

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7629**

# **EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN LA QUEBRADA INQUI**

Departamento: Apurímac  
Provincia: Cotabambas  
Distrito: Tambobamba



MAYO  
2025

## **EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN LA QUEBRADA INQUI**

Distrito Tambobamba, Provincia Cotabambas, Departamento Apurímac



Elaborado por la Dirección de  
Geología Ambiental y Riesgo  
Geológico del Ingemmet

*Equipo técnico:*

*Yhon Soncco Calsina*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *Evaluación de peligro geológico por flujo de detritos (huaico) en la quebrada Inqui. Distrito Tambobamba, provincia Cotabambas, departamento Apurímac*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico N° A7629, 34 p.

## ÍNDICE

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>                                                               | <b>5</b>  |
| <b>1.1. Objetivos del estudio.....</b>                                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....</b>                                        | <b>5</b>  |
| <b>1.2.1. Ubicación .....</b>                                                              | <b>6</b>  |
| <b>1.2.2. Accesibilidad.....</b>                                                           | <b>8</b>  |
| <b>1.2.3. Precipitación pluvial.....</b>                                                   | <b>8</b>  |
| <b>2. DEFINICIONES .....</b>                                                               | <b>9</b>  |
| <b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....</b>                                                        | <b>12</b> |
| <b>3.1. Unidades litoestratigráficas.....</b>                                              | <b>12</b> |
| <b>3.1.1. Grupo Tacaza (Po-t/24).....</b>                                                  | <b>12</b> |
| <b>3.1.2. Depósito coluvial (Qh-cl) .....</b>                                              | <b>12</b> |
| <b>3.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl) .....</b>                                             | <b>13</b> |
| <b>3.1.4. Depósito aluvial (Qh-al).....</b>                                                | <b>13</b> |
| <b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>4.1. Pendientes del terreno .....</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>4.2. Unidades Geomorfológicas .....</b>                                                 | <b>14</b> |
| <b>4.2.1. Unidad de Montaña.....</b>                                                       | <b>14</b> |
| <b>4.2.2. Unidad de Piedemonte .....</b>                                                   | <b>15</b> |
| <b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....</b>                                                         | <b>15</b> |
| <b>5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa.....</b>                                | <b>15</b> |
| <b>5.1.1 Flujo de detritos en la quebrada Inqui.....</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>5.1.2 Deslizamiento y derrumbe .....</b>                                                | <b>17</b> |
| <b>5.2 Factores condicionantes .....</b>                                                   | <b>20</b> |
| <b>5.3 Factores desencadenantes.....</b>                                                   | <b>20</b> |
| <b>6. CONCLUSIONES .....</b>                                                               | <b>26</b> |
| <b>7. RECOMENDACIONES .....</b>                                                            | <b>27</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                   | <b>28</b> |
| <b>ANEXO 1 MAPAS .....</b>                                                                 | <b>29</b> |
| <b>ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS<br/>GEOLÓGICOS .....</b> | <b>33</b> |

## **RESUMEN**

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligro geológico realizada en la quebrada Inqui del distrito Tambobamba, provincia Cotabambas, departamento Apurímac. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno.

En el área de estudio afloran secuencias rojizas, intercaladas con niveles delgados de volcarenitas y tobas lapilli del Grupo Tacaza; en conjunto se presentan moderadamente meteorizadas y altamente fracturadas. Así mismo se tiene depósitos coluviales, proluviales y aluviales, los cuales se presentan no consolidados.

En el contexto geomorfológico, la quebrada Inqui se encuentra circundada por una montaña modelada por roca volcano-sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente con depósito de deslizamiento.

En la margen izquierda de la quebrada Inqui se produjo un deslizamiento de 180 m de longitud, que afectó un área estimada de 0.6 ha. El material desplazado se ha depositado en el cauce de la quebrada. Además, se han identificado zonas con caída de rocas y derrumbes, cuyos depósitos también se acumulan en el cauce. Estos materiales se encuentran disponibles para ser incorporados en los flujos de detritos que ocurren en temporadas de lluvia.

En enero y diciembre del 2024, a partir de lluvias intensas, en la quebrada Inqui se generaron flujos de detritos (huaicos) proveniente de la parte alta. Durante su paso destruyó terrenos de cultivo, muros y caminos.

Los factores condicionantes de peligros geológicos son: afloramiento rocoso moderadamente meteorizado y altamente fracturado. Además de depósitos cuaternarios, no consolidados; pendientes de moderado a muy fuertemente inclinadas (10° - 45°). Montaña en roca volcano-sedimentaria; vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.

La simulación de flujo de detritos (huaico) realizada en la quebrada Inqui, ha determinado que este evento afectaría áreas de cultivo, caminos de herradura y viviendas situadas en la zona de entrada de la quebrada hacia la zona urbana de Tambobamba. Además, el flujo de detritos podría poner en riesgo los dos puentes ubicados en el sector. Este escenario resalta la necesidad urgente de implementar medidas preventivas y de mitigación para reducir el impacto de posibles huaicos durante la temporada de lluvias.

Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la quebrada Inqui es considerado de **PELIGRO ALTO A MUY ALTO**, frente a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (huaico), que pueden desencadenarse en temporadas de lluvias.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT), frente a la ocurrencia de flujos de detritos (huaico) en la quebrada Inqui. Además, colocar disipadores de energía en el cauce de las quebrada Inqui, empleando diques transversales (enrocado), mallas dinámicas y canalización del cauce con muros escalonados. Estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema. Para realizar estos trabajos es necesario calcular volúmenes y caudales máximos/extremos que se puedan generar. Además, mantener el ancho de quebrada, por ningún motivo este debe ser reducido.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo el Oficio N° 447-2024-A-MPCT, emitido por la municipalidad provincial de Cotabambas, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Inqui del distrito de Tambobamba, Provincia Cotabambas, Departamento Apurímac.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos en la quebrada Inqui. Los trabajos de campo se realizaron el 01 y 02 de setiembre del 2024.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: a) Gabinete I-Pre-campo, recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del Ingemmet; b) Campo, donde se realizó la observación de procesos de movimientos en masa, tomando datos y evidencias que contribuyan a su evaluación (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado geodinámico, recopilación de información y testimonios de población local afectada; c) Gabinete II, se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de las Municipalidad provincial de Cotabambas e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

### **1.1. Objetivos del estudio**

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar el peligro geológico por flujo de detritos (huaico) en la quebrada Inqui; eventos que pueden comprometer la seguridad física de terrenos agrícolas, vías de comunicación y viviendas.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa de tipo flujo de detritos (huaico).
- c) Emitir las recomendaciones para la reducción o mitigación de los daños.

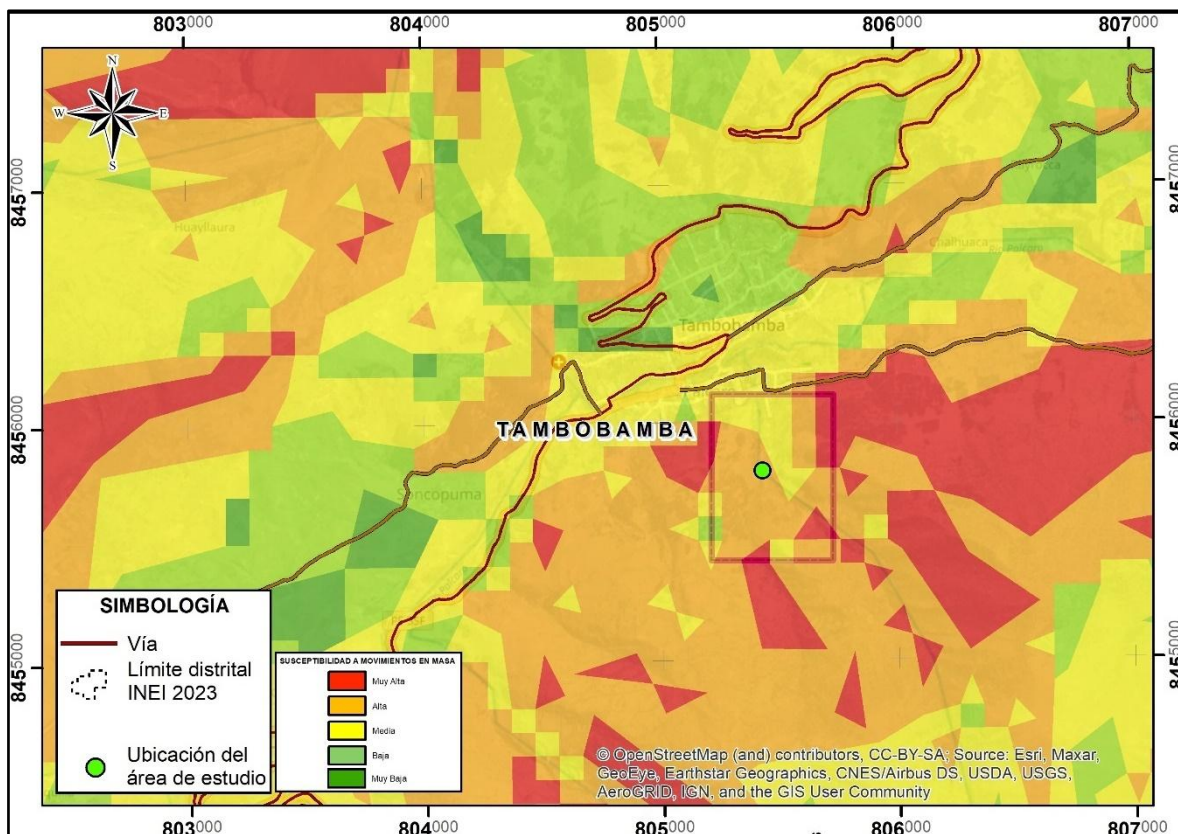
### **1.2. Antecedentes y trabajos anteriores**

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) Villacorta, et al. (2012). Primer reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Apurímac. Informe Técnico; N°

A6594. Del cartografiado de peligros geológicos a escala 1:50,000 en la región Apurímac, se ha registrado un total de 692.

- b) Villacorta et al. (2019). Evaluación integral de la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geohidrológico”. El autor presenta un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región de Apurímac; en el cual el área de estudio del presente informe se encuentra en una zona de susceptibilidad media y alta (figura 1).



**Figura 1.** Susceptibilidad a movimientos en masa en la región Apurímac. Villacorta et al. 2019.

### 1.2.1. Ubicación

El área evaluada está ubicada en la quebrada Inqui, en el distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas, Apurímac (figura 2), dentro de las coordenadas siguientes:

**Cuadro 1.** Coordenadas del punto central del área evaluado en la quebrada Inqui.

| Sector/Punto             | UTM - WGS84 - Zona 18S |         | Geográficas |             |
|--------------------------|------------------------|---------|-------------|-------------|
|                          | Este                   | Norte   | Latitud     | Longitud    |
| Punto central Qda. Inqui | 805429                 | 8455796 | -13.951717° | -72.173322° |
| A                        | 805044                 | 8456368 | -13.946592° | -72.176945° |
| B                        | 805944                 | 8456365 | -13.946523° | -72.168623° |
| C                        | 805917                 | 8455133 | -13.957652° | -72.168737° |
| D                        | 805012                 | 8455140 | -13.957686° | -72.177106° |

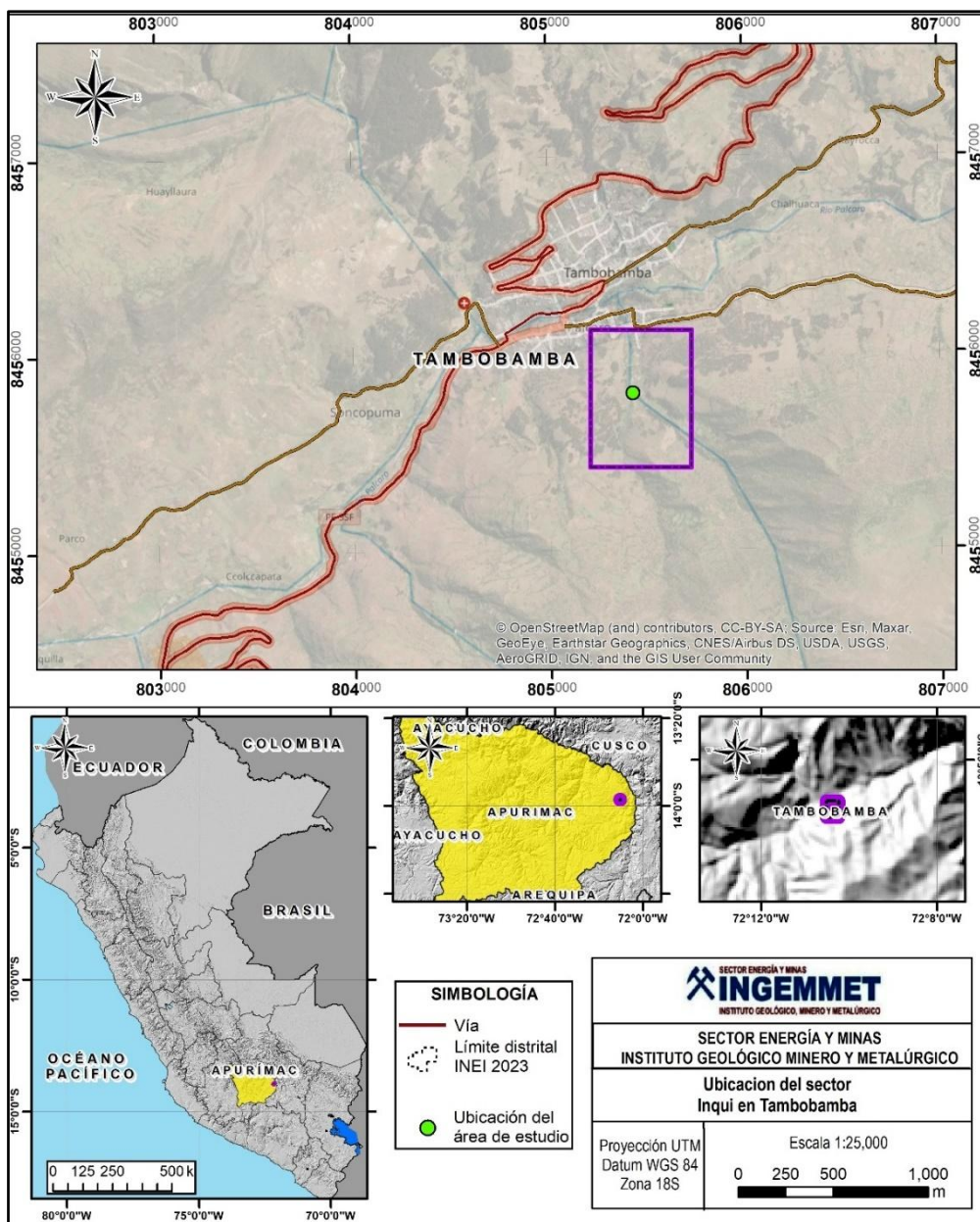


Figura 2. Ubicación del área evaluada en el distrito de Tambobamba.

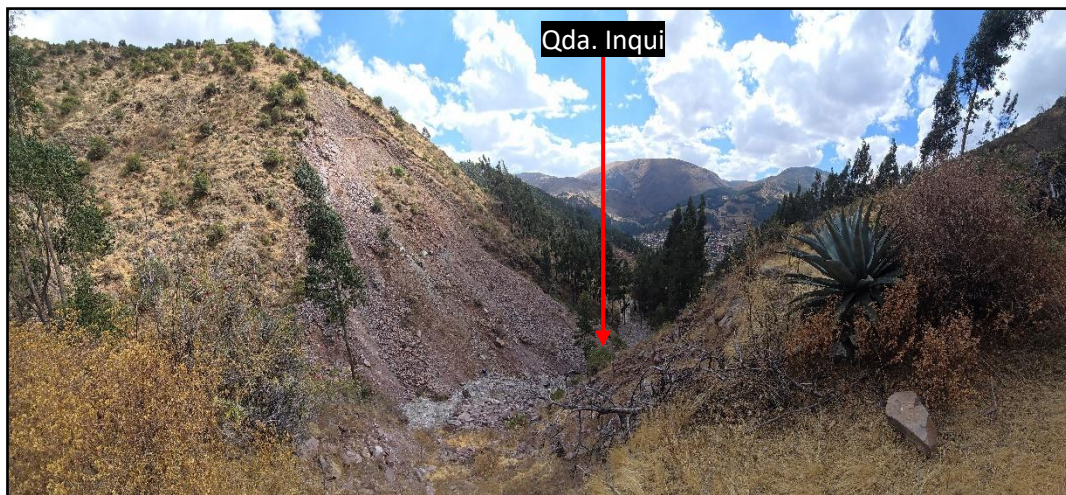


Figura 3. Quebrada Inqui.



**Figura 4.** Vista de la quebrada Inqui en el distrito de Tambobamba.

### 1.2.2. Accesibilidad

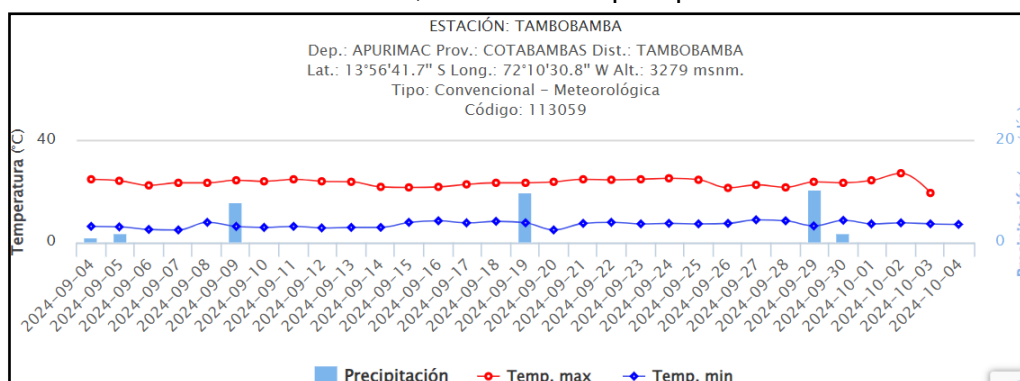
El acceso al área de estudio se realizó por vía terrestre partiendo desde Lima, siguiendo la siguiente ruta:

**Cuadro 2.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

| <i>Ruta</i>                 | <i>Tipo de vía</i> | <i>Distancia (km)</i> | <i>Tiempo estimado</i> |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Lima – Abancay</b>       | Asfaltada          | 906                   | 15 h 16 min            |
| <b>Abancay – Tambobamba</b> | Asfaltada          | 331                   | 7 h 52 min             |

### 1.2.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible de la estación meteorológica Tambobamba, ubicado en el distrito de Tambobamba del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) (figura 5), en los últimos meses del año 2024, se calcularon precipitaciones de hasta 10 mm.



**Figura 5.** Precipitación diaria según la estación Tambobamba - 2024.

## **2. DEFINICIONES**

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

**Aluvial:** Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

**Aluvión:** Flujo extremadamente rápido que desciende por cauces definidos, formando ríos de roca y lodo, alcanzando grandes velocidades, con gran poder destructivo. Están relacionados a lluvias excepcionales, aludes en nevados, movimientos sísmicos, ruptura de lagunas o embalses artificiales y desembalse de un río producido por un movimiento en masa.

**Arcilla:** Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

**Arenamiento:** Fenómeno que se produce en zonas que presentan morfología plano-ondulada de pampas, colinas bajas y planicies costaneras aledañas al litoral, con una dinámica eólica importante, donde la dirección, la velocidad del viento y la geomorfología del entorno favorecen la migración y acumulación de arenas, que muchas veces pueden afectar viviendas, terrenos de cultivo y obstruir tramos de carretera. Los arenamientos conforman mantos de arena, dunas, dunas trepadoras que se encuentran detenidas, cordón de dunas, etc.

**Coluvial:** Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

**Coluvio-deluvial:** Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

**Deluvial:** Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

**Erosión de laderas:** Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

**Erosión fluvial:** Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos al socavar los valles, profundizarlos, ensancharlos y alargarlos. Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas, aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan una cuenca.

**Escarpe o escarpa:** Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

**Factor condicionante:** Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

**Factor detonante:** Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

**Flujo:** Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

**Flujo de detritos (huaico):** Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

**Flujo de lodo:** Tipo de flujo con predominancia de materiales de fracción fina (limos, arcillas y arena fina), con al menos un 50%, y el cual se presenta muy saturado.

**Flujo de tierra:** Movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico. Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto. El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

**Formación geológica:** Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

**Fractura:** Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

**Inactivo abandonado:** Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

**Inactivo estabilizado:** Movimiento en masa cuyo desplazamiento ha cesado debido a la ejecución de obras correctivas o de control (Cruden y Varnes, 1996).

**Inactivo latente:** Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

**Inactivo relicto:** Movimiento en masa que claramente ocurrió bajo condiciones geomórficas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varnes, 1996).

**Inundación de detritos:** Flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados flujos hiperconcentrados (Hung et al., 2001). Erosión de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos.

**Inundación fluvial:** La inundación fluvial se define como el terreno aledaño al cauce de un río, que es cubierto por las aguas después de una creciente. Las causas principales de las inundaciones son las precipitaciones intensas, las terrazas bajas, la dinámica fluvial y, en algunos casos, la deforestación.

**Inundación pluvial:** Se originan por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Se genera tras un régimen de lluvias intensas persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

**Ladera:** Superficie natural inclinada de un terreno.

**Lutita:** Roca sedimentaria de grano muy fino, de textura pelítica, es decir integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de tamaños de la arcilla y del limo.

**Meteorización:** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

**Movimiento en masa:** Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

**Peligro o amenaza geológica:** Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

**Proluvial:** Complejo sedimento deltaico friable de material fragmental, acumulado al pie de una pendiente como resultado de una ocasional avenida torrencial.

**Reactivado:** Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

**Runup:** Desplazamiento hacia arriba del pie de un deslizamiento u otro movimiento en masa que ocurre cuando la masa de esta pega contra una ladera opuesta a la zona de arranque.

**Saturación:** El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

**Suelo residual:** Suelo derivado de la meteorización o descomposición de la roca in situ. No ha sido transportado de su localización original, también llamado suelo tropical.

**Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

**Suspendido:** Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

**Talud:** Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

**Velocidad:** Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

### **3. ASPECTOS GEOLÓGICOS**

Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo de Tambobamba 28-r-II, de R. Marocco, et al (1999); Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Tambobamba, 28-r (Galdos, et al, 2002)

Se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

#### **3.1. Unidades litoestratigráficas**

Las unidades litoestratigráficas se muestran en el Mapa Nro. 1. Sigue una descripción de sus características más importantes.

##### **3.1.1. Grupo Tacaza (Po-t/24).**

Esta unidad aflora en gran parte del área de estudio (Mapa Nro. 1), se trata de rocas volcano-sedimentarias, conformadas por secuencias intercaladas de volcarenitas y tobas lapilli. En el área de estudio esta unidad se encuentra moderadamente meteorizada y altamente fracturada.

##### **3.1.2. Depósito coluvial (Qh-cl)**

Esta unidad aflora al sureste del área de estudio (Mapa Nro. 1). Litológicamente, compuesto por bloques de hasta 1 m y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz areno arcillosa, todo el material proveniente de un deslizamiento. El depósito se encuentra poco consolidado.



**Figura 6.** Depósito coluvial en la quebrada Inqui.

### **3.1.3. Depósito proluvial (Qh-pl)**

El depósito proluvial aflora en el cauce de la quebrada Inqui (Mapa Nro. 1). Constituido por fragmentos heterométricos, de formas angulosas y subangulosas y de naturaleza polilitolológicos, dispuestos en forma caótica, inmersos en matriz areno limosa. Son depósitos provenientes de corrientes temporales de agua y lluvia, flujos de detritos (huaicos) y flujos de lodo, que depositaron fragmentos rocosos y lodo, a manera de conos de deyección en su desembocadura. El depósito se encuentra poco consolidados.

### **3.1.4. Depósito aluvial (Qh-al)**

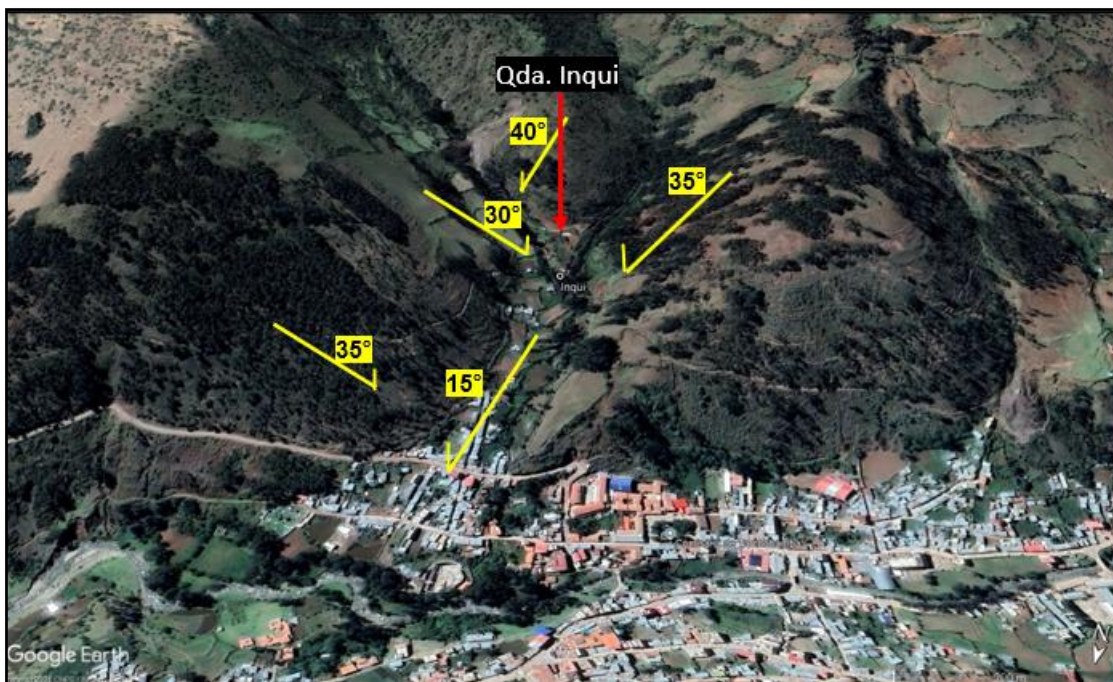
El depósito se aprecia al noroeste del área de estudio (Mapa Nro. 1). Son depósitos constituidos principalmente, por gravas, arenas y limos en terrazas y conos aluviales activos. Están estrechamente relacionados con el cauce de los ríos y quebradas activas. La unidad se aprecia poco consolidados.

## **4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

### **4.1. Pendientes del terreno**

La pendiente de los terrenos en la quebrada Inqui, varía desde moderada a fuertemente inclinada, en la cima de las montañas ( $15^\circ$  -  $25^\circ$ ), en laderas presentan pendientes fuertes a muy fuerte ( $25^\circ$ - $45^\circ$ ), y en la parte alta de los cerros y en las márgenes de los ríos se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ( $> 45^\circ$ ), (figura 7).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM - agosto del 2024), de 30 cm/píxel, a partir de fotogrametría con dron (Anexo 1, mapa 2).



**Figura 7.** Muestra las distintas pendientes en la quebrada Inqui, del distrito de Tambobamba.

## 4.2. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el Anexo 1, mapa 3.

### 4.2.1. Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs): Se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente mayores a  $35^\circ$ . Son acumulaciones de procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron

rocas volcánico-sedimentarias. Se identificó esta geoforma en gran parte del área de estudio. Esta unidad es susceptible a generar derrumbes y deslizamientos.

#### **4.2.2.Unidad de Piedemonte**

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las subunidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Unidad extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos; con pendientes que varían entre 10° y 25°. Está formado por la acumulación producto de corrientes de agua. Se ubica en el cauce de la quebrada Inqui. Es susceptible a generar flujos.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de las laderas que delimitan. Esta unidad se aprecia en las laderas de la quebrada Inqui. Es susceptible a generar derrumbes y deslizamientos.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa recientes, que son de tipo deslizamientos. Es una unidad susceptible a genera deslizamientos.

### **5. PELIGROS GEOLÓGICOS**

Los peligros geológicos son el resultado del proceso de modelamiento del terreno y de la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por la acción de los ríos. Este proceso ha dado lugar a la generación de diversos movimientos en masa, los cuales han modificado la topografía del área y movilizados materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos. Estos movimientos de masa, como deslizamientos y flujos de detritos, son factores clave en la configuración actual del paisaje y constituyen un peligro significativo para las áreas circundantes.

#### **5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa**

##### **5.1.1 Flujo de detritos en la quebrada Inqui.**

La quebrada Inqui posee una longitud de cauce principal de 3.35 km, medido desde el punto de concentración más alejado, hasta su desembocadura en el río Tambobamba. La cuenca tiene una cota máxima de origen de 4294 m s.n.m. y una cota de confluencia con el río Tambobamba de 3221 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 1073 m. La microcuenca de la quebrada Inqui posee un área de 3000000 m<sup>2</sup>

En enero del 2024, a partir de lluvias intensas en la parte alta, se generó un flujo de detritos (huaicos), que descendió por el cauce de la quebrada. Durante su paso destruyó terrenos de cultivo, muros, caminos de herradura.

El flujo alcanzó alturas de hasta 1.8 m, evidenciado en las huellas dejadas en los árboles. El depósito del flujo está compuesto por bloques (50 %), gravas (40 %), englobados en una matriz areno limosa (10 %). Se han observado bloques de hasta 2 m de diámetro.

El cauce de la quebrada posee 20 metros de ancho, sin embargo, al entrar a la zona urbana, es canalizado hasta su desembocadura al río Tambobamba (figura 8). En cuyos márgenes existen viviendas. Además, se aprecian dos puentes en este tramo.



**Figura 8.** Cauce de la quebrada Inqui, además se aprecia la huella dejada por el flujo en los árboles.



**Figura 9.** Cauce de la quebrada Inqui, se encuentra canalizado al entrar a la zona urbana de Tambobamba.

El 2 de diciembre del 2024 se volvió a presentar eventos fuertes de precipitación pluviales, que generaron flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Inqui (figura 10).



**Figura 10.** Flujo de detritos en la quebrada Inqui, del 2 de diciembre 2024. Fotografía tomada por la Municipalidad Provincial Cotabambas.

#### **5.1.2 Deslizamiento y derrumbe**

Durante los trabajos de campo se identificó deslizamientos, el principal se ubica en las coordenadas UTM E 805584, N 8455529.

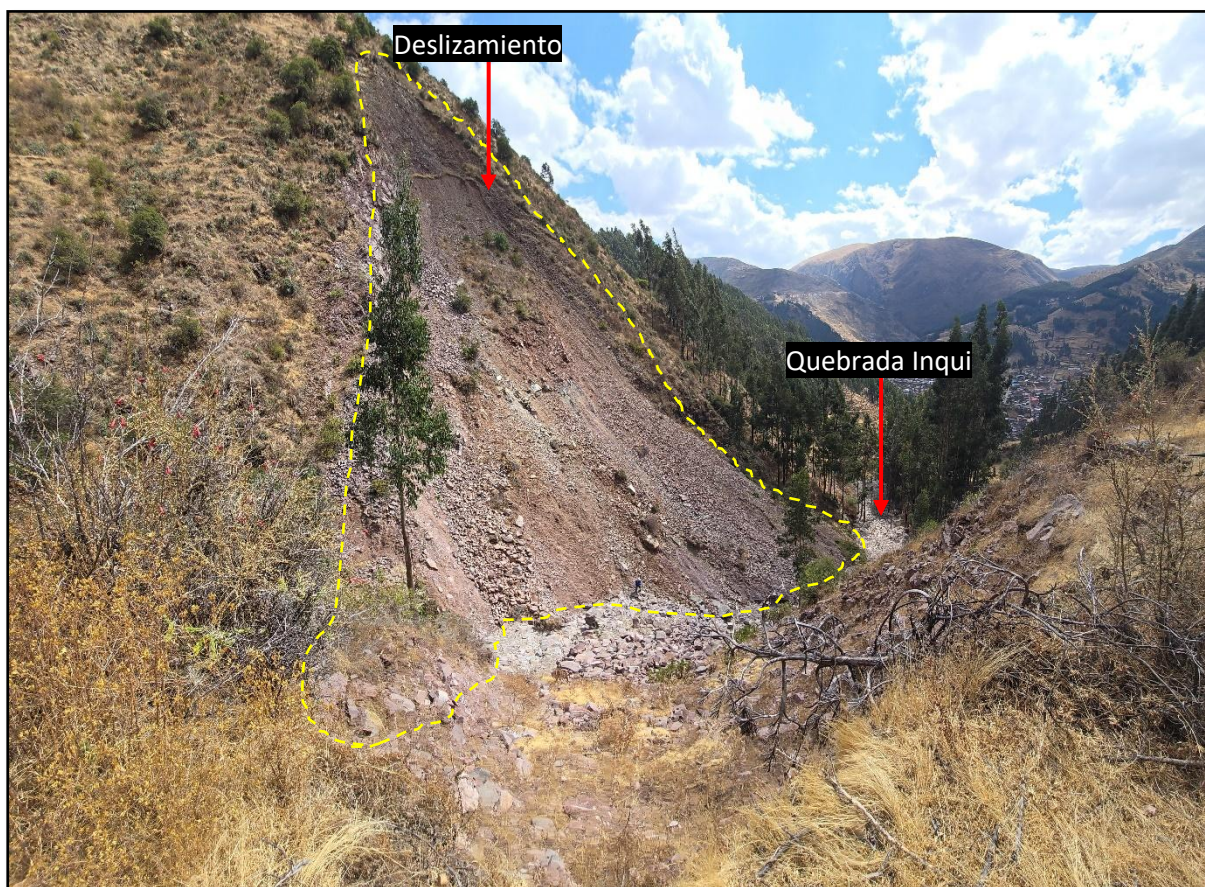
Se trata de un deslizamiento traslacional, proceso de movimiento en masa que se produjo en volcarenitas medianamente meteorizadas y altamente fracturadas.

Posee una longitud de corona de 180 m, la distancia desde la corona hasta el pie del deslizamiento es de 125 m. Este evento está comprendido entre las cotas 3488 a 3400 m. es decir presenta un desnivel de 88 m. La masa movilizada se estima que afecto un área 0.6 ha.

Toda la masa movilizada se acumuló en el cauce de la quebrada Inqui, y este fue incorporado al flujo de detritos antes mencionado, de esta manera aumento el volumen y poder destructivo del flujo.

El derrumbe ocurrió en las coordenadas UTM E 805666, N 8455592. La cicatriz de la zona de arranque presenta una longitud de 20 m. El evento está comprendido entre las cotas 3440 a 3430 m, es decir presenta un desnivel de 10 m, la masa movilizada se estima que afecto un área 0.1 ha.

En la zona también se han identificado surgencias de agua, las cuales se evidencian en las partes bajas de las laderas, en el corte de la quebrada (figura 13).



**Figura 11.** Deslizamiento traslacional, producido en la margen izquierda de la quebrada Inqui.



**Figura 12.** Deslizamiento Inqui, ubicado en la margen izquierda de la quebrada Inqui.



**Figura 13.** Surgencias de agua en las partes bajas de la ladera de la quebrada Inqui.



**Figura 14.** Derrumbe en la margen derecha de la quebrada Inqui, en el punto UTM E 805666, N 8455592.

## 5.2 Factores condicionantes

### ➤ Factor litológico:

Presencia de rocas del Grupo Tacaza, que se encuentran moderadamente meteorizadas y altamente fracturadas. Además de depósitos proluviales y coluviales, que se encuentran no consolidados.

Presencia de material aportante de suelos inconsolidados (depósitos coluviales y proluviales), adosados a las laderas que delimitan la quebrada Wiracchuaycco, los cuales son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

### ➤ Factor Geomorfológico:

Pendientes desde moderado a muy fuertemente inclinadas ( $10^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ). Esto permite que el material suelto que se encuentra en la ladera se desplace cuesta abajo con facilidad. Presencia de unidades geomorfológicas de montaña en roca volcano-sedimentaria; vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial. La quebrada presente una gradiente de 3.12.

## 5.3 Factores desencadenantes

### ➤ Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias

(según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), origina que las aguas saturen los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al deslizamiento y los flujos de detritos (Huaicos). Según datos hidrológicos de la estación Tambobamba - 2024 (SENAMHI), en las zonas próximas al área de estudio, se han encontrado valores de hasta 10 mm. la estación Tambobamba - 2024 (SENAMHI).

## ➤ SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS

La simulación de flujos de detritos (huaico) se realizó empleando el código VolcFlow, (Kelfun et al., 2005), este permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (ecuación 1) y la cantidad de movimiento (ecuaciones 2 y 3). Los parámetros empleados, para simular los flujos se describen más adelante.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{huv}) = \mathbf{ghsin}\alpha_x - \frac{1}{2} \mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{gh}^2 \cos\alpha) + \frac{\mathbf{T_x}}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hv}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hvu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}^2) = \mathbf{ghsin}\alpha_y - \frac{1}{2} \mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{gh}^2 \cos\alpha) + \frac{\mathbf{T_y}}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

- h: Es el espesor del flujo
- u: = (u,v) es la velocidad del flujo
- α: Pendiente del terreno
- ρ: Densidad aparente
- T: Retardo de esfuerzo - "Savage y Hunter (1989)"
- Kactpass: Coeficiente de presión terrestre - "Inversion y Denlinger (2001)"

### Volumen del huaico (flujo de detritos)

Este parámetro es uno de los datos más importantes de entrada en el código VolcFlow, su cálculo es dificultoso, para ello se empleará la metodología utilizada en trabajos anteriores.

El volumen de un flujo de detritos está representado por la sumatoria del volumen de agua y sedimentos, en base a un porcentaje proporcional. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está expresado por la ecuación número 1.

$$V_{\text{flujo}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}} \quad (1)$$

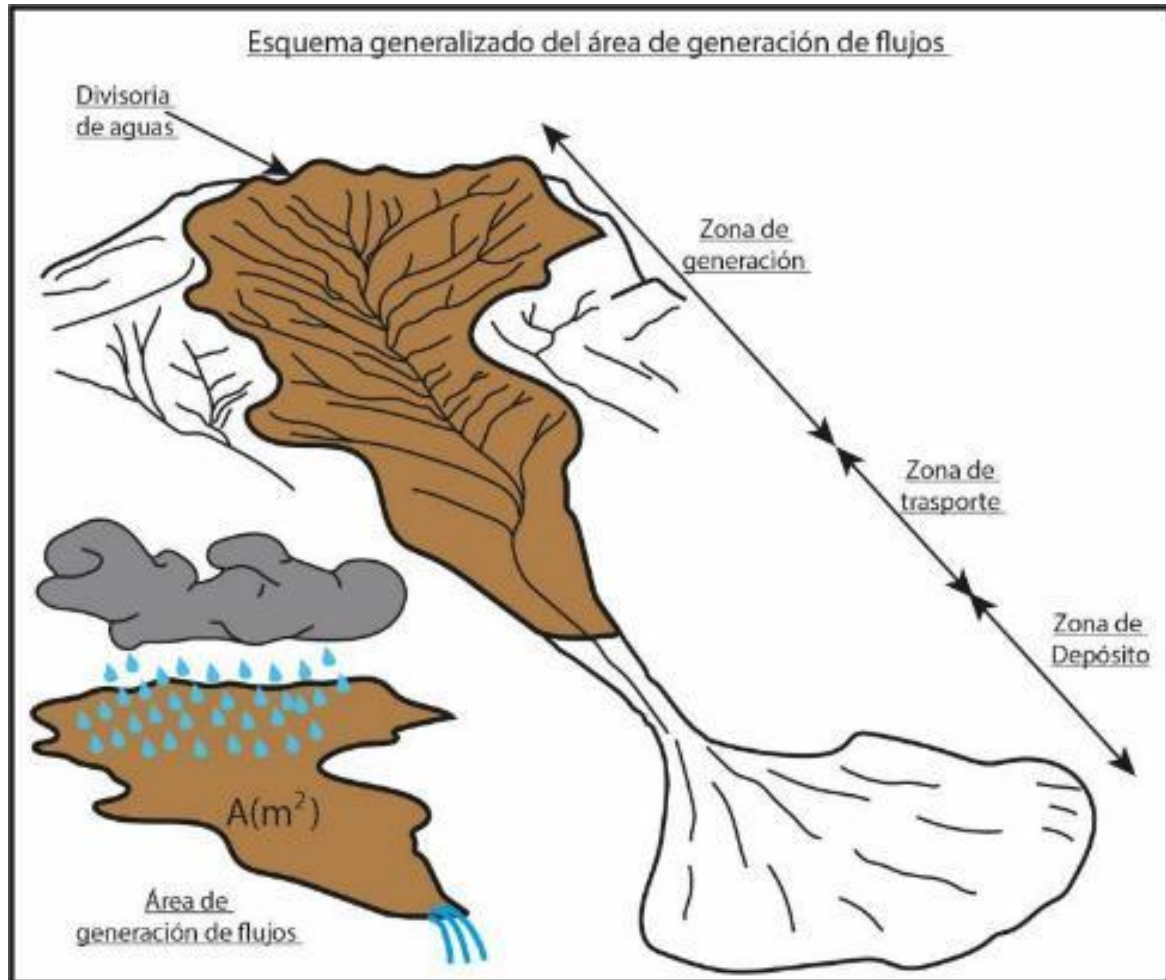
Según algunos autores, el porcentaje varía desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua (Vascones, 2009); 50% de agua y 50% de sedimentos (Vallance, 2000); 70% de agua y 30% de sedimentos (Córdoba et al., 2014). Scott et al., 1995 plantea desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua.

La principal fuente de agua para el cálculo del volumen de los flujos de detritos (huaicos) y lahares secundarios en el Perú está dada por la precipitación de lluvias intensas y excepcionales. Para ello se emplea valores de precipitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

Los flujos de detritos en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de transporte para finalmente depositarse en las partes bajas formando abanicos (Bateman et al., 2006).

El volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación de lluvias expresado en P (mm) y el área de la zona de generación de flujo representado como A (m<sup>2</sup>), (figura 15), cuyo límite horizontal está dado por el divortium aquarium o línea divisoria de aguas, la cual es una línea imaginaria que traza la separación entre dos vertientes o cuencas

fluviales limítrofes (Casaverde, 2011); mientras que el límite vertical está representado por zonación dada por Bateman et al., (2006).



**Figura 15.** Esquema generalizado del área de generación inicio de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

El volumen de agua se representa por:

$$V_{\text{agua}} = P_n * A \quad (2)$$

Donde:

- $P_n$  (m), precipitación neta
- $A$  ( $m^2$ ), área de zona de generación de flujos

En base al porcentaje de agua y sedimentos de un flujo de detritos o lahares, se calcula el volumen total. Si tomamos la relación de 60 % de agua y 40 % de sedimentos.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A \quad (3)$$

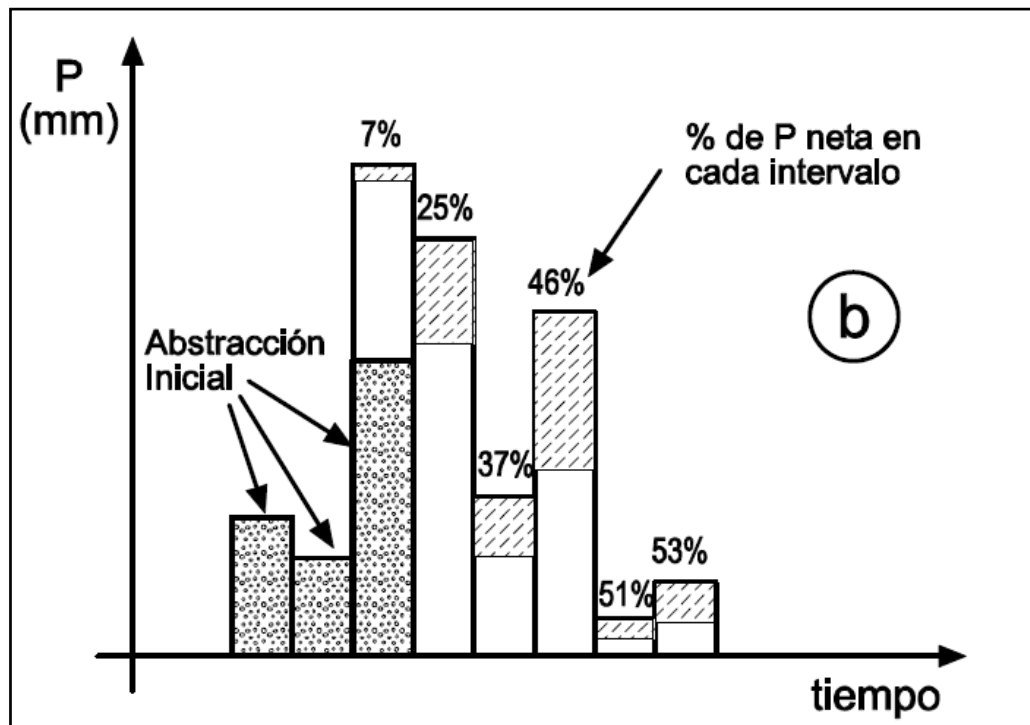
Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en base a los datos de las estaciones Tambobamba. En los últimos meses del presente año 2024, se calcularon precipitaciones de hasta 10 mm.

Asimismo, para el análisis del evento de huaico (flujo de detritos) se tomó la precipitación de

### Precipitación neta mediante el método del S.C.S.

Parte del agua de lluvia tiende a infiltrarse, debido a esto se tiene que separar dicha precipitación infiltrada, denominada (abstracción). El exceso de precipitación o precipitación neta es la precipitación que no se retiene en la superficie y no se infiltra en el suelo. Para nuestro caso es esta fracción, denominada precipitación neta, la cual genera la escorrentía directa.

El suelo retiene una cierta cantidad de caída de lluvia al principio, y después las abstracciones van disminuyendo progresivamente (figura 16).



**Figura 16.** Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

El cálculo de la precipitación neta fue establecido empíricamente por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S), USA (Mockus, V., 1964).

La clave es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se emplea tablas en función del tipo de suelo (arenosos, arcilloso, etc.), uso del suelo (bosques, cultivos, etc.), pendientes, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN ("curve number", que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía ( $P_0$ ).

El cálculo del umbral de escorrentía,  $P_0$  (o "abstracción inicial"). Es un dato que aparece tabulando en función del uso de la superficie, de la pendiente, del tipo de suelos (A, B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Las tablas de  $P_0$  pueden modificarse si los días anteriores han sido muy secos o húmedos.

Para el cálculo de P neta. Se utiliza la expresión siguiente. (Mockus, V., 1964).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- P = precipitación total registrada (SENAMHI)
- Pn = precipitación neta
- Po = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta Pn (m), continuamos a partir de la ecuación 3.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A$$

$$V_{\text{flujo}} = P_n * A * (X\%)^{-1}$$

Donde:

- Pn (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos
- X, porcentaje de agua asumido por el investigador.

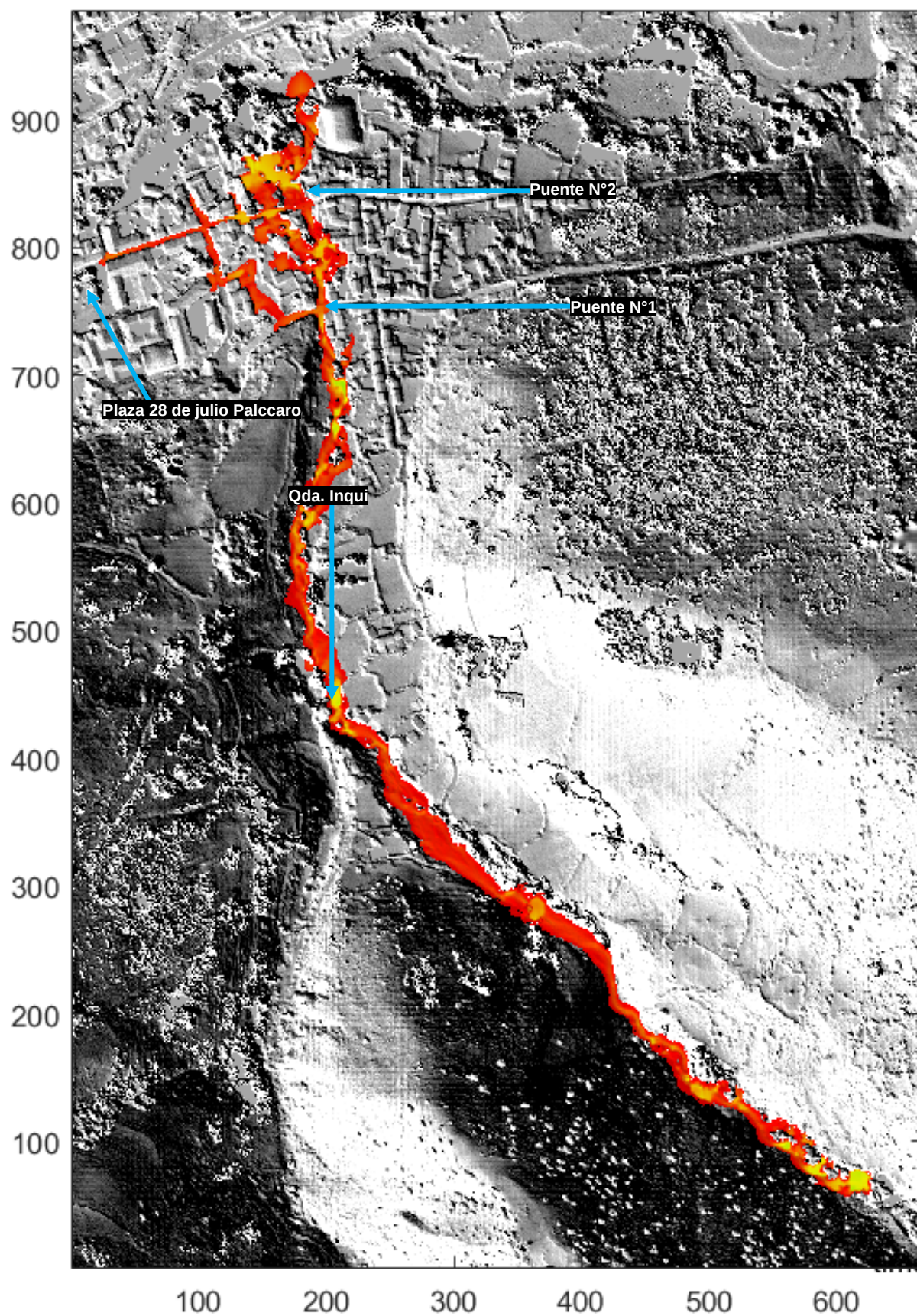
En la microcuenca de la quebrada Humatimpo, el área de generación del huaico posee un área de 3000000 m², para una precipitación de 10 mm, por lo tanto, la precipitación neta fue de 2 mm; consideraremos una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%)

Después de realizar los cálculos matemáticos, el volumen del huaico para la quebrada Inqui es de 16705 m³.

### Resultados de simulación del huaico (flujo de detritos)

El objetivo de la simulación de huaico (flujo de detritos) es mostrar los sectores que podrían ser afectadas por un evento, para el cual se plantea un escenario en base a la máxima precipitación pluvial calculada en la zona.

El flujo de detritos (huaico) afectaría, terrenos de cultivos, caminos de herradura, y viviendas ubicadas en la zona de entrada de la quebrada hacia la zona urbana de Tambobamba. Además de dos puentes ubicados en el sector.



**Figura 17.** Resultado de la simulación de flujo de detritos en la quebrada Inqui.

## **6. CONCLUSIONES**

En base al análisis de información geológica y geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

1. En inmediaciones de la quebrada Inqui afloran secuencias rojizas, intercaladas con niveles delgados de volcarenitas y tobas lapilli del Grupo Tacaza; en conjunto se presentan moderadamente meteorizadas y altamente fracturadas. Así mismo se tiene depósitos coluviales, proluviales y aluviales, los cuales se presentan no consolidados.
2. En el área de estudio afloran las siguientes unidades geomorfológicas: montaña en roca volcano-sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente con depósito de deslizamiento, este último es la unidad de mayor susceptibilidad de generar movimientos en masa.
3. Los factores condicionantes de peligros geológicos son: rocas que se encuentran moderadamente meteorizadas y altamente fracturadas. Además de depósitos cuaternarios, no consolidados; pendientes de moderado a muy fuertemente inclinadas ( $10^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ). Montaña en roca volcano-sedimentaria; vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.
4. En enero y diciembre del 2024, a partir de lluvias intensas en la parte alta, se generaron flujos de detritos (huaicos), que descendieron por el cauce en la quebrada Inqui. El segundo flujo, durante su paso destruyó terrenos de cultivo, muros, caminos de herraduras.
5. En la margen izquierda de la quebrada Inqui se produjo un deslizamiento de 180 m de longitud, que afectó un área estimada de 0.6 ha. El material desplazado se acumuló en el cauce de la quebrada mencionada. Además, se han identificado zonas con caída de rocas y derrumbes, cuyos depósitos también se acumularon en el cauce. Estos materiales se encuentran disponibles para ser incorporados en los flujos de detritos que ocurren en temporadas de lluvia.
6. Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la quebrada Inqui es considerado de **PELIGRO ALTO A MUY ALTO**, frente a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (huaico), que pueden desencadenarse en temporadas de lluvias.
7. La simulación de flujo de detritos (huaico) en la quebrada Inqui, ha determinado que este evento afectaría áreas de cultivos, caminos de herradura y viviendas situadas en la zona de entrada de la quebrada hacia la zona urbana de Tambobamba. Además, el flujo de detritos podría poner en riesgo los dos puentes ubicados en el sector.

## 7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto del riesgo asociados a flujos de detritos. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a los pobladores y a la infraestructura expuesta al peligro antes mencionados.

1. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT), frente a la ocurrencia de flujos de detritos (huaico) en la quebrada Inqui.
2. Colocar disipadores de energía en el cauce de las quebrada Inqui, empleando diques transversales (enrocado), mallas dinámicas y canalización del cauce con muros escalonados. Estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema. Para realizar estos trabajos es necesario calcular volúmenes y caudales máximos/extremos que se puedan generar. Además, mantener el ancho de quebrada, por ningún motivo este debe ser reducido.
3. Elaborar un plan de contingencia y de evacuación, frente a la ocurrencia de flujos de detritos. En base a estos planes, identificar las rutas de evacuación y sitios de refugio, así como organizar simulacros de evacuación.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas educativas, con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura en área susceptibles a la ocurrencia de huaicos.
5. Realizar un estudio de evaluación de riesgos (EVAR), a cargo de evaluadores de riesgos acreditado por CENEPRED.
6. Finalmente, las autoridades competentes deben implementar ordenanzas, para prohibir:
  - La construcción de viviendas en zonas de alto riesgo por flujo de detritos (huaico).
  - La ocupación de las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
  - La expansión urbana hacia los cauces de las quebradas y ríos.

  
Segundo A. Núñez Juárez  
ESPECIALISTA EN PELIGROS GEOLÓGICOS

  
Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## **BIBLIOGRAFÍA**

Galdos, J. et al (2002) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Tambobamba (28-r)

Marocco, R. (1975) - Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. Inst. Geol. Min., Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 27, 51 p

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

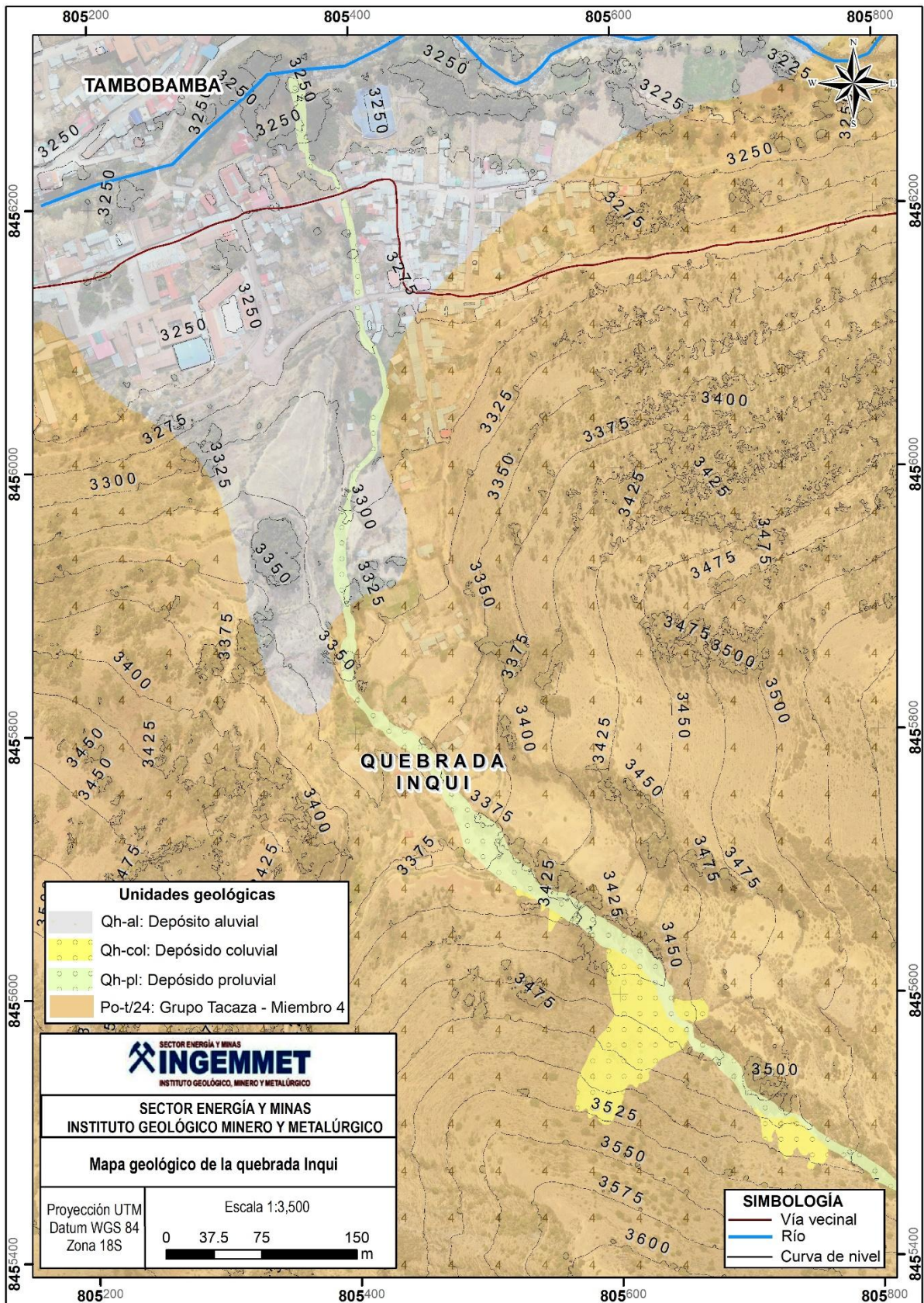
González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Departamento Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

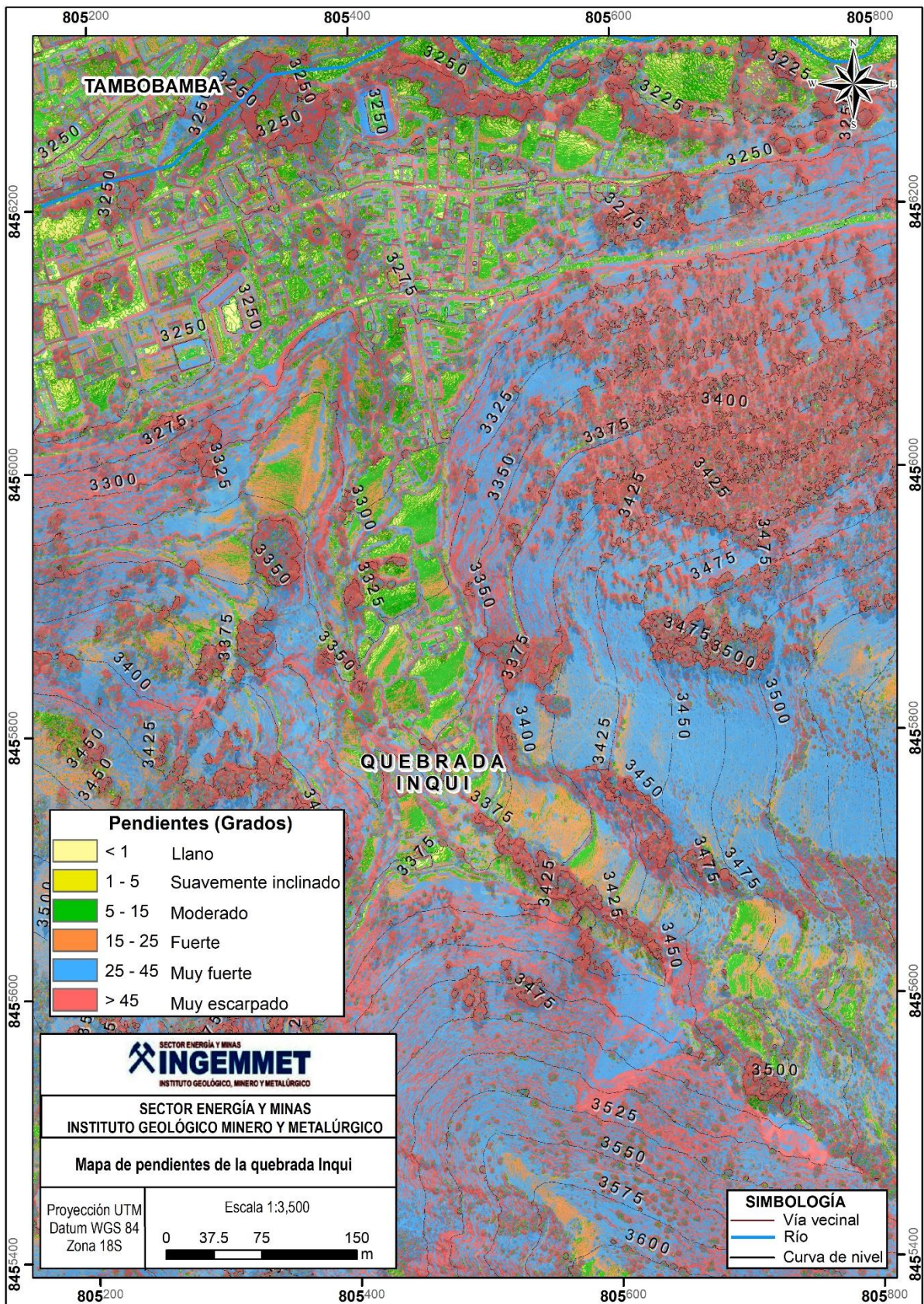
Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

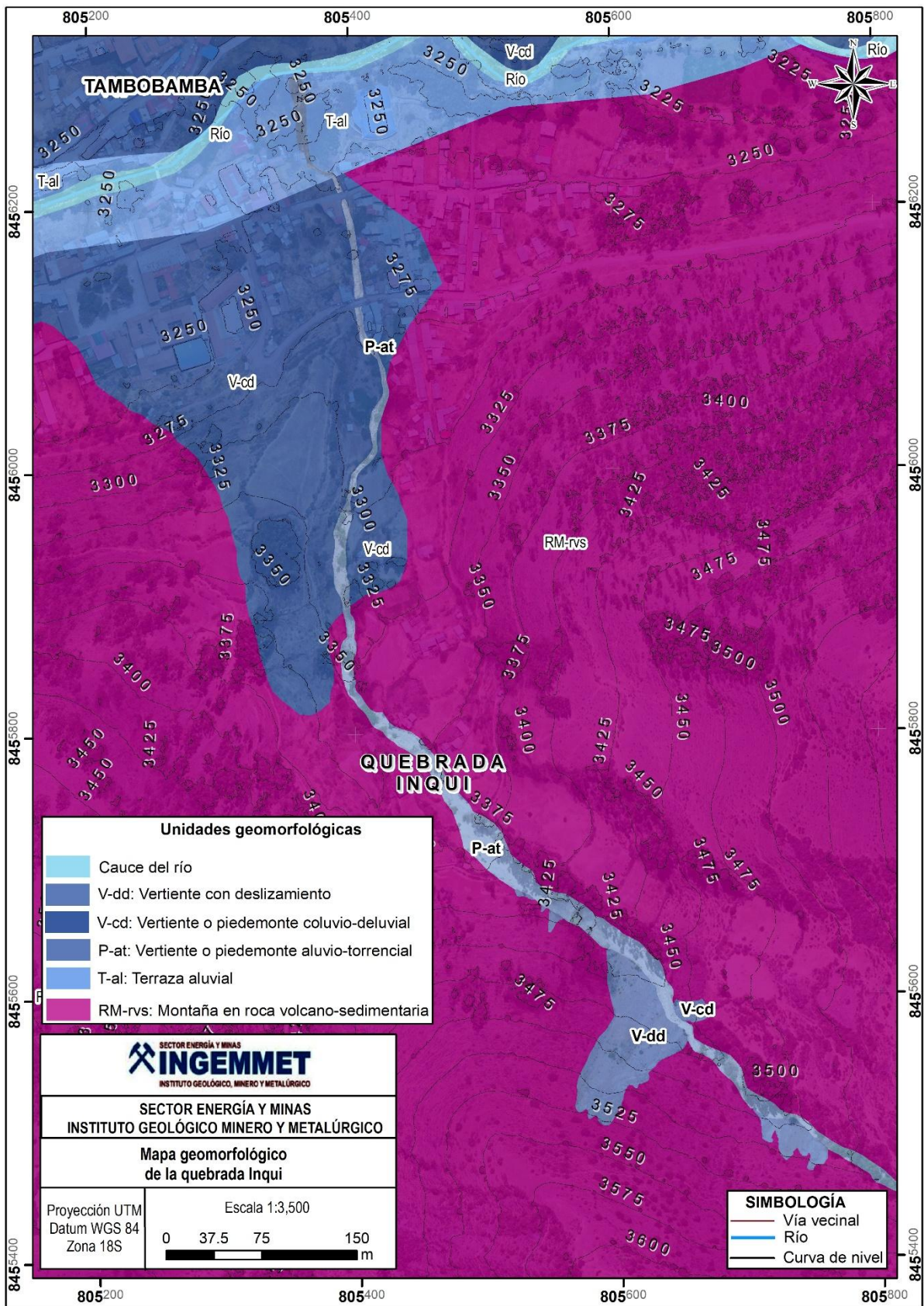
## ANEXO 1 MAPAS



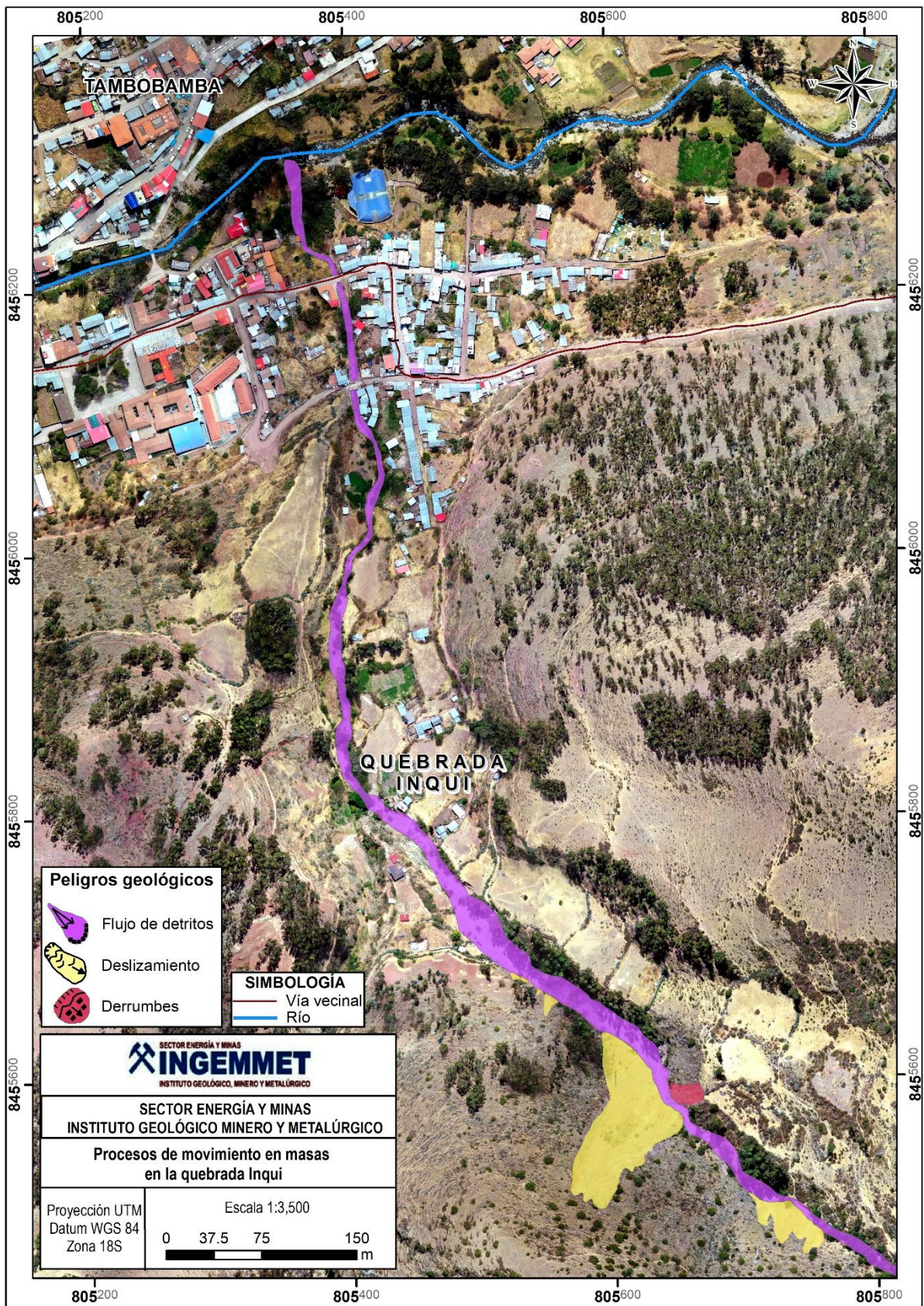
Mapa N°1. Mapa geológico del área de trabajo. Tomado y modificado del mapa geológico del cuadrángulo de Tambobamba 28-r, J. Galdos, et al (2002).



Mapa N°2. Mapa de pendientes del terreno, se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM - agosto del 2024), de 30 cm/píxel.



Mapa N°3. Mapa geomorfológico del área de trabajo. Tomado y modificado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.



Mapa N°4. Cartografía de procesos de movimientos en la quebrada Inqui. Elaboración propia.

## ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

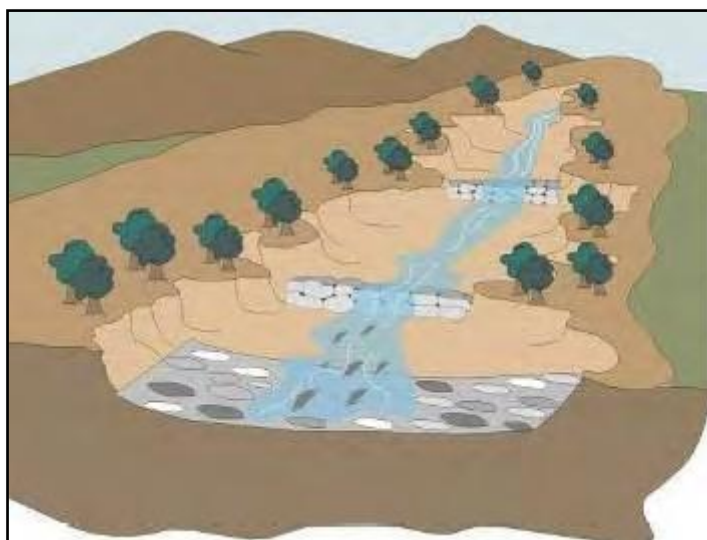
Se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de flujo de detritos (huaico)

Acá se desarrollan las medidas para quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación.

Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, como en el caso del Fenómeno El Niño; es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.

Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 18)

Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico), ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y barras flexibles, fosas de decantación; etc. (debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido) (figura 19).



**Figura 18.** Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilches, 2021)



**Figura 19.** Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles, (Vilches, 2021)