

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7024

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR PUENTE INAMBARI

Región Madre de Dios
Provincia Manu
Distrito Huepetuhe



INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ASPECTOS GENERALES	3
2.1 Ubicación	3
2.2 Accesibilidad	3
2.3 Características de la zona de estudio.....	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	3
3.1 Aspectos Geológicos.....	3
3.2 Aspectos geomorfológicos	7
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	14
4.1 Conceptos Básicos.....	15
4.2 Sector Puente Inambari.....	17
4.3 Sector Trocha Carrozable-Huepetuhe.....	19
4.4 Sector Quebrada Machiche	23
5. ZONAS PROPUESTAS PARA LA REUBICACIÓN.....	27
5.1 Zona Propuesta de Reubicación (Z-1)	27
5.2 Zona Propuesta de Reubicación (Z-2)	29
6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN PARA LA ZONA DE REUBICACIÓN.....	32
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE PELIGROS GEOLOGICOS POR MOVIMIENTOS
EN MASA EN EL SECTOR PUENTE INAMبارI
(Departamento Madre de Dios, Provincia Manu, Distrito Huepetuhe)**

RESUMEN

El sector Puente Inambari se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Inambari, políticamente pertenece al distrito Huepetuhe provincia del Manu, región Madre de Dios; a una altitud de 410 m s.n.m.

Esta zona por su ubicación geográfica está expuesta a fuertes lluvias estacionales (diciembre a marzo) que, aunado a las condiciones geológicas y geomorfológicas propias del terreno, condicionan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en este sector.

Dentro del contexto litológico, se presentan afloramientos de areniscas cuarzosas intercalados con limoarcillas de las formaciones Vivian y Chonta y Grupo Oriente, controladas por estructuras geológicas de fallamiento; además se identificó limolitas intercaladas con lodolitas de la Formación Yahuarango Inferior, éstas últimas consideradas de mala calidad, por estar muy meteorizadas y suelos muy saturados de fácil erosión.

Geomorfológicamente en la zona, se presentan montañas estructurales en roca sedimentaria, con laderas de pendiente variable de 20° a 45° y de 45° a 70°.

La combinación de las características antes mencionadas favorece al desplazamiento de masa inestable, que se encuentra sobre la ladera, haciendo que se desplace cuesta abajo, originando procesos de movimiento en masa tipo deslizamiento, derrumbe, flujo de detritos y erosión de laderas, que afectaron en diferente intensidad al sector Puente Inambari, vía Interoceánica, trocha carrozable a Huepetuhe, así como terrenos de cultivos.

De otro lado, se localizan viviendas cerca de la carretera Interoceánica, a 17 metros aproximadamente del cauce del río Inambari, las cuales pueden ser afectadas por erosión fluvial.

Por las condiciones geológicas y geomorfológicas, el sector Puente Inambari, la trocha carrozable a Huepetuhe y la quebrada Machiche, son considerados como de peligro muy alto por movimientos en masa; siendo necesario que el poblado Puente Inambari sea reubicado.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus distintas funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología; que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenarse en desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico a través de la ACT 7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Mediante Oficio N°0266-2019-GOREMAD/ODNyDC, de fecha 09 de Setiembre del 2019, la Oficina de Defensa Nacional y Defensa Civil del Gobierno Regional de Madre de Dios, solicita al INGEMMET la elaboración de un informe técnico de evaluación geológica y geodinámica del sector Puente Inambari.

Para lo cual se designa a los ingenieros geólogos Edith Quispe y Katerin Ramírez, quienes realizaron la inspección técnica del 15 al 18 de octubre del 2019.

Este Informe, se pone en consideración del Gobierno Regional de Madre de Dios, autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción de riesgo, a fin de que sea instrumento técnico para la toma de decisiones.

a) Trabajos anteriores

Se mencionan algunos trabajos geológicos anteriores elaborados a escala regional, que involucra el área de trabajo:

- Geología del Cuadrángulo del Río Pinquén, Pilcopata, Quincemil, Masuco y Ayapata hoja 25t,26t, 27u, 27v, y 28v. (Ingemmet, 2018)
- Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N°3, (Ingemmet, 2001) mencionan en los alrededores) de la zona de estudio se han identificado peligros geológicos de tipo caída de rocas, flujo de detritos (huaicos), así como peligros hidrogeológicos de tipo inundación fluvial.
- Informe de Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la Región Madre de Dios, primer reporte enero (Ingemmet, 2015). En dicho informe se determinan 13 zonas críticas en la región, El 26% de los eventos identificados corresponden a huaicos, deslizamientos y derrumbes.

b) Objetivo del Estudio

- Identificar y tipificar peligros geológicos por movimientos en masa y geo-hidrológicos, que pueden afectar al centro poblado, obras de infraestructura, terrenos de cultivo y vías de comunicación.
- Determinar las causas y factores condicionantes y detonantes de origen de los peligros geológicos

- Recomendar acciones técnica y económicamente viables que permitan reducir la vulnerabilidad ante la ocurrencia de peligros identificados.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación

El sector Puente Inambari se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Inambari, distrito Huepetuhe, provincia del Manu, región Madre de Dios; en las coordenadas UTM (WGS 84-Zona 19 Sur): 8541794N, 349731E, a una altitud de 410 m s.n.m., Figura 1.

2.2 Accesibilidad

El acceso desde Lima, se realiza por vía aérea (duración 1 h 20 min) o vía terrestre hasta la ciudad de Cusco y finalmente mediante la vía Interoceánica Sur (Cusco - Puente Inambari), el recorrido por la vía terrestre se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro N°01 Itinerario por vía terrestre

Desde	Vía	Kilómetros	Tiempo estimado
Lima a Cusco	Terrestre	1102 km	19 h 4 min
Cusco – Puente Inambari		296 km	5 h 17 min

2.3 Características de la zona de estudio

El sector puente Inambari está situado en el piso altitudinal entre 341 m s.n.m. a 480 m s.n.m, considerado una zona interandina empinada muy susceptible a la erosión del terreno, por acción de las aguas de escorrentía provenientes de la parte alta de las colinas y montañas.

Clima e Hidrología

La zona de evaluación presenta un clima tropical, cálido y húmedo, donde se presentan precipitaciones significativas, incluso en el mes más seco hay mucha lluvia.

Las precipitaciones pluviales, empiezan del mes de diciembre hasta marzo, y se extienden de abril a junio como parcialmente lluvioso, con precipitaciones media anual de 4335 mm, temperatura media anual de 25°C y máxima de 32°C. Fuente SENAMHI 2016.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

3.1 Aspectos Geológicos

El contexto geológico tiene como base la carta geológica del cuadrángulo de Masuco_26v; (Palacios et al., 1996) y el mapa geológico del cuadrángulo de

Masuco_26v4; (INGEMMET, 2015); se menciona que el sector está constituido por afloramientos de rocas sedimentarias del Cretáceo al Paleógeno.

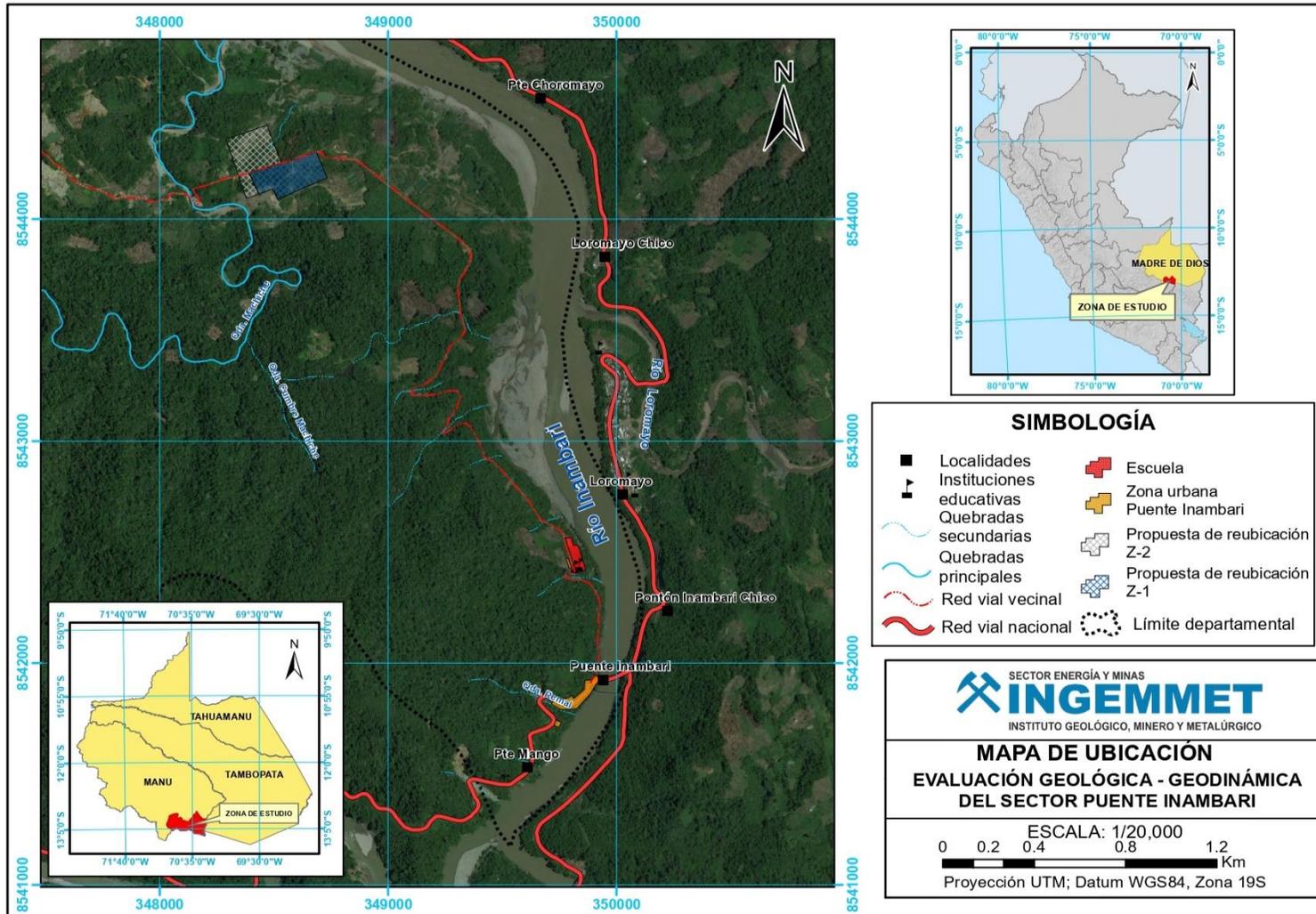


Figura 1 Mapa de Ubicación del sector puente Inambari

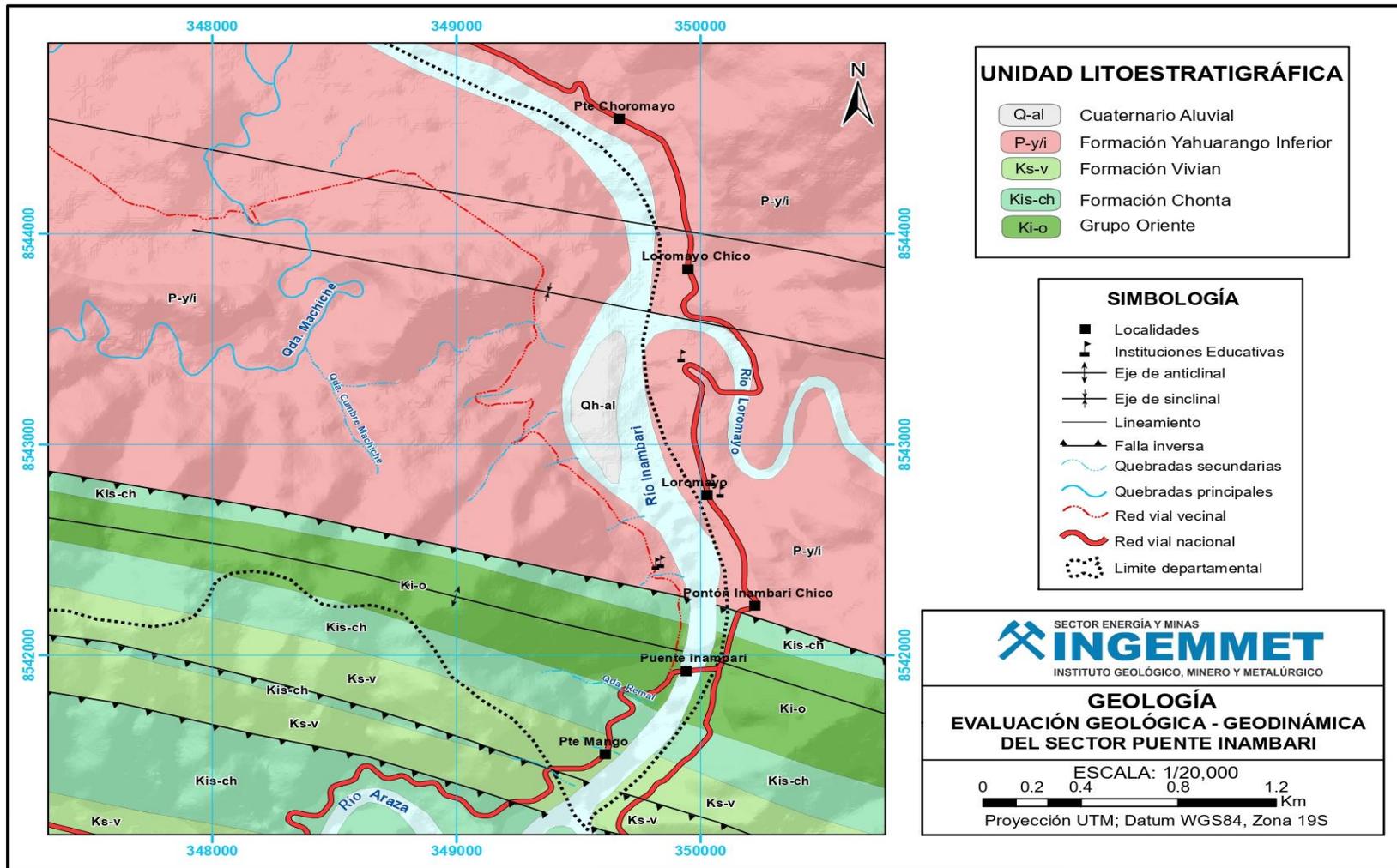


Figura 2. Mapa geológico de la zona de estudio. Tomado del mapa geológico del cuadrángulo de Masuco -27v4 (Ingemmet 2015).

Grupo Oriente (Ki-o)

Corresponden a areniscas cuarzosas blanco verdosas de grano fino a medio, friables, en estratos masivos con estratificación cruzada muy meteorizada, cubierto por paleosuelos. Sólo se han podido observar por la desembocadura de la Quebrada Remal con el río Inambari (Figura 3) y en el poblado del sector Puente Inambari, la cual se encuentra asentada sobre estos afloramientos.



Figura 3. Afloramiento del Grupo Oriente constituido por areniscas cuarzosas, su ubicación: Puente Inambari.

Formación Chonta (Kis-ch)

Está compuesto de limoarcillitas gris oscuras y gris verdosas, intercalados con areniscas gris blanquecinas de grano fino a medio en estratos tabulares.

Las relaciones estratigráficas muestran que hacia el tope se tiene contacto en posición concordante con las areniscas cuarzosas de la Formación Vivian (figura 4), pasa por inmediaciones del nuevo centro educativo; y cuyo tope de la secuencia está truncado por una falla inversa que la pone en contacto con las lodolitas rojas de la Formación Yahuarango.

Formación Vivian (Ks-v)

Compuesta de areniscas cuarzosas blanquecinas, de grano fino a medio, friables, en estratos masivos y tabulares con estratificación oblicua, con delgados niveles de intercalaciones de limolitas violáceas y gris verdosas. Las relaciones estratigráficas muestran que la base es concordante con la Formación Chonta (Figura 4), estando en algunos casos truncada parcialmente por una falla inversa.



Figura 4. Contacto entre las formaciones Vivian y Chonta. ubicación: puente Inambari.

Formación Yahuarango (P-y)

Definida por Kummel (1946) en la quebrada de Yahuarango afluente del río Cushabatay. En la presente actualización ha sido dividida en dos miembros: Inferior y Superior, en concordancia con las secciones estratigráficas levantadas por Hunt Oil (2011) en la montaña de Pantiacolla.

Formación Yahuarango Miembro Inferior (P-y/i)

Litoestratigráficamente se compone de limolitas gris verdosas, púrpuras, intercaladas con lodolitas rojas y violáceas. Afloran desde las inmediaciones del nuevo centro educativo por la trocha carrozable a Huepetuhe al norte de la localidad de Inambari, con presencia de paleosuelos, nódulos ferruginosos y abundante bioturbación; dichos substratos se encuentran con alta meteorización, por lo que representan una susceptibilidad alta a la ocurrencia de peligros geológicos por movimiento de masa.

Depósitos aluviales (Qh-al)

Compuestos por cantos polimícticos de bordes subredondeados, arenas, gravas, que se depositan en los bordes del río Inambari, que están en las barras de arena.

3.2 Aspectos geomorfológicos

Según Palacios, et al, 1996, desde el punto de vista morfo-estructural, el área comprende la Faja Subandina, que constituyen las estribaciones orientales de los Andes, ubicada entre la Cordillera Oriental y la Llanura Amazónica, constituyéndose así un gran bloque depresionado, la cual ha sido condicionada por la dinámica de los eventos tectónicos que se desarrollaban en la Cordillera Subandina, los mismos que conformaron el sistema de montañas estructurales en roca sedimentaria, colinas y lomadas en roca sedimentaria, vertiente aluvial y terrazas aluviales.

Pendiente de terreno

Un aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas, además del relieve, es la pendiente de los terrenos.

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de

una masa inestable (Sánchez, 2002). Es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante.

Los movimientos en masa en laderas de montañas y colinas dependen de la pendiente del terreno por que varía entre moderada a muy fuerte, a diferencia de las quebradas que ocurren por el material suelto de fácil acarreo

Las inundaciones y erosión fluvial, son condicionados directamente por factores geomorfológicos y dinámicos, así como la pendiente.

En la zona de estudio, las laderas de las montañas tienen pendientes muy fuertes comprendidas entre 25° a 45°, las cuales facilita el escurrimiento superficial de los materiales sueltos dispuestos en las laderas. Así también se presentan pendientes mayores a 45°, conformadas en cortes del talud de la vía Interoceánica cerca al Pontón Mango y el desvío a Huepetuhe. (Fotografías N°1 y 2).



Fotografía 1. Corte de talud de la vía interoceánica Pontón Mango donde se observa la pendiente del terreno mayor a 45°. Vista al Sureste.



Fotografía 2. Se observa las viviendas del poblado Inambari, ubicados a los costados de la vía Interoceánica.

Unidades Geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio, se consideran criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación. Figura 5.

Tomando como base y referencia la clasificación y estandarización utilizada en la elaboración del mapa geomorfológico del Perú, elaborado por el INGEMMET y estipulado en documentos ISO, como especificación técnica DGAR-ET-002 y Manual guía para la elaboración de mapas productos de la DGAR DGAR-M-002.

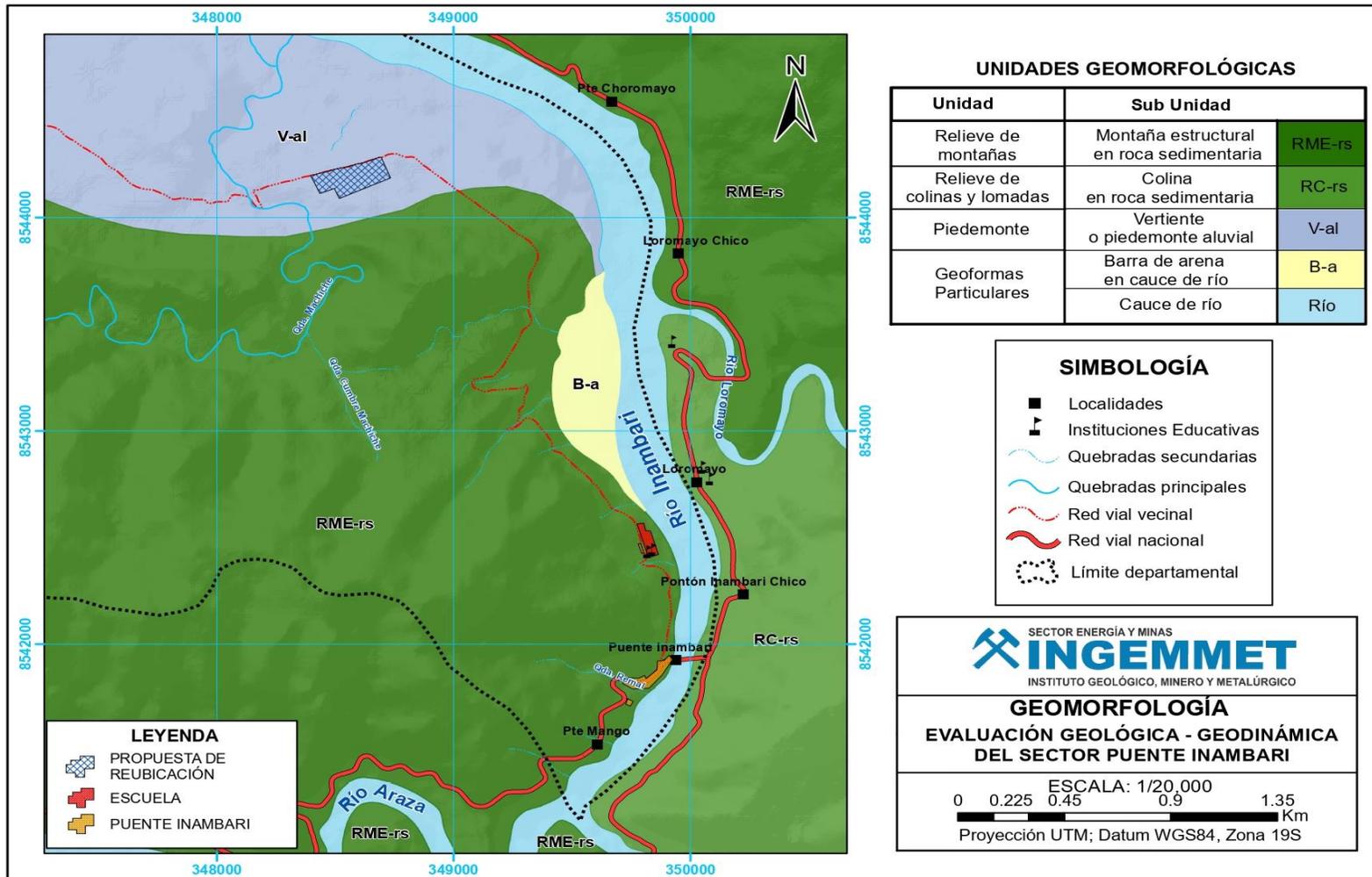


Figura 5. Mapa Geomorfológico del sector Puente Inambari

Se identificaron las siguientes geoformas:

Cuadro N° 2 Unidades geomorfológicas identificadas.

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS		
Unidad	Sub unidad	
Relieve de Montañas	Montaña estructural en roca sedimentaria	RME-rs
Relieve de colinas y lomadas	Colina en Roca Sedimentaria	RC-rs
Piedemonte	Vertiente o piedemonte aluvial	V-al
Geoformas Particulares	Barra de arena en cauce de río	B-a
	Cauce del río	Río

Unidad relieve de montañas

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

Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs):

Corresponde a afloramientos de rocas sedimentarias, estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y fallas, varían en pendiente desde moderada a muy abruptas, sin embargo, existen pequeños sectores deforestados donde se observan las estructuras de macizo rocoso como se observa en las inmediaciones al Pontón Mango. Figura 6.

Las áreas deforestadas, son susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa como las caídas de rocas, vuelcos, derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos.



Figura 6. Montaña estructural modelada en rocas sedimentarias con ladera de pendiente muy escarpada, superior a 50°.

Unidad relieve de colinas y lomadas

Las colinas y lomadas son de menor altura que las montañas, generalmente no superan los 300 metros desde la base hasta la cima, son el resultado de fallas tectónicas o procesos erosivos intensos ocurridos durante el Cuaternario, las lomadas a diferencia de las colinas, se caracterizan por ser una superficie que está alcanzando

la etapa final del ciclo erosivo; constituye una fase intermedia entre las geoformas de planicie y colina.

Colina en roca sedimentaria (RC-rs):

Subunidad geomorfológica cubierta por abundante vegetación donde se tienen asociaciones de colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias que han sufrido una intensa denudación, encontrándose con un alto grado de disección producidos por quebradas, se ubica en la zona oeste de la zona de estudio.

Debido a sus características litológicas, esta subunidad es susceptible derrumbes y flujos en zonas donde intervino la actividad antrópica. Figura 7.



Figura 7. Colinas en roca sedimentaria, cubierta por cultivos y abundante vegetación, vista por inmediaciones de la localidad de Loromayo.

Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al):

Es una planicie inclinada a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de los sistemas montañosos, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, compuesto por fragmentos rocosos heterométricos (Cantos, bolos y bloques, con matriz limo arcilloso) depositándose en la confluencia de la Quebrada Machiche con el río Inambari, formando un abanico aluvial debido al cíclico del curso de las quebradas que los originan, la pendiente de estos depósitos son suaves a moderadas (1°-15°). Figura 8. Sobre estos abanicos se pueden

depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huaicos.



Figura 8. Vertiente aluvial se ubica en la confluencia de las quebradas Machiche con el Río Inambari

Unidad de planicies

Una llanura o planicie es un espacio geográfico con poca o ninguna variación en la altitud de la superficie o terreno respecto al nivel del mar.

Terraza indiferenciada (Ti):

Subunidad geomorfológica, conocida también como terrazas poligénicas, se forma por la fusión de numerosas terrazas de diferentes edades, pero pertenecientes a un mismo ciclo erosivo, se ubica al extremo noreste de la zona de estudio.

Unidad de geoformas particulares

Barra de arena en cauce de río (B-a)

Es un tipo de depósito fluvial que se forma en las márgenes o dentro del cauce del río a consecuencia de la acumulación de sedimentos retenidos por obstáculos y/o disminución de la velocidad de las corrientes del agua. Son principalmente de forma semicircular y son visibles cuando los ríos están en la época de estiaje, en la zona de estudio se ubica al margen izquierdo del río Inambari, cerca del nuevo centro educativo (Figura 9).



Figura 9. Barra de arena en la Margen Izquierda del río Inambari, sector Puente Inambari.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Se han identificado peligros geológicos por movimientos en masa tipo: deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos y erosión de laderas (estas últimas no cartográficas, por la escala), figura 10; además se identificó peligros geohidrológicos como inundación fluvial y erosión fluvial.

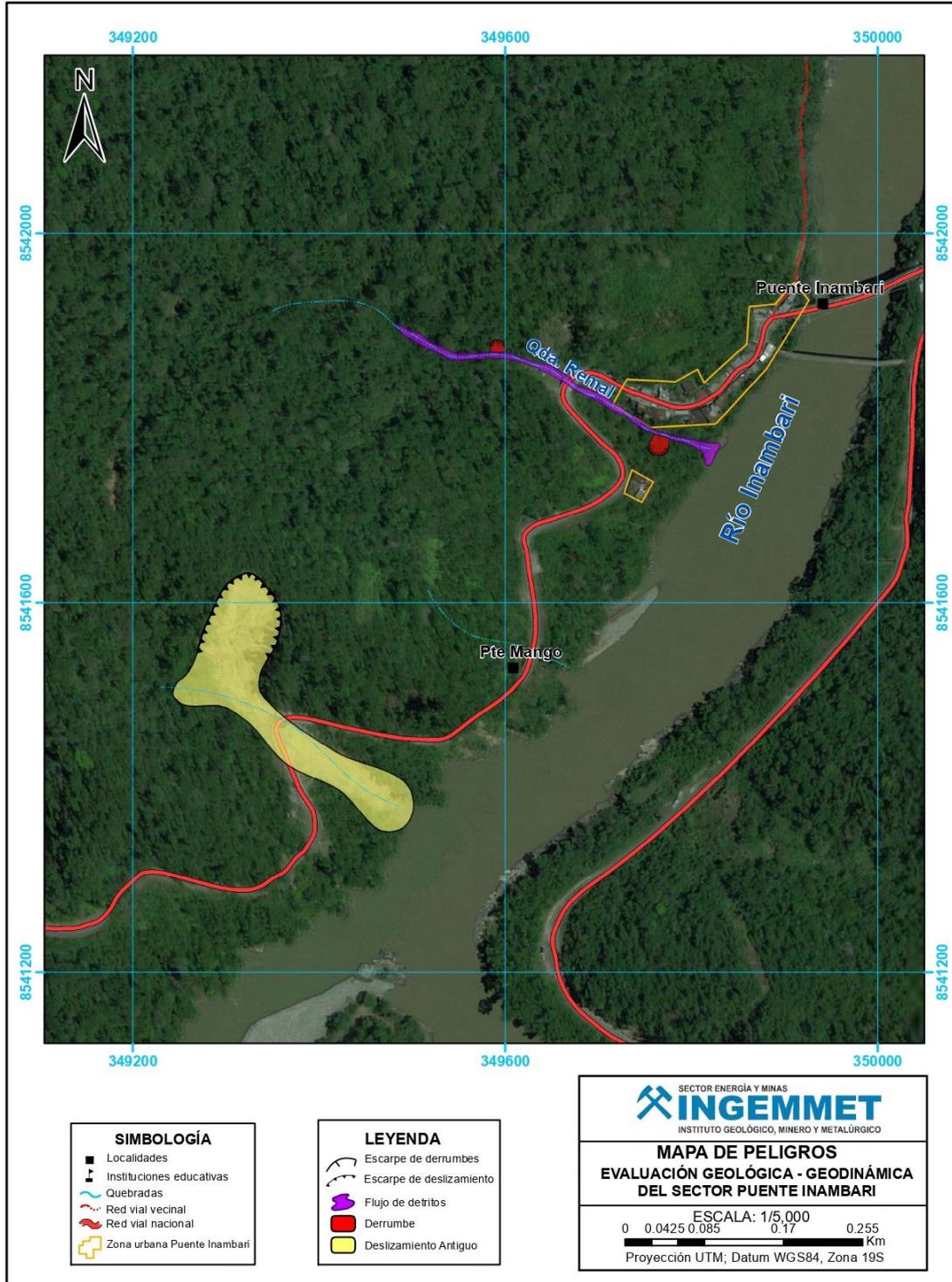


Figura 11. Mapa de peligros geológicos de zona urbana del sector Puente Inambari.

4.1 Conceptos Básicos

a) Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. Se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suárez J., 2009). Figuras 12 y 13.

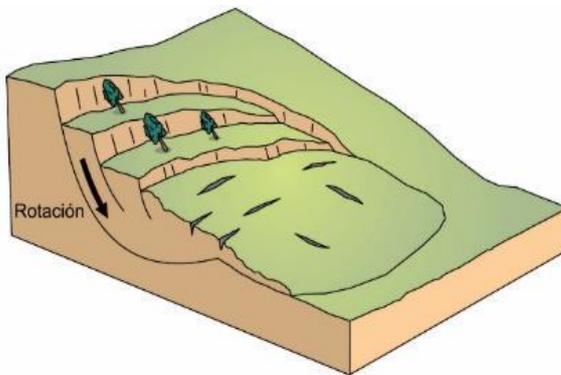
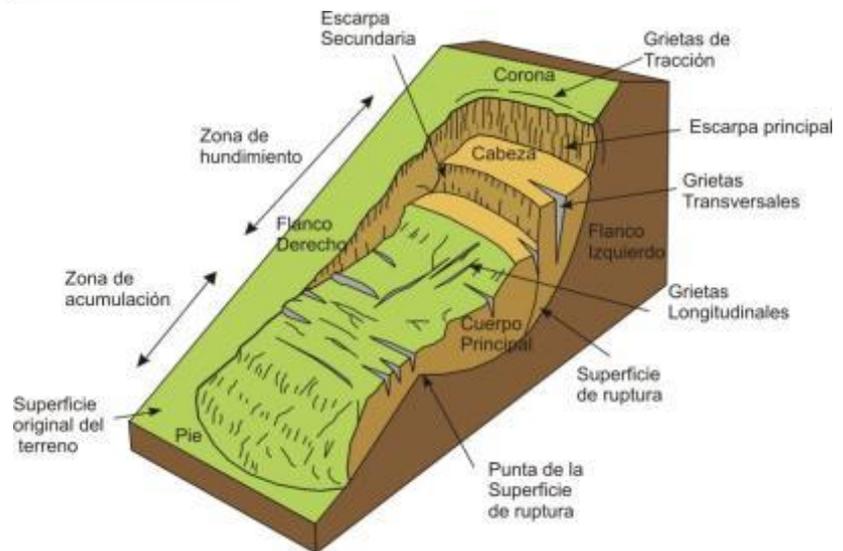


Figura 12. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

Figura 13. Esquema de un deslizamiento rotacional dónde se muestra sus partes principales



b) Flujos de detritos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Se tienen los siguientes tipos según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (Figura 14).

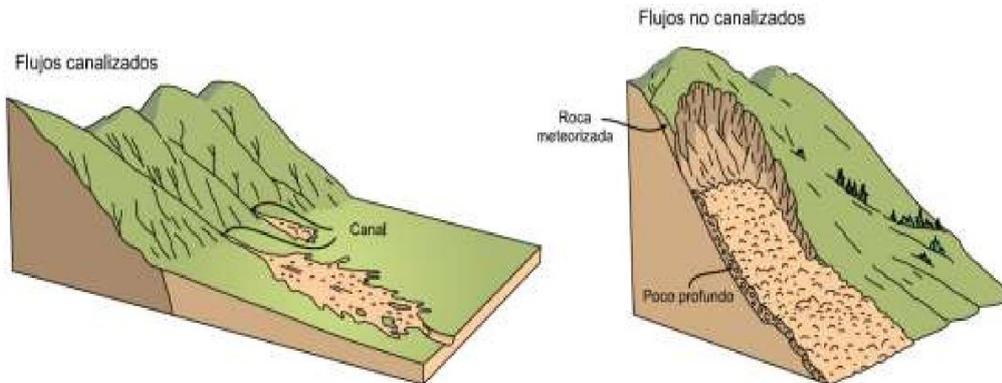


Figura 14. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden y, 1996)

c) Erosión de laderas

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en los terrenos. Comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros (Figura 15). La erosión está relacionada al proceso de escorrentía o arroyada. Normalmente la arroyada posee una profundidad pequeña, pocas veces superior a un centímetro. A partir de allí y con ayuda de la lluvia las partículas se movilizan en el sentido de la máxima pendiente y producen una excavación que tiende a aumentar con la velocidad de la erosión.

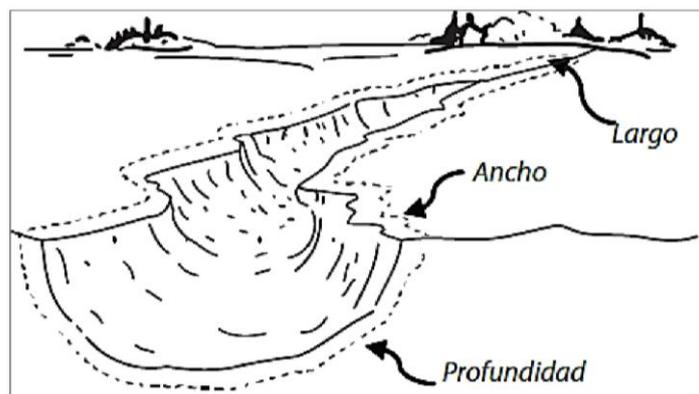


Figura 15. Imagen representativa de una cárcava.

d) Inundación

Proceso geo-hidrológico provocado por la variación del régimen de descargas de un curso hídrico, donde los volúmenes de agua sobrepasan la capacidad de conducción de ríos o quebradas. Las zonas más afectadas son las terrazas fluviales y/o aluviales que

no son lo suficientemente altas para encauzar las aguas. Las inundaciones se dan generalmente en períodos de pluviosidad alta.

Es necesario recordar que en la mayoría de los casos los peligros asociados a estos fenómenos se dan por causas antrópicas, ya que la población se ubica en terrenos que corresponden al cauce natural de un curso fluvial. Por ello se recomienda reubicar a la población ubicados en terrazas fluviales y aluviales.

El río Inambari en este sector se comporta como de tipo rectilíneo, en temporadas de estiaje forma barras de arena laterales.

4.2 Sector Puente Inambari.

El sector puente Inambari se ubica en la margen izquierda del río Inambari, donde confluye con el río Araza en el límite entre Puno, Cusco y Madre de Dios.

En la carretera Interoceánica, entre el sector puente Mango hasta la quebrada Remal, se evidencia un proceso de deslizamiento antiguo, cubierto en la actualidad por sembríos y cultivos que constantemente van desestabilizando el terreno.

Del mismo modo se evidencian en todo el trayecto taludes conformados por coberturas superficiales de suelos meteorizados semicompactos constituidos por limos, arcillas, arenas, lodolitas y fragmentos de rocas subangulosos a angulosos, muy susceptibles a movimientos en masa, con probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y derrumbes en épocas de lluvias intensas.

Por otro lado, en la margen derecha de la quebrada Remal se observa procesos por erosión de ladera tipo cárcavas, cuyo material erosionado es directamente encauzado en la quebrada, y que pone en peligro al reservorio de agua para consumo humano localizado en el sector puente Inambari, figura 16 (A, B); además se aprecian derrumbes en la margen izquierda a consecuencia de socavamiento por escorrentías proveniente de la parte alta figura 17.



Figura 16. Erosión de ladera en la quebrada Remal, infiltración de agua que discurre de la parte alta, se observa reservorio de agua a la margen derecha aguas arriba de la quebrada, para el consumo de la población del puente Inambari.



Figura 17 En la quebrada Remal a la margen derecha aguas arriba se identificó derrumbe reciente, donde el substrato rocoso es de mala calidad.

Las viviendas que se encuentran asentadas sobre laderas con depósitos coluviales conformados por gravas, arcillas y arenas (roca madre areniscas del Grupo Oriente), con pendientes mayores a 45° , se encuentran inestables. Se apreció algunas estructuras precarias colapsadas, figura 18. Dichas viviendas se localizan al borde de la carretera interoceánica a 17 metros aproximadamente del cauce del río Inambari, se considera una zona con erosión de ladera intensa a pesar de la presencia de vegetación.



Figura 18. Vista de viviendas asentadas al borde de la carretera interoceánica (acantilado) a 17 metros aproximadamente del cauce del río Inambari zona susceptible a erosión de ladera (A y B) Vista de la tubería de desagüe hacia la quebrada Remal el cual desemboca al río Inambari (C).

Factores condicionantes

- ✓ Rocas fracturada a muy fracturada¹, muy meteorizadas², conformado por areniscas cuarzosas blanco verdoso de grano fino a medio (Grupo Oriente). Como también se observan afloramientos de arcillitas y limolitas de la Formación Chonta, que se encuentran saturadas y son de fácil remoción.
- ✓ Morfología agradacional de depositaciones coluvio-deluviales, dispuestos en laderas de pendiente abrupta y progresiva entre 45° a 70°, disectados por quebradas y valles.
- ✓ Colmatación del cauce fluvial del río Inambari
- ✓ Deforestación y remoción de cobertura superficial en las zonas medias y altas de las laderas, lo cual lo hace propenso a la erosión e infiltración del agua de lluvia al subsuelo.
- ✓ Ocupación inadecuada del terreno por las viviendas (ubicadas en ambas márgenes de la carretera Interoceánica).

Factor desencadenante

Como factor desencadenante están las precipitaciones pluviales intensas, registradas desde diciembre a marzo.

4.3 Sector trocha carrozable a Huepetuhe

Tramo localizado a la margen izquierda, aguas abajo del río Inambari, afectado por deslizamientos, derrumbes, flujos e inundación fluvial. Los dos primeros recurrentes anualmente e intensificados con períodos de intensas precipitaciones pluviales, los cuales obstaculizan el pase por un tiempo en el tramo que conduce al poblado de Huepetuhe. (figura 19).

Se identificaron dos procesos de deslizamientos, el último registrado mediados del año 2019, tal como se puede apreciar en las figuras 20 y 21.

¹ Cuando el espaciamiento del fracturamiento en la roca es entre 2.00 a 0.60 m se considera fracturada y de 0.60 a 0.20 m muy fracturada. (ISRM, 1978).

² Cuando más de la mitad del material rocoso está descompuesta y/o desintegrado a suelo (ISRM, 1978).

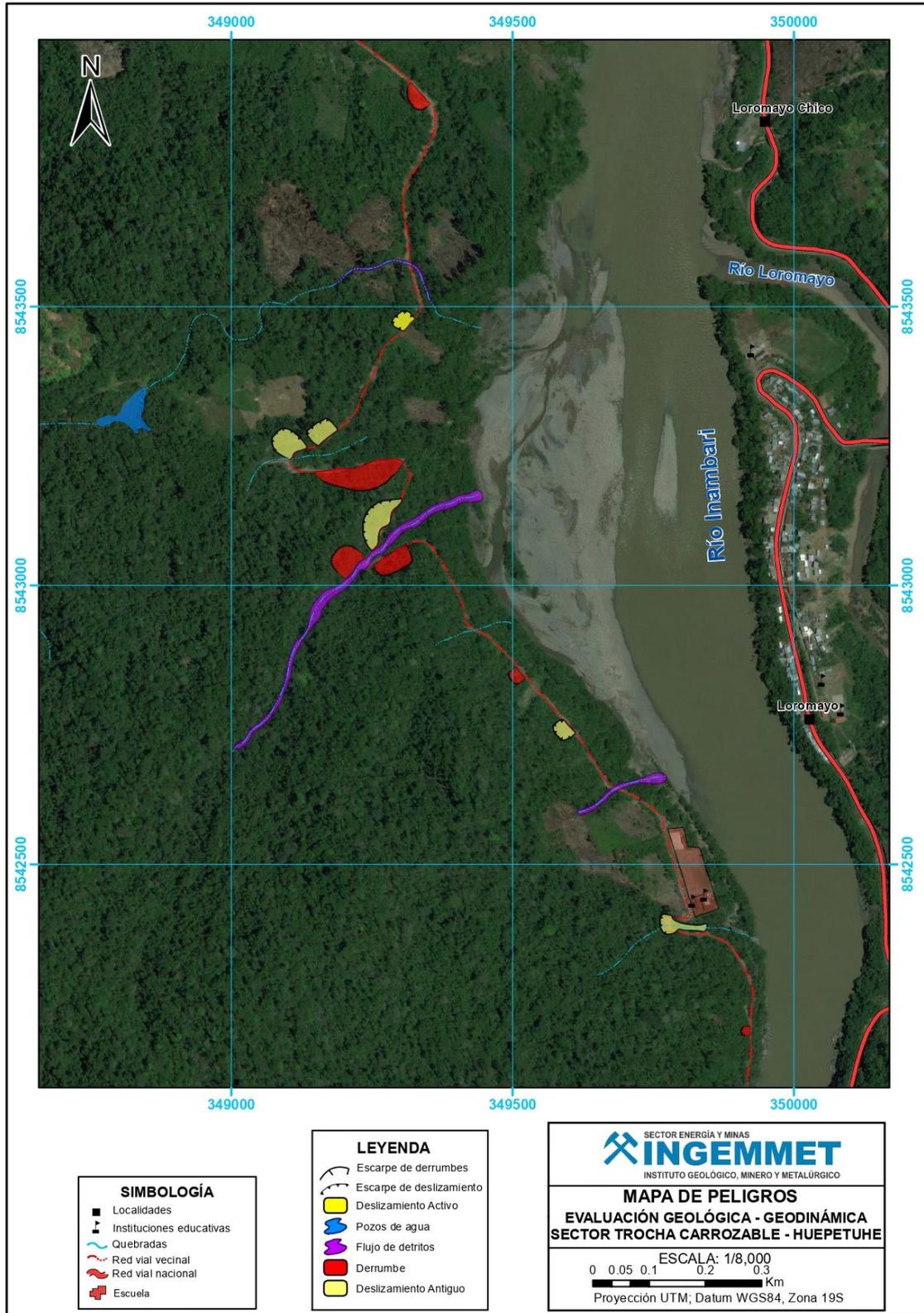


Figura 19. Mapa de peligros geológicos del sector trocha carrozable a Huepetuhe.



Figura 20. Vista con dirección suroeste, se observa un deslizamiento que cubrió la quebrada escuela ubicado a la margen izquierda del río Inambari.

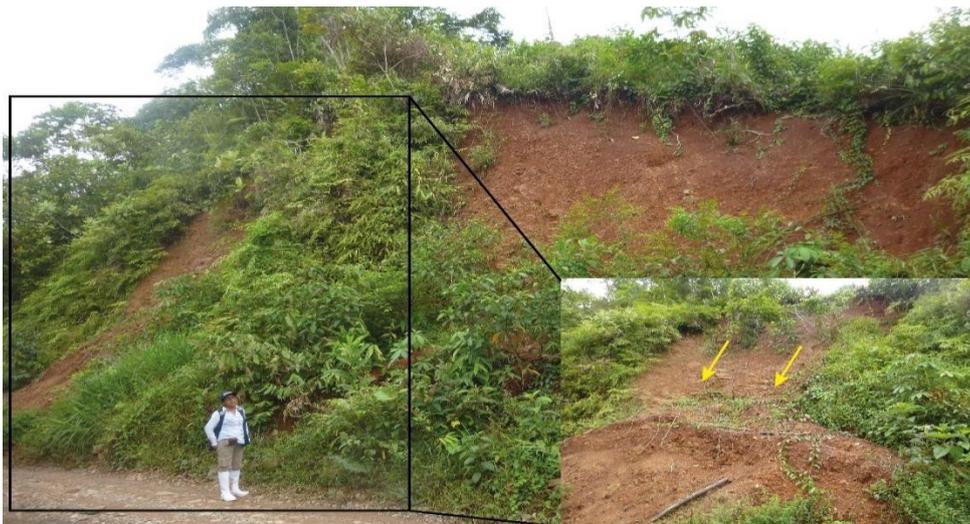


Figura 21. Vista del cuerpo del deslizamiento constituido por material coluvio-deluvial, inmersos en matriz areno limosa.

También se identificó un derrumbe activo, que interrumpe la carretera que conduce a la localidad de Huepetuhe. Figura 22.



Figura 22. Se observa un derrumbe activo en el corte del talud de la carretera.

Se tienen evidencias de depósitos generados por flujos de detritos en la quebrada sin nombre; en la actualidad los depósitos están cubiertos por vegetación, se aprecia surgencia de agua. En el cauce de la quebrada se aprecian bloques de hasta 1m. de diámetro, cantos, troncos, arbustos y ramas de gran tamaño. Figura 23.



Figura 23. Vista flujo de detritos de la quebrada sin nombre, el flujo arrastró bloques de roca, troncos, arbustos, ramas (flecha celeste) y ocasionó la inclinación de los árboles (flecha amarilla).

Factores condicionantes.

- ✓ Pendiente de la ladera que fluctúa los 45° consideradas como laderas inestables, susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos.

- ✓ Deforestación de la zona que permite la infiltración de agua de lluvia al subsuelo
- ✓ Roca altamente fracturada y meteorizada, conformado por secuencias sedimentarias de areniscas cuarzosas (parte alta), zona media de lodolitas con intercalaciones de limolitas de color gris verdosas de la Formación Yahuarango Inferior y en la parte baja, cubiertos por depósitos aluviales.
- ✓ Filtraciones de agua provenientes de la parte alta en la cual se encontró lagunas y pozos, estas aguas discurren hacia las laderas. Figura 24.

Factores desencadenantes.

El factor desencadenante son las lluvias intensas, que provocan la desestabilización de las laderas.



Figura 24. Ubicación de lagunas, pozos de aguas pluviales acumuladas en la cima de la montaña estructural de roca sedimentaria.

4.4 Sector Quebrada Machiche

Se identificaron varios procesos de movimientos en masa (figura 25).

Como se puede apreciar en la figura 26 y 27 en las laderas colindantes a la quebrada Machiche, se tienen eventos de derrumbes y deslizamientos antiguos y recientes, estos últimos reactivados por precipitaciones pluviales intensas y excepcionales, generando material suelto de fácil acarreo y depositación en cauces de las quebradas.

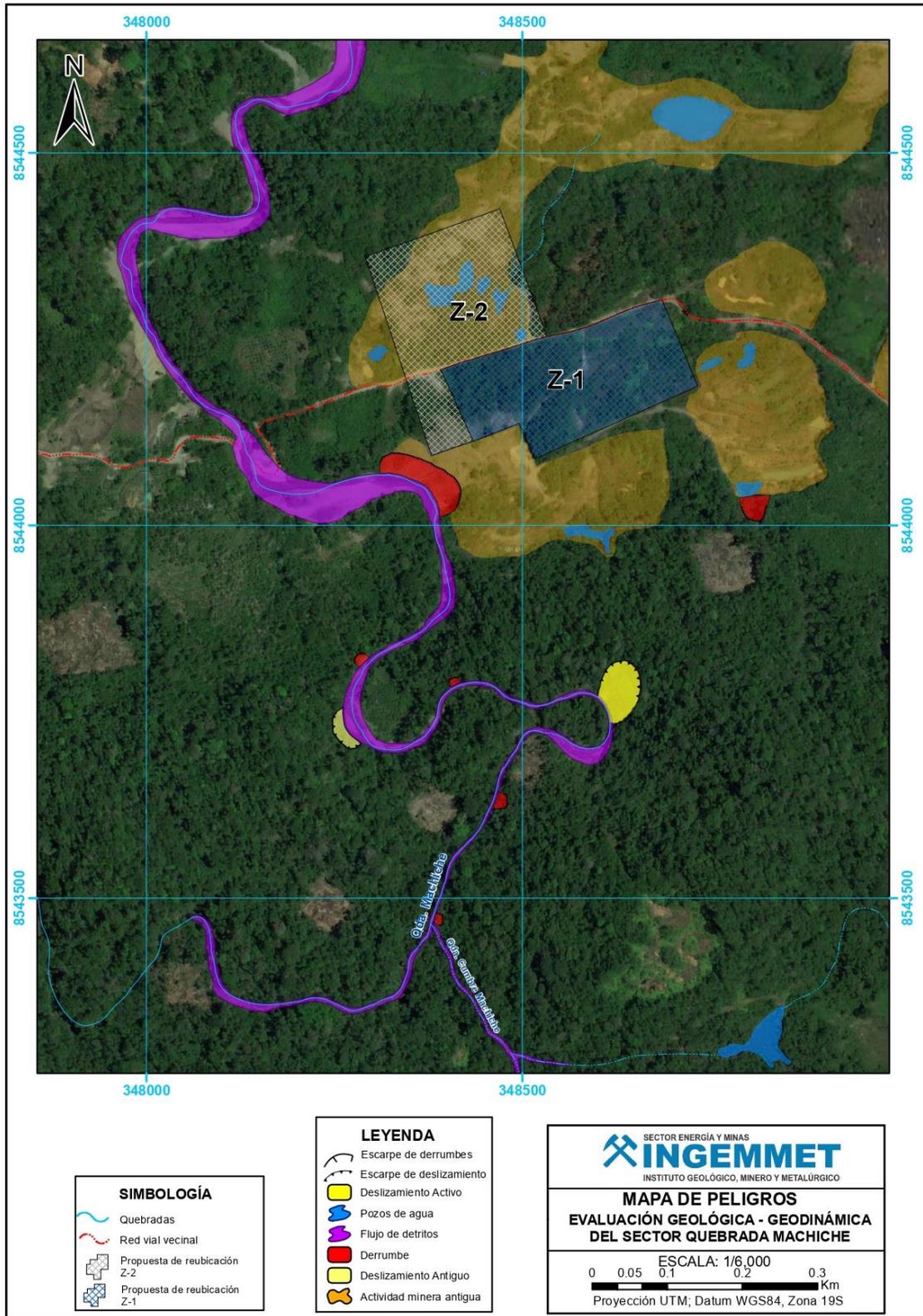


Figura 25. Mapa de Peligros geológicos de la quebrada Machiche



Figura 26. Derrumbes en la margen derecha de la quebrada Machiche.



Figura 27. Derrumbe en la margen derecha de la quebrada Machiche aguas abajo, se aprecian los depósitos en el cauce del río.

Factores condicionantes

- ✓ Substrato rocoso de mala calidad.
- ✓ Naturaleza del suelo incompetente
- ✓ Pendiente y morfología del terreno

El factor desencadenante

- ✓ Precipitaciones intensas

De igual modo, se identifica un cuerpo de deslizamiento rotacional activo (Figura 28), localizado en la margen derecha de la quebrada Machiche; cuyas dimensiones comprenden escarpas semicirculares a rectas de 25 m de longitud, saltos de 2m , en un talud de 30m de altura.



Figura 28. Vista del deslizamiento constituido por lodolitas de color violáceo, limoarcillitas color gris verdoso de la formación Yahuarango, afectando el cause del río.

Factores condicionantes.

- ✓ Pendiente empinada superior a los 45° y morfología de laderas y vertientes abruptas.
- ✓ Substrato rocoso de mala calidad (figura 29), altamente fracturado y meteorizado de la Formación Yahuarango Inferior, compuesta por lodolitas, limolitas gris verdosas.
- ✓ Arrimado de material suelto, de muy fácil erosión. Figura 30.
- ✓ Filtraciones de agua provenientes de la parte alta
- ✓ Dinámica fluvial

Factores desencadenantes.

- ✓ Precipitaciones intensas



Figura 29. Vista de deslizamiento antiguo en el trayecto de la quebrada, el substrato rocoso es de mala calidad esta intensamente fracturada y meteorizada, (flecha roja).



Figura 30. Material (gravas, arenas) trabajado y arrumado por los mineros informales en la margen derecha de la quebrada Machiche.

5. ZONAS PROPUESTAS PARA LA REUBICACIÓN

De los trabajos realizados en campo se determinaron las siguientes áreas para una posible reubicación de viviendas del poblado de Inambari, denominadas (Z-1) y (Z-2), figura 31, localizadas en los alrededores de la trocha carrozable a Huepetuhe, ambas circunscritas sobre depósitos aluviales suprayaciendo a la Formación Yahuarango Inferior.

5.1 Zona Propuesta de Reubicación (Z-1)

Se encuentra entre las coordenadas:

- 348685E, 8544302N
- 348732E, 8544186N
- 348516E, 8544089N
- 348495E, 8544137N
- 348434E, 8544113N
- 348390E, 8544208N



Figura 31. Mapa de Propuesta de Reubicación.

Características geológicas y geodinámicas del área

Litológicamente la zona presenta depósitos recientes y antiguos aluviales, y algunos coluviales en las laderas y zonas adyacentes; que cubren el substrato rocoso sedimentario de lodolitas con limolitas gris verdosas de la Formación Yahuarango Inferior, intensamente fracturadas.

Geomorfológicamente la zona se encuentra asentada sobre vertiente o piedemonte aluvial, que configura un terreno inclinado de pendiente suave (1° a 5°). Figura 32.

Desde el aspecto geodinámico, en la actualidad no se evidencian movimientos en masa que les pueda afectar; sin embargo, la zona de reubicación deberá ceñirse solamente al área que se refiere; para cuya habilitación se debe tener en cuenta estudios de suelos, que permitan determinar las características del suelo, con fines de cimentación; implementar sistemas de drenaje pluvial, para evitar la infiltración de agua hacia el subsuelo.



Figura 32. Terreno propuesto para la reubicación del sector puente Inambari.

5.2 Zona Propuesta de Reubicación (Z-2)

El área propuesta mostradas en la figura 31, cuenta con los siguientes limites, según las coordenadas:

- 348469E, 8544424N
- 348532E, 8544253N
- 348390E, 8544208N
- 348434E, 8544113N
- 348378E, 8544094N
- 348290E, 8544360N

a) Características geológicas y geodinámicas del área:

Geomorfológicamente la zona se constituye de laderas con pendiente de 25° a 45°, en las laderas y quebradas se encuentra material fracturado de la Formación Yahuarango Inferior, cubierta por depósitos aluviales, que son susceptibles a ser removidos.

La particularidad de esta área es que se encuentra disectada por la quebrada principal Machiche, afluente del río Inambari; la cual en los meses de diciembre a marzo muestra un incremento de su caudal de la quebrada, lo cual la hace propensa a la ocurrencia de movimientos en masa.

De igual modo, se observan la presencia de labores mineras informales, que están desestabilizando el terreno, figura 33.



Figura 33. Pozos profundos realizados por los mineros informales, los cuales desestabilizaron el terreno.

Hay que anotar, que la futura ubicación de las viviendas no se puede dar en zonas que estén sobre relleno (figura 34), estas se deben ubicar en suelos estables.

En caso de estar sobre relleno, se tendrá que realizar estudio de suelos, para determinar las medidas estructurales que deberán tener las futuras viviendas.



Figura 34. Vista del terreno de reubicación, se muestra la superficie que fue aplanada por los pobladores para la reubicación, (flecha roja) y hacia el noroeste se encuentra el límite de la quebrada Machiche (acantilado) que tiene una pendiente mayor a 45° (flecha amarilla).

6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN PARA LA ZONA DE REUBICACIÓN

Considerando las condiciones geomorfológicas, geológicas y geodinámicas, que caracterizan la susceptibilidad de los peligros geológicos en la zona de reubicación Z-1, se requieren de medidas para poder mitigar y/o prevenir futuros desastres.

Se mencionan a continuación algunas medidas de prevención y mitigación.

A. Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.

Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo. Figura 35.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

- Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.
- Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.
- Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (Figuras 38 y 39).

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la

propia escollera, esta se comporta además cómo un elemento resistente propiamente dicho.

- Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante pues en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud, para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

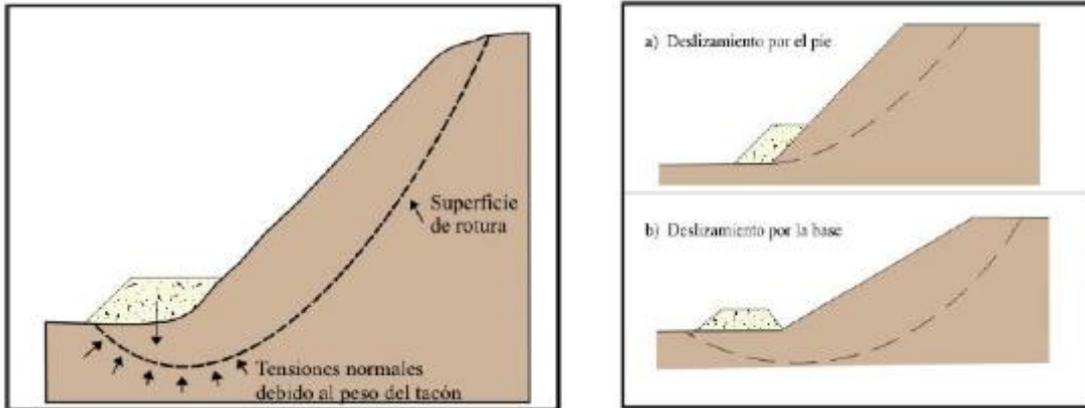


Figura 35: Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno.

- Tratamiento de taludes con escalonamiento: Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca —indeseables en todos los casos— y si se coloca en ellos zanjas de drenaje entonces se evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales. Figura 36.

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en roca, sobre todo cuando es fácilmente meteorizable y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca, como es el caso de los taludes ubicados junto a vías de transporte.

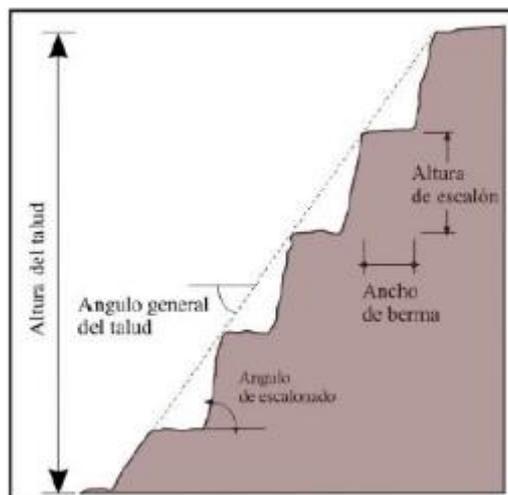


Figura 36: Esquema de un talud con bermas intermedias.

B. Corrección por elementos resistentes

- **Muros.** Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (Figura 37).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (Figura 16). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes. En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos. Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

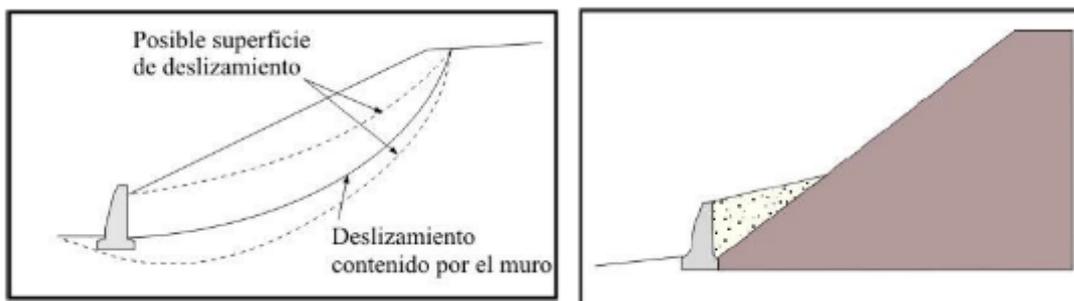


Figura 37: Contención de un deslizamiento mediante un muro. Figura 41-A: Relleno estabilizados sostenido por el muro.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 38).

- Muros de sostenimiento: Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.
- Muros de contención: Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.
- Muros de revestimiento: Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

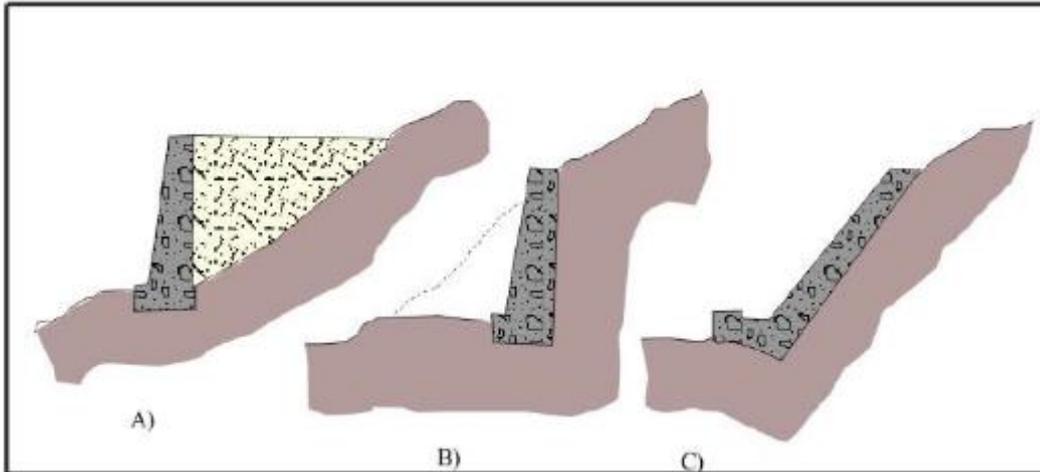


Figura 38: a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento.

Tipos de muros

- **Muros de gravedad:** Son los muros más antiguos, son elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (Figuras 39 y 40).

Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y el bajo costo.

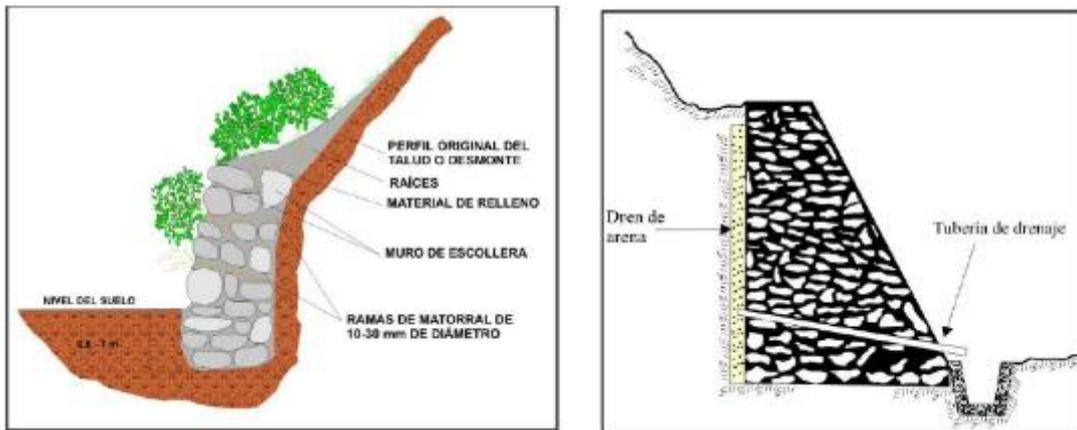


Figura 39: A). Muro de gravedad de piedra seca. B) Muros de gravedad de piedra argamasada.

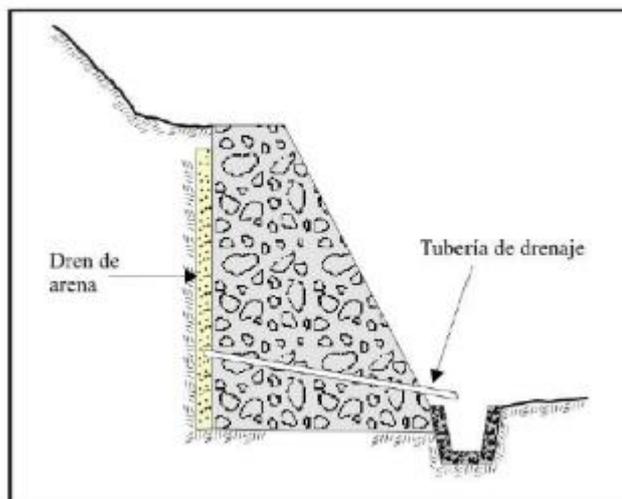


Figura 40: Muros de gravedad d concreto ciclópeo

- **Muros de gaviones.** Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (Figura 41).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable, y suele estar comprendida entre 1,7 a 2,4.

Las ventajas que presenta son:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- No tienen problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

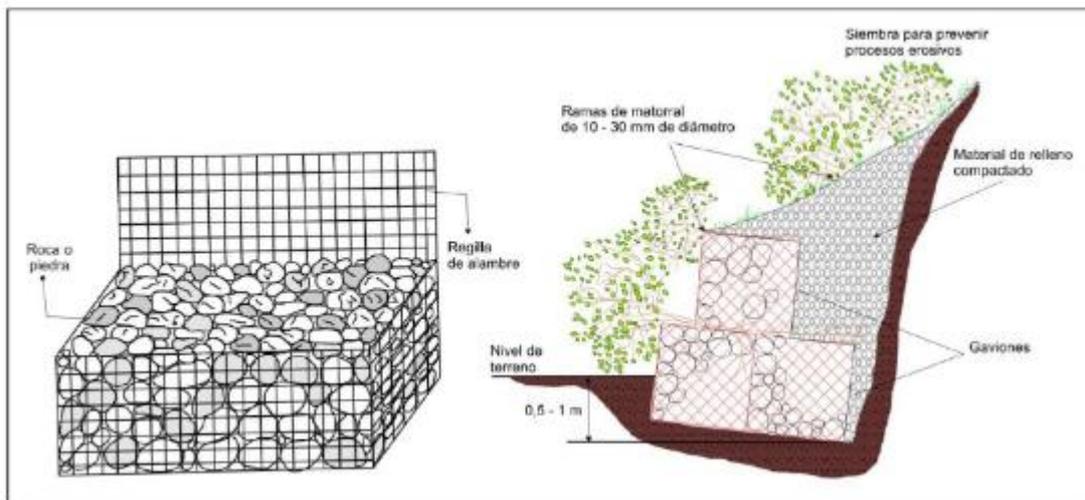


Figura 41: Muro de gavión.

CONCLUSIONES

1. En el sector Puente Inambari, colindan montañas estructurales con laderas de pendientes entre 45° a 70°, a diferencia del sector trocha carrozable a Huepetuhe con pendientes entre 20° a 45°. Las laderas están disectadas por quebradas, donde se presentan procesos de movimientos en masa tipo deslizamiento, derrumbes y flujo de detritos. Es una zona vulnerable.
2. El sector Puente Inambari desde el año 2016, está presentado procesos de flujos de detritos (huaicos) que afecta viviendas y a la carretera Interoceánica. Se pareció también procesos de erosión fluvial por parte de río Inambari, de seguir el proceso, la población va ser afectada.

3. La trocha carrozable a Huepetuhe, se encuentra sobre material de fácil remoción, constituido por bloques redondeados, subredondeados y subangulosos englobados en arena arcillosa, el mismo que permite la infiltración y retención de agua en su cuerpo, y posterior saturación del suelo, volviéndolo inestable. Con las lluvias estacionales, se activan los deslizamientos, derrumbes y flujos, y afectan la trocha carrozable.
4. A lo largo de la quebrada Machiche, se evidencian afloramientos de la Formación Yahuarango Inferior, compuesta por limolitas gris verdosas, areniscas y lodolitas; se encuentran fracturadas, son permeables y de baja calidad geomecánica; lo cual condiciona la susceptibilidad a movimientos en masa en el sector.
5. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas del terreno, mencionadas anteriormente, más el factor lluvia; se puede catalogar a los sectores Puente Inambari, trocha carrozable a Huepetuhe, Quebrada Machiche y Puente Inambari, como **peligro muy alto por movimiento en masa**, es una **zona crítica**.
6. Desde el punto de vista técnico, se puede concluir que el terreno propuesto por la población (Z-2) para su reubicación, no es apto, debido a que presenta pozos de labores mineras informales.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la reubicación paulatina del sector puente Inambari, porque se localiza en una zona crítica de peligro muy alto a movimientos en masa; donde las viviendas se encuentran expuestas directamente.
2. Se debe realizar la implementación de un sistema de drenaje de aguas pluviales o de regadío mediante canales impermeabilizados, a fin de evitar la infiltración de las aguas y posterior saturación.
3. Considerar la señalización de zonas con potencial presencia de peligros geológicos por movimientos en masa, a fin de advertir su activación en cualquier momento.
4. Restringir y/o prohibir la expansión urbana o nuevas construcciones en zonas con presencia de deslizamientos antiguos y recientes.
5. De las dos zonas propuestas para reubicación, se considera a la Z-1 con características favorables para su uso; sin embargo, es necesario desarrollar las medidas propuestas en el ítem 6.
6. En la futura zona de expansión urbana, antes de ser ocupada es necesario realizar un sistema drenaje pluvial, para evitar la infiltración de agua al subsuelo; realizar estudios de suelos, para determinar los tipos de cimentaciones de las futuras viviendas.
7. Las futuras viviendas no deben estar ubicadas en zonas de relleno, deben estar en terrenos naturales y firmes.
8. Descolmatar y encausar la quebrada Machiche y sus aledaños, respetando el cauce natural.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Cruden, D.M. and Varnes, D.J., Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. Editores (1996). Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.

INGEMMET (2015). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Madre de Dios. Informe Técnico, Primer reporte.

INGEMMET (2018). Mapa del Cuadrángulo de Masuco (27v4).

Hunt Oil (2011) – Reporte de campo: Geología de Campo en el Pongo de Coñec y la montaña Pantiacolla, Bloque 76 Cuenca Madre de Dios. Lima: Hunt Oil Company, 21p. (Disponible A.T. PeruPetro ITP 24105).

INGEMMET. DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL (2001). Estudio Riesgos Geológicos del Perú. Franja N° 3. Boletín, Serie “C”: Geodinámica e Ingeniería Geológica; 28, 373 p.

Kummel, B. (1946) - Estratigrafía de la región de Santa Clara. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. 14: 133–152.

ISRM (1978). International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. Pergamon Press, 15, 319-368.

Palacios, O., Molina, O., Galloso, A. & Reyna, C. (1996). Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. Lima. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, Boletín N° 81, 189 p

Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176.