

Informe Técnico N° A6842

FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA CHIMPAPATA

Región Puno
Provincia Sandía
Distrito Sandía
Paraje Chimpapata



DULIO GÓMEZ VELÁSQUEZ
JESSICA VELA VALDEZ

NOVIEMBRE
2018

CONTENIDO

RESUMEN	1
1. Introducción.....	2
2. Antecedentes	2
3. Aspectos Generales.....	4
4. Aspectos Geomorfológicos	6
1.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional	6
1.2 Geformas de carácter tectónico deposicional o agradacional.....	9
5. Aspectos Geológicos	10
6. Peligros Geológicos por Movimientos en Masa.	15
7. Simulación de flujos de detritos (huaico) en la quebrada Chimpapata.	20
8. Comparación del modelo de simulación numérica con el flujo ocurrido el mes de marzo 2018:.....	24
9. Propuesta de Medidas Preventivas	24
Conclusiones	41
Recomendaciones	42
Referencias bibliográficas.....	43
Anexo: Glosario de Términos.....	44

“Flujo de detritos en la quebrada Chimpapata”
Distrito Sandia – Provincia Sandia – Departamento Puno

RESUMEN

El presente informe técnico científico ha incidido en la identificación del peligro geológico que afecta o puede causar desastres en el barrio Bellavista, ubicado en el distrito Sandia, provincia Sandia, región Puno.

El informe se basa en la revisión de información existente en la zona, la interpretación de imágenes satelitales SPOT proporcionadas por el CNOIS y procesadas por el INGEMMET y la aplicación de modelo de simulación LaharZ; asimismo de la inspección técnica para la validación de la información generada.

En el área afloran unidades litológicas del Paleozoico, y una cobertura con materiales recientes que conforman el relleno de los fondos de valle y laderas de montañas. Morfológicamente incluye variadas formas del relieve caracterizadas por montañas escarpadas, surcadas por ríos que forman valles profundos con laderas de pendiente fuerte.

La caracterización geodinámica ha permitido identificar peligros geológicos por movimientos en masa (flujos, derrumbes y deslizamiento), condicionados por la naturaleza de un substrato rocoso de mala calidad geotécnica, poco resistente, cubierto por material detrítico, laderas de fuerte pendiente, la actividad antrópica y ocupación inadecuada por el hombre; las precipitaciones intensas y sismos como detonante principal.

Se emiten conclusiones y recomendaciones generales. Es bueno resaltar que los mapas temáticos, elaborados con ayuda del SIG, son importantes como herramientas de prevención, pues proporciona una base para la planificación que contribuyan a solucionar la problemática de los peligros geológicos.

1. Introducción.

El alcalde de la municipalidad provincial de Sandia - Puno, mediante Oficio N° 176-2018-MPS/A de fecha 06 de abril del año 2018, se dirige al presidente del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando la evaluación de la zona de peligro de muy alto riesgo en la ciudad Sandia.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo geológico comisionó a los ingenieros Hugo Dulio Gómez Velásquez y Jessica Vela Valdez, para realizar la visita técnica.

Este informe, se pone en consideración de Defensa Civil del gobierno provincial de Sandia, Puno. Se basa en las observaciones realizadas en campo, la interpretación de imágenes satelitales SPOT proporcionadas por el CNOIS y procesadas por el INGEMMET; así como, la recopilación y análisis de información existente de trabajos anterior realizados por el Ingemmet en la provincia de Sandia; incluye textos, ilustraciones fotográficas, así como conclusiones y recomendaciones.

2. Antecedentes

Dentro de los estudios anteriores de riesgos geológicos por movimientos en masa que incluyen la jurisdicción del distrito de Ccarhuayo, se tienen:

- El Estudio de riesgos geológicos del Perú Franja N°3 – Boletín N° 28, elaborado por el Ingemmet (2003), realiza un estudio integral en base a análisis geológico, geomorfológico y geología estructural propone una evolución geodinámica reciente para las regiones. En el mapa de ocurrencia de peligros geológicos múltiples (a escala regional), del distrito Sandia, se encuentra en el área denominada como zona de Muy Alto Riesgo, donde se conjugan numerosos peligros: principalmente huaicos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial y algunas áreas aluviales. Terrenos de fuerte a muy fuerte pendiente. (Figura 1).
- Estudio de riesgos geológicos de la región Cusco, elaborado por el Ingemmet – 2017, realiza el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, donde se determina que los alrededores del poblado de Sandia se encuentran ubicados en la zona de **muy alto grado de susceptibilidad** a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo de peligro: deslizamientos, caída de rocas, otros peligros geológicos (erosión de laderas y reptación de suelos) y peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) (figura 2).

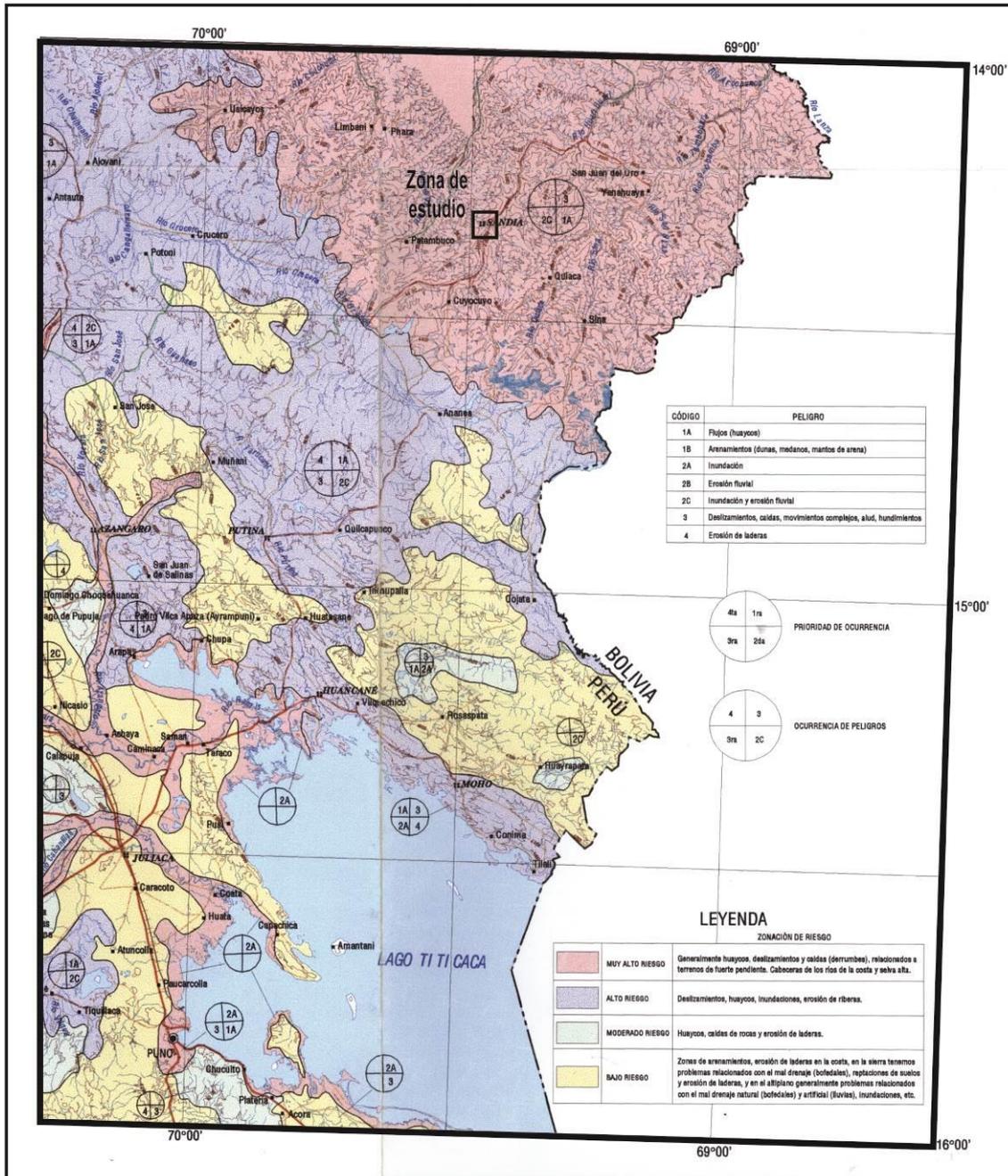


Figura 1. Mapa de ocurrencia de peligros geológicos múltiples. Se observa que la zona de estudio se encuentra en Muy Alto Riesgo a deslizamientos, huacos, inundaciones y erosión de ribera (INGEMMET 2003).

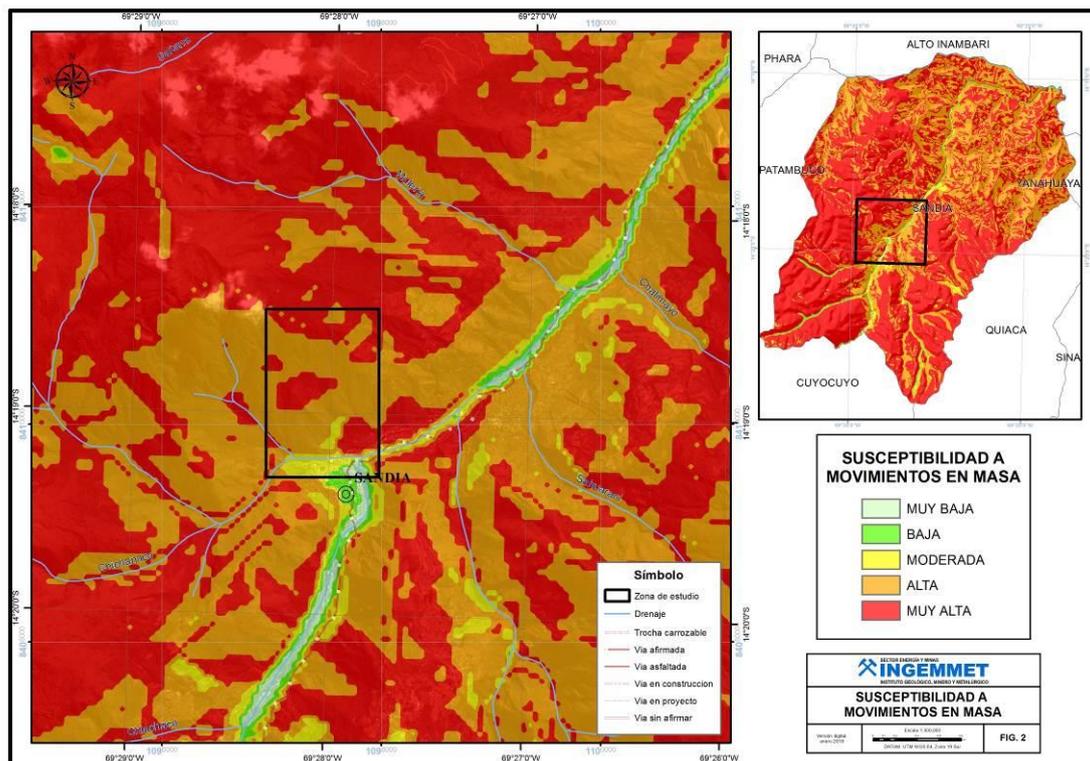


Figura 2 Mapa de Susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, se observa la zona de estudio se encuentra entre Alto y Muy Alto grado de SMM de tipo: deslizamientos, caída, huaicos, otros peligros geológicos y peligros geohidrológicos (Gomez 2017).

3. Aspectos Generales

La quebrada Chimpapata está localizada en el distrito y provincia de Sandia, departamento Puno. La quebrada Chimpapata se encuentra a la margen izquierda del río Chichanaco, en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud -14.310487°S, Longitud -69.468115°W (foto1).

El distrito de Sandia se localiza al oeste del río Sandia y al sur de los ríos Chichanaco y Vianaco, ambos ríos que luego de unirse y más hacia la selva baja toman el nombre de Inambari (figura 3).

La superficie del distrito de Sandia es de 700.16 Km², que representa el 7% del total de la provincia Sandia. En el 2007, tenía una población de 11,374 habitantes, 17% de la población provincial, distribuidos en 49 centros poblados, con una densidad poblacional de 16.24 hab/Km². El 32% de su población es urbana, que corresponde a la capital distrital.

El acceso a la zona de estudio:

Tramo		Km	Tipo de vía	Duración (h)
Lima	Puno	1,295	Asfaltada	19:50
Puno	Sandia	272	Asfaltada	5:17



Fotografía 1. En primer plano la plaza de la localidad de Sandia. Al fondo la quebrada Chimpapata.

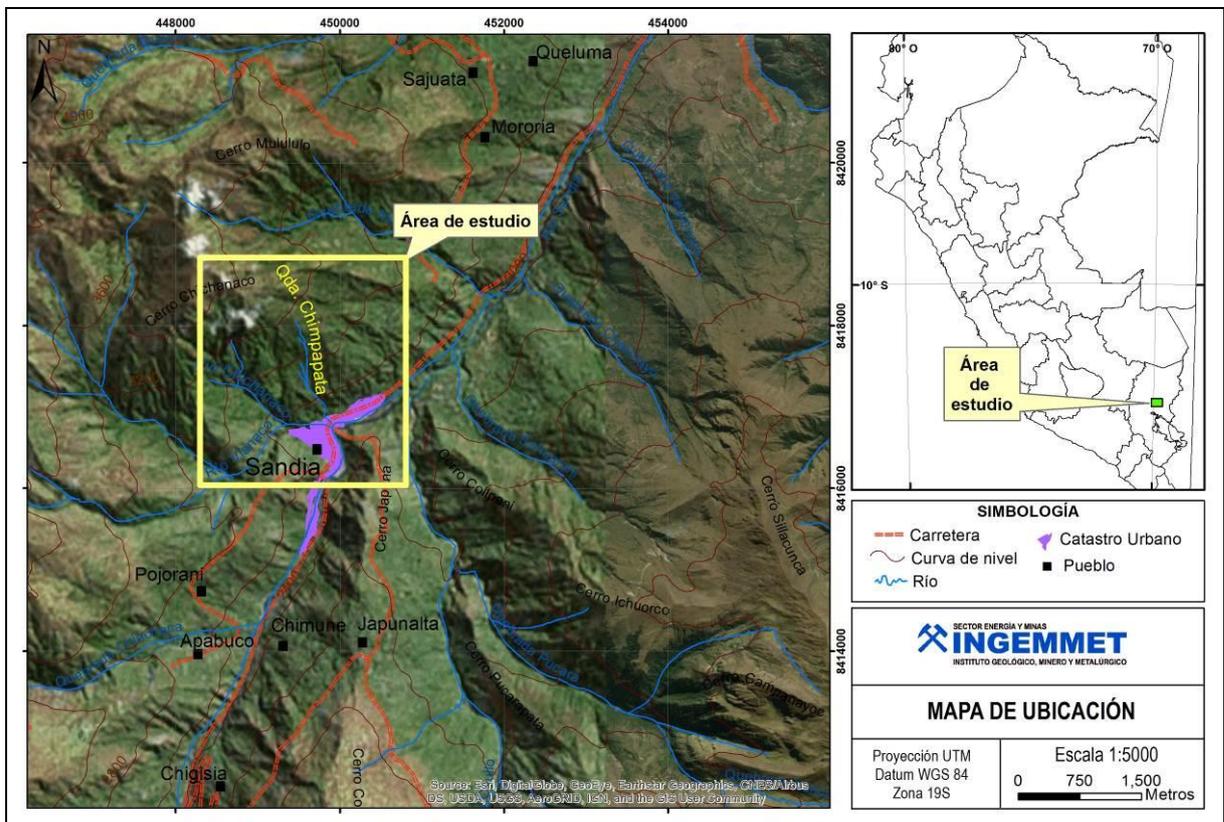


Figura 3. Ubicación de la zona de estudio.

Objetivo

El objetivo es identificar y tipificar los peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos, que afecta a los centros poblados, obras de infraestructura y vías de comunicación; así como, las causas de su ocurrencia. Emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación del riesgo.

4. Aspectos Geomorfológicos

En la zona de estudio se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas:

1.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Son geformas resultantes del efecto progresivo de procesos morfodinámicos y degradacionales, originados por la actividad tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales; estos procesos conducen a la modificación parcial o total del relieve a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

2.11 Unidad de Montañas: Se considera dentro de esta unidad a las geformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. Se encuentran conformadas por alineamientos alargados, constituidos principalmente de rocas metamórficas. Dentro de esta unidad se tienen la siguiente subunidad:

Ladera de montañas en roca metamórfica. (LM-rm): Están conformadas por laderas de montañas que han sido modeladas en rocas metamórficas. La altitud de las montañas desde el fondo de valle hasta la cima corresponde a 2170 hasta 3800 msnm respectivamente. Debido a la forma del terreno mixto (cóncavo y convexo) las pendientes de la ladera de las montañas varían principalmente de 35° a 45° considerada como pendiente muy fuerte, dentro de este rango de pendientes también se puede encontrar áreas que tienen pendientes muy escarpadas (>45°). Fotografía 2, figura 4. En esta geforma ocurren principalmente los procesos de movimientos en masa identificados en la zona de estudio como derrumbes, caídas de rocas, flujo de detritos, etc.



Fotografía 2. *Ladera de montañas en roca metamórfica con pendiente entre 35° a 45° en el valle del río Sandia.*

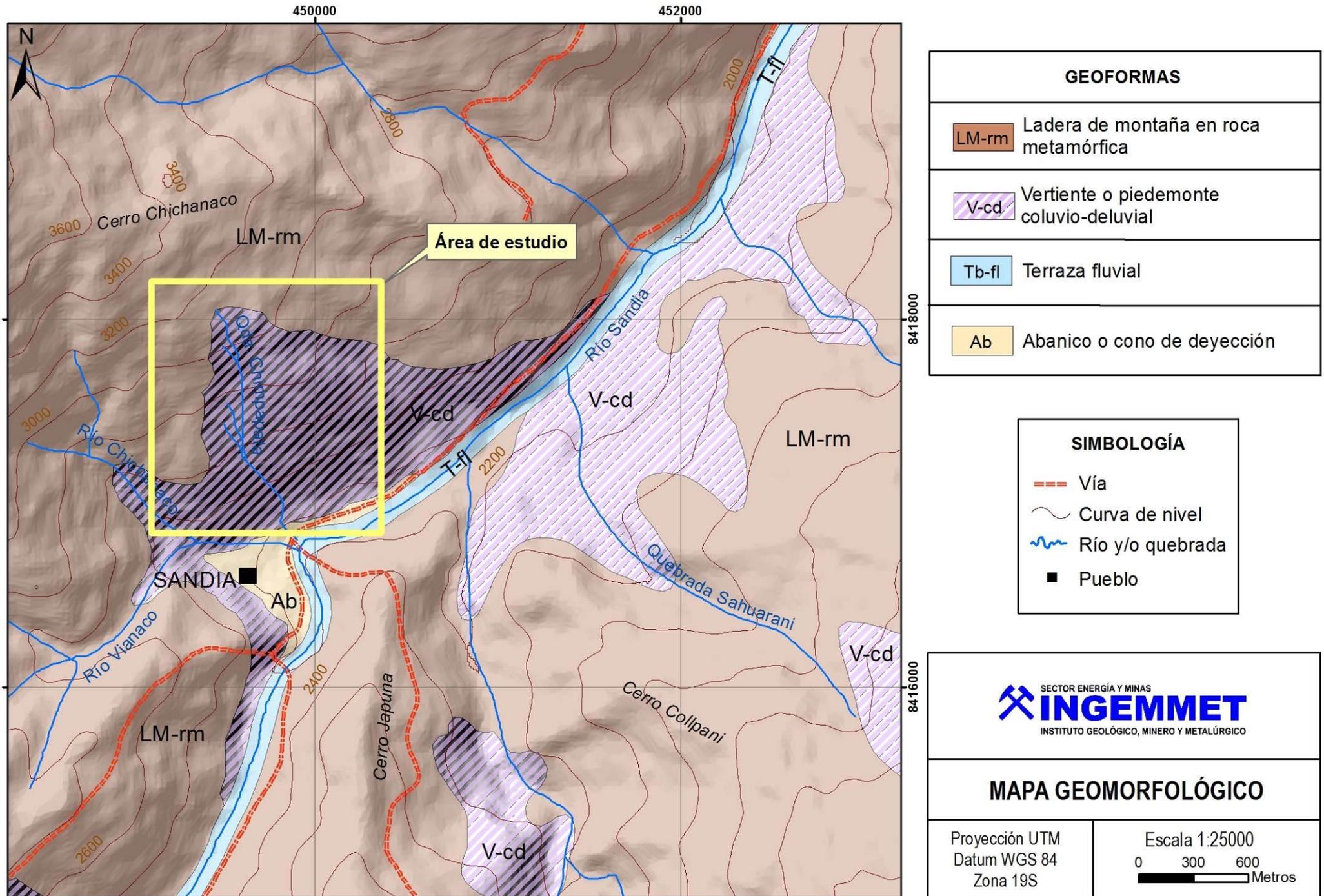


Figura 4. Unidades Geomorfológicas identificadas en la zona de estudio

1.2 Geformas de carácter tectónico deposicional o agradacional

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Vertiente o piedemonte coluvio – deluvial (V-cd): Agrupa depósitos de piedemonte de origen gravitacional y fluvio-gravitacional, acumulado en las vertientes o márgenes del valle; en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente los afloramientos metamórficos de la Formación Sandía y Ananea (fotografía 3).

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes de pendiente entre 5° y 25°. Se les encuentra como capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños y angulosos. Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas inestables, originadas por procesos de movimientos en masa (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.



Fotografía 3. Actividad agrícola desarrollada en las vertientes del valle de Sandia, conformada por depósitos coluvio-deluviales.

Terraza fluvial (T-fl): Se caracterizan por presentarse dentro del curso de los ríos, sobre todo tienen su mayor extensión en los ríos estacionarios. Litológicamente está compuesto

por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.), que son transportados por la corriente del río Sandia a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos (fotografía 4) y quebradas.

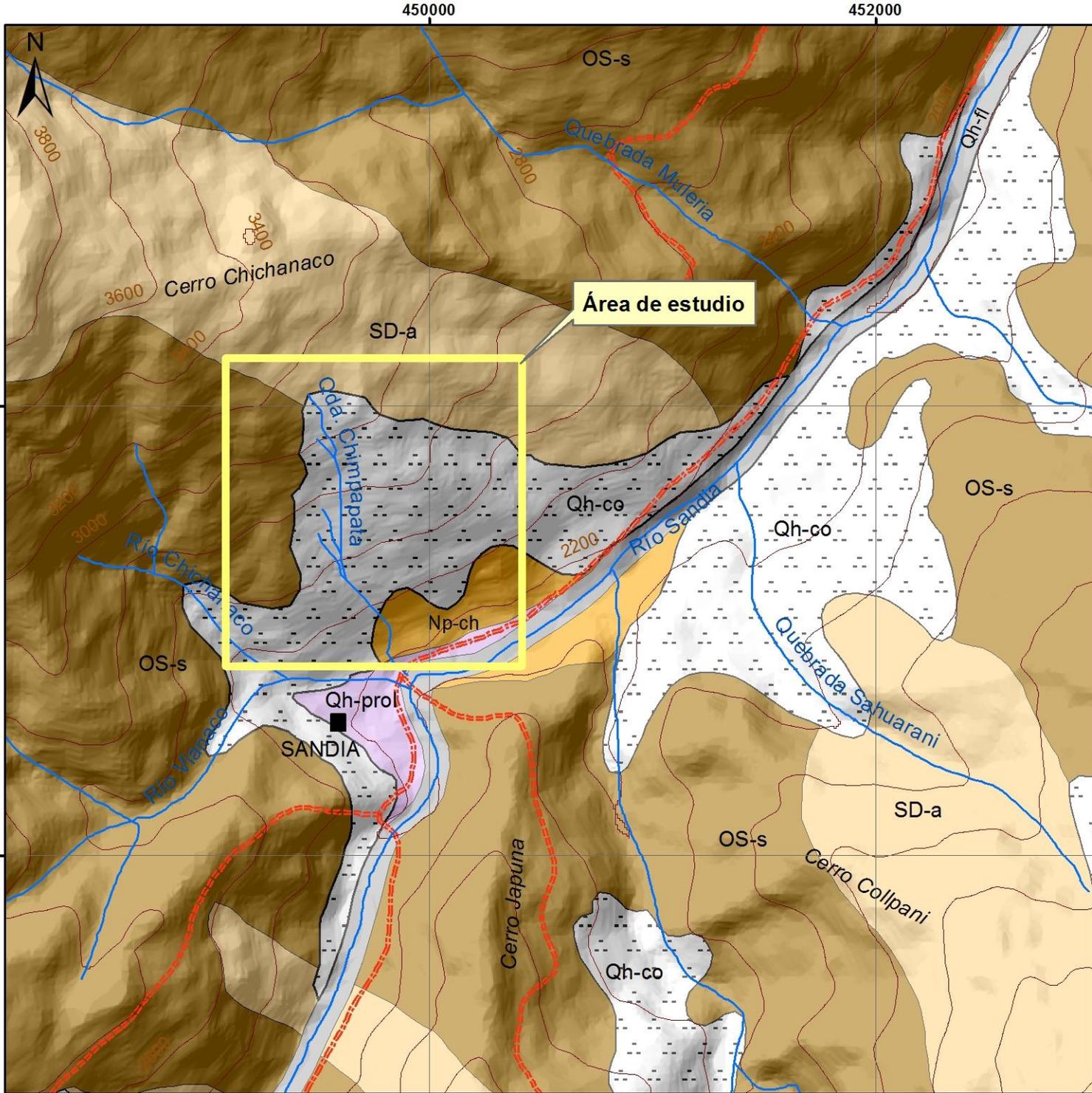
Abanico o cono de deyección (Ab): Presenta una pendiente entre 5-10°. Está compuesto por depósitos de detritos de naturaleza sedimentaria y metamórfica, de tamaños variados y de formas angulosas y subangulosas, englobados en matriz areno-limosa. Esta unidad se ha generado por los depósitos provenientes de las avalanchas de detritos y/o flujos de detritos (huaycos). Las viviendas del pueblo de Sandia se encuentran asentadas sobre esta unidad (fotografía 4).



Fotografía 4. Terrazas fluviales (T-fl) y abanico o cono de deyección (Ab) ubicadas en el fondo de valle del río Sandia.

5. Aspectos Geológicos

En la zona de estudio afloran unidades litológicas (formaciones geológicas), que van desde el Paleozoico superior hasta el Cuaternario. Las unidades más antiguas corresponden a cuarcitas y pizarras de la Formación Sandia y la Formación Ananea. También afloran pizarras y limolitas de la Formación Chichanaco, así como depósitos coluviales y fluviales del cuaternario (figura 5). Las características de dichos depósitos son descritas a continuación.



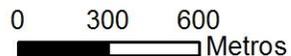
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Qh-fl Depósito fluvial
			Qh-co Depósito coluvial
			Qh-prol Depósito proluvial
MESOZOICO	Neogeno		Np-ch Formación Chichanaco
PALEOZOICO	Silúrico		SD-a Formación Ananea
	Ordovícico Superior		OS-s Formación Sandia

SIMBOLOGÍA	
	Vía
	Curva de nivel
	Río y/o quebrada
	Pueblo



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:25000  0 300 600 Metros
--	---

a) Formación Sandia (OS-s)

Según De la Cruz & Carpio (1996), regionalmente la litología de la Formación Sandia consta de una alternancia monótona de pizarras y cuarcitas de diferentes espesores. Las cuarcitas al parecer son predominantes en la base y en la parte media de la secuencia, a pesar del metamorfismo sufrido aún es posible encontrar estratos de areniscas con grano algo sueltos semiconsolidadas de aspecto sacaroideo, donde todavía se pueden ver huellas de estratificación cruzada.

En la zona de estudio, los afloramientos rocosos (fotografías 5 y 6) de la Formación Sandia son observables en los cortes de talud realizados para la construcción de carreteras, mientras que las laderas naturales se encuentran cubiertas por vegetación densa, típica de la zona. También, se puede apreciar que las rocas están muy fracturadas, meteorizadas de calidad geotécnica mala y cubiertas por depósitos coluviales. Substrato susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.



Fotografía 5. Afloramientos rocosos de la Formación Sandia, ubicada en los márgenes del río Sandia.



Fotografía 6. Afloramiento rocoso fracturado de la Formación Sandia ubicada en la quebrada Chimpapata, en la margen izquierda del río Sandia.

b) Formación Ananea (SD-a)

Nombre asignado por Laubacher (1973) a una gruesa secuencia de pizarras gris oscuras, azuladas, laminares y foliadas, con niveles micáceos y cuarcitas lenticulares ocasionalmente. Los afloramientos rocosos de la Formación Ananea suprayacen a la Formación Sandia en un contacto fallado inversamente como producto de una tectónica comprensiva. Además, los macizos se encuentran intensamente deformados, fracturados y cubierto por depósitos coluviales y antropogénicos.

Regionalmente su morfología se caracteriza por relieves suaves, sin embargo, para la zona de estudio se presenta muy deformado y con morfología abrupta, formando valles angostos.

c) Formación Chichanaco (Np-ch)

Esta formación se encuentra al norte del pueblo de Sandia adosada al flanco inferior del valle de Sandia, debido a que ha sido depositado en el cauce mismo del río Sandia éste ha sido fuertemente erosionado. La litología está constituida por una secuencia clástica esencialmente pizarrosa de buena a regular selección clasificada según C.K. WENTWORTH (Fondo Editorial de Masson S.A 1985) como guijas a guijarros, en algunos horizontes en forma dispersa se encuentran guijarros subredondeados de 3 a 4 cm de diámetro habiendo aún de mayor tamaño, pero muy erráticos.

Dentro de esta formación se tiene a una secuencia limolítica de color gris blanquecina casi untuoso al tacto, de posición subhorizontal, mejor expuesto en la margen derecha del río Sandia al Noreste del Estadio; mientras que al Oeste del mismo se encuentra englobando a bloques subangulosos de tamaño variable que

alcanzan tamaños de hasta 2 m. constituidos generalmente de pizarras, limolitas arenosas y arenas.

Las relaciones estratigráficas con las rocas subyacentes son en discordancia angular, aunque no se observa la base de esta Formación se sabe que sobreyace a la Formación Sandía e infrayace a depósitos coluviales.

d) Depósito Coluvial (Qh-co)

Agrupar depósitos de origen gravitacional, acumulado en las vertientes o márgenes del valle; constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos de las formaciones Ananea y Sandía.

En la zona de estudio, los depósitos coluviales se originaron por eventos de deslizamientos antiguos y pequeños derrumbes. Está conformado por materiales gruesos de naturaleza homogénea y heterométrica provenientes de la Formación Sandía y Ananea, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla. Su distribución es caótica y constituyen depósitos de piedemonte.



Fotografía 7. Vista de la quebrada Chimpapata, se observa material coluvial formado por bloques, gravas y arenas con matriz arcillo-limosa

e) Depósito Proluvial (Qh-prol)

Son producto de alteración, denudación y erosión, trasladados por los flujos provisionales y depositados principalmente en forma de cono de deyección. Están compuestos por fragmentos rocosos polimícticos y heterométricos (bloques, bolones y detritos) son clastos subangulosos a subredondeados, soportados en matriz arenolimosa.

f) Depósito Fluvial (Qh-fl)

Caracterizado por presentarse en el curso del río. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.) transportados por la corriente del río Sandia y sus tributarios a grandes distancias y depositados en forma de terrazas, removibles por el curso actual del río.

6. Peligros Geológicos por Movimientos en Masa.

La ciudad y sus alrededores de la ciudad de Sandia es susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo derrumbes, flujos, caída de rocas, reptación de suelos erosión de ladera; además peligros geohidrológicos de tipo inundación y erosión fluvial, condicionado por las características morfológicas, litológicas y pendiente (figura 6).

a) Derrumbe – Flujo en la quebrada Chimpapata

La quebrada Chimpapata se ubica en el flanco sureste del cerro Chichanaco, la parte baja de la quebrada está siendo ocupada como área urbana (barrio Bellavista).

El día 16 de marzo en la zona de estudio se genera un derrumbe en la parte alta de la quebrada Chimpapata para convertirse finalmente en un flujo, incorporando gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender por su cauce y finalmente afecta viviendas ubicadas en el abanico de detritos, El evento se presentó con mayor intensidad a las 5.20 y 8:00 de la mañana.

Evidencia que presenta el derrumbe:

- Zona de arranque: roca fracturada, meteorizada y alterada
- Tipo de rotura: planar.
- Longitud de arranque: 80 m.
- Altura: 3 m
- Características del depósito. Bloques de tamaño que alcanza 1m, cubierto por gravas y arenas en matriz arcillo-limosa

Evidencias que presentan el flujo de detritos:

Forma: cono / abanico.

Flujo de material: canalizado.

Distancia recorrida: 1 155 m.

Tamaño clastos: bloques 20%; gravas 40%; arena/limos 40%, poco consolidados (fotografía 8)

Factores condicionantes y detonantes:

Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas se dividen en: condicionantes y desencadenantes; los primeros dependen de las características intrínsecas de las laderas, y los segundos, conocidos también como “detonante”, debidos a las condiciones climáticas regionales, por los eventos extremos y por el grado de impacto o deterioro ocasionado por las actividades del hombre.

Los factores condicionantes dependen de las características de la ladera:

- La montaña presenta ladera con pendiente promedio 40°. (fotografía 1)
- El substrato rocoso se presenta completamente meteorizado, muy fracturado de calidad geotécnica mala.
- La naturaleza de suelo incompetente, formada por bloques, gravas y arenas con matriz arcilloso-limosa (fotografía 9), medianamente saturada.
- Presencia de aguas subterráneas y de escorrentía: hace que el agua se infiltre y se detenga a una determinada profundidad creando un plano sobresaturado, el cual con ayuda de la gravedad puede hacer que se deslicen
- Cobertura vegetal abundante.
- La actividad antrópica: Ocupación inadecuada del suelo por el hombre en zonas vulnerables.

Los factores Desencadenante:

- Las precipitaciones pluviales intensas que se presentan entre los meses de diciembre - abril, funcionan como detonante principal. Así como las precipitaciones excepcionales.

Daños causados:

- Una vivienda destruida (fotografía 10)
- Seis viviendas con daños. (fotografía 11)
- Vías de comunicación.
- Postes de transmisión de energía eléctrica



Fotografía 8. Vista de la quebrada donde se observa el material transportado.



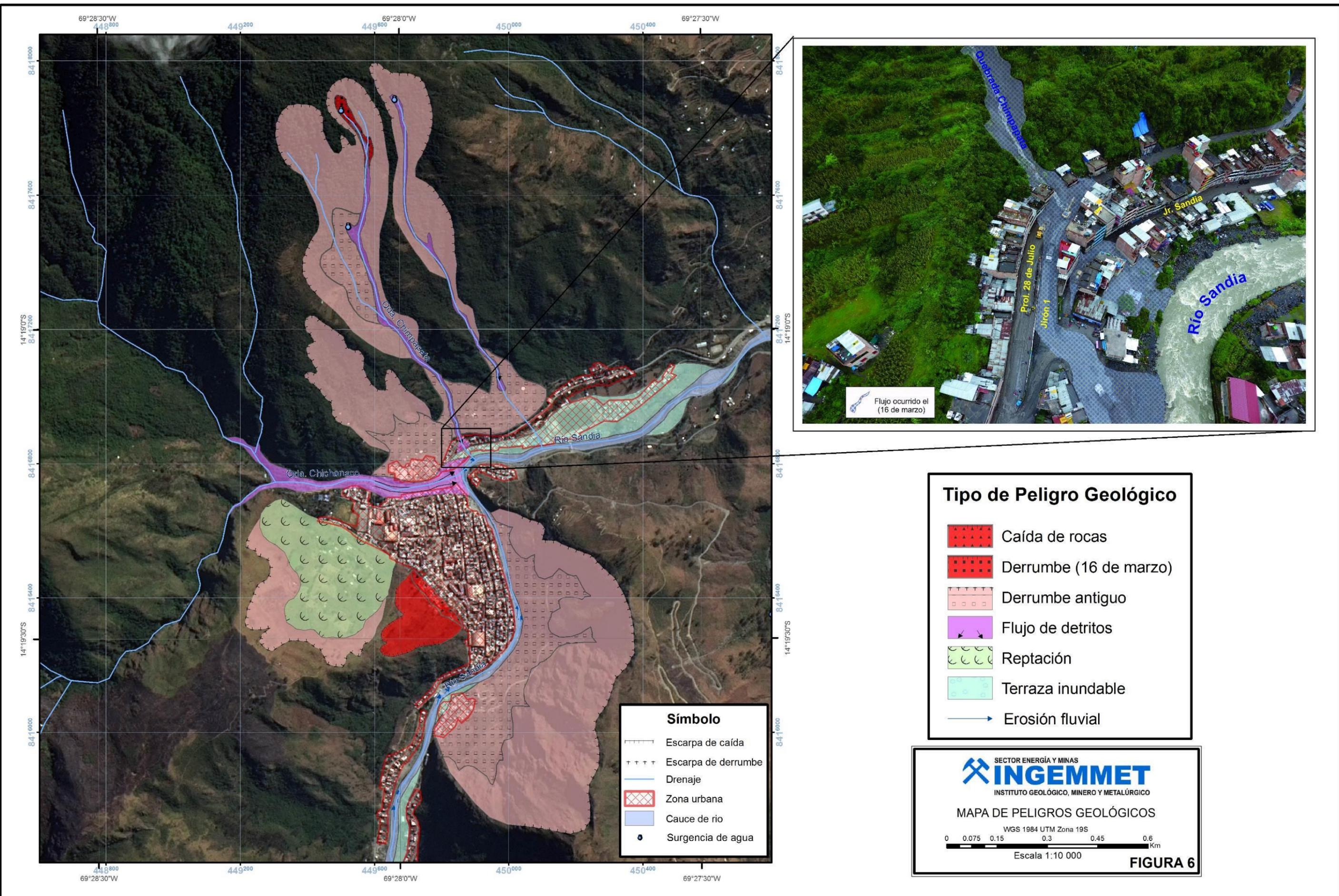
Fotografía 9. Vista de la quebrada Chimpapata, se observa sustrato formado por bloques, gravas y arenas con matriz arcillo-limosa.



Fotografía 10. Vista de vivienda de tres niveles destruida.



Fotografía 11. Vista de viviendas afectadas por el huaico



7. Simulación de flujos de detritos (huaico) en la quebrada Chimpapata.

Para la construcción de mapas en el cual representamos escenarios de flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Chimpapata, emplearemos el método de simulación numérica.

Método de simulación numérica

Este método se basa en la aplicación de modelos numéricos asistidos por computadora. Los modelos del tipo simulación numérica, son una simplificación cuantitativa de la realidad, según Griswold (2004) estas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Modelos de base física
- Modelos de base estadística, llamados empíricos
- Modelos de base física y estadística

La clasificación de las simulaciones numéricas hechas por Griswold, (2004), están basadas en el comportamiento de flujos de detritos/huaicos y avalanchas de escombros.

Método de simulación numérica utilizando el programa LaharZ

El programa LaharZ fue creado por Schilling (1998) del Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (United States Geological Survey, USGS). Se basa en un modelo tanto físico, como estadístico, que utiliza dos ecuaciones creadas por (Iverson et al., 1998), la cuales calculan el área de inundación de una sección de corte del canal (A) y su sección planimétrica (B) de un flujo de detritos según su volumen. Estas ecuaciones (A) y (B) son de conservación de masa, momento (cantidad de movimiento) y energía durante el cálculo de la superficie de inundación, para el cual utiliza las siguientes fórmulas:

$$A = \alpha_1 \times V^{2/3}$$

$$B = \alpha_2 \times V^{2/3}$$

Donde:

- **A:** es el área de inundación de un flujo de detritos en una sección de corte del canal,
- **B:** es el área de inundación de un flujo de detritos en su sección planimétrica,
- **α :** es un valor constante que se calcula estadísticamente.
- **V:** es el volumen.

Simulación de flujos de detritos (huaicos)

La simulación de flujos de detritos en la quebrada Chimpapata, se realizó según el método de simulación numérica utilizando el programa laharZ, explicado anteriormente.

Se determinaron 2 escenarios por flujos de lodo en base al cálculo de volumen utilizando datos de precipitación, área de la quebrada Chimpapata, cuyo valor es 11968 m², y el porcentaje de contenidos de agua y sólidos.

Escenario 1: Se consideró un volumen de 449 m³. Para este cálculo de volumen se utilizaron valores de precipitación tomados del SENAMHI¹, de la estación meteorológica Cuyocuyo, ubicado a 19 km de la quebrada Chimpapata. Entre el 14 y 16 de marzo del año 2018 (fecha en la que ocurrieron flujos de detritos motivo del presente estudio), la estación meteorológica Cuyocuyo registro precipitaciones de 14 mm en promedio. El periodo de recurrencia cada **20 años**.

Escenario 2: Se consideró un volumen de 1299 m³. Este escenario representa un flujo de detritos más voluminoso que el anterior, que se podría presentarse en la zona de estudio ante la ocurrencia de lluvias excepcionales. Para este cálculo de volumen se utilizó el registro del máximo valor de precipitación, data histórica obtenida de la página web del SENAMHI, que muestran valores de hasta 43.4 mm en febrero del año 2000 (figura 7). El periodo de recurrencia cada **100 años**.

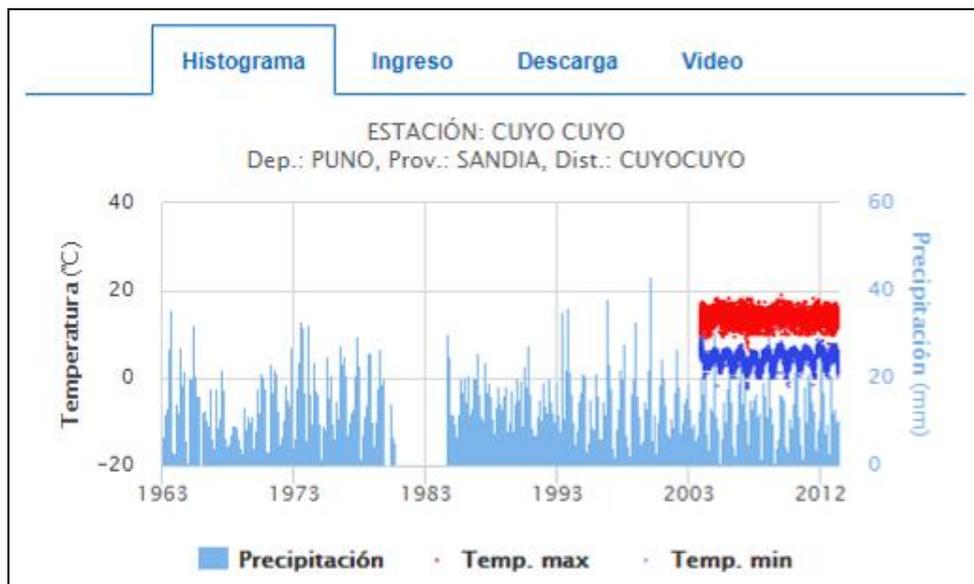


Figura 7. Datos de precipitación histórica en el sector de la quebrada Chimpapata, fuente (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>)

Zonas afectadas por flujos de detritos (huaicos)

A continuación, se describen los daños que pueden causar los flujos de detritos para los dos escenarios planteados de acuerdo a los distintos volúmenes de flujos.

Escenario 1: De producirse lluvias como las ocurridas entre el 14 y 16 de marzo del 2018, el flujo de detritos afectaría nuevamente las viviendas del Barrio Bellavista y vías de comunicación de la prolongación 28 de Julio y Jr. Sandía, cabe resaltar que estas son las únicas vías de comunicación que conectan a los valles de la selva con la provincia de Sandía (figura 8). El área de afectación sería de 1483.3 m².

Escenario 2: En caso de producirse lluvias excepcionales, el flujo de detritos afectaría las viviendas del Barrio Bellavista y vías de comunicación de la prolongación 28 de Julio y Jr. Sandía (figura 9). El flujo de detritos se canalizaría hacia el río Sandía, aumentando su caudal. El área de afectación sería de 4003.5 m²

¹ SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú

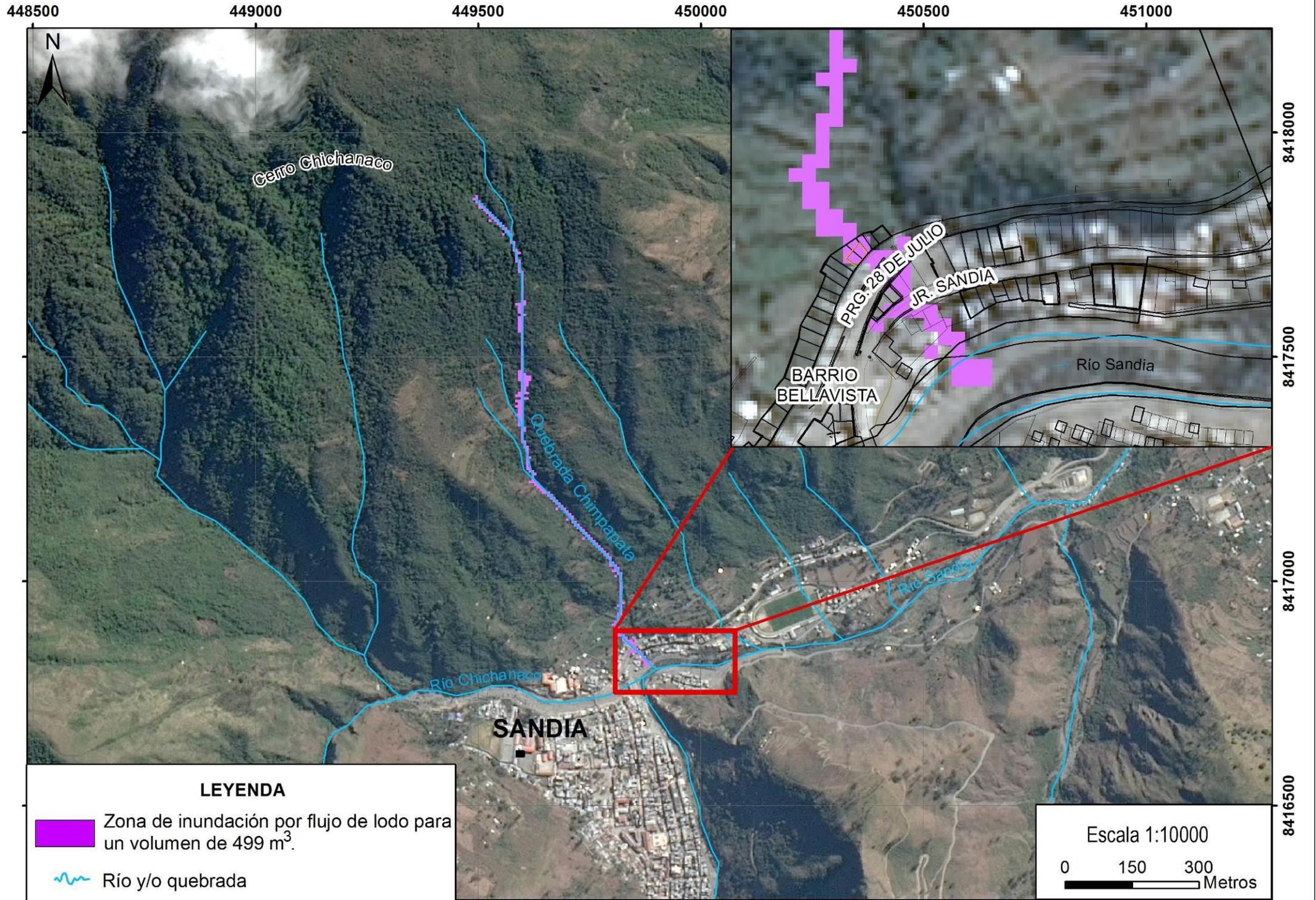


Figura 8. Mapa de flujos de detritos en la quebrada Chimpapata, para el escenario 1.

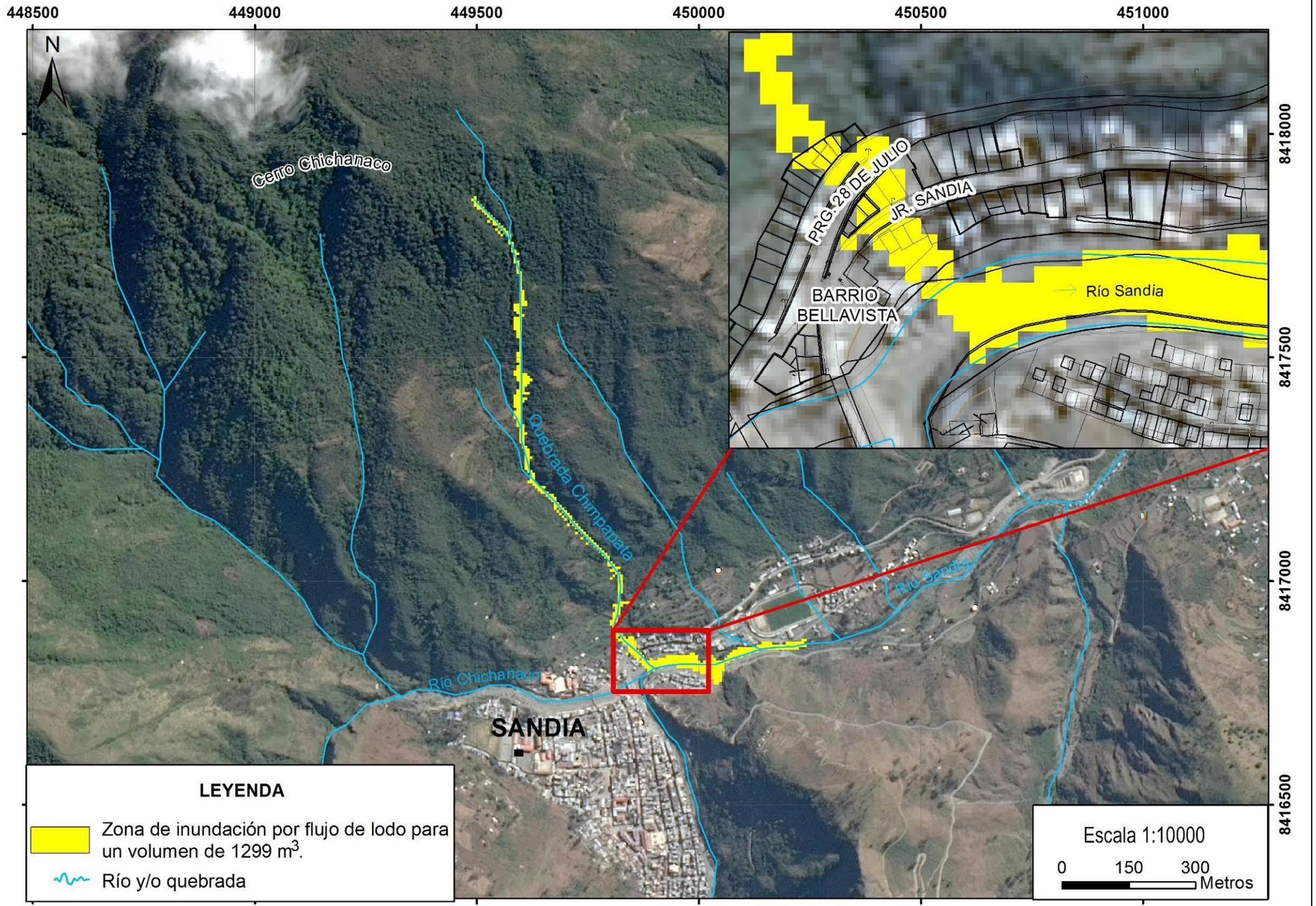


Figura 9. Mapa de flujos de detritos en la quebrada Chimpapata, para el escenario 2.

8. Comparación del modelo de simulación numérica con el flujo ocurrido el mes de marzo 2018:

En la figura 8. Se muestra la comparación del evento ocurrido en la quebrada Chimpapata el mes de marzo, donde se aprecia claramente la dirección en que se desplaza y las paredes de las viviendas actúan como muros que fuerzan al cambio de dirección. Por otra parte, tenemos el flujo realizado con modelo de simulación numérica donde nos muestra el comportamiento del desplazamiento sobre morfología de la quebrada que no presenta anomalías en su recorrido.

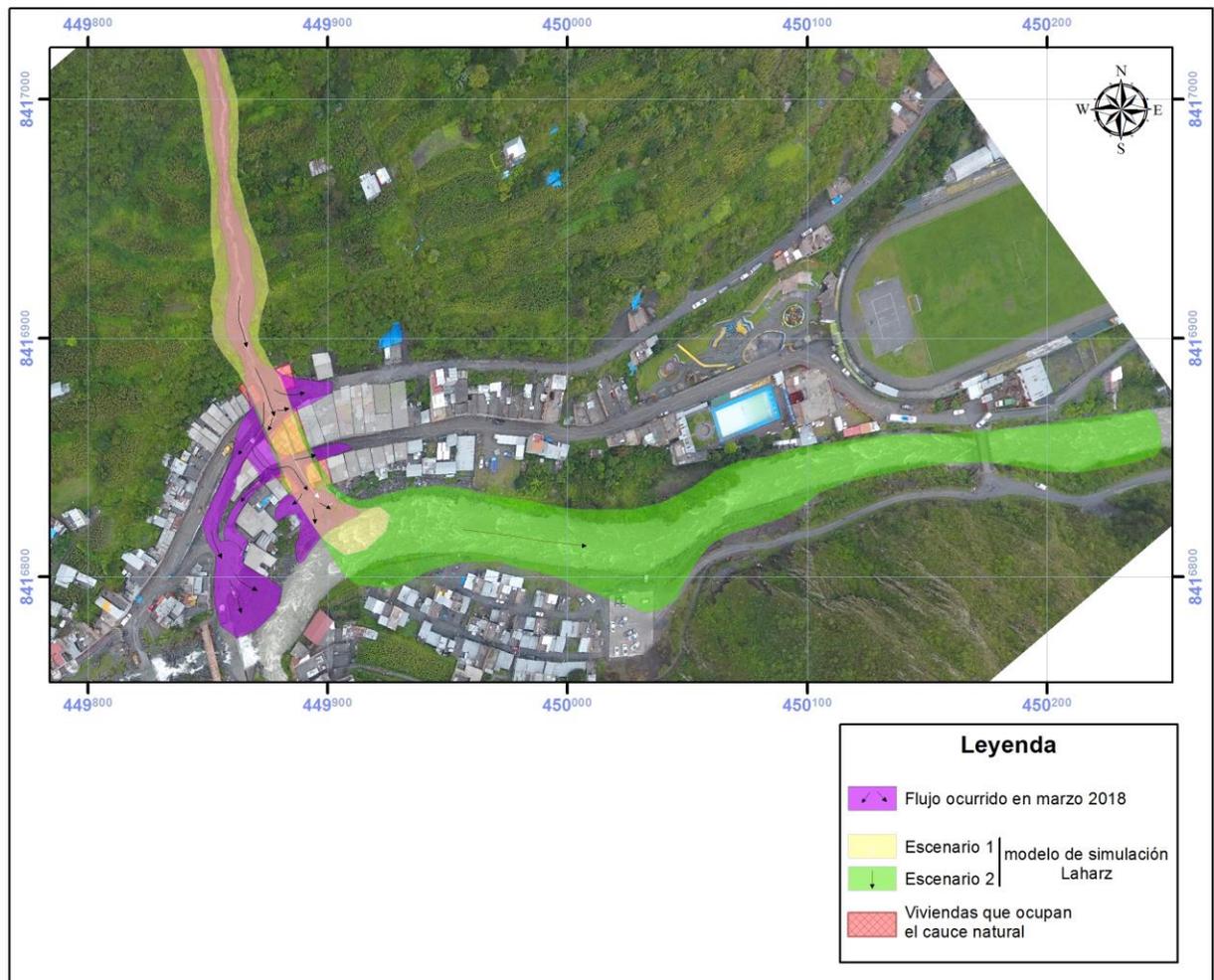


Figura 10. Se hace una comparación del modelo de simulación numérica (LaharZ): escenario 1 en color amarillo, escenario 2 en color verde. El comportamiento del evento ocurrido el 24 de marzo del 2018 en la quebrada Chimpapata

9. Propuesta de Medidas Preventivas

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de derrumbes, flujos, procesos de erosiones de laderas, entre otros; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

9.1 Para zona de flujo y cárcavas

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de

flujos. Para el control físico del avance de cárcavas, se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- Realizar la apertura del cauce natural para un libre paso del material (agua más sólidos), realizar el reforzamiento con muros de encauzamiento; muros más vegetación para disminuir la erosión de la quebrada; asimismo considerar barreras geodinámicas. (Figura 11)
- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (ver figuras 12, 13, 14, y 15).
- Realizar trabajos en la parte alta de la quebrada Chimpapata, zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de la región. • Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (ver figuras 12 y 16). De esta manera, se aseguraría su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles, deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán frente a la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible. Asimismo, se debe evitar la quema de pajonales.
- Reubicar viviendas en base a los modelos de simulación numérica y mapeos de campo.

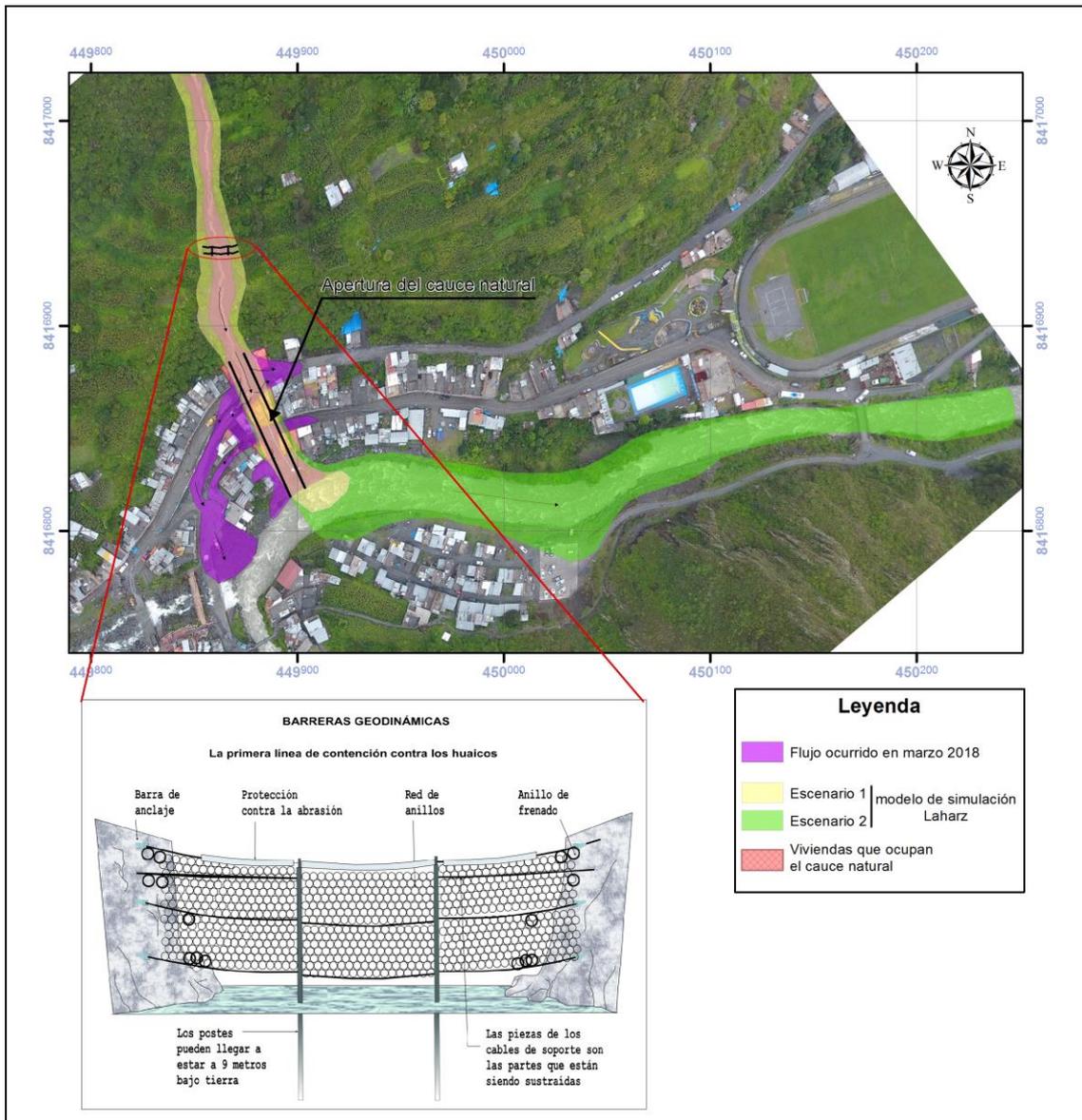


Figura 11. Imagen de la quebrada Chimpapata, con algunas acciones correctivas

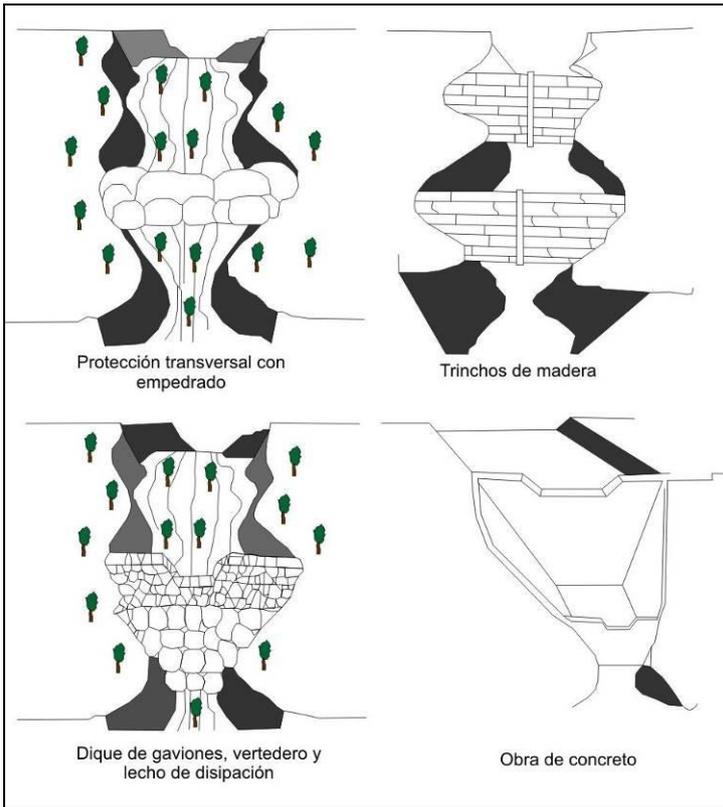


Figura 12: Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión de cárcavas.

Figura 13: Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

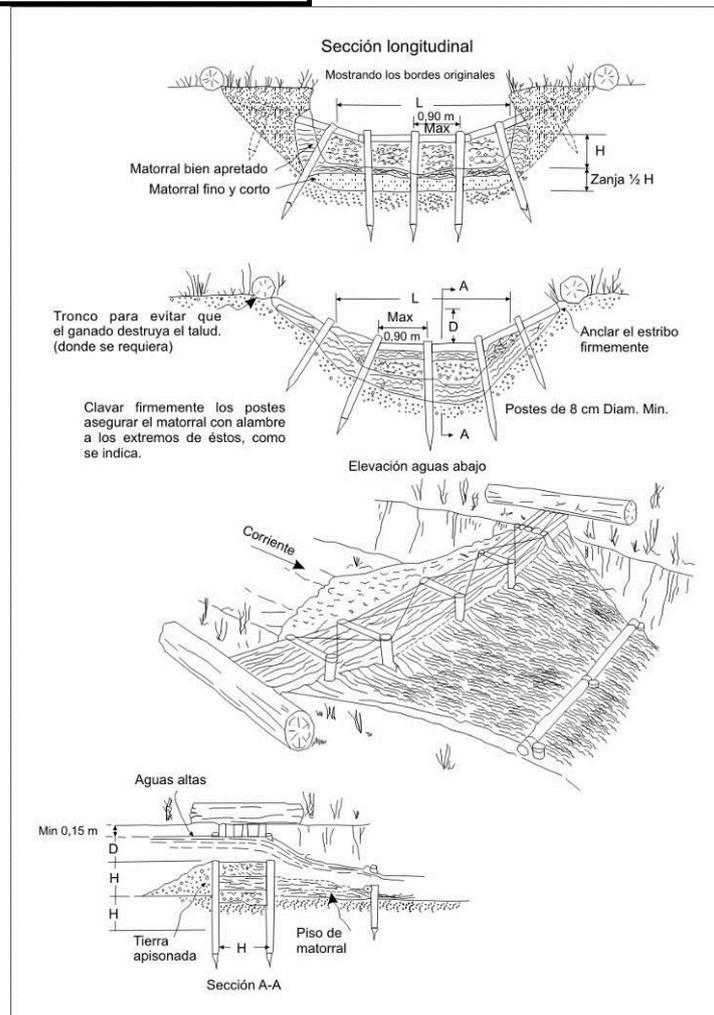


Figura 14: Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

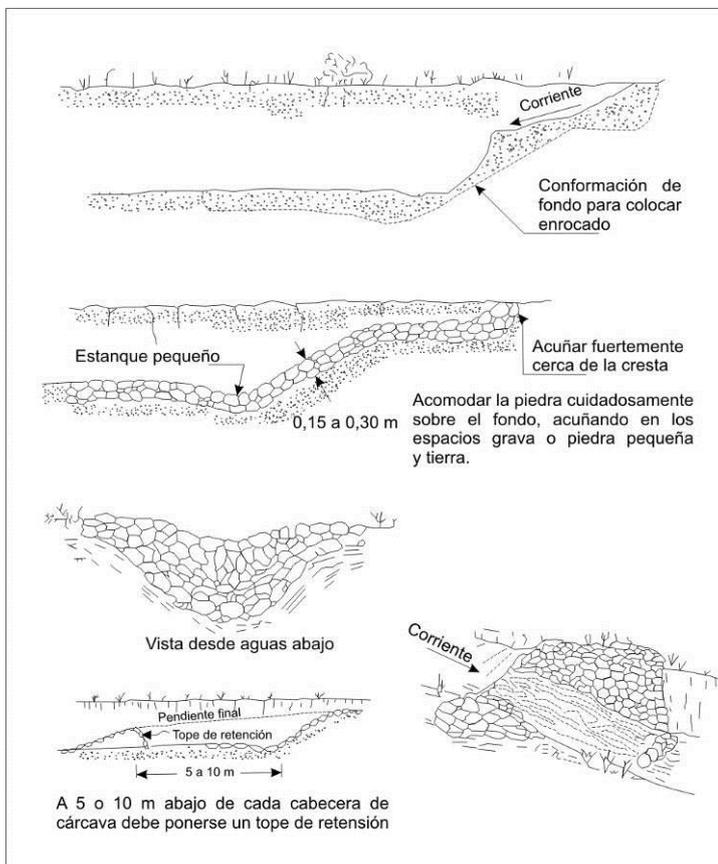
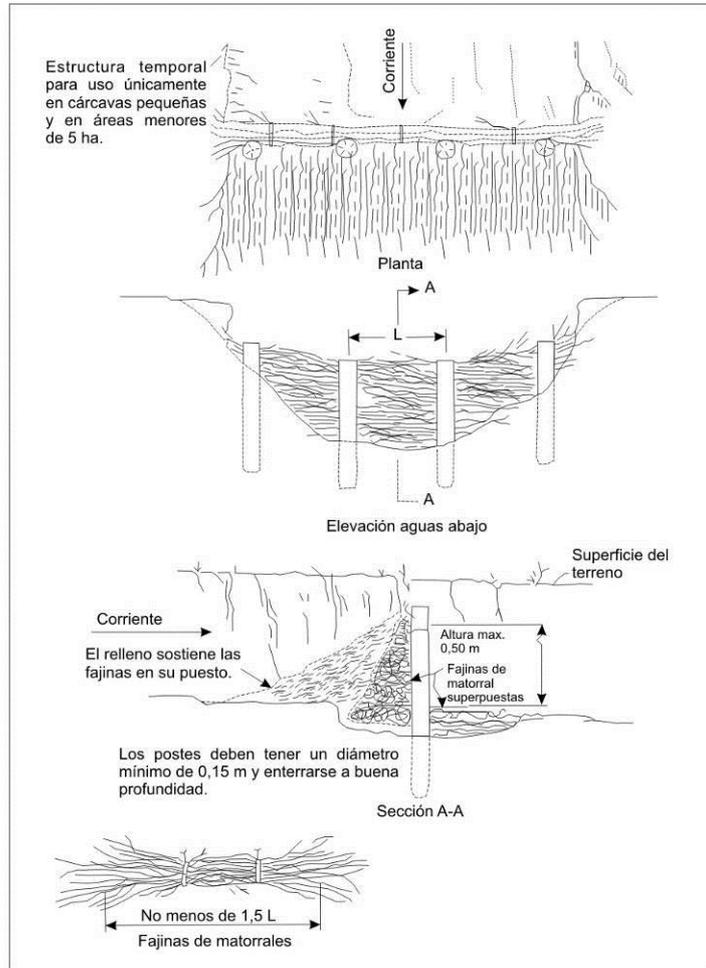


Figura 15: Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

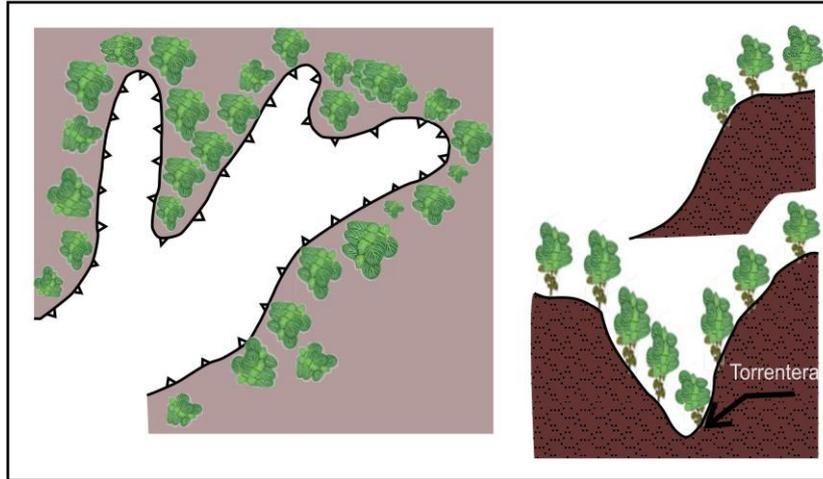


Figura 16: Vista en Planta y en perfil de los procesos de forestación en cabecera y márgenes de las áreas inestables.

9.2 Estabilización de laderas mediante el empleo combinado de materiales muertos y vivos

Pueden lograrse estructuras eficaces para corregir la erosión, estabilizar ciertas secciones de laderas, lechos de cauces o cárcavas de erosión empleando una combinación de materiales muertos y materiales vivos. Cuando se comparan con las construcciones de ingeniería convencional, los sistemas vivos tienen muchas ventajas, incluyéndose entre ellas: una mayor duración, una eficacia superior, menos mantenimiento, la reducción del costo total, y una compatibilidad estética mejor con el paisaje circundante.

a) Construcción de muros de sostenimiento con lechos de ramas

Muros de sostenimiento de madera

Procedimiento

Se construyen muros de sostenimiento sencillos o dobles a base de postes redondos o de madera escuadrada que se sujetan entre sí mediante clavos o clavijas. Los muros de sostenimiento de madera nunca deben colocarse verticalmente, sino formando un ángulo de inclinación de 10:1 como mínimo en la dirección de la ladera. Estos muros no deben tener una altura superior a 4 m. Las juntas entre maderas deben tener aproximadamente la misma anchura que el diámetro de éstas (Figura 17).

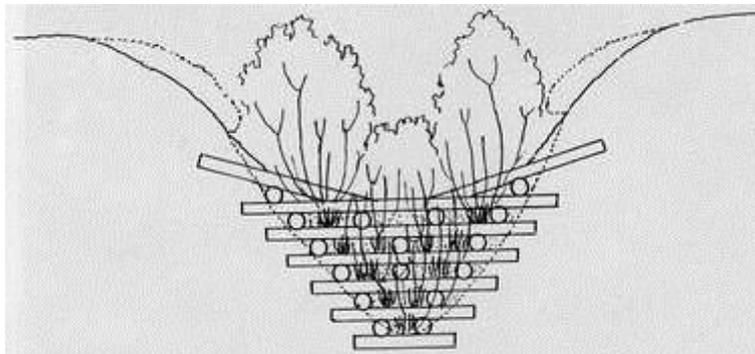


Figura 17 Muro de sostenimiento de madera con lechos de ramas para la estabilización de un cauce erosionado.

Durante la construcción del muro, se deben colocar ramas de plantas vivas en los espacios libres entre maderas de tal forma que no sobresalga más de una cuarta parte de su longitud. Cuando se

vuelca el material de relleno en las aberturas entre maderas, hay que evitar grandes espacios huecos para poder tener la garantía de que las ramas van a enraizar adecuadamente. Si es posible, el extremo inferior del corte de las ramas debe llegar al suelo situado tras del muro de sostenimiento. No hace falta tierra de la capa superior del suelo ni humus para el relleno de los muros, pero el material de relleno debe contener suficientes elementos finos para posibilitar el desarrollo de la vegetación.

Materiales

Para la construcción del muro o pantalla se necesita madera redonda o escuadrada, de 10 a 25 cm de diámetro (Fotografía 12). El material vivo debe consistir en ramas fuertes de especies que enraícen fácilmente, con un metro por lo menos de longitud y gran número de ramas laterales. Se necesitan por lo menos 30 ramas por metro de longitud.

Época

Los muros de sostenimiento de madera con materiales vivos deben instalarse durante la estación de reposo, esto es, en una época en que las ramas no tengan hojas. En condiciones favorables (clima húmedo, tiempo corto de transporte, etc.), se pueden plantar también plantas con raíces durante la estación vegetativa, pero hay que tener un cuidado especial para asegurarse de que no se dañan las plantas durante la construcción del muro.

Eficacia ecológica y técnica

Este sistema se emplea para la estabilización de ciertas partes de laderas, cursos de agua y bases de laderas. Con el paso del tiempo, la madera del muro se pudrirá y será sustituida por las plantas que crezcan (Fotografía 12). Las plantas establecidas drenan la ladera de forma muy eficaz mediante transpiración.





Fotografía 12 Muro de sostenimiento de madera con lechos de ramas. Arriba, después de un año. Abajo, después de tres años.

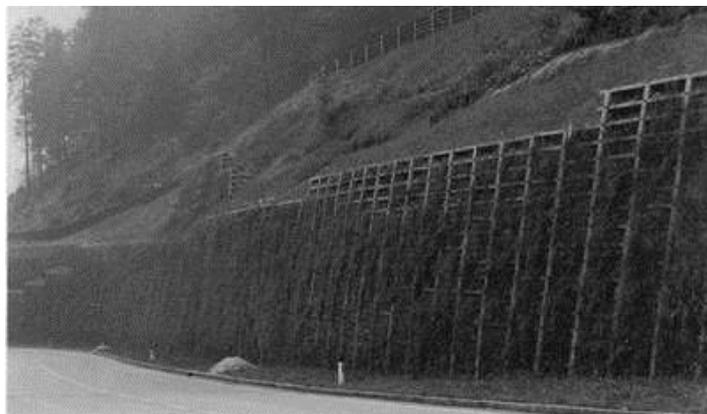
El añadir plantas leñosas pioneras de fuertes raíces, como las empleadas en la construcción de lechos de ramas de setos vivos, tiene ventajas, pero se pueden emplear satisfactoriamente sólo plantas con raíces.

Esta forma de construcción es muy conveniente en lugares en que la vegetación local no cuenta con especies que enraicen a partir de estaquillas o cuando no se dispone de material apropiado para estaquillas. Cuando se emplean en taludes próximos a carreteras, hay que tener cuidado asegurándose que las plantas no lleguen a ser tan grandes que obstruyan la visibilidad de la circulación.

Muros de sostenimiento de hormigón y de material vivo a base de elementos prefabricados

Procedimiento

Las distintas partes de hormigón se ensamblan de acuerdo con las instrucciones del fabricante y seguidamente se llenan con el relleno disponible (excepto la arcilla). Durante el proceso de construcción, se colocan en los huecos ramas vivas y plantas con raíces de modo que lleguen al terreno situado tras del muro de sostenimiento. Hay que compactar firmemente el material alrededor de las plantas para favorecer la formación de raíces. También se puede emplear césped, pero debe garantizarse un fuerte contacto con el material de relleno (Fotografía 13).



Fotografía 13 Muro de sostenimiento de hormigón recubierto de vegetación mediante la siembra hidráulica, dos años después de la instalación.

Materiales

Elementos de muros de sostenimiento de hormigón. Ramas de plantas que enraizan a partir de estaquillas (algo más largas que la anchura del muro de sostenimiento, con 10 ramas como mínimo por metro de recorrido, o plantas en raíces o césped del tamaño de los huecos existentes entre las vigas del muro (Fotografía 14). En zonas urbanas, se pueden utilizar plantas ornamentales trepadoras para cubrir las componentes de hormigón.



Fotografía 14 Muro de sostenimiento de hormigón con lechos de ramas. Arriba, durante la construcción. Abajo, después de un año.

Época

Cuando se emplean estaquillas o ramas con raíces, la mejor época es la estación de reposo, siempre que el clima sea apropiado. La siembra o el relleno con planchas de césped se puede realizar durante todo el período vegetativo.

Muros de sostenimiento metálicos contruidos a base de elementos prefabricados

El uso de muros de sostenimiento metálicos hay que considerarlo en lugares en que se dispone de elementos metálicos que son más económicos que los otros materiales de construcción. La construcción es análoga a la de los muros de sostenimiento de hormigón

b) Muros de piedra y montones de piedra recubiertos de vegetación (sin mortero)

Procedimiento

Durante la construcción de muros o montones de piedra o roca se colocan plantas vivas en las juntas existentes entre las piedras, de modo que lleguen al suelo existente tras el muro (Figura 18). Si los muros tienen que rellenarse con grava para drenar el agua, las ramas o las plantas con raíces deben llegar al suelo a través de la grava. Para evitar la desecación, las ramas no deben sobresalir del muro más de 30 cm (Fotografía 15). Es conveniente podar las ramas de forma uniforme con una longitud máxima de 30 cm al exterior del muro después de la plantación. Cuando sea inadecuado el uso de especies arbustivas o arbóreas por razones ecológicas, las juntas se deben rellenar con césped. La combinación de césped y piedras para muros bajos en campos abiertos es un método muy antiguo.



Fotografía 15. Muro de piedra recubierto de vegetación durante la construcción. Obsérvese que las ramas llegan al suelo del fondo.

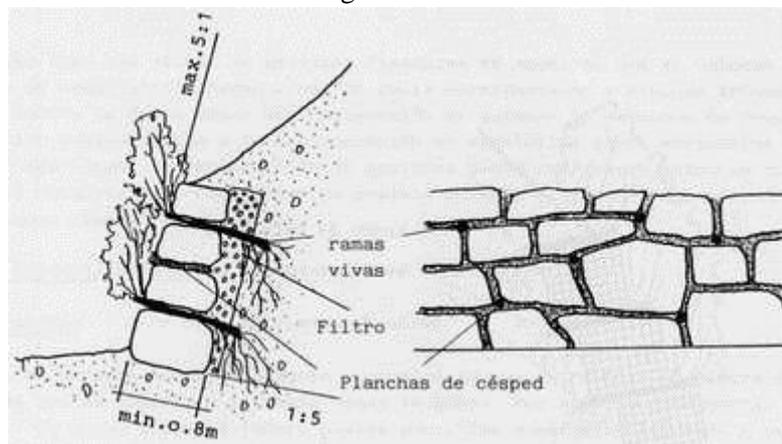


Figura 18 Muros de piedra con vegetación.

Este sistema de construcción de muros de piedra con césped, requiere tepes de césped muy gruesos. Los muros no deben tener una altura superior a 10 m y deben estar fuertemente

inclinados hacia la ladera. Después de la construcción, los muros y los montones de piedra con la coronación plana se pueden rellenar con material fino y cubrirlos de vegetación con ayuda de paja. También se puede emplear una combinación de ramas vivas, plantas con raíces y césped (Fotografía 16).



Fotografía 16 Muro de piedra recubierto de vegetación, combinando plantas enraizadas y planchas de césped, de dos años.

No hace falta tierra de la capa superior del suelo siempre que se pueda obtener localmente material de grano suficientemente fino para garantizar el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Materiales

Además de las piedras empleadas para la construcción principal, se necesitan ramas delgadas vivas en proporción de 2 a 5 por metro cuadrado. Pueden emplearse arbustos con raíces o césped cortado con las dimensiones de las aberturas de las juntas, pero no son apropiados los árboles.

Época

Los muros de piedra con vegetación deben construirse durante la estación de reposo.

c) Gaviones rígidos con vegetación

Procedimiento

Se extiende sobre el terreno una tela metálica fina en el lugar de construcción, cubierta de grava gruesa o piedra machacada, y se entremezcla con ramas vivas y plantas con raíces. Para garantizar que se cubran adecuadamente las ramas, hay que levantar y sacudir repetidamente la tela metálica para facilitar que se asiente la grava. Hay que sacar un poco las ramas y las estaquillas de las plantas a través de la tela metálica. Pueden colocarse plantas con raíces de modo que se introduzcan en las juntas por la tela metálica. Finalmente, se tira del conjunto de la tela metálica y se cose con alambre dándole una forma cilíndrica, apropiada para el sitio. Si el gavión puede ser desplazado por fuerzas mecánicas (de tensión o compresión), debe sujetarse con fuertes estacas de acero introducidas en el terreno con un compresor o con un martillo grande. Para proteger los gaviones contra su lavado y arrastre (especialmente en

construcciones longitudinales siguiendo los márgenes de los cursos de agua) lo mejor es colocarlos encima de lechos de ramaje.

Con gaviones fabricados con tela metálica muy pesada y que se rellenan con piedras grandes, no se pueden colocar ramas ni plantas vivas entre las piedras, sino únicamente en las juntas existentes entre gaviones (Figura 19).

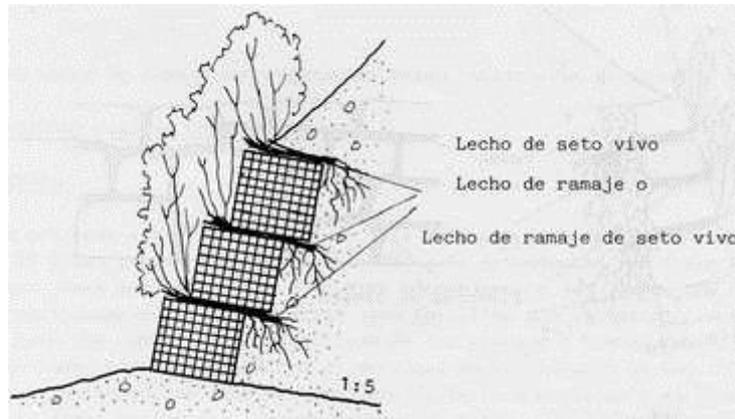


Figura 19 Gaviones rígidos con vegetación.

Materiales

Se necesita una tela metálica con un tamaño máximo de malla de 5 cm, grava gruesa, alambre para atar, estacas de acero (si es necesario), ramas vivas y plantas con raíces. Si el agua es extraordinariamente ácida, se corroerá rápidamente la tela metálica; en este caso, deben emplearse mallas hechas de materiales flexibles, como por ejemplo el polipropileno.

Época

La mejor época para la construcción de gaviones rígidos es la estación de reposo. De hecho, la instalación subsiguiente es casi imposible. Sin embargo, dependiendo de las condiciones climáticas, se pueden añadir cuidadosamente plantas con raíces durante el período vegetativo.

d) Gaviones flexibles

Los gaviones flexibles consisten en geotextiles que no se pudren, por ejemplo, hojas de fibra sintética o alfombras sintéticas con una anchura de malla inferior a 5 mm. Resisten mucho a la tensión y son por tanto diferentes de los gaviones antes descritos. Para la construcción de gaviones flexibles puede emplearse material de grano fino.

Procedimiento

Hay dos métodos principales de construcción:

a) Se hacen contenedores en forma de saco de diversos tamaños y se rellenan con arena o grava, sin arcilla o con cantidades mínimas. Estos sacos se utilizan seguidamente como si fueran piedras o ladrillos para formar muros y se sujetan en el lugar (Figura 20, Fotografía17). Se introducen ramas o estaquillas de plantas leñosas vivas o plantas con raíces, en las juntas existentes entre los sacos de tal forma que lleguen al suelo original. Cuando se emplean sacos largos como salchichas, hay menos juntas. Los "muros de sacos de arena" altos se pueden fijar eficazmente mediante la incorporación de anclajes de materiales de aluvión o a base de barras de acero que lleguen muy profundamente (del tipo empleado en la construcción de hormigón).



Fotografía 17 Gaviones flexibles de tipo de saco combinados con plantas leñosas enraizadas para reforzar una margen erosionada.

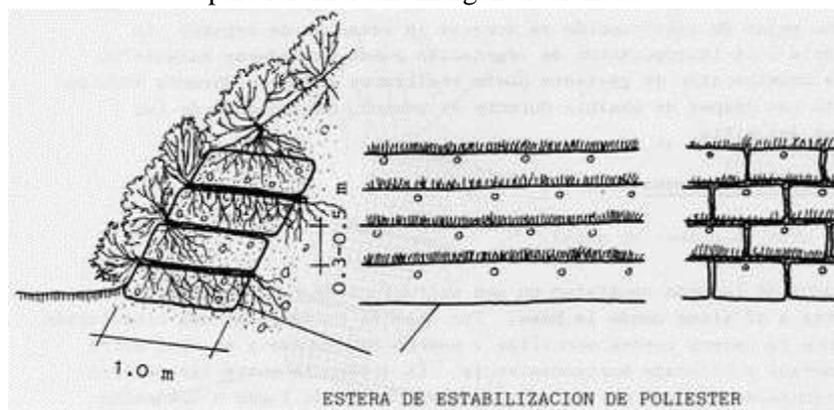


Figura 20 Gaviones flexibles con vegetación.

b) También se pueden producir muros artificiales mediante la extensión de alfombras geotextiles cubriéndolas seguidamente en su mitad con una capa de material de 30 a 50 cm de grueso. Cuando la capa se ha solidificado, la mitad vacía de la alfombra se dobla sobre la capa para cubrirla. De esta forma, se pueden erigir, uno sobre otro, gaviones flexibles que están abiertos por el extremo de atrás.

El mejor método es combinar gaviones flexibles con plantas leñosas. Durante la construcción hay que colocar lechos de ramas, lechos de ramas de setos vivos o lechos de setos vivos entre las distintas capas de material.

Ambos tipos de gaviones flexibles pueden cubrirse de vegetación después de su construcción mediante siembra hidráulica o mediante aplicación de estaquillas fuertes o la instalación de plantas en los contenedores. En este último caso, deben hacerse agujeros en las alfombras de geotextiles.

Época

El tipo más eficaz de gaviones flexibles es aquél en que se colocan durante el proceso de construcción ramas vivas de fácil enraizamiento o plantas leñosas con raíces. Por lo tanto, la

época mejor de construcción es durante la estación de reposo. La aplicación suplementaria o la incorporación de vegetación puede extenderse durante un periodo más largo; la construcción de gaviones puede realizarse entonces durante todo el año. El recubrimiento con césped es posible durante el verano, dependiendo de las condiciones climáticas del sitio.

e) Emparrillados vivos de laderas

Procedimiento

Los emparrillados de laderas consisten en una estructura de madera construida de tal modo que se soporta a sí misma desde la base. Por ello es fundamental una cimentación sólida. Se echan sobre la ladera postes sencillos o madera escuadrada y se unen entre sí mediante madera cortada y colocada horizontalmente. La distancia entre las maderas verticales y las horizontales no debe ser de más de 2 metros, dando lugar a cuadrados individuales que no son mayores de 2 m x 2 m aproximadamente. Todo el espacio existente entre los postes de madera se rellena entonces con grava permeable o con material del terreno (Figura 21, Fotografía 18). También se pueden emplear, para la construcción de sistemas de emparrillados de laderas, elementos de prefabricados de hormigón (Fotografía 19).

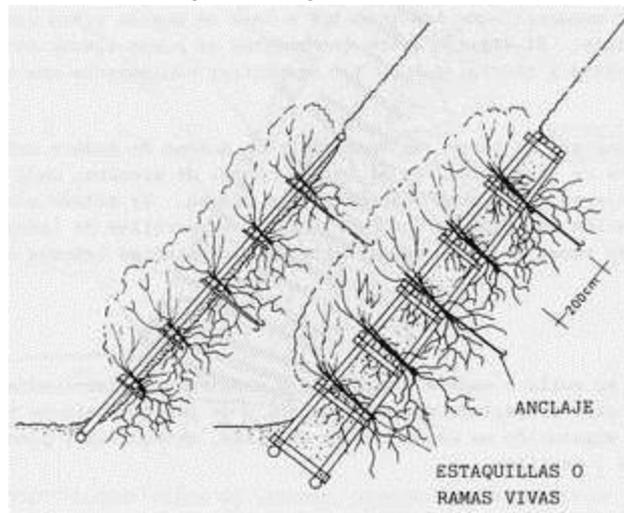
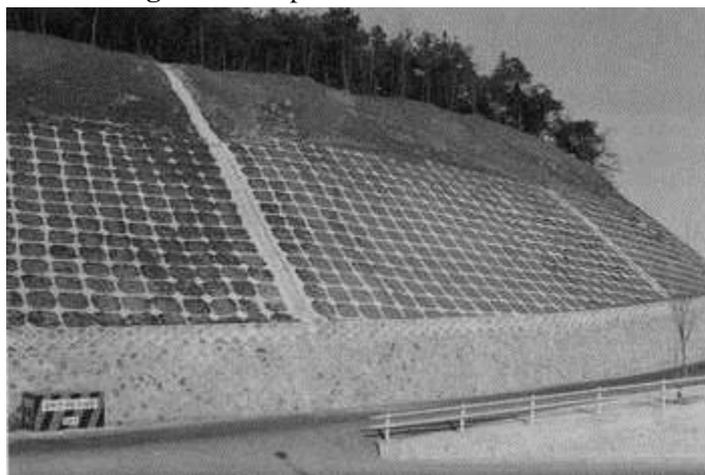
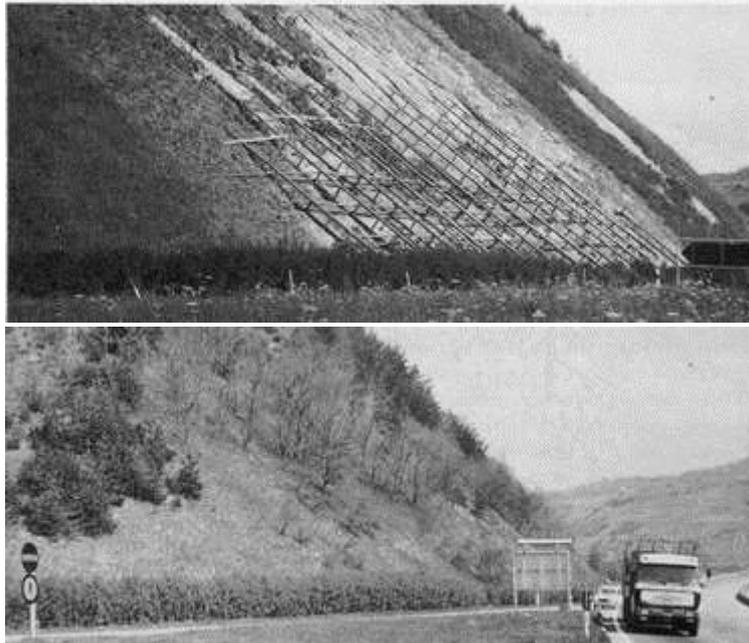


Figura 21 Emparrillados vivos de ladera



Fotografía 18 Emparrillados de ladera con elementos prefabricados de hormigón.



Fotografía 19 Emparrillados vivos de ladera para la estabilización de un talud muy inclinado. Arriba, durante la construcción. Abajo, después de ocho años.

Estos emparrillados se deben recubrir de vegetación lo antes posible para lograr una solución permanente.

Se pueden construir emparrillados más pequeños a base de postes vivos largos, o cualquier material disponible. El espacio entre las maderas se puede llenar también por completo a base de ramas vivas y tierra, con lo que se obtiene rápidamente una vegetación muy densa (Figura 22).

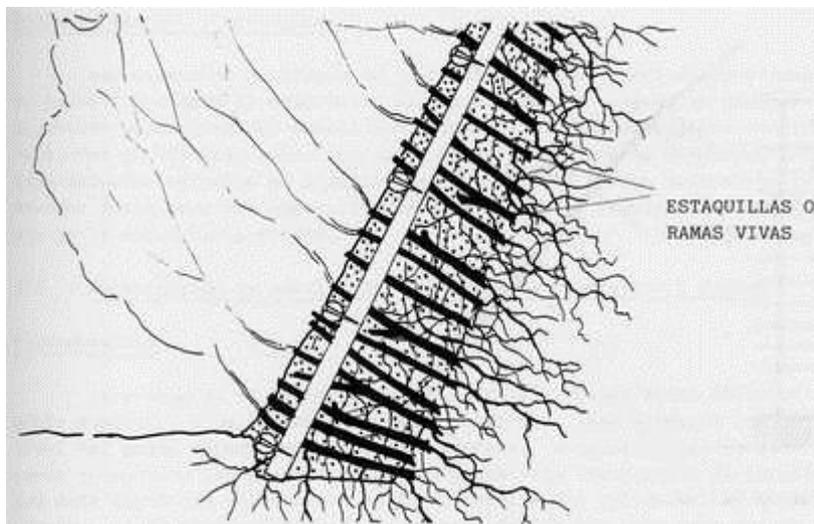


Figura 22 Emparrillados vivos de laderas, llenos completamente de ramas vivas.

Otra alternativa consiste en hacer los emparrillados a base de madera muerta, recubriéndolos seguidamente de vegetación con el método normal de siembra, después de cubrir la superficie con tierra de la capa superior o con césped. El método más eficaz para recubrirlos de vegetación consiste en una combinación de parrillas de ladera con lechos de ramas o lechos de ramas de setos vivos, estaquillas, plantas leñosas con raíces y métodos de siembra.

Materiales

Se necesita madera en rollo o madera escuadrada o elementos prefabricados de hormigón, dependiendo del tipo proyectado de construcción y de las dimensiones totales. Para el recubrimiento con vegetación se necesitan ramas vivas, estaquillas, plantas con raíces, planchas de césped y semillas.

Época

Cuando se emplean estaquillas vivas y plantas, la construcción puede realizarse únicamente en la estación de reposo; cuando se emplean técnicas de encespedado o de siembra, la mejor época es en la estación vegetativa.

f) Construcción de empalizadas cubiertas de vegetación y postes

Procedimiento

Se clavan en el terreno, juntos entre sí, postes vivos afilados, escuadrados en su parte superior, y de tamaño y longitud uniformes. Dos terceras partes de la longitud total del poste deben quedar sobre el terreno. A continuación, se atan los postes, con ramas de sauce o con alambre de acero, a una viga transversal de material vivo o muerto, que está empotrada sólidamente en los laterales del barranco. El empleo de una viga transversal de material vivo da la oportunidad de que ésta eche raíces, (Figura 23), por lo que resulta muy aconsejable.

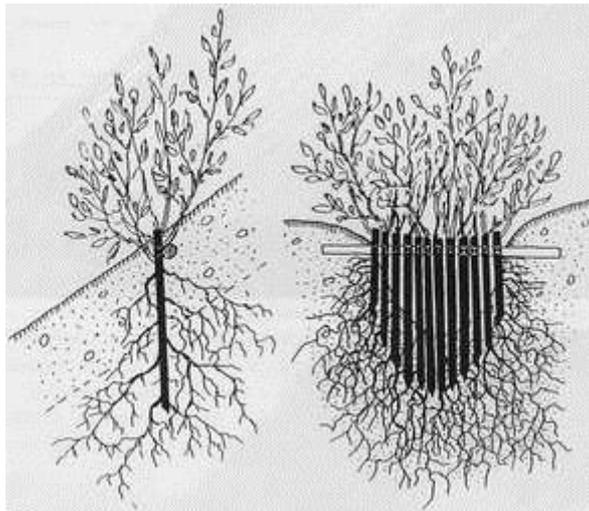


Figura 23 Construcción de empalizadas vivas.

Materiales

Se necesitan estacas o postes de plantas vivas con un diámetro mínimo de 5 cm, y del orden de 5 a 20 unidades por metro de recorrido.

Época

La construcción se debe llevar a cabo durante la estación de reposo.

g) Lechos de ramas vivas en las cárcavas

Procedimiento

Se colocan en las cárcavas ramas de varios metros de longitud con el extremo superior hacia abajo. De esta forma, las ramas sobresalen hacia arriba. El extremo superior debe introducirse en terreno compacto aproximadamente 25 cm para obtener una capa lo más gruesa posible y garantizar una formación óptima de raíces. Sin embargo, no se deben colocar las

ramas demasiado juntas, porque hay que poner tierra entre ellas. Las ramas deben colocarse en forma de espina de pescado con sus puntas hacia la parte exterior de la cárcava. Cada lecho de ramas debe cubrirse. El grueso total del conjunto no debe ser superior a 50 cm (Figura 24). Este conjunto se sujeta a las vigas transversales que deben colocarse profundamente en el terreno y a distancias de unos 2 m. Deben ser de material vivo, no empleándose en este método madera pesada.

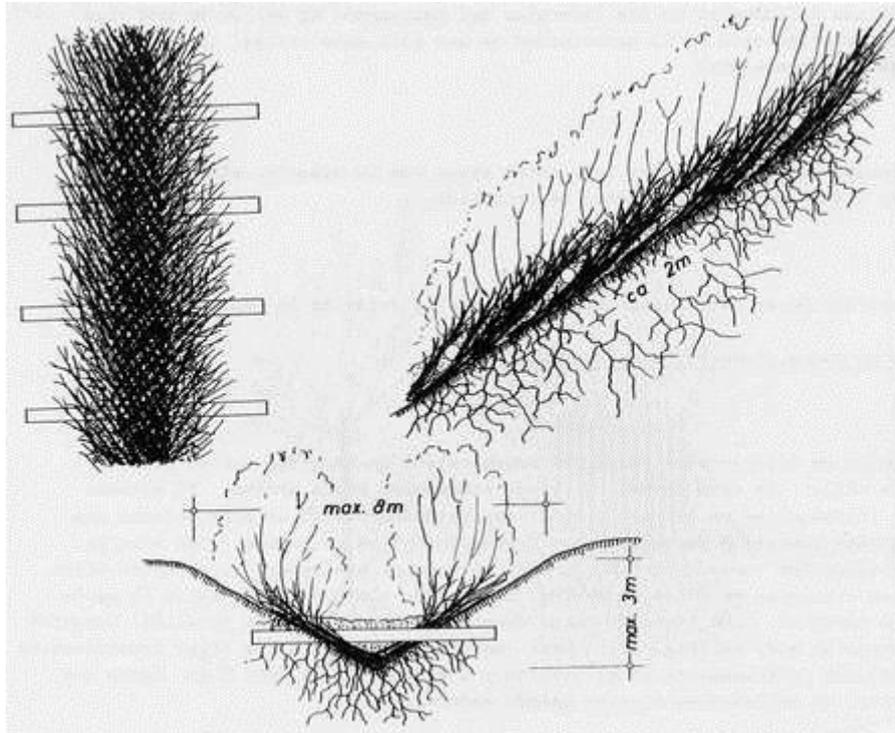


Figura 24 Construcción de lechos de ramas vivas en cárcavas.

Materiales

Deben utilizarse ramas vivas de especies vegetales que enraícen con facilidad, seleccionando las ramas disponibles más fuertes y largas. Para cárcavas hasta de 150 cm de profundidad pueden emplearse ramas muy espesas; para cárcavas más profundas pueden emplearse ramas espesas en combinación con otras más largas. Se necesita también una viga transversal por cada 2 m de longitud de cárcava; la longitud y el grueso de las vigas transversales dependerán de la anchura de la cárcava. Para cárcavas menores son más apropiados los postes vivos.

Época

La construcción se debe realizar durante la estación de reposo.

9.3 Para Derrumbes y Caída de Rocas.

Forma de talud se muestra en la (figura 25), la inclinación de los taludes depende de los suelos y litología. Cuando la inclinación cambia, en muchos casos se proporciona una banqueta en el punto de cambio de inclinación.

Generalmente se emplea una pendiente única cuando la geología y los suelos son lo mismo en profundidad y en las direcciones transversales y longitudinales. cuando la geología y los suelos varían considerablemente y de manera complicada, una pendiente única adecuadamente al suelo de mayor pendiente podría usarse, aunque esto sea antieconómico.

a) Banquetas:

Generalmente se instala una banqueta de 1 a 21 m. de ancho, a la mitad de un talud de corte de gran altura.

Propósito de la banqueta.

En la parte inferior de un gran talud continuo, la descarga y velocidad del agua superficial aumentan, causando el incremento de las fuerzas de socavación. En este caso, la velocidad de la corriente puede reducirse al proporcionar una banqueta casi horizontal a la mitad del talud, o la concentración de agua superficial en la parte inferior del talud puede prevenirse al construir una zanja en la banqueta para drenar el agua hacia afuera del talud. La banqueta también puede usarse como acera para inspección o como andamio para reparación.

Por lo tanto, las banquetas deben diseñarse tomando en cuenta la dificultad de inspeccionar y reparar, la pendiente del talud, la altura de corte, los suelos del talud, los costos y otras condiciones.

Inclinación de banqueta

Cuando no existen facilidades de drenaje, se proporciona a la banqueta un gradiente transversal de 5 a 10%, de modo que el agua drene hacia el fondo del talud (pie de talud).

Sin embargo, cuando se considera que el talud es fácilmente descargable o cuando el suelo es fácilmente erosionable, el gradiente de la banqueta debe hacerse en la dirección contraria, de modo que el agua drene hacia la zanja de la banqueta.

1) Localización de banqueta.

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 a 2 metros de ancho cada 5 a 10 metros de altura, dependiendo del suelo, litología y escala de talud.

Una banqueta más ancha se recomienda cuando el talud es largo y grande o donde se instalarán vallas de protección de caída de rocas.

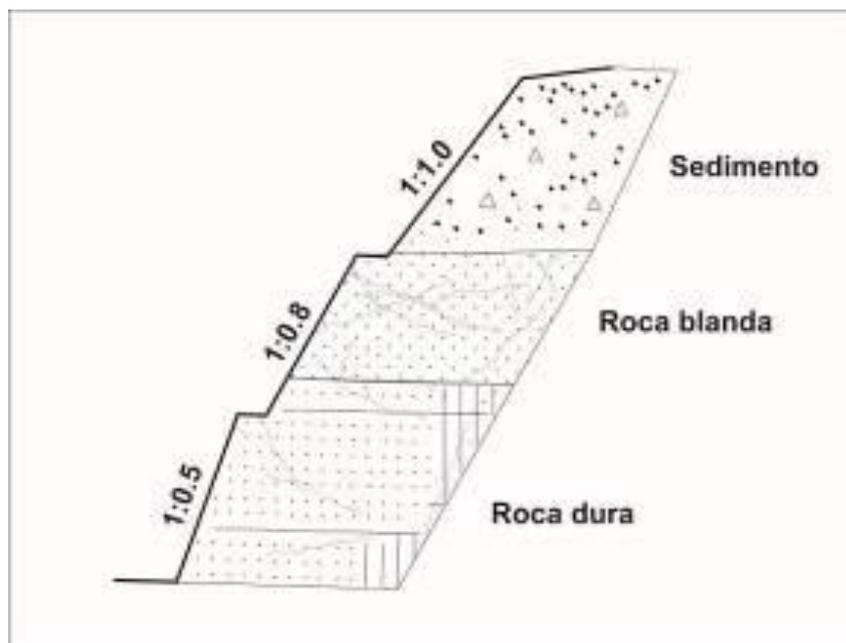


Figura 25. Condición de terreno y forma de taludes

b) Corrección por muros

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 26).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 27). 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.

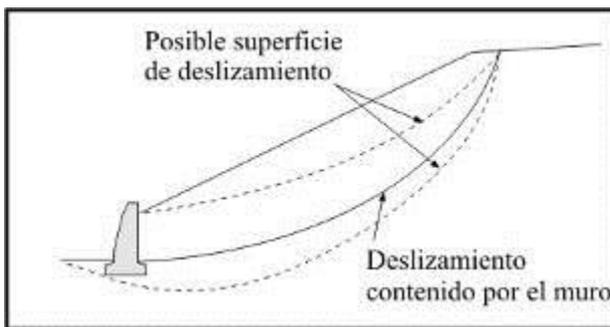


Figura 26. Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de INGEMMET, 2000).

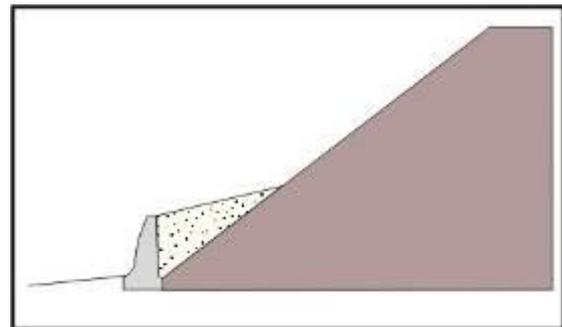


Figura 27. Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de INGEMMET, 2000).

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.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 28):

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.

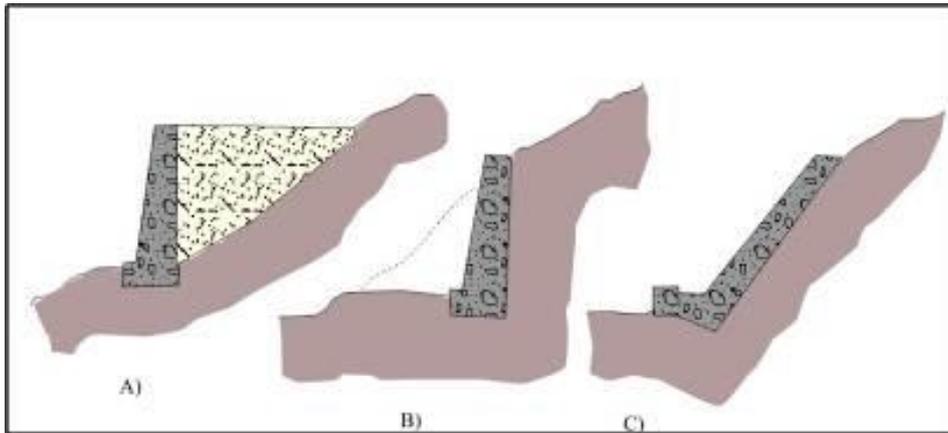


Figura 28. a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado de INGEMMET, 2000).

Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- Estabilidad general del sistema muro-terreno al deslizamiento; la estabilidad general del muro incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.
- Resistencia del terreno del cimiento.
- Ausencia de tracciones en la base del muro.
- Resistencia estructural: Se ha de comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.

Conclusiones

1. La zona de estudio presenta una morfología, que comprende montañas con ladera de pendiente fuerte que varía entre 35° a 45°, marcados por innumerables quebradas y valles fluviales.
2. La zona urbana se asienta sobre depósitos proluviales (cono de deyección de quebrada) formada por bloques, gravas y arenas con matriz limosa se localizan también depósitos coluviales, formadas por bloques, gravas con matriz arcillo limosa, que cubren el substrato rocoso: Formación Sandía, formada por pizarras y cuarcitas de diferentes espesores.
3. La zona de estudio es susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo (derrumbes, caída de rocas y flujos), entre otros peligros (erosión de laderas inundación y erosión fluvial): condicionado por un substrato rocoso completamente meteorizado, muy fracturado lo hacen considerar de mala calidad y susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa. Pendiente de terreno fuerte con un promedio de 40° y cobertura vegetal de tipo arbustiva. Es importante resaltar la presencia de filtraciones en la cabecera de la quebrada Chimpapata
4. En la quebrada Chimpapata se identificó un evento de tipo derrumbe –flujo, detonados por lluvias intensas. Evento afectó viviendas ubicadas dentro del cauce natural de la quebrada.
5. Las viviendas del barrio Primavera invaden el cauce natural de la quebrada, ocasionando un represamiento e interrumpiendo el paso normal del material que se desplaza dentro del cauce.
6. La simulación de flujos de detritos realizado en la quebrada Chimpapata, considerando datos para dos escenarios: *Escenario 1 (cada 20 años)*: precipitación promedio de 14 mm, se obtiene un volumen de 449 m³, afecta un área de 1483.2 m². *Escenario 2 (cada 100 años)*: máximas precipitaciones o excepcionales ocurridas en el sector 43.4 mm, se obtiene un volumen de 1299 m³, afectaría un área de 4003.5 m²
7. La quebrada Chimpapata, por las condiciones geológicas y morfológicas actuales, se presentan eventos de tipo derrumbes - flujo, ladera considerado inestables debido a la ocurrencia de eventos como el ocurrido el 16 de marzo del 2018. Por lo tanto, las viviendas ubicadas en la desembocadura de la quebrada, construidas invadiendo el cauce de la misma, son muy afectados: El área, se considera como Zona Crítica, de muy alto peligro a eventos por movimientos en masa. Por consiguiente, se encuentran en **Peligro Inminente** ante la presencia de lluvias intensas y/o excepcionales.

Recomendaciones

- 1 Se debe tener preparado un plan de contingencia en caso de un eventual periodo de intensas precipitaciones pluviales que activaría la ocurrencia de nuevo evento en la quebrada Chimpapata. De detectarse anomalías, se informará a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
- 2 Realizar labores de limpieza y encausar para el desfogue del material (agua más sólidos) que se desplaza quebrada abajo. Reubicar las viviendas que están en el paso de la quebrada.
- 3 Estabilizar la quebrada mediante el empleo combinado de materiales muertos y vivos (ítem 8.2), colocar barreras geodinámicas (línea de contención contra los Huaicos), con la finalidad de atenuar la fuerza de la misma.
- 4 Reforestar el área con plantas o árboles que tengan raíces verticales o subverticales, para mejorar la estabilidad de la cobertura vegetal existente, y de esta forma evitar el impacto de las gotas de las aguas de lluvia impactando directamente sobre el terreno que pueda producir pérdida de suelo y reducir la infiltración de agua en el suelo.
- 5 Reubicar las viviendas que se encuentran expuestas directamente en la zona del Huaico (flujo) debido a que es considerada de Riesgo Alto.
- 6 Las obras de rehabilitación deben ser dirigidos y ejecutados por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

Referencias bibliográficas

- Cruden, D. M., Varnes, D. J., (1996). Landslide types en processes, en Turner, K., y Schuster, R. L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, national Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75
- De la Cruz, N. y Carpio, M. (1996). Geología de los Cuadrángulos de Sandia y San Ignacio 29t. 1:100 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 82 - 170 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Manual de ordenación de cuencas hidrográficas Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación. <http://www.fao.org/docrep/006/AD081S/AD081s00.htm>
- Griswold JP. 2004. Mobility Statistics and Hazard Mapping for Nonvolcanic Debris-fl ows and Rock Avalanches. Master Thesis, Portland State University, Portland, OR.
- Griswold JP, Iverson RM. 2008. Mobility Statistics and Automated Hazard Mapping for Debris-fl ows and Rock Avalanches, US Geological Survey Scientifi c Investigations Report 5276. US Geological Survey: Reston, VA; 59
- Hungr, O., 2005, Classification and terminology, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis, p. 9–23.
- Instituto Geológico Minero Metalúrgico (2003). *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 3*. INGEMMET, Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N.º 28 Serie C: 389 p.
- Proyecto Multinacional Andino, Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas, 404p
- Varnes, D. J., 1978, Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9–33.
- Suárez Diaz, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 541p.
- https://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=157418

Anexo: Glosario de Términos

Movimientos en Masa.

El término movimiento en masa, incluye todos los desplazamientos de una masa rocosa, de detrito o de tierra por efectos de la gravedad (Cruden, 1996).

Estos movimientos en masa, tienen como causas factores intrínsecos: la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal (ausencia de vegetación); combinados con factores extrínsecos: construcción de viviendas en zonas no adecuadas, construcción de carreteras, explotación de canteras. Se tiene como “detonantes” las precipitaciones pluviales extraordinarias y movimientos sísmicos.

Derrumbe: Caída violenta de material que se puede dar tanto en macizos rocosos como depósitos de cobertura, desarrollados por: heterogeneidad litológica, meteorización, fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos y erosión generada en las márgenes.

Estos fenómenos suelen producirse en taludes verticales en suelos inconsolidados a medianamente consolidados, rocas muy fracturadas y en el corte de carreteras, canteras, acantilados marinos, taludes de terraza, etc. (figura 29)

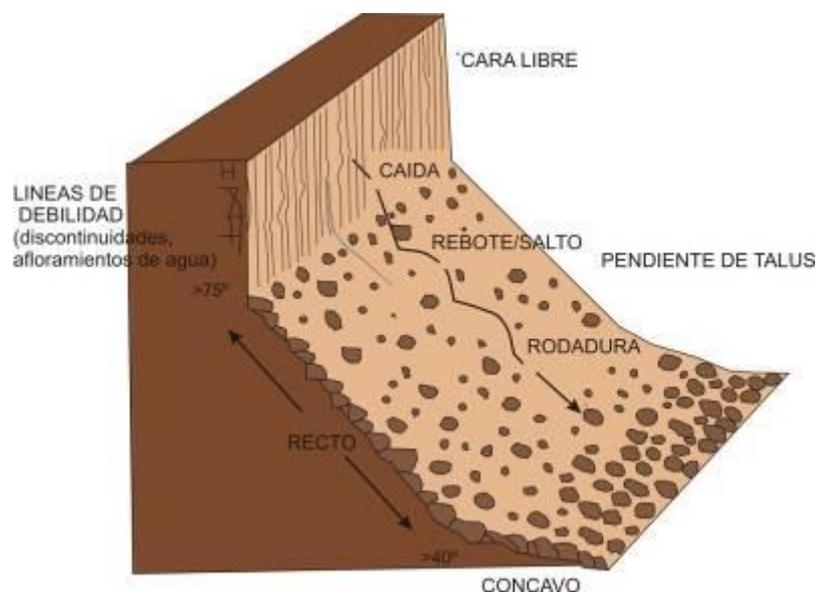


Figura 29 Esquema de Derrumbe (Vílchez 2015)

FLUJO

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

Flujo de detritos (Huaicos)

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Figura 30). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Tiene un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hung, 2005).

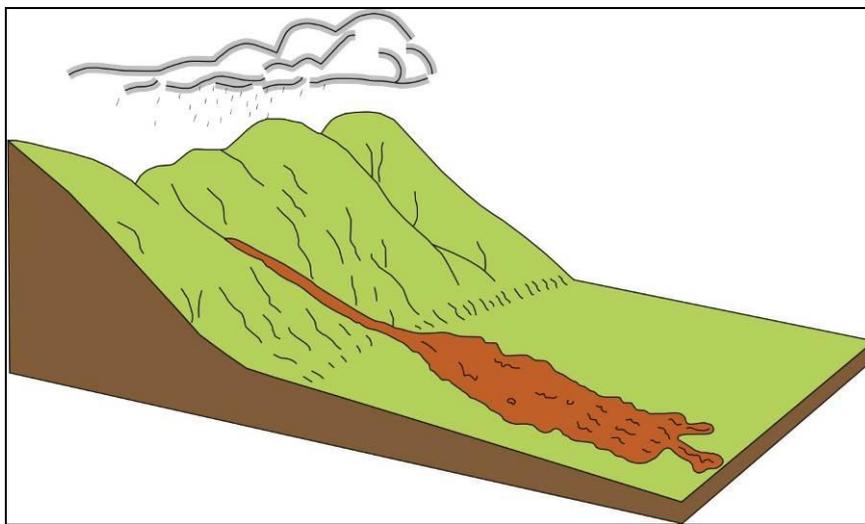


Figura 30. Esquema de flujos canalizado, según Cruden y Varnes (1996).

Otros peligros geológicos

Dentro de esta categoría de peligros se ha identificado:

a.- Erosión de laderas: este tipo de eventos son considerados 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 (Gonzalo et al., 2002).

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia, abarca los siguientes procesos:

Saltación pluvial: el impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino, el impacto compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementa escorrentía.

Escurrecimiento superficial difuso: comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimulan el escurrecimiento del agua arrastrando finos.

Escurrecimiento superficial concentrado: se produce en dos formas, como surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados; y como cárcavas, que son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia. El proceso se da en cuatro etapas: 1) entallamiento del canal, 2) erosión remontante o retrogresivo desde la base, 3) cicatrización y 4) estabilización (Gonzalo *et al.*, 2002). (figura 31)

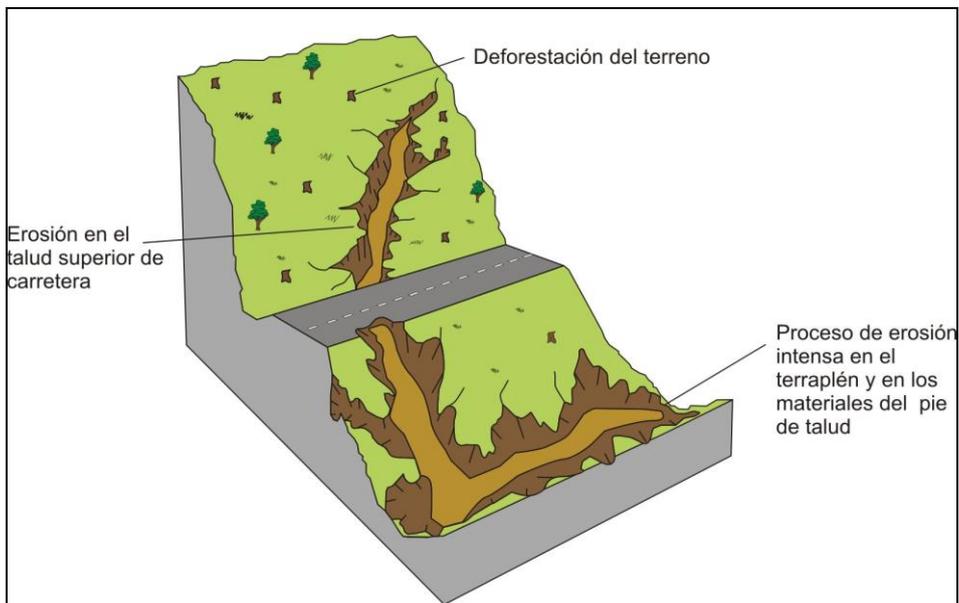


Figura 31. Esquema de erosión de ladera