

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7417

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN EL CENTRO POBLADO DE LLACAS

Departamento Arequipa
Provincia Condesuyos
Distrito Chuquibamba



SETIEMBRE
2023

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN EL
CENTRO POBLADO DE LLACAS**

Distritos Chuquibamba, provincia Condesuyos, departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de peligros geológicos por movimiento en masa en el centro poblado de Llacas. Distrito Chuquibamba, provincia Condesuyos, departamento Arequipa: Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7417, 23 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos del estudio	1
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	1
1.3. Aspectos generales	2
1.3.1. Ubicación	2
1.3.2. Accesibilidad	2
1.3.3. Precipitación pluvial	3
2. DEFINICIONES	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	6
3.1.1. Avalancha de escombros Llacas (Qh-da)	6
3.1.2. Depósitos aluviales (Qh-al)	6
3.1.3. Depósitos proluviales (Qh-pl)	6
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	6
4.1 Pendiente del terreno	6
4.2 Unidades geomorfológicas	7
4.2.1. Geoformas de carácter depositacional o agradacional	7
5. PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTO EN MASA	8
5.1 Deslizamiento	8
5.2 Movimiento complejo Llacas (MCL)	9
5.3 Caída de rocas (derrumbes), avalancha y flujo de detritos	10
5.1 Factores condicionantes	12
5.2 Factores desencadenantes	12
6. CONCLUSIONES	13
7. RECOMENDACIONES	14
ANEXO 1: MAPAS	17
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA	22

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el centro poblado Llacas, en el distrito Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento Arequipa. 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 inmediaciones del distrito Chuquibamba y el centro poblado Llacas, afloran depósitos de avalancha de escombros, que se extiende ampliamente y están profundamente bisectado por la red de drenaje. Los depósitos se desplazaron vertiente abajo conformando la topografía escalonada en la que se asientan las viviendas del centro poblado de Llacas, son poco consolidados. Así mismo se aprecian depósitos aluviales no consolidados conformados por (35 %), gravas (40 %) y matriz areno-limoso (25 %) y proluviales acumulado en los fondos de las quebradas, está conformado por bloques angulosos (30%), gravas (30 %), dentro de una matriz areno-limoso (40 %); todos ellos poco consolidados.

Geomorfológicamente, se aprecian las siguientes unidades: vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente con depósito de deslizamiento y Vertiente o piedemonte aluvial.

El peligro geológico principal identificado en el centro poblado de Llacas, corresponde a un movimiento en masa, tipo complejo, donde se aprecia deslizamientos, derrumbes, avalancha de detritos y flujos de detritos, condicionados por las siguientes características:

- a) Presencia de depósitos de avalanchas de escombros antiguas, poco consolidados conformados por bloques, gravas en matriz areno limosa y depósitos aluviales y proluviales no consolidados.
- b) Pendiente variable de llano a inclinado suavemente (1° - 5°) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes (25° - 45°), y escarpadas ($>45^{\circ}$).

Se concluye que, el sector evaluado en el centro poblado de Llacas es considerado de Peligro Alto, a deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión de laderas (cárcavas), que pueden ocurrir en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas. Asimismo, podrían reactivarse durante sismos.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: Cambiar las técnicas de riego con asesoramiento especializado.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, 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 la solicitud de la municipalidad provincial de Condesuyos, según Oficio N°266-2022-MPC-ALC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos del centro poblado de Llacas. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan al sector Llacas en el distrito de Chuquibamba. Los trabajos de campo se realizaron en el mes de noviembre del 2022.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y áreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la municipalidad provincial de Condesuyos y las entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar el peligro geológico que se presentan en el centro poblado de Llacas; evento que puede comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- a) Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin, L. (2017). Neotectónica, Evolución del Relieve y Peligro Sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64, 370 p., 1 mapa: Describe la zona de fallas Chuquibamba que se caracterizan por presentar dirección NO-SE con extensiones que varían de 10 a 50 km afectando la superficie de ignimbrita Chuquibamba. Siendo el rasgo morfológico más resaltante, el sector del deslizamiento de Chuquibamba que tiene una longitud de 25 km por 7 km de ancho; y varía entre las altitudes de 850 y 3750 msnm. Estas fallas han tenido una reactivación menor a los 10000 años clasificándose como activas.
- b) Luque, G.; Pari, W.; Dueñas, K. (2021). Peligro Geológico en la región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 81, 286 p., 13 mapas: Describe que muchos de los deslizamientos hoy activos son procesos antiguos, reactivados o acelerados en su actividad en los últimos años. Estos empiezan afectando una pequeña área hasta formar vertientes de depósitos de megadeslizamientos como el que se encuentra asentado el distrito de Chuquibamba.

- c) Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Peña, F. (2014). Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca, Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 222 p., 11 mapas: Describe, en las laderas de las vertientes al río Grande (Chuquibamba), una susceptibilidad muy alta a los movimientos en masa, condicionado por factores favorables del terreno

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Llacas se ubica en el distrito de Chuquibamba, de la provincia Condesuyos, departamento de Arequipa (figura 1); se encuentran en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área evaluado en el centro poblado de Llacas

N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	744082	8232971	-15.970678°	-72.719527°
2	745019	8232971	-15.970585°	-72.710778°
3	745020	8231332	-15.985391°	-72.710600°
4	744082	8231332	-15.985484°	-72.719359°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	744539	8231988	-15.979513°	-72.715159°

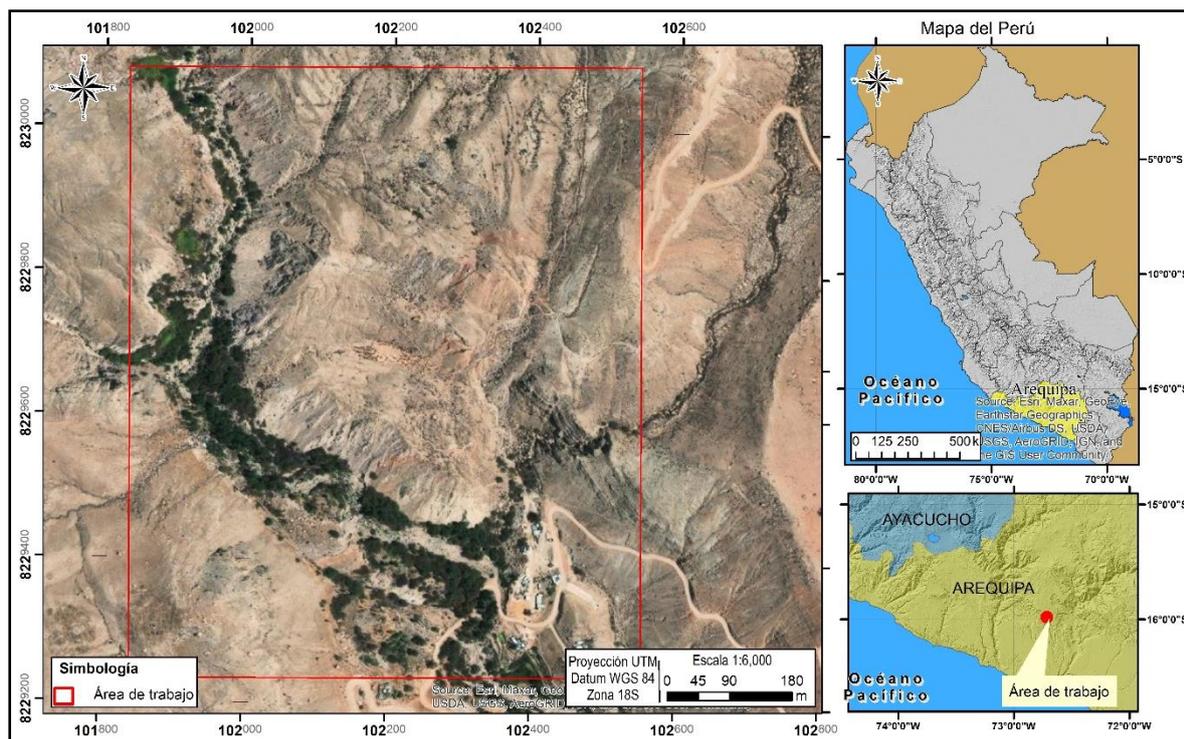


Figura 1. Ubicación del centro poblado de Llacas en el distrito de Chuquibamba

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a Llacas es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos al centro poblado de Llacas

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa - Corire	Asfaltada	159	2hora y 50 min
Corire - Chuquibamba	Asfaltada	68.3	1 hora y 40 min
Chuquibamba - Llacas	Trocha carrozable	25	1 hora

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), de la estación Chuquibamba, los valores de precipitación se muestran en el gráfico 1. En él se visualiza la precipitación del 2022, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 20 mm.

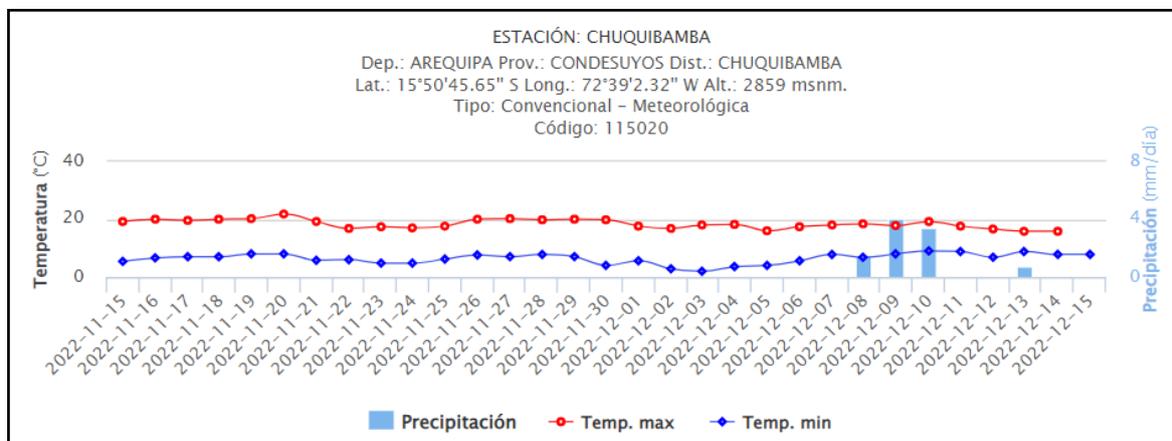


Gráfico 1. Precipitación diaria según la estación Chuquibamba (Senamhi).

2. DEFINICIONES

A continuación, se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO (cracking): Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown): Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento, ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide): 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 Harrod, 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.

ESCARPE (scarp) 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.

FRACTURA (crack): Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

METEORIZACIÓN (weathering): 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.

CAIDAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

LAHARES: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

CÁRCAVAS: La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo,

lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

MOVIMIENTOS COMPLEJOS: Con mucha frecuencia los movimientos de un talud incluyen una combinación de dos o más tipos de desplazamiento descritos anteriormente. A este tipo de deslizamiento que involucra varios tipos de movimientos, se le denomina "Complejo". Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede convertirse en otro, a medida que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en una caída o en un deslizamiento en flujo.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

En Llacas, el análisis geológico se desarrolló en base a la Geología del cuadrángulo de Chuquibamba 32-q W. Olchanski, E., & Dávila, D. (1994). Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 50, 52p.

La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo. (Anexo 1 - mapa 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

3.1.1 Avalancha de escombros Llacas (Qh-da)

En inmediaciones del distrito de Chuquibamba y el centro poblado de Llacas, aparecen un conjunto de deslizamientos gigantes, que afectaron el borde del altiplano generando las depresiones de dimensiones kilométricas. Los depósitos de la avalancha de escombros se extienden vertiente abajo por decenas de km y están profundamente incisados por la red de drenaje. Los depósitos se desplazaron vertiente abajo conformando la topografía escalonada en la que se asientan las viviendas del centro poblado de Llacas.

El depósito está conformado por bloques con un tamaño máximo de 5 m, gravas y matriz areno-limoso, proveniente de la descomposición de ortogneis, ignimbrita y andesitas son de color gris oscuro. Este depósito se caracteriza por estar poco compacto, que permiten la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados y susceptibles a los movimientos en masa.

3.1.2 Depósitos aluviales (Qh-al)

Depósitos recientes cuyos materiales han sido arrancados y transportados por el agua y depositados a poca distancia de su lugar de origen.

Estos materiales se presentan no consolidados y sus elementos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de diferentes tamaños y formas (angulosas a subredondeadas), los cuales van desde bloques (35 %), gravas (40 %), dentro de una escasa matriz areno-limoso (25 %). Se encuentran poco consolidados.

3.1.3 Depósitos proluviales (Qh-pl)

Los depósitos proluviales están representados por depósitos de deslizamientos antiguos y flujos de tierra, provenientes desde las partes altas. El material acumulado en los fondos de las quebradas. Está conformado por bloques angulosos (30%), gravas (30 %), dentro de una matriz areno-limoso (40 %). Se encuentran poco consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

El centro poblado de Llacas: se emplaza sobre pendientes de los terrenos que varían de suavemente a moderado (5° - 15°), una zona media de las laderas donde se observa cambios a terrenos con pendiente fuerte a muy fuertes (15° - 45°), en algunos sectores se aprecian pendientes muy escarpados ($> 45^\circ$). (figura 2).

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 50 cm de resolución, elaborado a partir de fotogrametría con drone (anexo 1 - mapa 3).

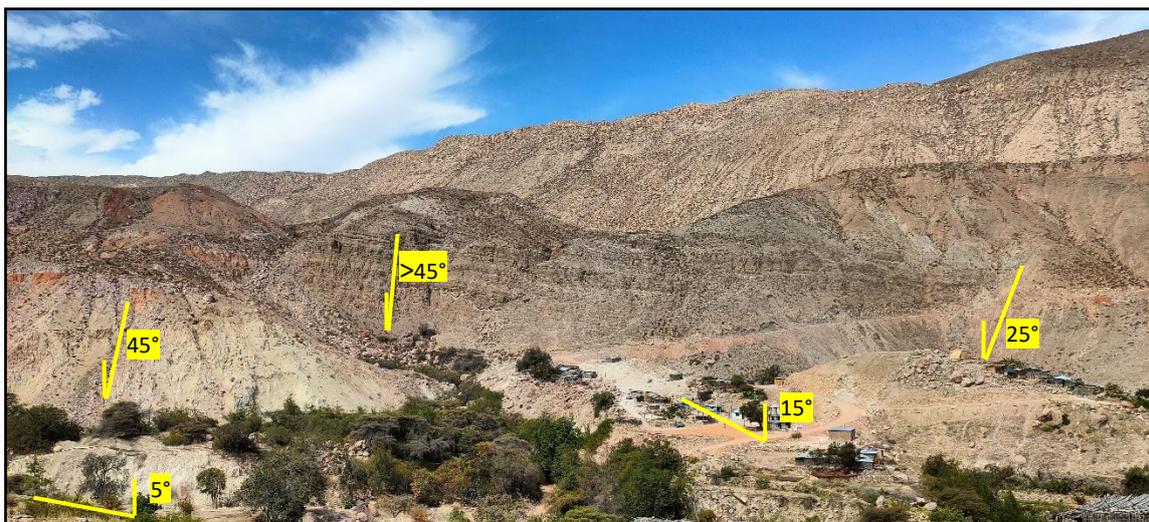


Figura 2. Muestra las pendientes en el centro poblado de Llacas

Cuadro 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escarpado
>45	Muy escarpado

4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector evaluado, se ha empleado la publicación 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:

- Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geoformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve en el centro poblado de Llacas se presenta en el mapa geomorfológico (anexo 1 - mapa 3).

4.2.1 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 Unidad de piedemonte

Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al): Unidad genética correspondiente a una planicie inclinada con topografía de glacis se extiende al pie de sistemas montañosos, y escarpes de

altiplanicies, ha sido formado por la sedimentación de las corrientes de agua estacionales. Está constituido por sucesiones de abanicos aluviales y aluvio-deluviales, incluidos algunos conos de deyección de igual o diferente composición granulométrica. Se ubica en la zona central del área evaluado.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas. Se identificó esta forma de relieve en el bode de las quebradas.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Se encuentra conformando las laderas, de deslizamientos a lo largo de los valles. En la zona evaluada, esta subunidad geomorfológica aflora en el sector Quillalla, en la parte baja de la zona urbana de Uñón. Está conformada por depósitos de deslizamientos antiguos, Se identificó esta forma de relieve en gran parte del área evaluado.

5. PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTO EN MASA.

El peligro geológico evaluado en el centro poblado de Llacas corresponde a movimientos en masa de tipo deslizamiento, (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas.

Este tipo de movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como geometría del terreno, pendiente de la ladera, tipo de roca, drenaje superficial y cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de este evento las lluvias intensas y/o prolongadas, así como la actividad sísmica.

5.1 Deslizamiento

En la parte alta del valle de Llacas se aprecia una depresión en forma de herradura, que corresponde a un mega deslizamiento, el cual se desarrolló en la ignimbrita Chuquibamba (figura 3), posee un escarpe entre 13 -15 k. y un desnivel de 400 m, generando depósitos de avalanchas de rocas que rellenaron el valle de Llacas y sobre el que se asienta el poblado (figura 3).

Benavente, C.; et al (2017), ha identificado un sistema de fallas denominado Atiquipa-Caraveli-Sicera-Lluta-Vitor.), el cual presenta una cinemática inversa, de dirección NO-SE, buzamiento 75° NE, de edad Holócenica (<11.7 ky). Se extiende a lo largo de 290 km limitando gran parte de la zona de piedemonte de la región Arequipa.

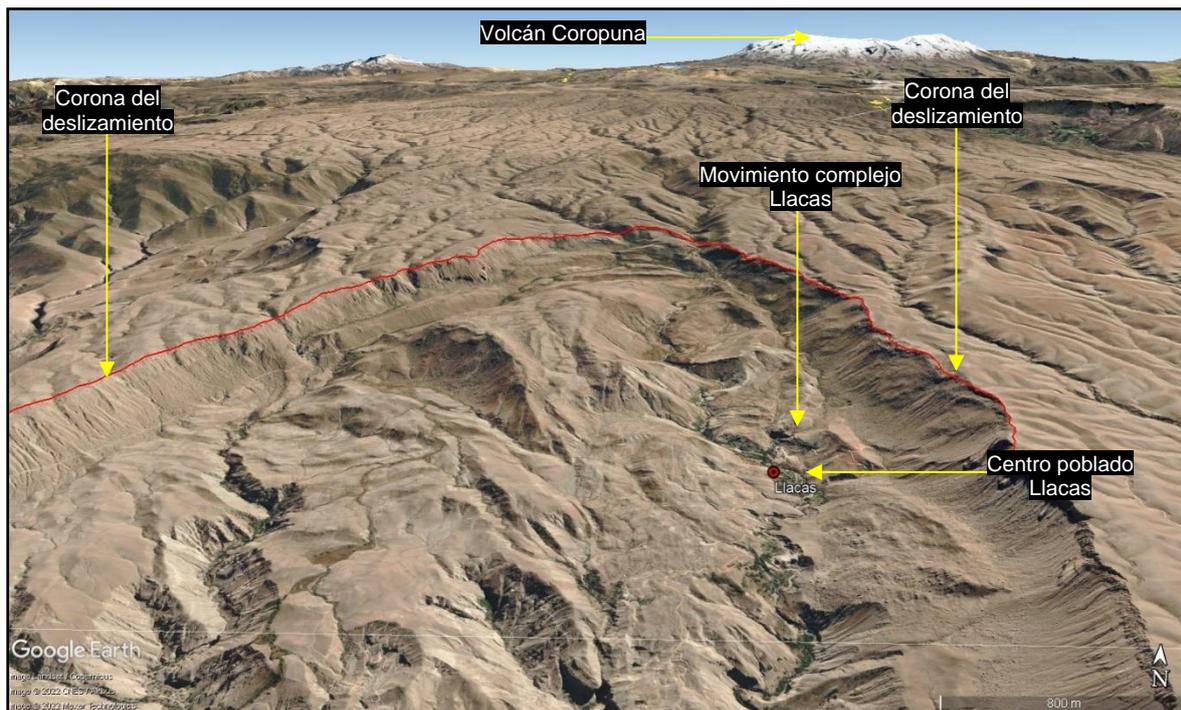


Figura 3. Deslizamiento de Llacas

5.2 Movimiento complejo Llacas (MCL).

Conformado por procesos de movimientos en masa, tipo: deslizamientos, derrumbes, avalancha de detritos y flujo de detritos.

En la parte alta del centro poblado Llacas, se aprecia una cicatriz en forma de herradura, que corresponde a un deslizamiento, con tres depresiones escalonadas, (figura 4), que representa la reactivación de movimiento, denominado movimiento complejo Llacas.

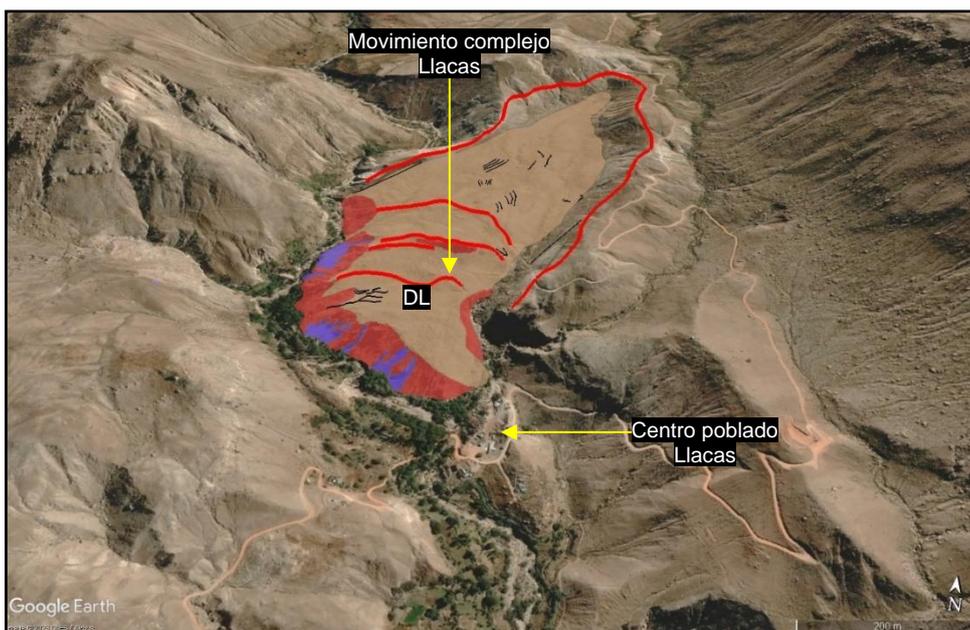


Figura 4. Movimiento en masa en Llacas

(MCL), cuya cicatriz de rotura del deslizamiento posee 2 km, hacia el borde de la cabecera o corona se observa ligeramente erosionado, con un escarpe cubierto por material cuaternario, la distancia desde la corona hasta el pie del movimiento es de 1.3 km. Este evento está comprendido entre las cotas 2465 a 2239 m. es decir, presenta un desnivel de 226 m.

La masa movilizada se estima que impactó en un área aproximada de 59 has; además en el cuerpo del deslizamiento se identificaron sectores reactivados, con presencia de derrumbes al pie del deslizamiento; aparentemente originado por el empuje de la masa y la erosión fluvial de la quebrada que cruza por la parta baja de la masa movilizada.

Posee una dirección de desplazamiento Sur, en sentido aguas abajo del valle, adema se observa escarpes escalonado (indicativo de que es un movimiento activo) (figura 5).

Los componentes hallados en el cuerpo del deslizamiento corresponden a bloques provenientes de ortogneis, ignimbrita Chuquibamba y lavas andesítica de color gris oscuro, que se encuentran altamente meteorizadas y muy fracturadas; que generan suelos no consolidado, poco compactos, y de fácil remoción al saturarse de agua.

Por su velocidad, este movimiento ha sido clasificado como de tipo lento según la clasificación de Cruden y Varnes (1996).

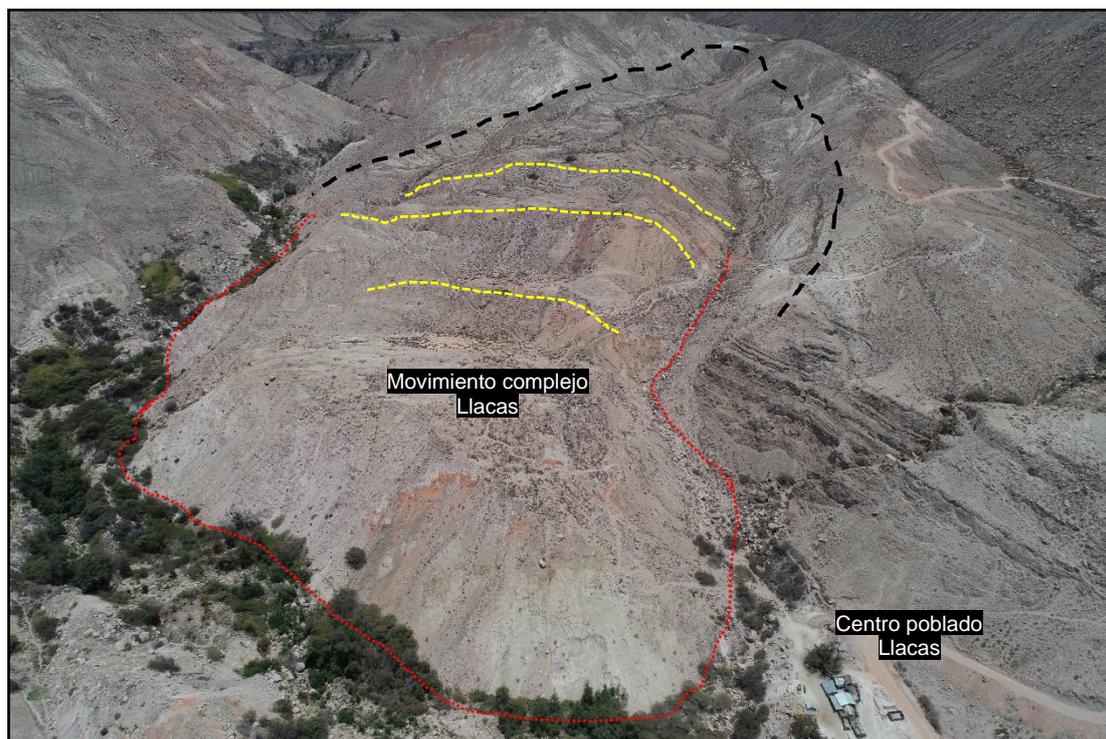


Figura 5. Escarpes en el movimiento complejo Llacas

5.3 Caída de rocas (derrumbes), avalancha y flujo de detritos

Los derrumbes se desarrollan en laderas con alto pendiente, principalmente en el pie de la masa movilizada, cuyos depósitos llegan al cauce de las quebradas Llacas, (figura 6). Imágenes satelitales del ..., se evidencia que el trazo del curso del cauce ha sido cambiado, migrando este hacia el Suroeste.



Figura 6. Derrumbes en el sector Llacas

Las avalanchas de detritos, al igual que los derrumbes, se dan al pie del movimiento, en el frente de avance. Mientras que los flujos de detritos se presentan en ambas márgenes de la masa movilizada; poseen de dimensiones pequeñas, y con recorridos de hasta 250 m. El material está conformado por bloques angulosos (30%), gravas (30%), dentro de una matriz areno-limoso (40%), poco consolidados, (figura 7).



Figura 7. Avalancha de detritos en el sector Llacas

5.1 Factores condicionantes

- Material poco competente e incompetente, conformado por depósitos de avalanchas de escombros antiguas poco consolidados, constituidos por bloques, gravas y arenas; dichos bloques provenientes de ortogneis, ignimbrita y andesitas de color gris oscuro, englobados en una matriz limo-arcillosa, que permite la infiltración y retención del agua, lo cual conforman terrenos fácilmente saturables y susceptibles a la remoción en masa
- Pendiente variable de llano a inclinado suavemente (1° - 5°) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes (25° - 45°), y escarpadas ($>45^{\circ}$)

5.2 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú el periodo de lluvia en el Perú se da en los meses de diciembre a marzo); registrando un máximo de 40.4 mm/día el 25 de febrero del 2017 en la estación Chuquibamba (SENAMHI), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento
- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, deslizamientos y derrumbes. Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. "El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

6. CONCLUSIONES

1. En el centro poblado Llacas afloran: **a)** depósitos de avalancha de escombros, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 5 m, gravas, dentro de una matriz areno-limoso; este depósito se caracteriza por estar poco compacto, que permiten la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados y susceptibles a los movimientos en masa, **b)** depósitos aluviales, conformados por bloques (35 %), gravas (40 %), dentro de una escasa matriz areno limoso (25 %) y **c)** proluviales conformado por bloques angulosos (30 %), gravas (30 %), dentro de una matriz areno-limoso (40 %). Ambos depósitos se encuentran poco consolidados. Así mismo, en el frente de avance se aprecian depósitos coluviales producto de los derrumbes y avalanchas.
2. Las unidades geomorfológicas están representadas por vertiente o piedemonte aluvial, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente con depósito de deslizamiento.
3. El peligro geológico principal en el centro poblado de Llacas es por deslizamiento, condicionado por:
 - c) Depósitos de avalanchas de escombros antiguas, poco consolidados conformados por bloques, gravas en matriz areno limosa;
 - d) Pendiente variable de llano a inclinado suavemente (1°-5°) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes (25°-45°), y escarpadas (>45°).
4. Se concluye que, el sector evaluado en el centro poblado Llacas es considerado de **Peligro Alto**, por deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión de laderas (cárcavas), que pueden reactivarse en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas; así como durante sismos.

7. RECOMENDACIONES

1. Controlar y mantener las condiciones actuales de los suelos en la zona. Su modificación e impacto en alguno de ellos, incrementaría el grado de peligrosidad.
2. Para disminuir el avance del movimiento en masa, se debe controlar y evitar las infiltraciones de agua en el suelo, haciéndolo principalmente con un cambio de técnicas de riego y asesoramiento de las entidades correspondientes.
3. Trasladar las aguas que surgen en manantiales hasta zonas alejadas del área reactivada en el cuerpo del deslizamiento, para evitar la saturación de los terrenos.
4. Con el objetivo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie incluyendo canales (tubería de PVC o manguera flexibles) para evitar infiltraciones de agua al subsuelo.
5. Todos los reservorios y canales de agua en el sector deberían ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos.
6. Instalar e implementar el monitoreo de deslizamiento (el cual puede ser realizado con el acompañamiento del INGEMMET).
7. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin, L. (2017). Neotectónica, Evolución del Relieve y Peligro Sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64, 370 p.

Ccallo, W., Santos, A., Torres, D., Ayala, L., (2021) - Geología del cuadrángulo de Chuquibamba (hoja 32q4), Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 16. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 37 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3135>

Corominas, J. & García Yagüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3, 1051-1072
Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Jenks, W. (1948). Geologia de la hoja de Arequipa. Instituto Geológico del Perú. Boletín n°9, Lima.

Kelfoun K., Samaniego P., Palacios P. and Barba D. (2009) Testing the suitability of frictional behaviour for pyroclastic flow simulation by comparison with a wellconstrained eruption at Tungurahua volcáno (Ecuador), Bull. Volcánol. DOI 10.1007/s00445-009-0286-6

Luque, G.; Pari, W.; Dueñas, K. (2021). Peligro Geológico en la región Arequipa, INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 81, 286 p.

Olchanski, E., & Dávila, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi 32-q, 31-q. Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 50, 52p.

Paguican EMR, Van Wyk de Vries B, Lagmay a. MF (2012) Hummocks: how they form and how they evolve in rockslide-debris avalanches. Landslides 11:67–80. doi: 10.1007/s10346-012-0368-y

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

Quispesivana, L. & Navarro, P. (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (33-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p), Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 42 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052>

Thouret, J.-C.; Wörner, G.; Gunnell, Y.; Singer, B.S., Zhang, X., & Souriot, T. (2007) - Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. Earth and Planetary Science Letters, 263(3-4): 151-166. Informe Técnico N° A7259

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

Villota, H. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafol3gicos y la zonificaci3n f3sica de tierras. Instituto Geogr3fico Agust3n Cadazzi.

Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Pe3a, F. (2014). Estudio Geoambiental en la Cuenca del R3o Colca, Ingemmet, Bolet3n, Serie C: Geodin3mica e Ingenier3a Geol3gica, 57, 222 p.

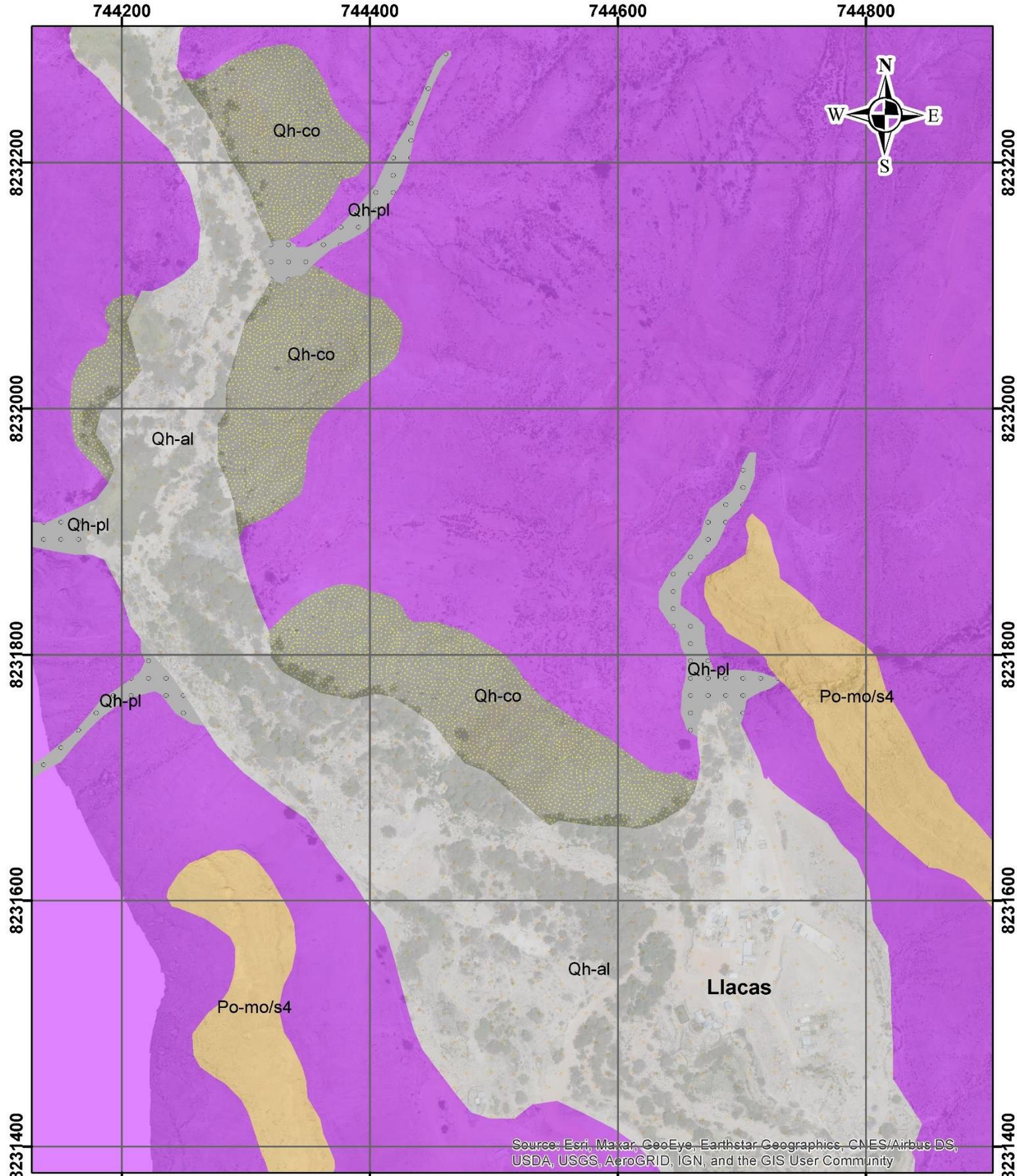
ANEXO 1: MAPAS

Mapa 1: Geología en el centro poblado Llacas, modificado de Olchauski, E., & Dávila, D. (1994)

Mapa 2: Pendiente del terreno a partir de un modelo digital de elevaciones de 0.5 m de resolución. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 3: Geomorfología del sector evaluado. Fuente: Elaboración Propia

Mapa 4: Cartografía de peligros geológicos del centro poblado de Llacas. Fuente: Elaboración Propia.

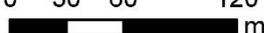


Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

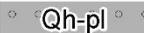
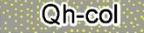
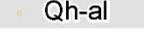
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

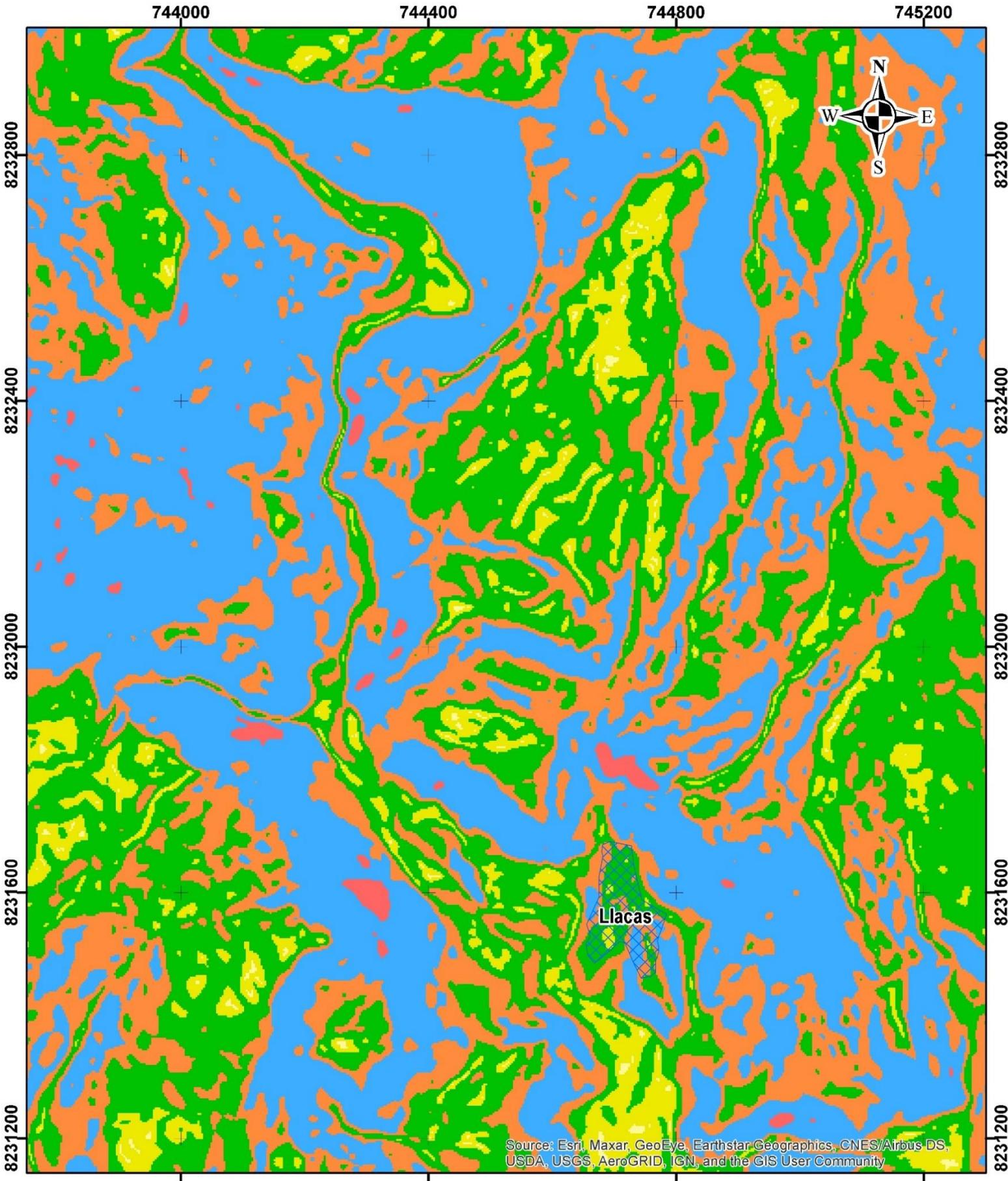
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

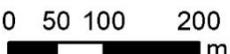
MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR LLACAS

Proyección UTM	Escala 1:4,000	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 30 60 120	
Zona 18S	 m	

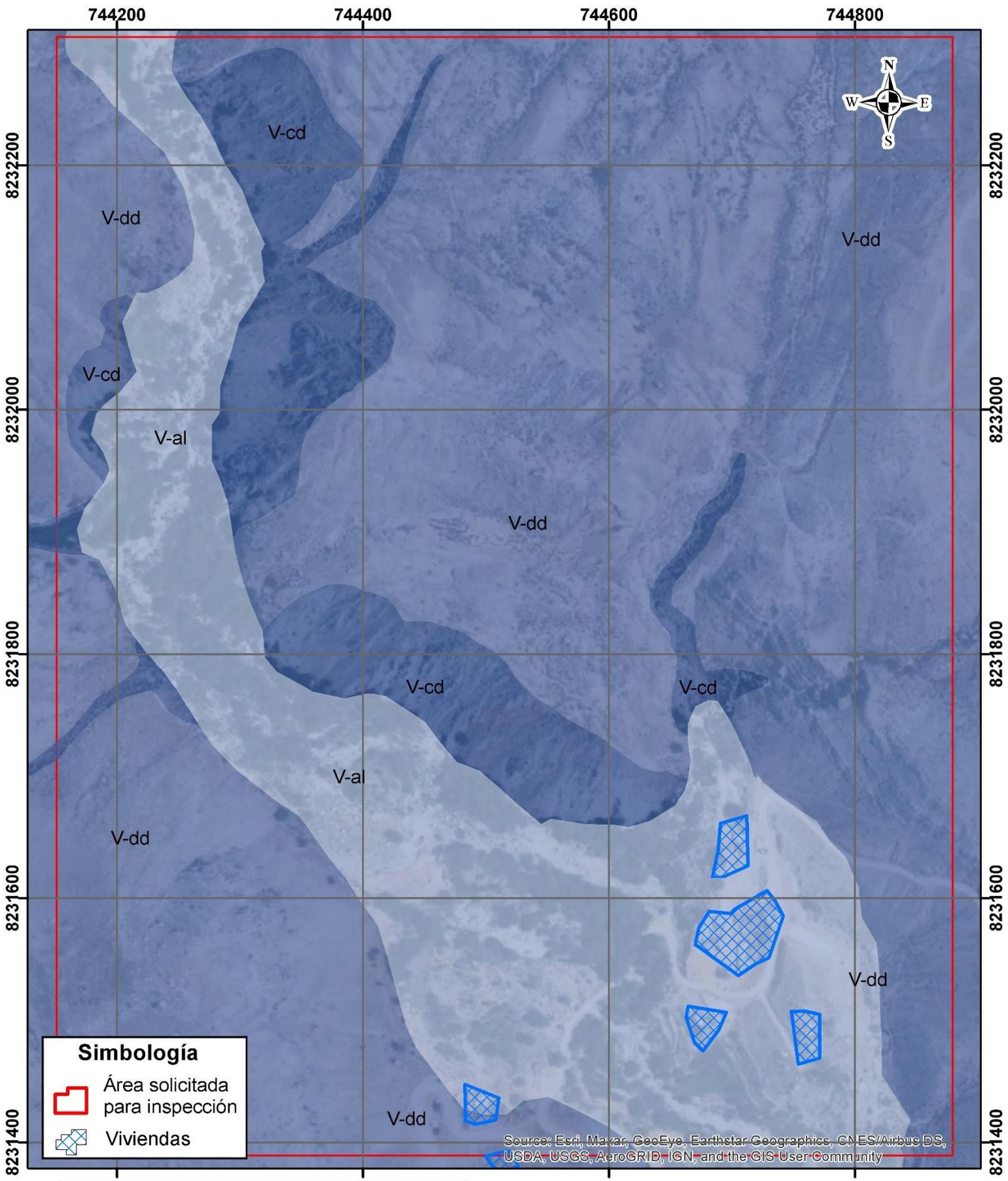
Unidades litoestratigráficas

	Depósito proluvial
	Depósito coluvial
	Depósito aluvial
	Formación Moquegua Miembro Superior
	Formación Moquegua Miembro Inferior



 <p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>PENDIENTES DEL TERRENO EN EL CENTRO POBLADO LLACAS</p>		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:8,000  0 50 100 200 m	Mapa N° 2

Pendientes (Grados)	
	< 1 Llano
	1 - 5 Suavemente inclinado
	5 - 15 Moderado
	15 - 25 Fuerte
	25 - 45 Muy fuerte
	> 45 Muy escarpado



Simbología

- Área solicitada para inspección
- Viviendas

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

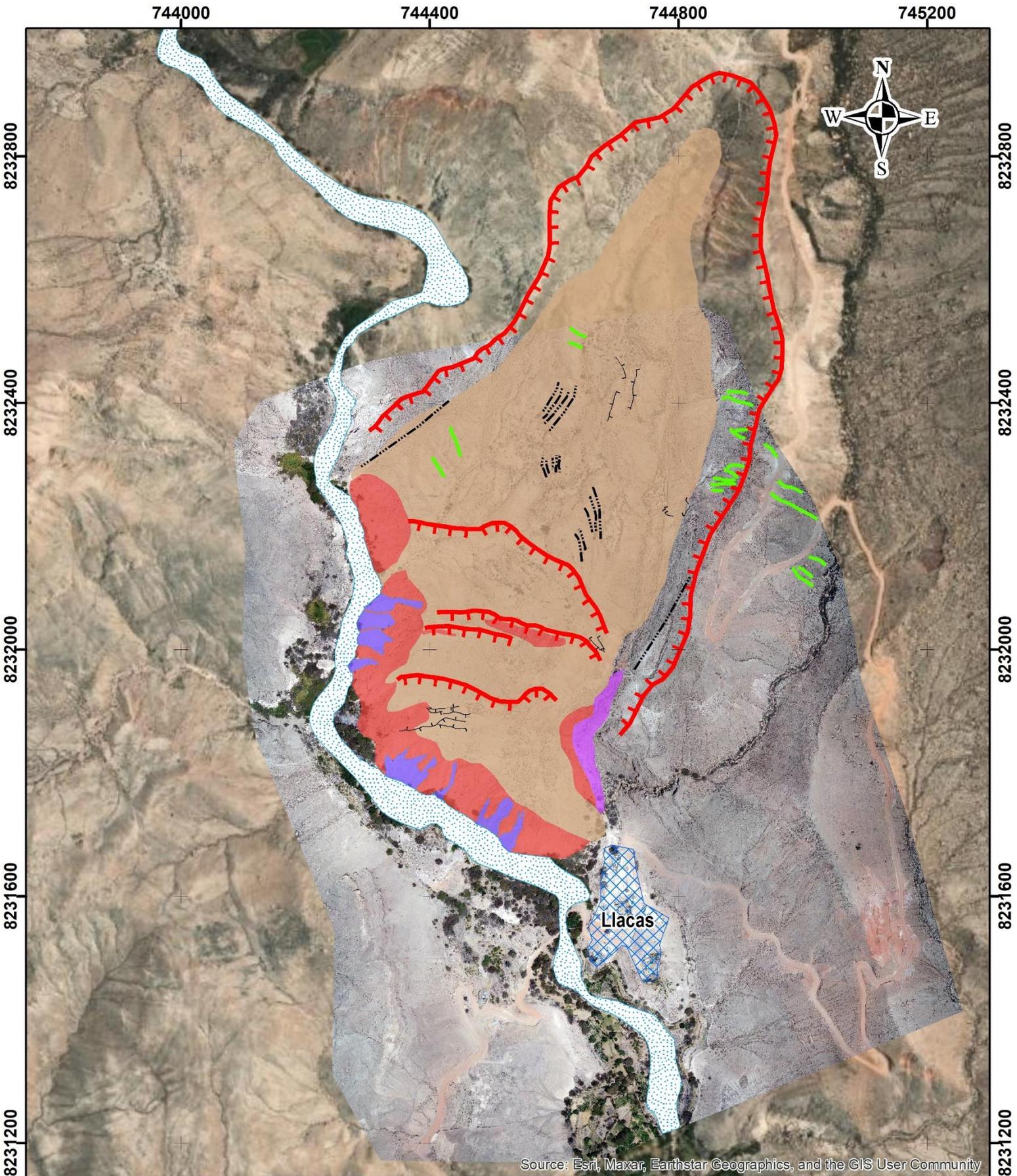
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL SECTOR LLACAS

Proyección UTM	Escala 1:4,000	Mapa N° 3
Datum WGS 84	0 30 60 120 m	
Zona 18S		

Unidad litoestratigráfica

- V-al Vertiente o piedemonte aluvial
- V-cd Vertiente coluvio deluvial
- V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

Peligros geológicos

-  Movimiento complejo
-  Derrumbes
-  Avalancha de detritos
-  Erosión de laderas en cárcavas
-  Flujo de detritos (huaico)

Simbología

-  Vía
-  Cauce actual de la quebrada
-  Zona urbana
-  Escarpe
-  Grietas
-  Lineamiento

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO LLACAS

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:8,000 0 62.5 125 250  m	Mapa N° 4
--	---	-----------

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA

Medidas de prevención y mitigación del peligro por movimientos en masa

Se plantearán algunas medidas de mitigación, para el caso hipotético de reactivación de alguno de los deslizamientos antes descritos. Deslizamientos (DAP1 y DAP1),

Mitigación de peligros por deslizamientos: Para disminuir los daños por deslizamiento, es necesario aplicar las siguientes medidas:

- a) En el caso de los deslizamientos no muy rápidos y poco profundos, son recomendables las obras de drenaje superficial sobre la masa deslizada que debe realizarse una vez que estas se han estabilizado (zanjas de sistema de drenaje perimetrales, en espina de pez) y la modificación de la geometría al actuar sobre dos de los factores principales que condicionan las inestabilidades. Otras medidas, como la instalación de anclajes y bulones, son recomendables en caso de inestabilidades en macizos rocosos para evitar los deslizamientos y desprendimientos de bloques; no son efectivas en deslizamientos en suelos (a no ser que se instalen sobre muros o vigas que reparan las fuerzas de forma uniforme); en este último caso son más efectivos los elementos resistentes como pilotes, muros o pantallas.

En la figura 6 se presenta un esquema de la estabilización de un extenso deslizamiento superficial en suelos residuales limo-arcillosos. Las medidas de corrección o estabilización de laderas están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños. Cabe mencionar que los deslizamientos o flujos de dimensiones importantes, incluso con velocidades muy bajas, son muy difíciles o imposibles de detener.

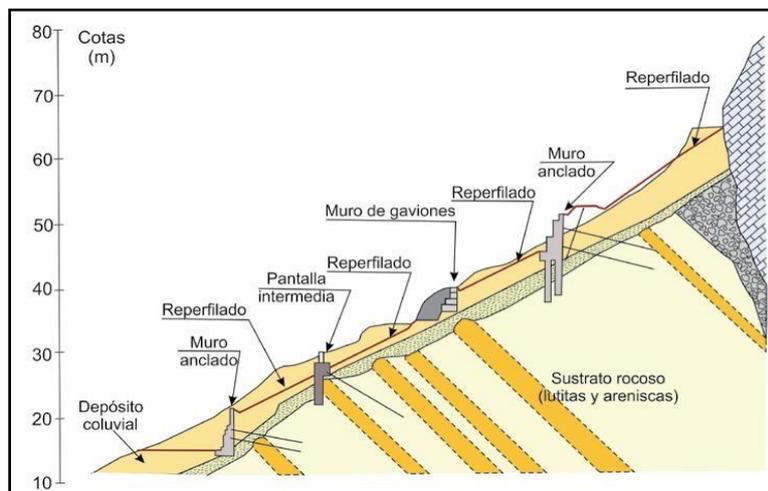


Figura 8. Esquema de las medidas de contención de un deslizamiento en suelo coluvial arcillo- limoso con sustrato formado por lutitas y areniscas. Rodríguez, Ortiz, 1997.

Otra medida es la construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (figura 9).

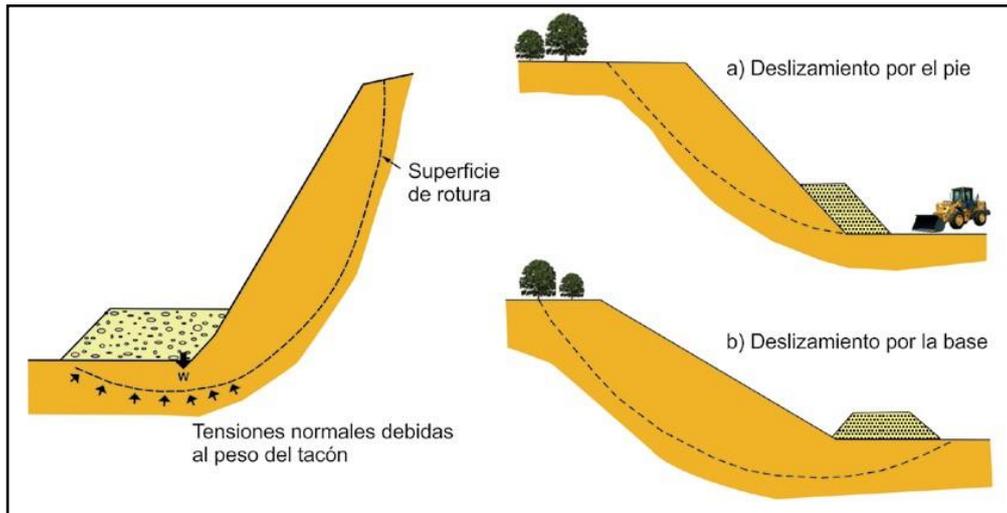


Figura 9. Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha). Ayala, 2003.

- b) En ocasiones se emplean muros; para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención en el pie, como se muestra en la figura 8, Sin embargo, esta medida puede tener varios inconvenientes a la hora de la construcción ya que al excavar en el pie del talud puede favorecer la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Además, el muro puede no ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo, como se aprecia en la (figura 10).

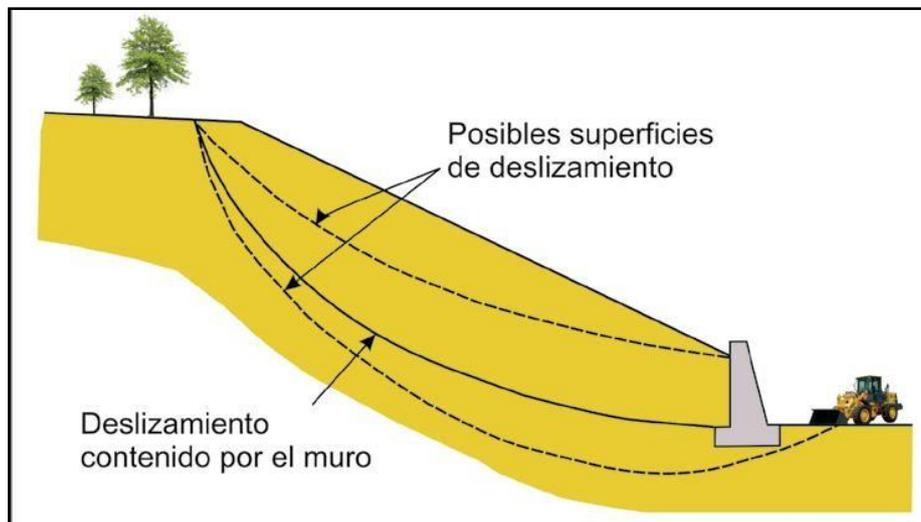


Figura 10. Control de un deslizamiento mediante un muro. Ayala, 2003.