamiento	— Falla Pícol
— Falla 01	— Falla Tambomachay

Tesis de:
R. Vila Carrera
W. Varquez Oqueenaya
 Asesor:
J. Cuenca Sanchez
 Escala: 1:5,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





8504750
8504500
8504250
8504000
8503750
8503500
8503250
8503000
8502750

N°	DIP	DIP DIR.	N°	DIP	DIP DR.
1	89	355	41	73	296
2	80	350	42	88	275
3	65	340	43	60	245
4	30	340	44	50	245
5	58	334	45	71	243
6	69	333	46	65	240
7	77	330	47	76	230
8	69	325	48	32	230
9	73	324	49	72	229
10	85	310	50	70	226
11	71	310	51	89	224
12	80	292	52	81	219
13	66	275	53	66	217
14	83	272	54	71	216
15	60	360	55	85	208
16	39	350	56	81	208
17	70	341	57	75	207
18	58	338	58	65	207
19	66	337	59	80	206
20	69	335	60	81	205
21	17	335	61	66	205
22	74	334	62	69	202
23	59	333	63	59	202
24	74	332	64	74	200
25	56	332	65	84	182
26	71	331	66	64	176
27	77	330	67	89	163
28	63	330	68	86	150
29	53	330	69	86	115
30	51	330	70	61	114
31	35	330	71	89	110
32	72	329	72	78	108
33	44	327	73	88	105
34	89	326	74	18	102
35	55	325	75	51	100
36	16	321	76	82	92
37	89	313			
38	75	304			
39	80	300			
40	50	298			



UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



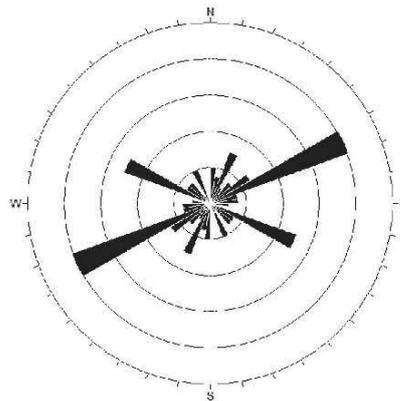
MAPA E

GEOLOGICO ESTRUCTURAL LOCAL



TESIS DE INVESTIGACION:

EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO



Apparent Strike
20 max planes / arc
at outer circle

Trend / Plunge of
Face Normal = 0, 90
(directed away from viewer)

No Bias Correction

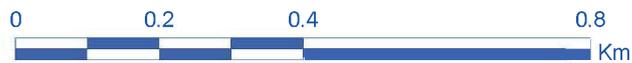
68 Planes Plotted
Within 45 and 90
Degrees of Viewing
Face

SIMBOLOGIA

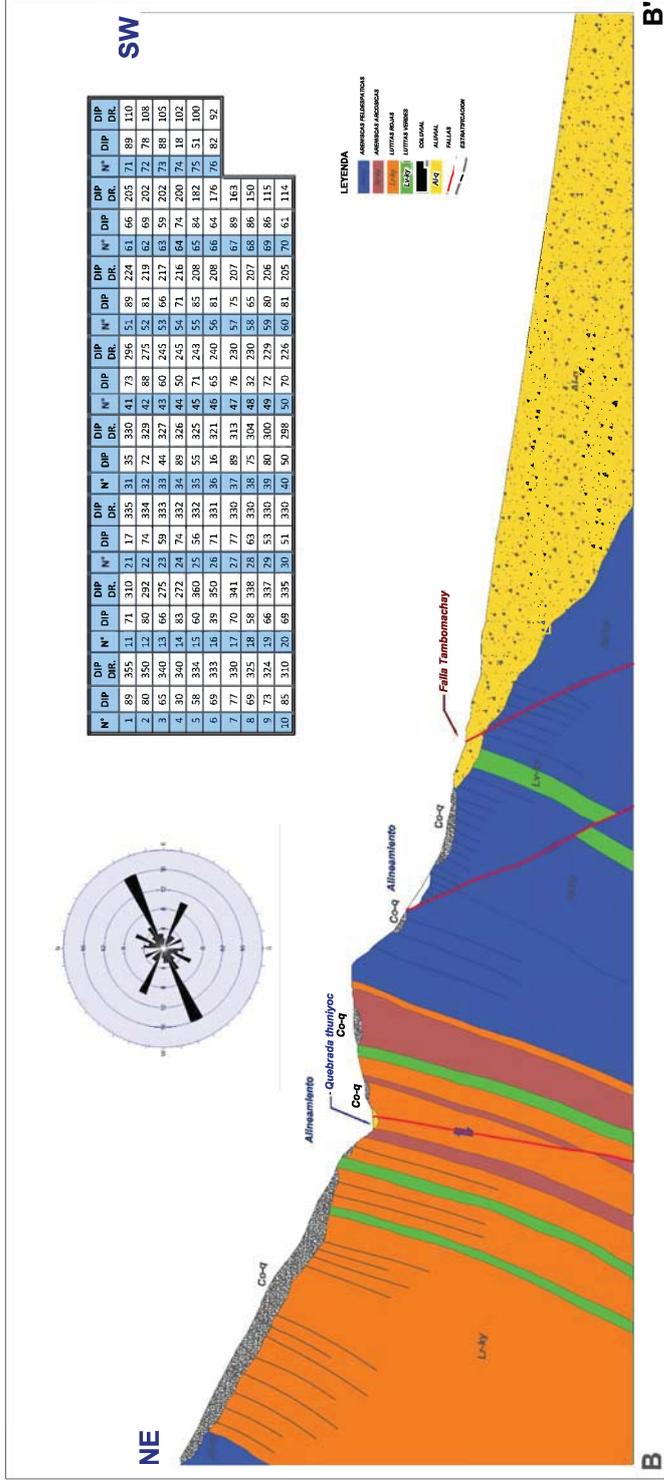
- ▲ Toponimia
- Asociaciones
- Curva de nivel
- Drenaje
- ↔ Línea de sección
- Calle
- Camino de herradura
- Trocha
- Manzana
- Alineamiento
- Falla 01
- Falla Pícol
- Falla Tambomachay

Tesistas:
R. Vila Garrafa
W. Vasquez Qquenaya
Asesor:
J. Cuenca Sanchez

Escala: 1:7,500



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



SECCION 02
B-B'

UBICACION:
QUEBRADA DE THINYOCC POCOL
DISTRITO : S.J. S.S.
PROVINCIA : CUSCO
DEPARTAMENTO : CUSCO

LABORAL

ASESOR:
INGENIERO: JORGE H. CERRICA LANCHEZ

FECHA:
CUSCO,
AGOSTO DE 2016

FECHA:
CUSCO,
AGOSTO DE 2016

ESCALA:
1:2000

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA,
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

TESIS DE INVESTIGACION
EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THINYOCC DISTRITO DE S. J. S. S. DEPARTAMENTO DE CUSCO, PERU

INVESTIGADOR:
INGENIERO: JORGE H. CERRICA LANCHEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SECCION 02
B-B'

LABORAL

UBICACION:
QUEBRADA DE THINYOCC POCOL
DISTRITO : S.J. S.S.
PROVINCIA : CUSCO
DEPARTAMENTO : CUSCO

LABORAL

ASESOR:
INGENIERO: JORGE H. CERRICA LANCHEZ

FECHA:
CUSCO,
AGOSTO DE 2016

FECHA:
CUSCO,
AGOSTO DE 2016

ESCALA:
1:2000

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA,
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**

TESIS DE INVESTIGACION
EVALUACION DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THINYOCC DISTRITO DE S. J. S. S. DEPARTAMENTO DE CUSCO, PERU

INVESTIGADOR:
INGENIERO: JORGE H. CERRICA LANCHEZ

ANEXO II
FICHAS INVENTARIO
MM

EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO



Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: Derecho	Código de Movimiento en Masa: CS-01, CS-03										
Factores condicionantes: - Pendiente: Empinado a muy empinado (30° a más de 45°) - Erosión: Con escurrimiento superficial, laminar intensa de intensidad moderada - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática fracturada en dirección E-O y N-O y mayor presencia de suelo Coluvial - Estructura: Asociado a fallas locales con dirección E-O ubicados hacia el norte y sur del movimiento en masa.			Coordenada UTM:	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera Observaciones: Estos eventos se muestran en la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc en la margen derecha. Generalmente estas zonas están adyacentes a los flujos de detritos, la cuales aportan en la acumulación de materiales.										
			Este: 187064											
			Norte: 8504384											
			Altitud: 3900											
			Tipo de MRM											
			Caída de suelos											
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Material afectado por el MM: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Media a alta Meteorización: Media - Humedad: Baja			Dimensiones. - <table border="0"> <tr> <td>CS-01</td> <td>CS-03</td> </tr> <tr> <td>Longitud: 54 m</td> <td>Longitud: 54 m</td> </tr> <tr> <td>Ancho: 34 m</td> <td>Ancho: 34 m</td> </tr> <tr> <td>Área: 1,750 m2</td> <td>Área: 1,750 m2</td> </tr> <tr> <td>Volumen: 5,280 m3</td> <td>Volumen: 5,280 m3</td> </tr> </table>		CS-01	CS-03	Longitud: 54 m	Longitud: 54 m	Ancho: 34 m	Ancho: 34 m	Área: 1,750 m2	Área: 1,750 m2	Volumen: 5,280 m3	Volumen: 5,280 m3
CS-01	CS-03													
Longitud: 54 m	Longitud: 54 m													
Ancho: 34 m	Ancho: 34 m													
Área: 1,750 m2	Área: 1,750 m2													
Volumen: 5,280 m3	Volumen: 5,280 m3													

Fotografías:





En estas imágenes se observan caídas de suelos ubicados en la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc, además estos eventos se encuentran en pendientes muy empinadas.



Imagen tomada al margen derecha, donde se observan las zonas de caídas de suelos, estos sectores están compuestas por areniscas arcósicas y algunos niveles de lutitas rojas y verdes.



Zona de caída de suelos ubicado en el margen derecho de la quebrada Thuniyoc, estos sectores generalmente presentan pendientes muy empinadas con casi nula cobertura vegetal.

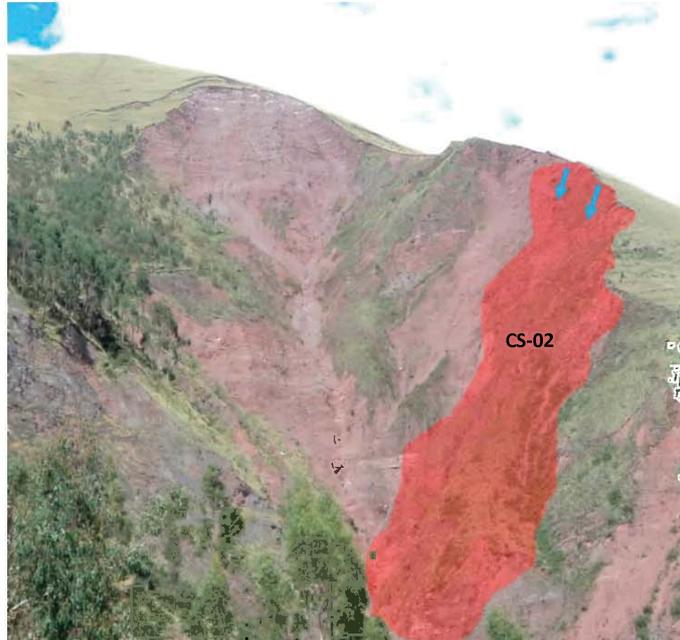
Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez		Fecha: Marzo del 2015
---	--	---------------------------------

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN
MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN
JERÓNIMO, CUSCO**



Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: Izquierdo	Código de Movimiento en Masa: CS-02
Factores condicionantes: - Pendiente: Empinado a muy empinado (30° a más de 45°) - Erosión: Con escurrimiento superficial concentrado, laminar intensa y surcos comunes de intensidad ligera a moderada. - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática fracturada en dirección E-O y N-O y mayor presencia de suelo Coluvial - Estructura: Asociado a fallas locales con dirección E-O ubicados hacia el norte y sur del movimiento en masa.			Coordenada UTM:	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera Observaciones: Se observa la parte superior izquierda de la quebrada Thuniyoc, en el cual se presenta la zona de caída de suelos a manera de fragmentos líticos, la cuales están compuestas por areniscas feldespáticas y lutitas rojas, esta zona se caracteriza por presentar pendiente muy empinada, el cual da origen a este tipo de fenómenos.
			Este: 187099	
			Norte: 8504337	
			Altitud: 3927	
			Tipo de MRM	
			Caída de suelos	
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Material afectado por el MM: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Media a alta Meteorización: Media - Humedad: Baja				Dimensiones. - CS-02 Longitud: 90 m Ancho: 72 m Área: 4,680 m ² Volumen: 14,050m ³

Fotografías:



Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez

Fecha:
Abril del 2015

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN
MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN
JERÓNIMO, CUSCO**



Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: Cabecera de quebrada	Código de Movimiento en Masa: DC-01
Factores condicionantes: - Pendiente: Empinado a muy empinado (30° a más de 45°) - Erosión: Con escurrimiento superficial concentrado, laminar intensa y surcos comunes de intensidad ligera a moderada. - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática fracturada preferentemente en dirección E-O y N-O y mayor presencia de suelo Coluvial que va cayendo en ocasiones. - Estructura: Asociado a fallas locales con dirección E-O ubicados hacia el norte y sur del movimiento en masa.			Coordenada UTM:	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera Observaciones: El deslizamiento muestra 3 escarpas tensionales en su cabecera. Dentro de este deslizamiento se encuentran flujos de considerable volumen. Este deslizamiento es la principal fuente para la ocurrencia de los flujos que se hacen, casi a la misma altura de la corona del deslizamiento compuesto Pico1, además en las imágenes siguientes se pueden observar que esta denotado claramente la propagación de movimiento en masa
			Este: 187165	
			Norte: 8504468	
			Altitud: 3995	
			Tipo de MRM	
			Deslizamiento compuesto	
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Alta Meteorización: Media - Humedad: Baja			Dimensiones. - Longitud: 224 m Ancho: 172 m Área: 2, 8650 m2 Volumen: 14, 3250 m3	

Fotografías:



Imagen tomada desde el sur, se muestra una vista panorámica del deslizamiento compuesto Pico1, donde se nota el desarrollo del mismo evento hacia la parte superior, siguiendo por las grietas que se notan claramente en la cabecera del deslizamiento.



A la derecha, rastros del ultimo flujo que se produjo en la última temporada de lluvias del 2011, a la derecha, borde izquierdo de deslizamiento se nota la vegetación nula y pendiente agreste en la escarpa.



Vista desde la Av. Pícol al deslizamiento compuesto de Pícol, se notan las grietas tensionales en la parte superior, que además este evento sigue su propagación natural siguiendo las grietas tensionales.



Vista tomada a la parte superior del deslizamiento Pícol, en el cual se observa la corona, además de la propagación lateral hacia ambas márgenes, en este sector el evento se manifiesta con poca vegetación, caracterizado por la pendiente muy empinada, el cual juega un papel muy importante como factor condicionante de este tramo.



Vista tomada hacia al sur desde la parte superior del deslizamiento, en el cual se observa el pendiente agreste con muy baja vegetación, donde la litología está en un estado muy fracturado



En estas imágenes se observan las grietas tensionales, ubicados en la parte superior del deslizamiento compuesto de Pícol, las aperturas de estas grietas varían de 10cm hasta 7.00m., tal como se muestra en la imagen en la derecha.

Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez

Fecha: 2013 al 2015

EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO



Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: General del deslizamiento	Código de Movimiento en Masa: DC-01
Factores condicionantes: - Pendiente: Muy empinado (+45°) - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática y lutitas rojas, fracturadas (Detritos). - el buzamiento de estas rocas están en contra de la pendiente del talud.			Coordenada UTM: Este: 187165 Norte: 8504468 Altitud: 3995	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera
			Tipo de MRM Deslizamiento compuesto	Observaciones: El deslizamiento PicoI muestra escarpas activas. Dentro de se encuentran pequeños surcos producto de la escorrentia superficial, flujo de detritos, caída de rocas, cuyos volúmenes son considerables. Existen grietas de tensión en la cabecera del deslizamiento, 0.5 a 1.5m. de ancho.
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Alta Meteorización: Media - Humedad: Alta a media			Dimensiones. - Longitud: 224 m Ancho: 172 m Área: 2, 8650 m ² Volumen: 14, 3250 m ³	

Fotografías:



Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez

Fecha: Agosto del 2015

EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO



Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: Izquierda	Código de Movimiento en Masa: DT-03
Factores condicionantes: - Pendiente: Muy empinado (más de 45°) - Erosión: Con escurrimiento superficial concentrado, laminar intensa. - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática y lutitas rojas, fracturadas preferentemente en dirección NW-SE - Estructura: Asociado a fallas locales con dirección E-O ubicados hacia el norte y sur del movimiento en masa.			Coordenada UTM: Este: 187025 Norte: 8504245 Altitud: 3853	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera
			Tipo de MRM Deslizamiento Traslacional	Observaciones: Los deslizamientos traslacionales se muestran en medio de paquetes areniscos y lutitas rojas, la cuales presentan sistemas de fracturas muy variadas sin embargo la mayoría de los planos de deslizamientos están alineados a la orientación de la tectónica andina NO-SE.
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Alta Meteorización: Media - Humedad: Baja			Dimensiones. - Longitud: 166 m Ancho: 125 m Área: 16,827.92 m ² Volumen: 50,490 m ³	

Fotografías:



En estas imágenes se muestra zonas de deslizamiento traslacional, las cuales siguen un plano de transporte no necesariamente concuerda con los planos de estratificación.



En estas imágenes se observan los planos de deslizamientos traslacionales, donde generalmente, estas están

ubicadas en los paquetes de lutitas rojas y verdes, que además se encuentran en la margen derecha de la quebrada Thuniyoc parte intermedia.



Estas imágenes muestran la dirección de los planos de deslizamientos traslacionales, los cuales buzan hacia SO, dirección contraria a los planos de estratificación, vista tomada a la margen Izquierda de la quebrada Thuniyoc.

Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez

Fecha:
Setiembre del 2015

EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO

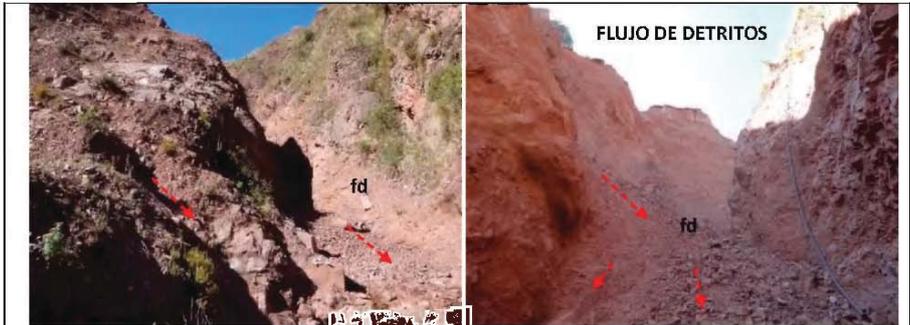


Provincia: Cusco	Distrito: San Jerónimo	Quebrada: Thuniyoc	Margen: Intermedia de la quebrada	Código de Movimiento en Masa: FD
Factores condicionantes: - Pendiente: Moderadamente empinado (20°-30°) - Erosión: Con escurrimiento superficial concentrado, laminar intensa. - Cobertura vegetal: Área sin vegetación. - Uso de suelo: Otros usos (sin uso del suelo) - Suelo o roca: Roca arenisca feldespática y lutitas rojas, fracturadas. - Estructura: Asociado a fallas locales con dirección E-O ubicados hacia el norte y sur del movimiento en masa.			Coordenada UTM: Este: 186607 Norte: 8503518 Altitud: 3600	Factores desencadenantes: -Sismos -Lluvias intensas - Erosión o socavamientos en la base de la ladera
			Tipo de MRM Flujo de detritos	Observaciones: El flujo muestra la acumulación del material deslizado cuyas formas son angulosas compuestas de areniscas y lutitas. En esta zona intermedia de la quebrada, se han construido muros de concreto transversales, para disminuir la energía del flujo de detritos.
Características morfológicas y geológicas del área inestable: - Condiciones de la roca: Grado de fracturación: Alta Meteorización: Media - Humedad: Baja			Dimensiones. - Longitud: 2,190 m Ancho prom: 13.8 m Área: 30,302.13 m ² Volumen: 17001 m ³	

Fotografías:



Se observa la parte superior de la quebrada Thuniyoc, mostrando el sector del origen de los flujos de detritos, esta zona es el principal aporte de detritos para las zonas intermedias y bajas.



Se muestra la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc, mostrando la acumulacion de materiaes angulosos, las cuales son de areniscas y fragmentos de lutitas rojas, ademas se puede observar la pendiente moderadamente empinada de acuerdo a la clasificacion en mapa de pendientes de este sector.



Se muestra la parte intermedia de la quebrada Thuniyoc, observando la acumulacion de materiales provenientes de los flujos de detritos, la cuales son provenientes de las partes altas de la quebrada, ademas existen estructuras a manera de diques.



Parte baja de la quebrada Thuniyoc, observando la zona de acumulacion de los materiales, provenientes de los

flujos originado en las partes intermedias y altas, ademas es considerado como disipador 01, sector de desemboque de todos los flujos



Parte baja de la quebrada Thuniyoc, observando la zona de acumulacion de los materiales de los flujos de detritos, este sector considerado como disipador 02, donde el material excedente del disipador 01 discurre hasta este punto para su depositacion final.

Autores: Ricardo Vila, Walther Vasquez

Fecha:
Abril del 2015

ANEXO III
DATOS DE
PRECIPITACION E
INTENSIADADES

TESIS DE INVESTIGACIÓN:

“EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO”

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO COMPLETADO						
Estación Kayra . Precipitación Mensual (mm)						
Distrito:	San Jeronimo	Latitud:	13° 34' S	Max (mm):	224.3	Periodo:
Provincia:	Cusco	Longitud:	71° 54' W	Min (mm):	0	1964-2013
Departamento:	Cusco	Altitud:	3219			

Nº REG	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	100.8	92.5	101.6	26	6.5	0	0	0	0	36.5	0	75.6	439.5
2	1965	101.8	100.5	111.9	88	5.8	0	0.4	1	29.4	58.3	42.5	153	692.6
3	1966	78.3	171.2	79.9	18.3	19.8	0	0	1.7	29.9	59.7	65.2	71.4	595.4
4	1967	59.1	118.4	140.3	19	1.8	0.6	11	19	32.8	70.9	57.2	125.6	655.7
5	1968	149.9	106.6	84.5	74.6	6.3	5.3	30.9	8.6	16.3	84.6	86.7	54.4	708.7
6	1969	144.4	77.8	88.3	16.8	2.9	3.3	7.2	3.9	22.8	29.8	54.7	72.9	524.8
7	1970	170.7	92.6	132.5	86.4	2.3	1	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4	806.4
8	1971	128.9	161.6	83.6	40	1.5	0.1	0	5.7	3.5	55.7	51	127.5	659.1
9	1972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2	553.5
10	1973	221.3	120.5	99.6	75.2	14	0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5	816.4
11	1974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1	34.6	5.9	43.3	60.9	108	681.7
12	1975	124.7	131	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51	170.1	721.6
13	1976	119.6	83.1	123.1	42.9	13	8.7	0.7	0	26.8	25.3	47.8	66.8	557.8
14	1977	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0	4.4	0	29.9	65	71.5	78	613.1
15	1978	175.4	106.6	88.5	48.7	11.4	0	3.4	0	10.7	12.8	88.7	117.9	664.1
16	1979	101.1	131.6	108.8	46.8	6.2	0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8	600.8
17	1980	106.2	126.4	135	23.2	3.7	0	5.3	1	12.6	62.9	60.2	83.1	619.6
18	1981	125.4	80.8	124.4	58.9	1.8	3.9	0	9.8	45.9	106.9	120.8	144.3	822.9
19	1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0	9.2	3.4	4.9	14	37.9	122.5	98.6	786.8
20	1983	127.8	84	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26	44.3	100.2	483.1
21	1984	198.6	142.4	71	82.8	0	2	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	102.8	800.5
22	1985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0	43.3	62.1	116.5	122.4	728.3
23	1986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7	569.1
24	1987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0	8.2	29.5	101.8	107.6	633.6
25	1988	159.2	84.3	166.5	108.9	4.6	0	0	9.9	36.2	39.6	93.4	702.6	
26	1989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0	6.1	30.7	48.7	60.7	88.5	686.3
27	1990	157.6	90.4	60.7	47.4	7.5	31.8	0	5.8	13.3	73.7	87	65.1	640.3
28	1991	97.6	163.6	105.1	49.6	10.1	5.1	1.5	0	20.2	49.3	70.6	86.8	659.5
29	1992	139.3	126.8	104	19.7	0	19.4	0	21.4	8	50.7	117.4	57.2	663.9
30	1993	208.5	90.4	76.2	18.8	46.6	0	2.7	6.9	17	46.2	111.9	201.5	826.7
31	1994	76.4	163.6	173.9	45.5	11.8	0	0	0	25.7	40.2	40.5	119.9	697.5
32	1995	122	102.4	94.4	17.8	0	0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	566.7
33	1996	131.9	98	70.5	32.3	11	0	0	6.3	19.6	58.4	49	133.2	610.2
34	1997	123.3	127.7	104.8	31	4.8	0	0	7.1	12.3	44.4	200.4	148.4	804.2
35	1998	116.3	139.3	22	31	1.6	1.9	0	1.6	6.8	38.3	45.2	58.9	462.9
36	1999	90.2	91.5	92	42.8	1.3	3.4	1	0	43.1	18.4	39.7	119.5	542.9
37	2000	197.4	141.5	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	6.6	10.7	49.3	27	82	656
38	2001	79.3	194.7	170.4	36.4	11.5	0	17.4	10.2	20.1	19.9	92.6	89.4	741.9
39	2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.2	10.3	78.7	97.8	132.4	821.6
40	2003	163.9	132.4	147.9	56.5	2	6.4	0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8	715.6
41	2004	173.7	125.8	66.5	20.2	2.4	20.5	12	9	21.7	25.6	60.9	87.9	626.2
42	2005	141	130.6	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4	4.5	39.1	59.3	101.2	637.8
43	2006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2	856.3
44	2007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0	4	0	1	49.4	74	88.4	623
45	2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9	592.4
46	2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0	3.3	0.7	15.1	7	91.3	82.1	526
47	2010	120.5	155.6	120.3	51.6	4.1	4.6	6.6	2.9	27.6	18.6	42.3	85.6	640.3
48	2011	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0	38.9	37.4	60.2	110.2	739.7
49	2012	120	145	85	45	5.3	7.8	8.6	3.2	15.3	62	102.3	129	728.5

Nº Datos	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Media	135.243	120.733	101.692	43.1898	6.9102	3.89796	3.96531	5.91429	18.4959	46.1449	70.9408	106.222	663.349	
Desv. Estandar	40.1753	32.141	33.7246	23.7377	7.80863	6.21039	6.4849	7.53453	12.9406	23.2225	32.9657	32.0373	100.894	
Coef. Variacion	0.29706	0.26622	0.33164	0.54961	1.13001	1.59324	1.63541	1.27395	0.69965	0.50325	0.46469	0.30161	0.1521	
Prec. Max.	224.3	194.7	173.9	108.9	46.6	31.8	30.9	34.6	51.1	114.6	200.4	201.5	224.3	
Prec. Min.	59.1	58.7	22	7.6	0	0	0	0	0	7	0	54.4	0	

Fuente: SENAMHI, 2012

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO COMPLETADO						
Estacion Perayoc , Precipitación Mensual (mm)						
Distrito:	Cusco	Latitud:	13° 31' S	Max (mm):	311.6	Periodo:
Provincia:	Cusco	Longitud:	71° 52' W	Min (mm):	0	1964-2013
Departamento:	Cusco	Altitud:	3299			

Nº REG	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	103.8	116	170.4	22.5	5.8	0	0.3	5.6	46.8	44.8	50.5	70.7	637.2
2	1965	106.3	154.3	147.1	81.9	11.6	0	4.3	5.2	43.8	37.1	60.5	185.4	837.5
3	1966	141.3	195.3	89.7	17.3	21.9	0	0	1.1	42.4	85.9	58.5	47.8	701.2
4	1967	65.8	114.4	128.4	15.6	3.3	0.4	12.9	31.5	26.4	72.6	72.6	135	678.9
5	1968	170.4	135.1	69.8	25.7	1.4	5.2	39.2	6.9	20.1	32.9	94.4	88.1	689.2
6	1969	199.9	116.1	107	18.9	0.3	3.4	10.2	0.3	16.8	27.9	73.9	86.6	661.3
7	1970	150.1	97.3	94.9	95.6	5.3	6	6.6	2.4	43.3	37.4	34.4	213.6	786.9
8	1971	130	128.3	92.7	38.1	1.7	1.5	0.3	8.1	0	53.2	44.4	147.6	645.9
9	1972	169.9	74.7	58.4	40.7	0.8	0	9.3	20.5	37.3	5.5	67.6	102.9	587.6
10	1973	228.6	137.8	141.9	96.9	18.1	0	10.7	15.9	6.6	29.9	101.8	91.7	879.9
11	1974	130.4	228.8	130	61.6	15.8	14.3	3.1	37	21.9	45.6	42.3	121.4	852.2
12	1975	119.7	159.7	107.5	71	30.3	1.4	0	0.1	40.5	48.2	42.1	152.2	772.7
13	1976	158.1	73.7	155.7	48.2	22.9	7.1	0.9	9	59	15.5	56.2	103	709.3
14	1977	114.3	241.5	80.8	60.9	3.9	0.2	0.2	2.7	39.1	65.1	170.8	66.7	846.2
15	1978	249.4	63.6	83.5	37.5	6.7	0	1	0	12.7	9.7	161.2	124.3	749.6
16	1979	165	128.8	170.1	36.9	21.5	0	5.9	17.3	12.4	22.6	131.7	137.3	849.5
17	1980	97.9	141.7	96.9	34.1	7.4	2.1	2.4	0.4	7.7	96.2	66.6	67.5	620.9
18	1981	218.1	73	119.2	69.2	0.6	4.2	0	12.4	46.7	105	112.1	133.9	894.4
19	1982	205.9	118.7	159.5	67.9	0	1.4	3.8	9.8	58	68	171.9	150.4	1015.3
20	1983	154.3	96.4	60.8	23.8	8.6	36	0.7	0	2.3	37.5	60.3	172.4	653.1
21	1984	219.9	172.8	88.6	82.1	0.2	6.8	0.2	19.3	21.8	126.1	82.6	110.2	930.6
22	1985	121.9	143	123.5	64.2	19.1	17.9	3.1	6.1	39.1	70.3	128.1	146.4	882.7
23	1986	103.2	114.1	154.8	95.4	6.8	0	3.3	10.6	10.8	35.6	115.1	87.5	737.2
24	1987	311.6	106	81.2	35.1	5.9	13.6	14.2	0	13	60.5	121.2	164.9	927.2
25	1988	228.8	144.5	250.5	40.9	4	0	0	0	19.4	37.9	57.7	154.5	938.2
26	1989	213.4	147.4	198.5	54.7	4.1	14.9	0	6.3	15.5	92.8	72.4	72.5	892.5
27	1990	309.4	89.4	62.5	105.9	11.8	33.7	0	6.8	18.3	105.9	109.1	105.7	958.5
28	1991	117.1	236.4	152	44.8	14.1	7.9	1	0	31.6	116.6	104.8	116.2	942.5
29	1992	154.8	142.1	95.6	18.5	1	6.5	21.5	33.5	9.1	68.7	124.9	66.6	742.8
30	1993	251.9	123.2	93.2	34.5	3.4	0	1.8	22.7	6.9	97.4	100.9	220	955.9
31	1994	196.4	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165	1020.3
32	1995	127	90.6	137.8	26.1	1.7	0.3	3.1	0	52	20.1	27.5	124	610.2
33	1996	169	87.4	48.6	28.9	9.7	0	0	9.8	16	61.2	66	168	664.6
34	1997	137.2	104.7	145.7	70.9	3.2	0	0	11.1	13.4	35.5	138.4	178.7	838.8
35	1998	155.3	163.2	54.3	34.8	3.2	3.4	0	6.2	2.2	84.9	70.6	69.4	647.5
36	1999	165	96.7	104	50.7	10.2	6	0	0	57.9	24.8	52.7	119.2	687.2
37	2000	234.9	117.1	113.1	9.4	1.8	3.5	2.4	6.7	24.6	53	53.8	90.7	711
38	2001	295.3	155.4	160.9	34.2	5.9	0	22.4	11.9	19.2	69.7	73.2	102.9	951
39	2002	184.9	179.8	203.7	25.4	6.9	2.2	32.5	6	14.4	73.8	114.7	129.3	973.6
40	2003	216.6	156.9	153.2	95.3	2.8	7.1	0	13.1	9.8	19.1	38.8	127.8	840.5
41	2004	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	34.9	51.7	94.2	729
42	2005	118.8	122.4	108.5	35.7	1.1	0	1	3.1	6.5	36.9	66.7	57.8	558.5
43	2006	196.3	122.3	126.5	73.9	0	6.8	0	5.5	18.6	77.8	67.4	162.9	858
44	2007	158.9	117.9	106.5	44.2	6.6	5	3.6	7.3	19.9	49.6	75	109.7	704.2
45	2008	130.8	138	80.8	5.3	6.5	2.5	3.1	6.5	14.3	108.5	54.9	128.8	680
46	2009	135.5	114.8	56.3	26.3	0.8	0	0	3	17	23.7	176.1	131.7	685.2
47	2010	295.3	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165	1119.2
48	2011	182.7	134.1	80.6	27.4	3.1	18.5	8.6	9	29.4	31.4	46.5	84.8	656.1
49	2012	184.1	133.4	130.2	81	2.4	6	0	11.1	8.3	16.2	33	108.6	714.3

Nº Datos	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Media	175.473	135.502	121.022	48.1898	7.30612	5.43673	4.96327	8.40408	23.8265	54.3367	82.1633	121.663	788.288	
Desv. Estandar	57.9162	42.752	48.3006	25.9304	7.17192	8.18382	8.39386	8.82194	15.905	30.3979	38.7688	40.3078	133.952	
Cof. Variacion	0.33006	0.31551	0.3991	0.53809	0.98163	1.50528	1.6912	1.04972	0.66753	0.55944	0.47185	0.33131	0.16993	
Prec. Max.	311.6	241.5	250.5	105.9	30.3	36	39.2	37	59	126.1	176.1	220	311.6	
Prec. Min.	65.8	63.6	48.6	5.3	0	0	0	0	0	5.5	27.5	47.8	0	

Fuente: UNSAAC, 2012

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO HIDROMETEOROLOGICO COMPLETADO						
Estacion Cusco-Corpac , Precipitación Mensual (mm)						
Distrito:	Wanchaq	Latitud:	13° 32' S	Max (mm):	360.4	Periodo:
Provincia:	Cusco	Longitud:	71° 58' W	Min (mm):	0	1964-2013
Departamento:	Cusco	Altitud:	3312			

Nº REG	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	142.3	120.9	164.6	23.7	6.1	0	0	5.1	39.7	51.5	48.4	69.5	671.8
2	1965	102.9	170.5	158.7	77.6	11.8	0	1	1	44.2	59.4	63	186.7	876.8
3	1966	110.5	184	79.6	12.3	25.2	0	0	0.8	29.7	78.3	62	40.4	622.8
4	1967	82.8	106	134	16.1	1.8	0.6	9	23.7	25.2	78.9	51.6	89.4	619.1
5	1968	56.6	72.5	47.4	19.7	0.4	5.2	42	7.4	10.2	36.1	50.5	41.5	389.5
6	1969	114.5	83.7	80.8	9.6	5	3.5	9.3	0	15.9	22.1	42.7	73.1	460.2
7	1970	126.9	69.4	92.4	68.9	13.5	3.5	2.2	0.6	22	21.5	36.2	191.6	648.7
8	1971	94.8	127.4	46.9	32.7	1.7	0	0.1	1.7	0	49.1	44.4	125.5	524.3
9	1972	154.3	68	54.1	36.7	2.4	0	3.5	24.2	18	11.3	66.2	147.4	586.1
10	1973	205.5	78.5	127.1	91	4	0	1	18	16.5	22	74.4	80.3	718.3
11	1974	124.4	153.9	138.2	72.2	8	12	0	32.2	5	25.6	37.6	123.2	732.3
12	1975	145.9	179.4	126.3	115	26.6	0	0	4.2	9.6	37.1	49.8	130	823.9
13	1976	201	200	106.6	35	12	7.1	0	3	72	27.5	37.7	117.3	819.2
14	1977	77.7	236.5	53.2	35.4	0	0	0	0	25.4	38	84.3	50.2	600.7
15	1978	167.1	62.1	70.1	41.2	6.7	2	0	0	1	19	128	126	623.2
16	1979	137	112	134	65.3	17	0	5	15.5	2.5	16	148	158.5	810.8
17	1980	120	184	165.7	34	9	0	2	0	0	82	89.1	73.9	759.7
18	1981	256	91.1	153.2	0	0	0	0	6	19	84.4	95.5	120.7	825.9
19	1982	168.4	160.4	186.4	28.6	0	0	0	16	22	67.2	104.9	63.6	817.5
20	1983	137.6	82.4	46.1	8.3	0	0	0	0	2	20	61.1	118.4	475.9
21	1984	360.4	252.7	55	49	0	2.8	14.4	24	15.3	107.8	94.2	115.5	1091.1
22	1985	124.8	90.8	94.5	61.6	13.5	7.6	2	8	44.6	79.2	140.8	199.7	867.1
23	1986	206.9	144.6	206.7	78.7	5.7	0	6.2	15.3	29.8	35.7	58	57.6	845.2
24	1987	297.5	78.8	69.1	20	2.3	4.2	12.7	0	17.1	25.2	68.5	85.3	680.7
25	1988	131.6	72.1	190.4	47	6.6	0	0	0	28.9	14.7	75.8	101.6	668.7
26	1989	143.4	80.4	127.6	32	2.3	17.1	0	10	16.2	55.1	58.8	35.9	578.8
27	1990	158.9	89.8	68.5	99.8	7.1	27.2	0	9.2	23.6	97.8	90.1	73.5	745.5
28	1991	77	139.5	87	45.8	5.5	6.2	2.6	0	26.1	47.6	100.7	121.7	659.7
29	1992	77	121.3	76	32	0	0	0	15.3	32	84.4	104.8	199.7	742.5
30	1993	256	78.8	94.5	2.6	14.5	0	0	5.6	6.5	76.4	103	180	817.9
31	1994	198.2	203.8	186	56.5	10	0	0	0	12	38.6	71.9	127	904
32	1995	145.9	89.3	123.3	39.9	0	4.6	3.6	5	45.4	36.1	40.3	125.9	659.3
33	1996	126.2	96.2	63.5	27.9	1.4	1.2	1.3	7.8	16	73.5	74.9	192.4	682.3
34	1997	162.1	122.1	104	67.6	2.3	3.6	1.6	10.8	16.5	48.3	143.8	171.4	854.1
35	1998	145.1	170.1	62.3	32.5	10	2	0	4.5	1.8	40.7	29.3	56.7	555
36	1999	154.7	136.6	119	59.9	5.9	4.5	0.9	3.3	53.4	14.1	70.5	125.7	748.5
37	2000	241.9	154.2	130	2.8	5.2	1.1	3.6	8.3	15.3	18.9	52	86.7	720
38	2001	193.1	176	187.5	48.4	12.8	3.7	18.6	7.9	24.4	39.8	88.9	99.9	901
39	2002	166.9	200.9	172.5	37	9.7	7.6	21.1	4.4	14.8	70.5	88.2	112.2	905.8
40	2003	182.5	143.8	146.4	71.4	4.8	5.8	0.2	22.6	6.2	26.5	30.8	49.6	690.6
41	2004	179.2	124.6	75.6	33.2	3.6	20.6	11	8.9	18.4	34	49.6	91.4	650.1
42	2005	106.6	100.4	92.6	19	1.8	0.2	1.8	2.8	4.4	31	40.6	86.8	488
43	2006	226	93.5	121.2	60.2	0	8	0	7.2	7.6	87.4	61	183	855.1
44	2007	136.5	100.3	107.4	55.3	4.3	1.1	0	9.3	6.1	59.6	81.1	139.7	700.7
45	2008	148.3	148.2	68.3	9.4	7.3	3.2	6.1	2.9	21.8	83.2	74.8	154.1	727.6
46	2009	146.4	93.6	83.8	13	4.4	0.9	0.6	0	15.7	26	111.5	108.6	604.5
47	2010	264.2	221.6	214.1	68.9	11.6	0	6	0.4	27.8	40.8	58.7	145.7	1059.8
48	2011	168.4	175.8	107.4	64.7	0.4	7.8	7.4	7.2	26.1	27.8	47.1	67.1	707.2
49	2012	181.3	121.7	128.6	74.9	10.2	8.2	6.7	7.7	10.7	38.3	64.4	140.3	793

Nº Datos	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Media	159.861	129.882	112.82	43.5571	6.41633	3.73673	4.15306	7.50612	19.6816	47.0612	72.4388	113.508	720.622	49
Desv. Estandar	59.8451	49.0537	46.1852	26.8195	6.15072	5.61785	7.46093	7.84786	14.8111	25.6402	29.6069	45.8362	144.151	49
Coef. Variacion	0.37436	0.37768	0.40937	0.61573	0.95861	1.50341	1.79649	1.04553	0.75253	0.54483	0.40872	0.40381	0.20004	49
Prec. Max.	360.4	252.7	214.1	115	26.6	27.2	42	32.2	72	107.8	148	199.7	360.4	49
Prec. Min.	56.6	62.1	46.1	0	0	0	0	0	0	11.3	29.3	35.9	0	49

Fuente: CORPAC, 2012

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACION

(Fuente: UNSAAC-Perayoc)

FECHA	HORA	TIEMPO MIN	LLUVIA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h
	INICIO - FIN			
4-Ene-00	14h50m - 15h15m	25,00	1.20	2.88
6-Ene-00	02h10m - 04h15m	125,00	9.80	4.70
22-Ene-00	21h30m - 22h00m	30,00	3.50	7.00
31-Ene-00	20h20m - 20h55m	35,00	7.40	12.69
7-Mar-00	15h30m - 15h55m	25,00	4.40	10.56
12-Oct-00	14h20m - 15h05m	45,00	7.00	9.33
14-Dic-00	19h40m - 21h00m	80,00	9.40	7.05
1-Ene-01	16h00m - 16h40m	40,00	5.40	8.10
5-Ene-01	16h10m - 16h50m	40,00	10.00	15.00
10-Ene-01	22h10m - 22h40m	30,00	5.60	11.20
2-Feb-01	02h45m - 03h10m	25,00	7.00	16.80
23-Mar-01	12h45m - 13h00m	15,00	4.00	16.00
28-Mar-01	13h50m - 14h50m	60,00	9.50	9.50
22-Nov-01	17h55m - 18h05m	10,00	2.20	13.20
3-Nov-01	20h50m - 21h10m	20,00	8.90	26.70
24-Dic-01	00h00m - 02h00m	120,00	16.50	8.25
7-Ene-02	15h45m - 16h15m	30,00	10,00	20,00
	16h15m - 16h45m	30,00	3.60	7.20
12-Ene-02	00h10m - 00h25m	15,00	10.60	42.40
	00h30m - 01h10m	40,00	10.80	16.20
17-Ene-02	12h50m - 13h10m	20,00	5.20	15.60
7-Abr-02	18h55m - 19h10m	15,00	10.40	41.60
17-Nov-02	18h50m - 19h10m	20,00	4.70	14.10
1-Ene-03	16h10m - 16h45m	35,00	18.10	31.03
17-Ene-03	23h30m - 24h00m	30,00	14.00	28.00
1-Mar-03	15h30m - 15h55m	25,00	7.20	17.28
23-Mar-03	22h05m - 22h30m	25,00	8.50	20.40
1-Nov-03	16h00m - 16h50m	50,00	10.10	12.12
3-Ene-04	21h10m - 21h40m	30,00	7.20	14.40
4-Ene-04	18h10m - 19h00m	50,00	3.60	4.32
13-Ene-04	14h55m - 15h10m	15,00	5.80	23.20
27-Ene-04	18h20m - 18h55m	35,00	9.80	16.80
14-Mar-04	21h20m - 21h30m	10,00	7.00	42.00
2-Nov-04	13h30m - 14h05m	35,00	7.20	12.34
5-Nov-04	17h15m - 17h45m	30,00	10.30	20.60
27-Nov-04	22h50m - 23h00m	10,00	5.30	31.80
13-Dic-04	01h50m - 02h05m	15,00	2.30	9.20
14-Dic-04	14h05m - 14h50m	45,00	8.80	11.73
28-Dic-04	20h10m - 20h40m	30,00	4.90	9.80
12-Ene-05	14h50m - 15h05m	15,00	5.80	23.20
15-Mar-05	13h30m - 14h05m	35,00	6.60	11.31
19-Oct-05	13h00m - 13h10m	10,00	5.50	33.00
3-Dic-05	21h20m - 21h50m	30,00	7.80	15.60
11-Dic-05	14h00m - 14h40m	40,00	7.20	10.80
30-Dic-05	19h00m - 21h00m	120,00	33.40	16.70
4-Nov-06	16h00m - 16h30m	30,00	14.20	28.40
25-Ene-08	14h00m - 14h10m	10	4	24
	23h00m - 12h20m	270	12.2	2.7
26-Ene-08	7h00m - 8h00m	60	11.5	11.5
29-Ene-08	15h00m - 16h00m	60	0.5	0.5
	17h40m - 17h45m	5	0.8	9.6
31-Ene-08	20h00m - 22h00m	120	9	4.5
1-Feb-08	19h40m - 19h50m	10	2.7	16.2
2-Feb-08	15h00m - 15h20m	20	4.2	12.6
18-Feb-08	22h00m - 22h50m	50	2	2.4
	23h00m - 0h50m	110	4.6	2.5

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACION

(Fuente: UNSAAC-Perayoc)

FECHA	HORA	TIEMPO MIN	LLUVIA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h
	INICIO - FIN			
20-Feb-08	2h45m - 2h55m	10	1.5	9
23-Feb-08	1h40m - 3h40m	120	1	0.5
	14h00m - 14h10m	10	1.5	9
24-Feb-08	2h00m - 2h50m	50	2	2.4
	15h40m - 16h00m	20	2.7	8.1
	22h40m - 4h00m	350	11.8	2
27-Feb-08	14h00m - 14h50m	50	1.9	2.3
	20h10m - 20h15m	5	0.8	9.6
28-Feb-08	0h30m - 5h00m	270	9	2
	22h50m - 0h20m	90	18.3	12.2
29-Feb-08	7h00m - 7h50m	50	0.6	0.7
	13h40m - 22h00m	20	4	12
	17h00m - 22h00m	300	5	1
4-Mar-08	18h40m - 19h00m	20	4.3	12.9
	23h50m - 24h00m	10	2	12
6-Mar-08	17h40m - 18h00m	20	1.5	4.5
	19h30m - 20h00m	30	0.9	1.8
9-Mar-08	2h00m - 2h50m	20	4.8	14.4
12-Mar-08	13h30m - 13h40m	10	1	6
31-Mar-08	3h00m - 4h00m	60	1.5	1.5
	20h00m - 21h00m	60	1.1	1.1
29-Abr-08	16h00m - 16h10m	10	05.50	33.00
7-May-08	16h00m - 16h20m	20	02.50	7.50
10-May-08	22h00m - 22h40m	40	02.90	4.40
11-Jun-08	1h00m - 1h10m	10	00.30	1.80
12-Jun-08	4h00m - 5h00m	60	00.60	0.60
7-Ago-08	7h00m - 7h40m	40	02.90	4.40
15-Set-08	20h00m - 23h00m	180	05.00	1.70
28-Set-08	16h00m - 18h00m	120	05.00	2.50
9-Oct-08	6h30m - 7h00m	30	02.50	5.00
21-Oct-08	18h30m - 18h35m	5	00.40	4.80
25-Oct-08	16h30m - 18h00m	90	06.80	4.50
26-Oct-08	14h10m - 15h00m	50	08.90	10.70
27-Oct-08	17h50m - 18h00m	10	08.00	48.00
1-Nov-08	20h30m - 20h35m	5	00.50	6.00
10-Nov-08	13h00m - 13h50m	50	02.50	3.00
	20h30m - 21h30m	60	06.30	6.30
13-Nov-08	13h00m - 14h00m	60	02.60	2.60
	21h00m - 22h00m	60	02.00	2.00
16-Nov-08	17h00m - 17h10m	10	01.90	11.40
19-Nov-08	14h10m - 15h00m	50	03.00	3.60
22-Nov-08	18h00m - 19h50m	110	14.00	7.60
25-Nov-08	14h00m - 14h10m	10	00.80	4.80
	18h00m - 18h20m	20	00.90	2.70
27-Nov-08	13h00m - 14h50m	50	05.50	6.60
30-Nov-08	23h00m - 1h30m	150	08.50	3.40
2-Dic-08	2h00m - 2h30m	30	00.50	1.00
	17h00m - 17h30m	30	07.00	14.00
10-Dic-08	1h00m - 2h00m	60	00.80	0.80
	5h00m - 5h10m	10	00.60	3.60
	19h00m - 19h50m	50	05.00	6.00
14-Dic-08	0h00m - 6h30m	390	08.30	1.30
	19h00m - 22h00m	180	10.00	3.30
15-Dic-08	15h50m - 16h00m	10	09.40	56.40
16-Dic-08	13h10m - 14h00m	50	01.50	1.80
	22h00m - 22h05m	5	00.80	9.60

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACION

(Fuente: UNSAAC-Perayoc)

FECHA	HORA	TIEMPO MIN	LLUVIA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h
	INICIO - FIN			
24-Dic-08	6h00m - 8h00m	120	01.50	0.80
	17h40m - 17h50m	10	01.80	10.80
25-Dic-08	14h00m - 25h00m	60	02.00	2.00
	17h40m - 24h00m	380	03.00	0.50
26-Dic-08	17h00m - 18h00m	60	04.20	4.20
	18h20m - 19h00m	40	02.00	3.00
27-Dic-08	6h30m - 6h35m	5	02.50	30.00
29-Dic-08	1h00m - 1h10m	10	00.60	3.60
15-Ene-09	15h30m - 15h40m	10	02.50	15.00
18-Ene-09	12h00m - 13h00m	60	07.20	7.20
19-Ene-09	11h00m - 12h00m	60	06.00	6.00
	17h00m - 17h50m	50	03.30	4.00
23-Ene-09	8h00m - 8h30m	30	04.70	9.40
	13h00m - 13h30m	30	01.00	2.00
30-Ene-09	18h00m - 18h10m	10	03.50	21.00
5-Feb-09	15h00m - 15h10m	10	01.50	9.00
10-Feb-09	3h00m - 4h00m	60	00.70	0.70
	10h00m - 10h10m	10	05.00	30.00
27-Feb-09	6h30m - 7h00m	30	01.00	2.00
	12h00m - 12h10m	10	03.00	18.00
8-Mar-09	16h00m - 16h30m	30	00.60	1.20
	4h00m - 6h00m	120	00.80	0.40
24-Mar-09	22h00m - 24h00m	120	13.00	6.50
	7h00m - 7h20m	20	01.00	3.00
3-Abr-09	14h00m - 16h00m	120	10.50	5.30
	18h00m - 18h10m	10	01.20	7.20
12-Abr-09	14h50m - 15h00m	10	05.80	34.80
17-May-09	17h50m - 18h00m	10	01.80	10.80
24-May-09	23h00m - 23h50m	50	02.80	3.40
15-Jun-09	9h00m - 10h00m	60	02.50	2.50
	13h00m - 13h20m	20	06.50	19.50
21-Ago-09	10h10m - 10h20m	10	00.60	0.36
27-Sep-09	16h30m - 17h00m	30	03.00	6.00
12-Oct-09	7h00m - 8h00m	60	07.00	7.00
	13h00m - 14h00m	60	00.80	0.80
14-Nov-09	17h30m - 17h50m	20	01.20	3.60
22-Nov-09	22h30m - 23h30m	60	09.00	9.00
25-Nov-09	4h00m - 6h00m	120	0.5	0.3
	22h00m - 23h00m	60	6.8	6.8
29-Nov-09	1h00m - 2h00m	60	1.2	1.2
	13h00m - 13h10m	10	1	6
3-Dic-09	23h00m - 24h00m	60	1.2	1.2
	13h20m - 14h00m	80	6.2	4.7
29-Dic-09	18h50m - 19h00m	10	3.6	21.6
	2h00m - 4h00m	160	0.7	0.4
30-Dic-09	12h30m - 12h40m	10	1.4	8.4
	11h30m - 11h50m	20	3	9
31-Dic-09	13h40m - 14h00m	20	2.5	7.5
	14h50m - 16h10m	80	1.3	1
8-Ene-10	20h00m - 20h10m	10	1	6
	21h00m - 23h00m	120	1	0.5
19-Ene-10	14h50m - 15h10m	20	5	15
	21h00m - 22h40m	100	1.4	0.8
19-Ene-10	11h30m - 12h00m	30	2.6	5.2

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

REGISTRO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACION

(Fuente: UNSAAC-Perayoc)

FECHA	HORA	TIEMPO MIN	LLUVIA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h
	INICIO - FIN			
26-Ene-10	1h50m - 6h10m	260	7.4	1.7
	22h30m - 23h00m	30	14.5	29
28-Ene-10	15h40m - 18h00m	140	0.5	0.2
	18h30m - 18h40m	10	1.5	9
29-Ene-10	22h50m - 23h20m	30	0.3	0.6
	29h50m - 23h00m	130	13.3	6.1
30-Ene-10	13h50m - 14h00m	10	0.5	3
15-Ene-11	14h50m - 15h20m	30	8	16
	20h00m - 21h20m	80	1.4	1.05
20-Ene-11	9h30m - 10h00m	30	6	12
13-Ene-12	13h00m - 13h10m	10	1.9	11.4
6/02/20012	08h10m - 09h00m	50	3	3.6
25-Mar-12	18h00m - 19h50m	110	14	7.636363636
10-Nov-12	14h00m - 14h10m	10	0.8	4.8
12-Ene-13	00h00m - 08h30m	510	15	1.764705882
	16h30m - 23h00m	390	35.6	5.476923077
15-Abr-13	23h00m - 24h00m	60	20	20
2-Dic-13	04h00m - 04h05m	5	1	12
	02h0m - 03h20m	80	30	22.5

ANEXO IV
CATALOGO SISMICO

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
1700	8	2	21	0	-13.9	-72.1	10	4.1
1707	9	18	5	0	-13.9	-72.1	10	4.4
1744	11	19	11	30	-13.77	-72.1	20	4.8
1746	2	11	0	0	-14	-71.7	20	4.9
1747	3	19	0	0	-13.9	-70.35	20	6.2
1875	12	6	2	30	-13.4	-72.7	20	4.9
1905	1	23	11	15	-13.67	-71.87	7	4.1
1931	6	18	14	35	-14.14	-71.36	150	4
1937	3	29	7	49	-15.5	-71	120	6.8
1939	6	24	4	22	-14.15	-71.64	20	6.3
1941	9	18	13	14	-13.67	-71.96	100	7
1943	1	31	5	0	-14.2	-71.5	25	5
1943	2	16	7	28	-15	-72	190	6
1944	2	1	0	0	-13.57	-71.96	30	3.7
1946	5	30	16	56	-13.54	-71.96	25	3.3
1946	2	21	10	48	-13.57	-71.96	25	3.4
1946	4	17	17	30	-13.44	-72.51	25	3.6
1947	10	31	15	0	-13	-72.5	20	4
1947	4	20	2	5	-13.5	-72.7	25	3.6
1948	1	10	18	26	-13.57	-71.93	30	3
1948	11	6	10	17	-13.54	-71.96	25	3.3
1948	10	10	8	40	-13.44	-72.51	25	3.3
1948	8	16	11	15	-13.42	-72.8	25	3.8
1949	1	10	18	25	-13.57	-71.93	35	3.1
1949	4	16	1	45	-13.5	-71.6	25	3.8
1950	6	9	18	40	-13.4	-73.2	30	4
1950	5	23	21	0	-13.57	-71.93	30	3
1950	5	24	0	0	-13.57	-71.93	30	3
1950	5	28	9	0	-13.57	-71.93	30	3
1950	6	1	8	0	-13.57	-71.93	30	3
1950	6	16	8	5	-14.05	-71.55	20	3.4
1950	1	26	6	0	-13.5	-71.2	25	3.5
1950	8	25	3	35	-13.7	-71.85	25	3.6
1950	5	25	18	3	-13.54	-71.96	25	3.6
1950	1	16	2	30	-13.5	-71.2	150	3.6
1950	9	4	17	45	-13.5	-71.2	150	3.8
1950	1	17	5	0	-13.5	-71.2	150	4.1
1950	7	17	12	25	-14.1	-71.5	20	4.3
1950	5	21	18	37	-13.48	-72.1	15	5.6
1951	3	13	9	0	-13.75	-71.65	25	3.4
1952	7	6	7	0	-13.55	-71.97	25	3.6
1952	8	26	10	45	-13.55	-71.97	20	3.6
1953	11	1	21	8	-13.9	-72.3	20	3.3
1953	11	2	7	0	-13.9	-72.3	20	4
1954	5	5	8	40	-13.55	-71.97	30	3
1954	8	7	20	10	-13.5	-71.2	150	3.8
1954	8	7	20	10	-13.5	-71.2	150	3.8
1954	8	7	20	10	-13.5	-71.2	150	3.8
1954	4	7	17	51	-13.6	-72.3	30	3.9
1954	6	2	2	15	-13.5	-72.7	25	4.1
1955	2	20	12	20	-13.5	-71.2	150	3.8
1955	6	20	2	0	-13.5	-72	20	4.1
1955	1	8	7	0	-14.4	-71.49	30	3.2
1955	1	8	3	0	-14.4	-71.49	25	3.8
1960	11	3	22	2	-14.4	-71.6	55	5
1960	11	3	22	2	-14.4	-71.6	55	5
1961	11	8	19	30	-13.98	-71.9	20	4.8

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
1961	11	8	19	30	-13.98	-71.9	20	4.8
1961	11	10	2	7	-14.3	-71.9	68	5.3
1961	11	10	2	7	-14.3	-71.9	68	5.3
1962	3	22	20	50	-14.9	-70.7	119	4.7
1962	3	22	20	50	-14.9	-70.7	119	4.7
1963	7	22	16	33	-12.5	-73.7	79	4.5
1963	7	22	16	33	-12.5	-73.7	79	4.5
1963	12	27	0	9	-13.4	-72.7	42	4.1
1963	8	22	15	53	-14.5	-71.8	100	3.5
1963	8	1	18	30	-15	-71.8	100	4.1
1963	8	1	18	30	-15	-71.8	100	4.1
1963	10	27	7	45	-14.7	-71.7	121	4.2
1963	10	27	7	45	-14.7	-71.7	121	4.2
1963	8	18	23	7	-14.2	-71.9	31	4.6
1963	8	18	23	7	-14.2	-71.9	31	4.6
1964	5	18	4	15	-12.15	-73.53	81	4.3
1964	5	18	4	15	-12.15	-73.53	81	4.3
1964	6	28	5	52	-13.8	-71.7	100	3.8
1964	10	28	3	7	-13.5	-72.67	54	4.4
1964	10	17	7	45	-13.46	-72.6	44	4.4
1964	10	28	3	7	-13.5	-72.67	54	4.4
1964	10	17	7	45	-13.46	-72.6	44	4.4
1964	6	6	0	32	-14.93	-72.1	108	4.1
1964	1	28	13	3	-14.82	-71.85	136	4.1
1964	6	6	0	32	-14.93	-72.1	108	4.1
1964	1	28	13	3	-14.82	-71.85	136	4.1
1965	11	21	4	29	-11.3	-73.5	80	4.2
1965	9	14	4	50	-12.09	-72.57	72	4.3
1965	9	14	4	50	-12.09	-72.57	72	4.3
1965	3	9	2	55	-13.52	-72.79	40	4.1
1965	3	9	2	55	-13.52	-72.79	40	4.1
1965	6	5	20	41	-13.74	-71.6	73	4.2
1965	6	5	20	41	-13.74	-71.6	73	4.2
1965	5	8	22	22	-13.7	-71.6	20	4.3
1965	5	8	22	22	-13.7	-71.6	20	4.3
1965	9	10	10	24	-14.4	-72.4	94	3.9
1965	7	30	12	11	-15.1	-70.8	192	4.1
1965	7	30	12	11	-15.1	-70.8	192	4.1
1966	7	29	8	26	-12.59	-71.17	11	4.3
1966	10	20	22	22	-12.06	-71.5	34	4.5
1966	10	27	10	7	-15	-72.06	132	4.2
1966	11	9	2	1	-14.9	-71.94	122	4.5
1966	12	9	10	6	-14.73	-70.76	100	4.8
1967	1	4	19	53	-14.4	-70.65	86	4
1967	12	10	23	46	-14.4	-72.2	33	4.4
1967	12	10	23	46	-14.4	-72.2	33	4.4
1968	4	26	11	54	-14.45	-70.52	100	4.8
1968	4	26	11	54	-14.45	-70.52	100	4.8
1969	8	1	19	32	-13.54	-72.58	47	4.5
1969	8	1	19	32	-13.54	-72.58	47	4.5
1969	11	11	10	54	-14.78	-71.12	182	4.2
1969	7	23	1	15	-14.86	-71.9	143	4.4
1969	4	20	4	30	-14.72	-72.28	116	4.4
1969	7	23	1	15	-14.86	-71.9	143	4.4
1969	4	20	4	30	-14.72	-72.28	116	4.4
1969	10	17	8	9	-14.97	-71.51	137	5.1
1970	11	6	22	47	-15.51	-71.05	25	5

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
1970	11	6	22	47	-15.51	-71.05	25	5
1971	4	21	4	6	-14.37	-71.81	113	4.6
1971	4	21	4	6	-14.37	-71.81	113	4.6
1971	3	21	14	31	-14.25	-72.28	86	5.3
1971	3	21	14	31	-14.25	-72.28	87	5.3
1972	12	20	10	14	-12.63	-72.6	25	3.6
1972	7	27	3	31	-12.77	-71.92	20	3.6
1972	4	24	8	13	-11.09	-72.89	30	3.9
1972	7	2	16	46	-13	-72.26	20	3.9
1972	12	25	19	39	-13.73	-71.51	25	4
1972	12	25	19	39	-13.73	-71.51	25	4
1972	2	8	20	44	-14.14	-71.67	64	4.8
1972	2	8	20	44	-14.14	-71.67	64	4.8
1972	2	29	2	4	-15.07	-71.87	129	5
1972	2	29	2	4	-15.07	-71.87	129	5
1973	7	7	17	22	-12.16	-73.74	30	1
1973	2	1	14	51	-12.92	-73.31	122	4
1973	2	1	14	51	-12.92	-73.31	122	4
1973	8	3	7	32	-13.74	-71.87	104	3.6
1973	9	6	1	8	-13.78	-70.37	30	3.7
1973	10	31	6	13	-13.89	-71.38	35	4.3
1973	10	31	6	13	-13.89	-71.38	45	4.3
1973	10	25	14	49	-13.67	-72.41	99	5
1973	10	25	14	49	-13.67	-72.41	98	5.1
1973	11	29	10	43	-15.07	-71.93	148	3.6
1973	12	30	11	34	-15.04	-72	80	3.8
1973	12	30	9	25	-15	-71.98	78	4.3
1973	12	30	9	25	-15	-71.98	78	4.3
1973	3	3	6	28	-14.9	-71.39	146	4.4
1973	10	7	4	29	-15.43	-71.2	170	4.5
1973	3	5	22	33	-14.9	-71.39	164	4.5
1973	8	11	22	8	-14.7	-72.72	90	4.5
1973	10	7	4	29	-15.43	-71.2	170	4.5
1973	3	5	22	33	-14.9	-71.39	164	4.5
1973	3	3	6	28	-14.9	-71.39	146	4.5
1973	8	11	22	8	-14.7	-72.72	90	4.5
1973	7	29	16	15	-14.38	-72.21	91	5.4
1973	7	29	16	15	-14.38	-72.21	92	5.5
1974	5	24	16	46	-11.8	-73.26	87	4.1
1974	7	12	14	3	-12.32	-73.65	41	4.5
1974	1	13	17	23	-12.62	-73.06	54	4.6
1974	1	13	17	23	-12.62	-73.06	54	4.6
1974	4	17	2	1	-13.66	-71.94	100	3.8
1974	2	24	14	16	-14.67	-70.64	124	3.7
1974	2	1	6	55	-14.54	-72.37	114	4.1
1974	2	1	6	55	-14.54	-72.37	114	4.1
1974	5	2	22	39	-14.7	-71.72	135	4.3
1974	10	8	2	14	-14.72	-71.68	130	4.4
1974	10	31	8	58	-15.43	-71.02	29.1	5
1974	10	31	8	58	-15.43	-71.02	29	5.1
1975	11	20	8	9	-11.85	-73.2	33	3.8
1975	5	10	7	31	-12.3	-73.09	0	4.1
1975	12	16	22	21	-13.48	-72.57	118	1
1975	1	23	10	44	-15.43	-70.89	196	4.2
1975	1	23	10	44	-15.43	-70.89	196	4.2
1975	4	10	5	20	-15.32	-71.06	201	4.3
1975	4	10	5	20	-15.32	-71.06	201	4.3

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
1975	5	7	2	31	-14.96	-71.91	144	4.5
1975	5	7	2	31	-14.96	-71.91	144	4.5
1976	5	10	5	25	-14.67	-70.79	100	4.3
1976	5	10	5	25	-14.67	-70.79	100	4.3
1976	5	6	13	0	-14.73	-72.23	104	4.6
1976	5	6	13	0	-14.73	-72.23	103	4.7
1977	11	24	16	42	-15.3	-71.17	190	4.7
1977	11	24	16	42	-15.3	-71.17	190	4.7
1978	1	21	13	29	-12.86	-71.3	14.5	5.2
1978	1	21	13	29	-12.86	-71.3	15	5.2
1978	10	2	0	17	-13.57	-70.71	61	4.8
1978	10	2	0	17	-13.57	-70.71	61	4.8
1978	7	29	1	11	-15	-71.87	139	4.3
1978	7	29	1	11	-15	-71.87	139	4.4
1978	6	24	6	37	-14.98	-70.84	182	4.7
1978	6	24	6	37	-14.98	-70.84	182	4.8
1978	12	23	14	29	-14.86	-71.64	133	5.1
1978	12	23	14	29	-14.86	-71.64	134	5.1
1979	6	13	4	25	-11.78	-72.95	61	4.4
1979	3	10	10	2	-15.19	-71.15	37	4.6
1979	12	27	11	53	-15.15	-70.93	203	4.6
1979	3	10	10	2	-15.19	-71.15	37	4.6
1979	12	27	11	53	-15.15	-70.93	203	4.6
1979	12	19	6	40	-14.59	-71.62	124	5.1
1979	12	19	6	40	-14.59	-71.62	124	5.2
1980	12	23	9	44	-11.65	-73.16	41	4.2
1980	3	16	0	19	-11.61	-73.45	28	4.8
1980	12	29	1	19	-12.7	-71.49	87	4.7
1980	12	29	1	19	-12.7	-71.49	87	4.8
1980	6	3	19	17	-13.36	-72.49	18.8	4.9
1980	6	3	19	17	-13.36	-72.49	19	4.9
1980	12	17	9	44	-14.85	-72.39	99	4.8
1980	12	17	9	44	-14.85	-72.39	99	4.8
1980	4	18	19	33	-14.93	-71.36	143.4	5
1980	4	18	19	33	-14.93	-71.36	143	5.1
1981	1	23	1	8	-14.62	-70.64	47	5.3
1981	1	23	1	8	-14.62	-70.64	47	5.3
1981	4	23	15	39	-14.86	-70.84	194	4.9
1981	10	15	18	45	-14.98	-71.8	121	4.9
1981	4	23	15	39	-14.86	-70.84	194	4.9
1981	10	15	18	45	-14.98	-71.8	121	5.1
1982	12	16	14	7	-14.38	-70.54	175	5.2
1982	9	15	20	22	-14.49	-70.79	128	6.3
1982	9	15	20	22	-14.49	-70.79	128	6.3
1982	11	14	12	55	-15.11	-71.79	138	4.6
1982	8	9	4	50	-15.23	-71.04	164	4.8
1982	10	26	15	58	-15.02	-70.86	33	5.2
1983	10	20	11	35	-12.47	-73	162	4.3
1985	7	11	1	19	-12.92	-73.59	74	4.5
1986	1	22	10	11	-13.53	-72.89	133	4
1986	9	25	15	24	-13.4	-71.85	37	4.2
1986	9	25	15	25	-13.46	-71.26	78	4.6
1986	4	5	20	13	-13.51	-72.03	7	5.3
1987	4	4	0	15	-14.34	-70.67	180	5.1
1988	10	5	12	10	-12.57	-73.79	83	4.9
1989	10	18	20	15	-15.02	-70.99	197	4.7
1989	11	11	15	4	-14.32	-72.01	108	5.2

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
1990	11	26	21	3	-12.57	-73.84	66	4.2
1990	3	3	10	11	-11.8	-73.46	86	4.7
1990	4	9	7	22	-13.54	-72.73	40	4.4
1990	4	20	18	23	-15.27	-71.19	53	5.1
1991	7	6	12	19	-13.11	-72.19	104	7
1991	3	3	15	14	-14.63	-72.67	79	3.7
1991	8	3	23	2	-14.93	-72.08	113	4.2
1992	9	26	4	16	-15.04	-72.08	185	4.3
1992	12	14	12	49	-14.71	-72.47	34	4.7
1993	4	3	0	58	-14.79	-71.15	54	3.8
1993	3	23	23	13	-15.22	-71.03	163	4.6
1993	7	24	17	54	-15.1	-71.76	130	4.6
1994	1	29	15	47	-12.22	-73.4	81	5.2
1994	8	6	1	28	-14.3	-72.1	75	4.2
1995	8	17	12	11	-12.02	-73.36	132	5.1
1995	9	3	17	33	-14.51	-72.15	80	4.1
1995	4	15	5	8	-14.23	-72.19	53	4.1
1995	1	29	22	51	-15.03	-71.49	143	4.8
1996	9	27	9	8	-12.45	-72.13	136	4.7
1996	6	8	22	47	-15.31	-71.08	117	4.1
1997	9	8	15	33	-14.07	-71.74	128	4.3
1997	8	8	6	44	-14.52	-72.57	108	4.3
1998	11	19	12	44	-11.84	-73.11	19	4.3
1998	2	25	1	46	-12.32	-72.11	20	4.1
1998	1	11	3	25	-12.28	-72.31	22	4.3
1998	1	22	17	6	-12.08	-71.81	158	4.3
1998	1	10	6	21	-11.94	-71.41	156	4.3
1998	1	10	11	41	-12.14	-72.35	13	4.5
1998	1	10	9	8	-12.25	-72.44	109	5.2
1998	1	10	4	54	-12.03	-72.07	33	6.4
1998	3	28	8	58	-14.86	-71.85	144	4.5
1998	3	28	6	47	-14.87	-71.88	147	4.6
1998	10	24	11	30	-14.98	-71.96	20	4.7
1999	4	12	22	11	-15.25	-71.51	153	3.8
1999	10	2	21	21	-14.45	-72.51	12	3.9
1999	11	27	2	31	-14.53	-71.29	126	5.9
2000	2	15	5	31	-13.4	-72.3	76	3.7
2000	2	12	18	27	-13.92	-72.19	57	4.2
2000	2	15	5	31	-13.09	-71.74	33	4.2
2000	2	15	0	36	-14.17	-70.57	186	4.6
2000	2	15	0	37	-13.92	-72.09	51	4.9
2001	6	26	0	46	-13.06	-73.3	44	4.8
2001	6	24	2	52	-13.76	-71.97	44	4.1
2001	5	22	20	38	-15.4	-70.99	185	4.4
2002	4	2	1	28	-12.1	-71.77	160	4.6
2002	3	20	11	32	-14.92	-72.01	126	4
2002	1	8	17	18	-14.86	-72.5	116	4
2002	5	21	2	59	-14.97	-72.04	136	4.2
2002	11	29	7	31	-14.77	-72.03	50	4.3
2002	6	24	19	4	-14.99	-71.82	114	4.8
2002	6	24	19	4	-14.81	-71.82	122	5.1
2003	5	3	0	45	-12.14	-72.44	23	4.9
2003	4	7	5	58	-13.62	-72.14	32	4.1
2003	5	25	18	54	-13.52	-72	79	4.5
2003	7	7	7	17	-13.48	-71.96	40	4.5
2003	5	25	18	54	-13.53	-72.66	33	4.9
2003	8	8	14	56	-13.8	-71.81	37	5

TESIS DE INVESTIGACIÓN:
 "EVALUACIÓN DEL RIESGO ORIGINADO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUEBRADA THUNIYOC, DISTRITOS DE SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO, CUSCO"

CATALOGO SISMICO (Fuente: IGP)

AÑO	MES	DÍA	HH	MM	LATITUD	LONGITUD	PROF	MB
2003	8	8	15	38	-13.81	-71.82	33	5.1
2003	6	6	17	20	-15.02	-71.09	159	4.1
2003	12	2	23	19	-15.02	-71.99	19	4.2
2003	2	21	19	9	-15.02	-71.85	40	4.6
2003	8	8	15	37	-14.52	-71.15	164	4.8
2003	8	8	14	56	-14.49	-71.5	32	5.1
2003	5	24	0	30	-14.67	-71.51	143	5.6
2004	4	13	8	0	-12.36	-73.21	15	4.3
2004	5	8	14	17	-14.65	-70.6	86	4.3
2004	10	18	13	46	-15.15	-71.88	80	3.6
2004	1	2	14	49	-14.69	-72.44	112	4.5
2004	3	26	11	57	-14.65	-72.75	32	4.7
2004	3	23	21	0	-14.97	-71.87	129	4.8
2004	3	26	11	57	-14.6	-72.33	53	5
2005	11	5	3	6	-12.93	-73.72	93	4.3
2005	2	12	0	26	-12.69	-72.67	14	4.3
2005	4	11	19	14	-14.16	-71.16	42	4
2005	7	25	19	27	-13.34	-71.79	100	4.4
2005	4	6	14	52	-14.08	-71.28	33	4.7
2005	4	6	14	52	-14.19	-71.22	35	5
2005	11	11	3	3	-14.6	-72.51	120	4.2
2005	7	3	4	19	-15.12	-71.05	126	4.7
2006	8	5	23	53	-12.81	-73.71	57	4.5
2006	4	22	16	32	-11.93	-71.82	77	4.4
2006	11	13	7	56	-13.76	-71.87	19	4.5
2006	8	9	22	36	-14.43	-70.74	28	5.2
2006	5	25	2	48	-14.85	-72.17	132	4.1
2006	7	5	8	45	-15.44	-71.09	180	4.3
2006	12	30	14	30	-15.34	-71.15	184	4.3
2006	8	9	22	36	-14.69	-71.23	15	5.6
2007	9	24	2	25	-12.69	-71.32	27	5.4
2007	6	9	1	45	-13.6	-72.84	35	4.2
2007	8	13	6	0	-13.92	-70.37	24	4.7
2007	9	24	2	25	-12.99	-72.08	40	5.1
2007	11	29	19	44	-15.35	-71.13	61	4
2007	8	1	7	36	-15.47	-71.06	10	4.4
2007	1	26	10	2	-14.45	-72.56	71	4.5
2007	11	9	8	14	-15.17	-71.82	135	4.8
2008	7	24	2	21	-14.16	-71.35	45	4
2008	4	19	15	50	-14.43	-71.03	40	4.1
2008	7	24	2	21	-14.18	-71.34	54	4.4
2008	4	19	15	50	-14.35	-71.19	75	4.5
2008	7	28	18	18	-14.06	-71.01	19	4.7
2008	7	28	18	18	-14.24	-71.3	47	5
2008	3	29	8	59	-14.51	-72.45	126	4.2
2008	6	15	5	44	-14.58	-71.57	57	4.6
2008	6	15	5	44	-14.58	-71.57	57	4.9
2009	2	15	0	59	-13.44	-71.75	33	4.1
2009	7	2	6	10	-13.5	-72.19	24	4.2
2009	5	11	20	43	-13.88	-71.25	46	4.3
2010	8	9	1	40	-13.1	-71.27	18	4.5
2010	11	24	22	8	-14.86	-71.71	37	5.3
2010	11	28	14	49	-14.76	-71.43	113	5.4
2011	1	22	2	6	-12.15	-73.06	33	5.4