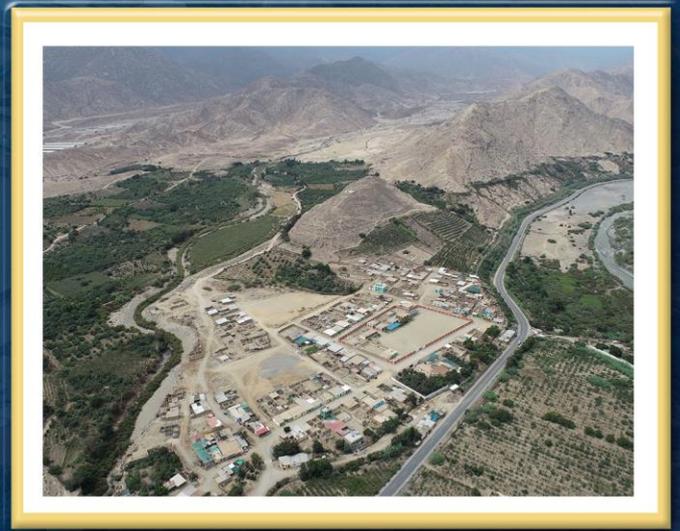
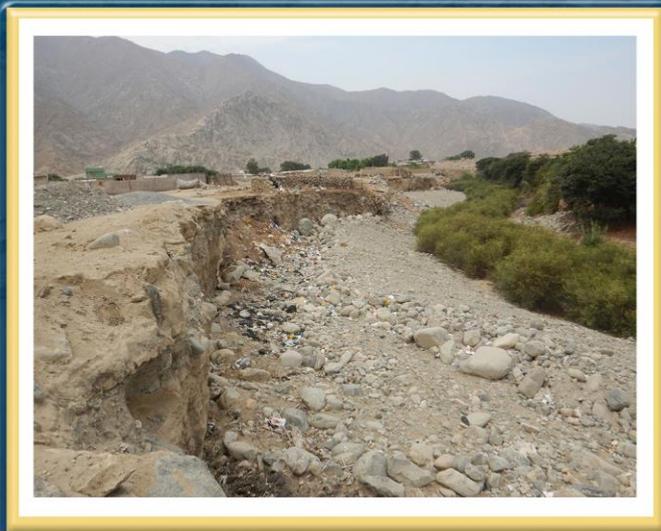


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7266

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA LUMBRA, CENTRO POBLADO SAN FRANCISCO DE LUMBRA

Departamento Lima
Provincia Huaral
Distrito Huaral



JUNIO
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA LUMBRA, CENTRO POBLADO SAN FRANCISCO DE LUMBRA

(Distrito y provincia Huaral, departamento Lima)

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

Equipo de investigación:

Mauricio A. Núñez Peredo

Norma L. Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *“Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Lumbra, centro poblado San Francisco de Lumbra”. Distrito y provincia Huaral, departamento Lima*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7266, 51p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	3
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.3. Accesibilidad.....	5
1.3.4. Clima	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	9
2.1. Unidades litoestratigráficas.....	9
2.1.1. Batolito de la Costa.....	9
2.1.2. Depósitos cuaternarios	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	13
4.1. Parámetros morfométricos.....	13
4.2. Pendientes del terreno	15
4.3. Unidades geomorfológicas.....	15
4.3.1. Subunidad de montaña en roca intrusiva (M-ri):	16
4.3.3. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-pral)	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	19
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	19
5.2. Flujo de detritos	19
5.3. Simulación numérica	26
5.4. Factores condicionantes	30
5.5. Factores detonantes o desencadenantes.....	30
6. CONCLUSIONES.....	34
7. RECOMENDACIONES.....	36
8. BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO 1: MAPAS.....	38
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	43

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujos de detritos en la quebrada Lumbrá y alrededores, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Huaral, provincia de Huaral, departamento de Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno.

Las rocas aflorantes son de origen intrusivo, constituidos por tonalitas, granito, granodiorita, monzogranito y dioritas muy fracturadas y altamente meteorizadas del Batolito de la Costa, el cual genera material detrítico que se acumula y encauza en la quebrada Lumbrá; formando depósitos proluviales compuestos por gravas, cantos y bloques con diámetros que varían entre 0.05 a 1.20 m, envueltos en una matriz de arenas gruesas a finas, permeables, con contenidos de limos y arcillas en algunos casos, medianamente consolidado, altamente erosionable y susceptible a movimientos en masa tipo flujos.

Las geformas identificadas corresponden a la unidad de montañas modeladas en rocas intrusivas y geformas de piedemonte aluviotorrencial. La quebrada Lumbrá presenta una pendiente media de 37.5% y una pendiente del cauce principal de 3.4%, lo que favorece el incremento de velocidad en la parte alta de la quebrada y depositación de material en la parte baja.

Así mismo, la quebrada presenta evidencias de flujos de detritos detonados principalmente por lluvias extraordinarias, relacionadas al fenómeno de “El Niño” (1983, 1993) y últimamente activada el año 2017, que afectó 8 viviendas del centro poblado San Francisco de Lumbrá, corrales de animales y áreas de cultivo frutales, ubicadas muy cerca del cauce principal.

Ante eventos de lluvias intensas y/o prolongadas, los flujos de detritos (huaicos), afectarían entre 34 a 42 ha agrícolas, incluido parte de las viviendas del centro poblado de San Francisco, puente Lumbrá; aproximadamente 4.6 km lineales de trocha carrozable y 320 m de la red vial nacional Huaral -Acos.

Se realizó modelos de simulación en la quebrada para tiempos de retorno de 50 y 100 años, de la cual se estima una probabilidad de activación de la quebrada con caudales máximos de 16.6 m³/s y 24.4 m³/s, el cual generaría un flujo de detritos con tirantes máximos de 4.8 m y velocidades máximas de 3.3 m/s en el cauce de la quebrada; llegando a la zona urbana con tirantes máximos de 0.6 m a 1.1 m y velocidades entre 0.7 a 0.4 m/s.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas, la quebrada Lumbrá y alrededores se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos y caídas de rocas, los cuales pueden ser desencadenados en temporadas de precipitaciones excepcionales o lluvias intensas y/o prolongadas (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro) con incidencia en las cabeceras de las quebradas del sector mencionado.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, tales como: Reubicar las viviendas que se encuentren próximas del cauce de la quebrada Lumbrá, principalmente las que se localicen entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas; implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos y proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT).

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 (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo las solicitudes del Municipalidad Provincial de Huaral según Oficio N° 189-2021/MPH/A es en el marco de nuestras competencias que se realizó una evaluación de peligros geológicos en la quebrada Lumbra, centro poblado del mismo nombre, distrito de Huaral.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Norma Sosa Senticala y Mauricio Núñez Peredo realizar dicha evaluación de peligros geológicos, llevada a cabo los días 24 y 25 de febrero del 2022, en coordinación con representantes de la Unidad de Defensa Civil y Seguridad Ciudadana de la Municipalidad Provincial de Huaral.

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, fotografías terrestres, levantamiento fotogramétrico con dron con el fin de observar mejor el alcance del evento), cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Huaral y 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) Evaluar y caracterizar el peligro geológico por flujo de detritos en la quebrada Lumbra del centro poblado San Francisco de Lumbra.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que podría influir en la ocurrencia de flujo de detritos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional, que involucran el área de evaluación tenemos:

- A) Boletín N° 76, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Lima” (Luque et al., 2020). Este estudio cataloga al sector de Lumbra como una zona crítica sujeta a inundación fluvial, erosión fluvial y huaicos. Es importante mencionar, que los autores recomiendan reubicar parte del poblado San Francisco de Lumbra, el cual se encuentra asentado sobre depósito antiguo

de flujo de detritos; restringiendo y controlando el desarrollo urbano dentro del área de influencia de la quebrada.

De igual modo, en el presente boletín, muestra un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:500 000, en el cual, el área de estudio se localiza en zonas de susceptibilidad Media y Alta (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

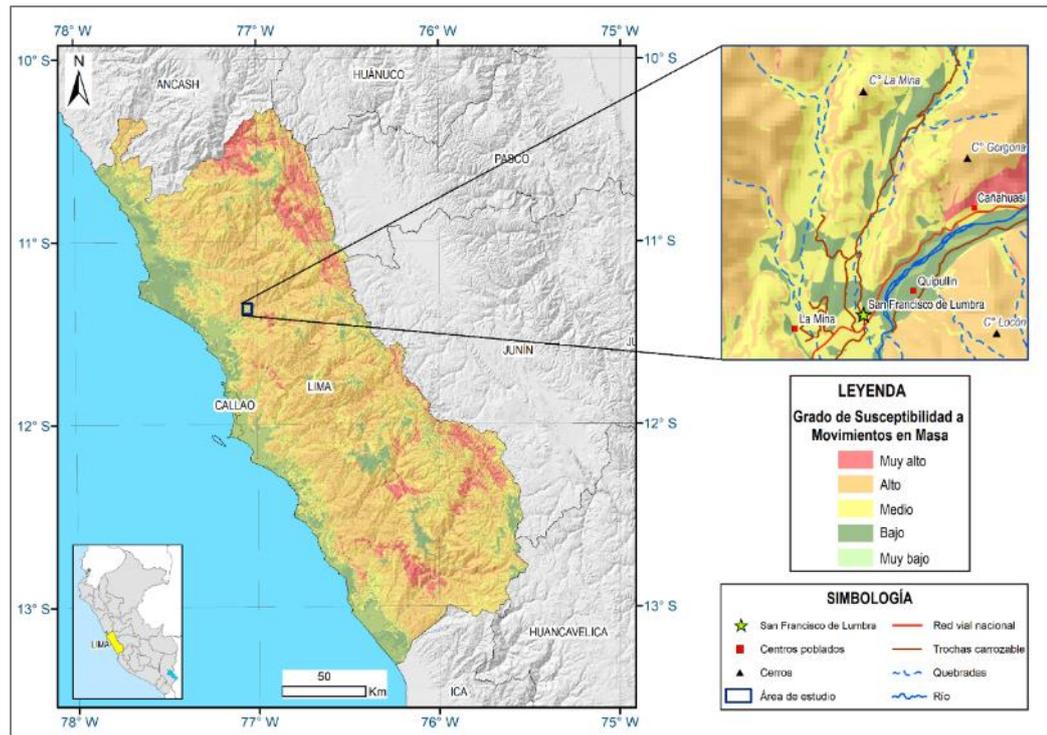


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del área de estudio. **Fuente:** Luque et al., 2020.

- B) Informe técnico A6768 “Evaluación geológica de las zonas afectadas por el niño costero 2017 en las regiones Lima-Ica” (Ochoa et al., 2017). Señala a San Francisco de Lumbra, como una zona afectada por flujos (huaicos) destruyendo 17 ha de cultivo, detonado por las fuertes lluvias de El Niño Costero 2017.
- C) Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables de la quebrada Lumbra, centro poblado Lumbra, departamento de Lima, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (2016); a escala 1: 5,000. En este mapa, se muestra el polígono limítrofe de la zona inundable de la quebrada, y señala un total de 80 de viviendas en riesgo, con un total de 400 habitantes directamente en riesgo y unos 532 indirectamente afectados.
- D) Estudio geodinámico de la cuenca del río Chancay - Huaral (Dávila & Celi, 1994). Este estudio señala que por las condiciones morfológicas que presenta la quebrada hace que los huaicos que se producen en cada temporada de lluvia, constituyan una amenaza frecuente para la seguridad del centro poblado de Lumbra, sus habitantes, la carretera, el puente y terrenos de cultivo aledaños.

- E) Boletín N° 26, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta a escala 1:100 000” (Cobbing, J., 1973). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a rocas intrusivas del Batolito de la Costa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector de Lumbra y alrededores, se encuentra ubicada en el distrito de Huaral, provincia Huaral, departamento de Lima (figuras 2), dentro de las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de evaluación.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	278699.06	8745711.44	-11.33949846°	-77.02771504°
B	278669.04	8739233.68	-11.39804305°	-77.02840416°
C	273139.41	8739233.99	-11.39768612°	-77.07905786°
D	273157.56	8745711.98	-11.33914056°	-77.07846708°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	275628.83	8740257.32	-11.38859786°	-77.05618744°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada del centro poblado San Francisco de Lumbra es de 201 habitantes, distribuidos en un total de 111 viviendas particulares.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso se hace por vía terrestre desde la ciudad de Lima, mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – San Francisco de Lumbra (Huaral)	Asfaltada	115	2 h 46 min

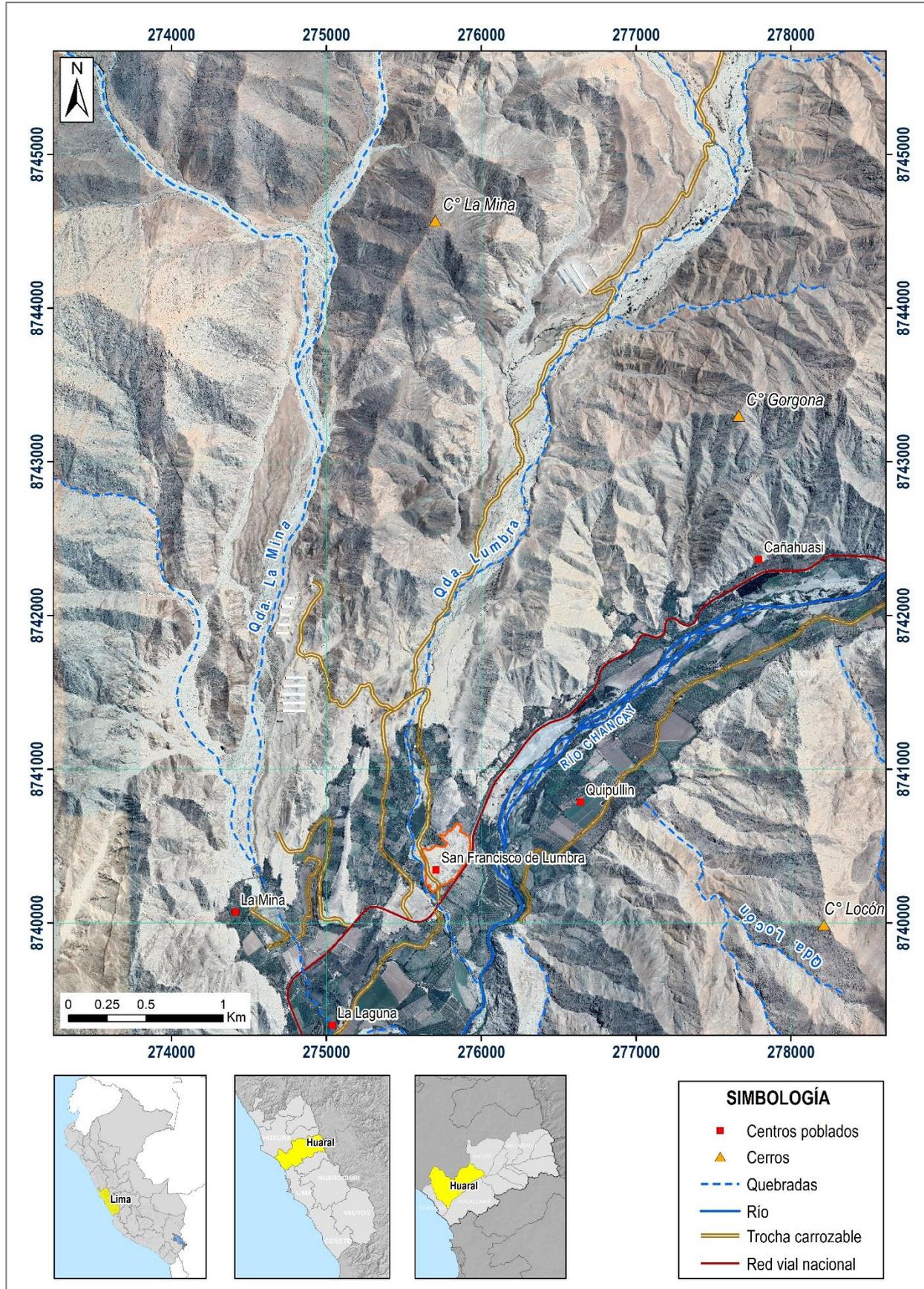


Figura 2: Ubicación del área de estudio.

1.3.4. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el centro poblado San Francisco de Lumbrá se encuentra en una zona desértica semicálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, y con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos pluviométricos de la estación Huayan (SENAMHI) en el periodo 2018-2022, se presenta una precipitación máxima de hasta 2.4 mm (figura 3), notándose que las lluvias son muy escasas ocurriendo generalmente de diciembre a abril.

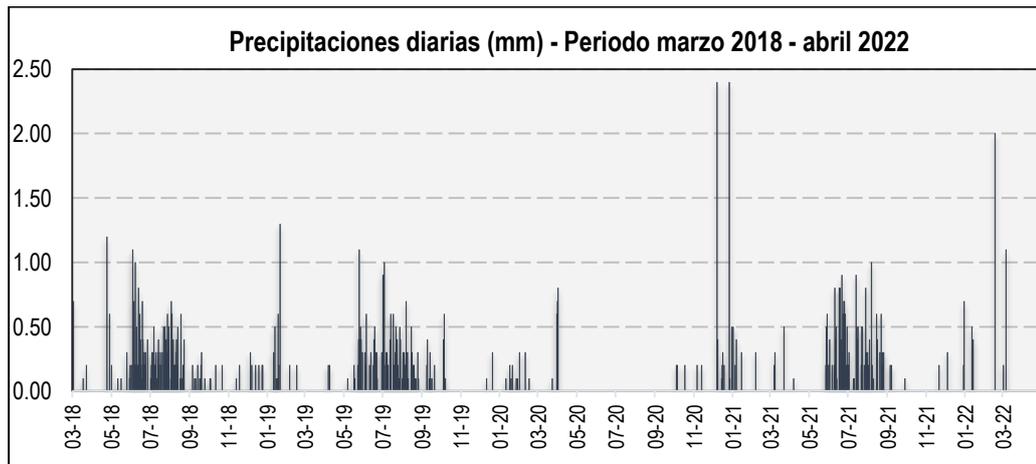


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2018-2022. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. **Fuente:** Estación Huayan - SENAMHI.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 33.3°C en verano y un mínimo de 10°C en invierno (figura 4), y una humedad promedio de 96.9% durante casi todo el año, (SENAMHI).

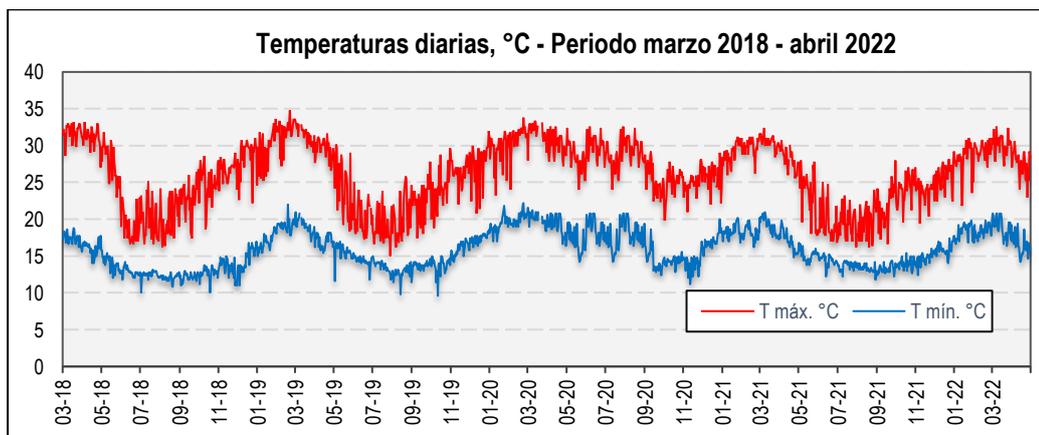


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2018-2022. La figura permite analizar a partir de datos históricos, la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** Estación Huayan – SENAMHI.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; es por ese motivo, considerando como base el libro de “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

Actividad: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

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

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

Flujo: 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 deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).

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

Fractura: 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: 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.

Movimiento en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

Peligros geológicos: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

Susceptibilidad: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

Zona crítica: Las zonas o áreas consideradas como críticas (Fidel et al., 2006), presentan recurrencia en algunos casos periódica a excepcional de peligros geológicos y geohidrológicos; alta susceptibilidad a procesos geológicos que puede causar desastres y alto grado de vulnerabilidad.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Huaral, 23i, a escala 1:100,000 (Cobbing *et al.* 1971), así como la referencia del Boletín N° 26: "Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta, escala 1:100 000" (Cobbing, 1973) publicados por Ingemmet.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes son principalmente de origen intrusivo del Batolito de la Costa; y depósitos cuaternarios proluvial, aluvial y fluvial (Mapa 01 del Anexo 1).

2.1.1. Batolito de la Costa

El Batolito Costero, es un complejo de diferentes rocas intrusivas, cuya composición varía de gabro a granito potásico, sus afloramientos constituyen una faja paralela a la costa y a una distancia de ella que oscila entre 5 y 20 km (Cobbing, 1973).

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa se han dividido en Súper unidades, teniendo en cuenta su distribución espacial, rango de edad y mineralogía de las rocas. De las diferentes súper unidades existentes, en la quebrada Lumbrá se pueden diferenciar:

- a) **Súper Unidad Paccho:** Este complejo ocupa la mitad oriental del batolito costero y está localizado frente al complejo Santa Rosa, teniendo una extensión similar. En el área de estudio es atravesado por el valle del río Chancay. Litológicamente, la variedad que se presenta con más frecuencia es de tonalitas a horblenda de grano medio y de composición relativamente uniforme (Fotografía 1).
- b) **Súper Unidad Santa Rosa:** Esta unidad está caracterizada por la intercalación de rocas de tipo granito, monzogranito, tonalita, granodiorita y diorita, conforman gran parte del Batolito Costanero y se caracteriza por la abundancia de tonalitas que por la dureza del cuarzo, presentan una topografía aguda con estructuras tabulares debido al diaclasamiento.
- c) **Súper Unidad Humaya:** Esta unidad está constituido por cuerpos intrusivos emplazados dentro de la Super Unidad Paccho. Litológicamente conforma afloramientos de topografías moderadas a abruptas de monzonitas y tonalitas.
- d) **Súper Unidad Larchay:** Esta unidad lo constituye un cuerpo intrusivo de adamelita y monzogranito emplazados dentro de la Super Unidad Santa Rosa. Una característica importante es la presencia de un diaclasamiento vertical definido y de poco a medianamente separado; además la roca se presenta bastante alterada (Fotografía 2).
- e) **Súper Unidad Acari:** Son afloramientos de dioritas, de grano grueso con abundantes xenólitos y fenocristales de feldespatos potásico de hasta 2 cm de longitud y con topografía abruptas.

En general, las rocas intrusivas del Batolito de la Costa que se observan a lo largo de la quebrada Lumbra se encuentran muy alteradas y altamente meteorizadas, presentando una estructura muy fracturada a fragmentada, con espaciamientos próximos a muy próximos entre sí (0.05 - 0.20 m), aberturas abiertas a muy abiertas (0.5 cm a 1.0 cm) y de resistencia media (50 – 100 Mpa).

Estas condiciones contribuyen a la acumulación de materiales coluviales que se incorpora rápidamente al cauce principal de la quebrada.



Fotografía 1. Sustrato rocoso conformado por afloramientos de tonalitas de la Super Unidad Pachho del Batolito de la Costa. La roca se presenta muy fracturada, alterada y altamente meteorizada.



Fotografía 2. Sustrato rocoso conformado por afloramientos de adamelitas y monzogranito de la Super Unidad Larchay del Batolito de la Costa. La roca se presenta muy fracturada y altamente meteorizada.

2.1.2. Depósitos cuaternarios

a. Depósito proluvial (Q-pl):

Los depósitos proluviales se originan a partir de los depósitos de flujos, por la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas.

Estos depósitos están constituidos por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas, con elementos subangulosos a subredondeados, con diámetros que varían entre 0.05 a 1.20 m envueltos en una matriz permeable de arenas gruesas a finas con contenidos de limos y arcillas en algunos casos (Figura 5). El depósito se encuentra medianamente consolidado.



Figura 5. Material de depósito proluvial de hasta 4 m de altura compuesto por fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, de tamaños variables, envueltos en una matriz de arenas gruesas a finas y limos medianamente consolidados.

b. Depósito aluvial (Q-al)

Depósito semi-consolidado conformado por gravas y arenas redondeados a subredondeados de forma discoidal; transportados por la corriente del río Chancay a grandes distancias. Su granulometría está compuesta por bloques (20%), bolos (15%), gravas (30%), arenas (30%) y limos (5%). Estos materiales tienen selección de regular a buena, presentándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Su permeabilidad es media a alta y se asocia principalmente a terrazas aluviales, susceptibles a la erosión fluvial.

c. Depósito fluvial (Q-fl)

Conformados por bloques, gravas y arenas mal seleccionados en matriz arenolimsa. Se le puede apreciar en el curso principal del río Chancay, formando parte de la llanura de inundación, así como de las terrazas fluviales. Su granulometría está compuesta por bloques (35%), gravas (40%), arenas (20%) y limos (5%).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos nos permiten conocer las características físicas generales de la quebrada Lumbrá, y a la vez proporcionan la mejor posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico (Chow, *et al.*, (1994), (Figura 6). Para describir estos parámetros, se tomó en cuenta las características cuantitativas de la fisiografía en general de la cuenca afluyente (denominada como cuenca Lumbrá).

Esta área de la cuenca no representa el total del área de estudio, sino que sólo se tomará como referencia para los cálculos; además estos valores son necesarios para realizar una simulación hidrológica para luego efectuar un modelamiento numérico de flujos de detritos (huaicos) desarrollado más adelante.

La delimitación de la cuenca se realizó con ayuda del programa ArcMap (ArcGIS), haciendo uso de la extensión HEC-GeoHMS, con las siguientes características:

La cabecera de la cuenca se encuentra a una altitud de 3307 m s.n.m. y su desembocadura alrededor de los 561 m s.n.m. (Centro poblado San Francisco de Lumbrá); comprende un área superficial de 147.4 km², un perímetro de 67.9 km, abierta con dos ramales principales en su cabecera (NW-N y NE) y un cauce principal con una dirección predominante NE-SE.

Los parámetros de forma permiten establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una quebrada. Así, por ejemplo, el Factor de Forma (0.32) nos indica que la quebrada tiene forma alargada favoreciendo a los flujos rápidos; así mismo de acuerdo al coeficiente de compacidad (1.57), la quebrada tiene forma oval oblonga con tendencia a las crecidas.

Los parámetros de relieve representan la influencia del relieve sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración de la cuenca. Así, por ejemplo, la curva hipsométrica nos indica que la cuenca es una zona caracterizada por la deposición de sedimentos (ríos en etapa de vejez), la altitud media de la cuenca aportante es de 1818.8 m s.n.m. La pendiente media es 37.5% y del cauce principal es 3.8% lo que nos indica que los flujos tendrán alta velocidad en laderas y alta capacidad erosiva.

En cuanto a la densidad de drenaje (1.49) nos indica que la quebrada cuenta con un buen drenaje, predominando el flujo en ladera por sobre el flujo en cauce con volúmenes medianos de escurrimiento.

Adicionalmente, se calculó el tiempo de concentración, definido como el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la quebrada; en este sentido, transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la quebrada contribuye a la salida. El tiempo de concentración promedio calculado con las fórmulas de Kirpich, Temez y California Culverts (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC), fue de 103.6 min.

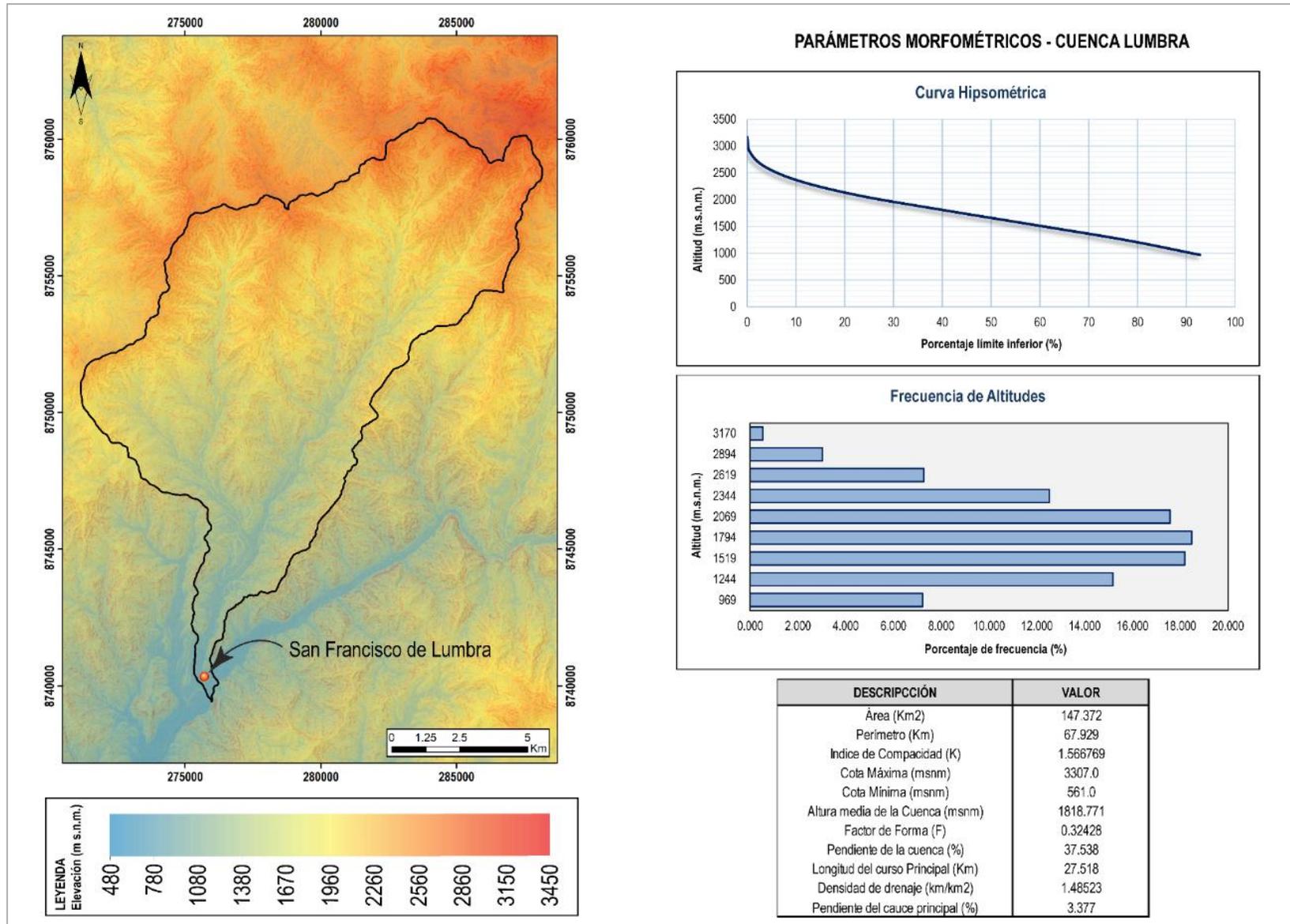


Figura 6. Parámetros morfométricos de la cuenca Lumbra.

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente, es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, como factor condicionante.

La zona media a alta de la cuenca está circundada por laderas de pendiente que varían entre 15° a 45° (catalogada como fuerte a muy fuerte), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. La zona media a baja y sobre la cual se asienta la población se conforma de pendientes que varían de 5° a 15° (catalogada como inclinación suave a moderado).

En el Mapa 02 del Anexo 1, se presenta el mapa de pendientes del terreno, elaborado en base a información de un modelo de elevación digital de 10.0 m de resolución generado a partir de Imágenes Satelitales SPOT proporcionados por el CNOIS-CONIDA y procesadas por Ingemmet. De acuerdo con el mapa, se resalta un rango de pendientes, resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre, cuyas características principales se describen en el cuadro 3:

Cuadro 3. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano (0.18%)	Se presentan en pequeños tramos como terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios, asociado a unidades como vertientes aluvio-torrenciales.
1°a 5°	Inclinación suave (2.57%)	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen a lo largo de fondos de quebradas y vertientes aluvio-torrenciales. En este rango se ubica principalmente la población del centro poblado San Francisco de Lumbra.
5°a 15°	Moderado (8.95%)	Terrenos con moderada pendiente, se ubican principalmente al pie de las laderas de montañas, quebradas, fondo de valle y cimas de montañas.
15°a 25°	Fuerte (20.18%)	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de quebradas y montañas.
25°a 45°	Muy Fuerte (67.43%)	Ocupan áreas muy extensas. Se presentan en laderas de lomadas y montañas. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de derrumbes.
>45°	Muy escarpado (0.69%)	Ocupa áreas muy reducidas, distribuidas a lo largo de laderas y cumbres de montañas.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización y determinación de unidades geomorfológicas (Mapa 03 del Anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019).

Teniendo las siguientes geoformas:

A) Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual (Villota, 2005).

4.3.1. Subunidad de montaña en roca intrusiva (M-ri):

Subunidad geomorfológica modelada sobre roca intrusiva del Batolito de la Costa. Cubren gran parte de la zona de estudio y se muestran afectadas por procesos tectónicos y erosivos; con laderas de pendiente variable (15° a 45°), caracterizada como fuerte a muy fuerte. La parte alta es disectada por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Lumbrá afluente a la zona de estudio (Figura 7).

Desde el punto de vista geodinámico, se producen caídas de rocas, derrumbes y flujos.



Figura 7. Vista de la subunidad de montañas modeladas en rocas intrusivas (M-ri), cuyas laderas presentan pendientes de fuerte a muy fuerte (15° - 45°) y disectada por la quebrada Lumbrá.

B) Unidad de Lomada

Corresponden a relieves con diferentes grados de disección; son de menor altura que una montaña (menor de 300 m desde el nivel base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16%. Esta unidad se geomorfológica, generalmente, se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas.

4.3.2. Lomadas en roca intrusiva (L-ri)

Corresponde a superficie formada en roca intrusiva intensamente meteorizado; además, presenta cimas redondeadas y laderas con pendientes que varían entre 5° a 25° (catalogada como suave a moderada).

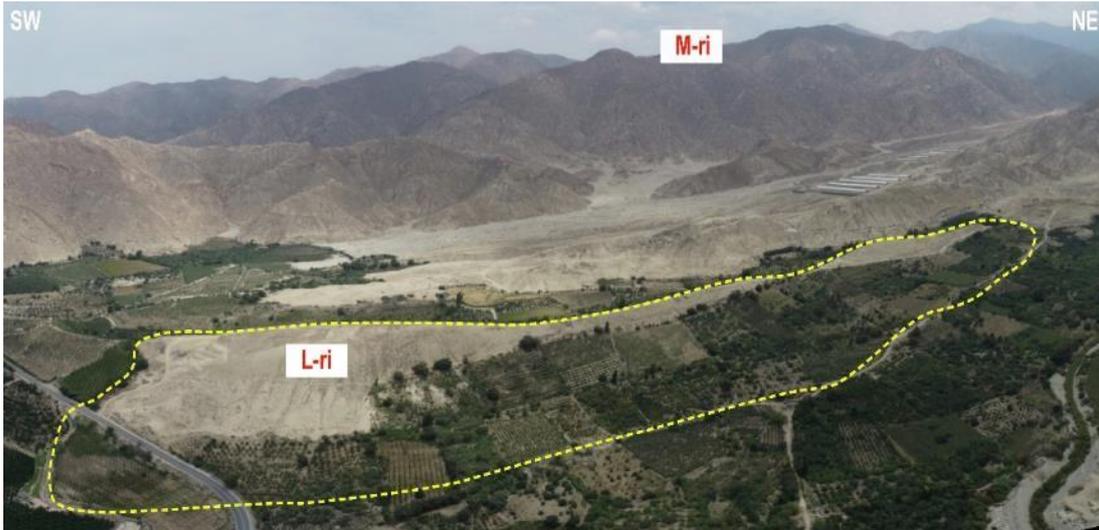


Figura 8. Vista de la subunidad de lomada en roca intrusiva con pendientes que varían entre 5° a 25°.

C) Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos pueden ocupar grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

4.3.3. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-pral)

Son planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de sistemas montañosos, formado por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, así como lluvias ocasionales excepcionales que se presentan en el área de estudio. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas y se asocian, principalmente, al fenómeno El Niño.

Esta unidad es susceptible a ser afectado por flujos de detritos (huaicos) se distribuye principalmente en las desembocaduras de las quebradas afluentes al río Chancay (Figura 9).

D) Unidad de Terrazas

Se identifican las siguientes subunidades:

4.3.4. Subunidad de terraza aluvial (T-a)

Son porciones de terreno alargado a ligeramente inclinado con pendiente del terreno entre 1° a 5° y altura relativamente marcada. Se encuentra en las márgenes del cauce del río Chancay; su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bloques, bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos). Está subunidad es susceptible a la erosión fluvial.

4.3.5. Subunidad de terraza fluvial (T-f)

Subunidad formada por la corriente actual de los ríos, litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.); conforma la llanura de inundación o el lecho del río Chancay (Figura 10).



Figura 9. Vista de la subunidad de vertiente aluvio-torrencial y sobre la cual se asienta el centro poblado San Francisco de Lumbrá.



Figura 10. Vista del valle del río Chancay, donde se puede distinguir las subunidades de terrazas fluvial y aluvial con pendientes ligeramente inclinadas (1° a 5°) y sobre la cual se desarrolla actividad agrícola. A sus flancos se puede apreciar laderas de fuerte pendiente.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a los subtipos de movimientos en masa (Mapa 4 del Anexo 1).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de los eventos geodinámicos se realizó con base en la información decampo mediante el cartografiado geológico y geodinámico, observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.10 y 0.05 m/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

El centro poblado San Francisco de Lumbrá se encuentra en una quebrada geodinámicamente activa, rellenado por materiales detríticos sueltos proveniente de las laderas, susceptible a ser erosionado y generar nuevos flujos de detritos, por ello se considera que sus cauces están sujetos a huaicos excepcionales (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro).

5.2. Flujo de detritos

De acuerdo con los testimonios de los pobladores, en la quebrada Lumbrá se detonaron flujos de detritos (huaicos) en los años 1983, 1993, y 2017 (producto del fenómeno del Niño), este último evento acarrió material de la quebrada afectando 8 viviendas ubicadas muy cerca del cauce principal, corrales de animales y áreas de cultivo frutales.

Las observaciones y trabajos de campo evidencian que el basamento rocoso intrusivo se encuentra muy fracturada con un notorio grado de meteorización (altamente meteorizadas), estos factores contribuyen a la acumulación de materiales coluviales y formando suelos arenosos. Estas rocas presentan una erosión peculiar de tipo esferoidal, por lo que tiende a formar en la ladera bloques sueltos subangulosos con diámetros de hasta 1.0 m (Figura 11).

Es así, que en el cauce de la quebrada se observa abundante material detrítico suelto producto de la meteorización de las rocas y de flujos antiguos, los cuales alcanzan dimensiones de hasta 3.0 m de diámetro, con formas subangulosas a subredondeadas por su escaso transporte de material (Figuras 12 Y 13).

Se presentan rasgos de hasta 4 eventos de flujos de detritos, diferenciados por el porcentaje de bloques, gravas, arenas y material fino, que han conformado terrazas de diferentes tamaños, entendiéndose que el flujo 1 históricamente corresponde al más antiguo y el 4 el más reciente. Adicionalmente el flujo de detritos registrado en el 2017 cubrió los eventos antes mencionados (Figura 14).

Por todas estas condiciones, de producirse lluvias excepcionales, se generaría un flujo de huaico que arrastraría un gran volumen de sólidos de material granular, lodo y bloques de roca de diferentes tamaños, constituyendo una amenaza frecuente para las viviendas ubicadas muy cerca del cauce principal, la seguridad de sus habitantes, vías de acceso y trochas carrozables del centro poblado San Francisco de Lumbrá.



Figura 11. Basamento rocoso muy fracturado y meteorizado que contribuye a la acumulación de materiales coluviales sueltos subangulosos al pie de la ladera y susceptibles a ser removidos con facilidad.



Figura 12. Bloques de roca subangulosos a subredondeados con diámetros de hasta 2.5 m, ubicados en el cauce principal de la quebrada Lumbrá. Las flechas entrecortadas moradas indican la dirección del flujo.



Figura 13. Vista de la gran cantidad de material suelto, de diferentes tamaños y susceptible en todo el ancho y largo de la quebrada Lumbrá. Las flechas entrecortadas moradas indican la dirección del flujo.

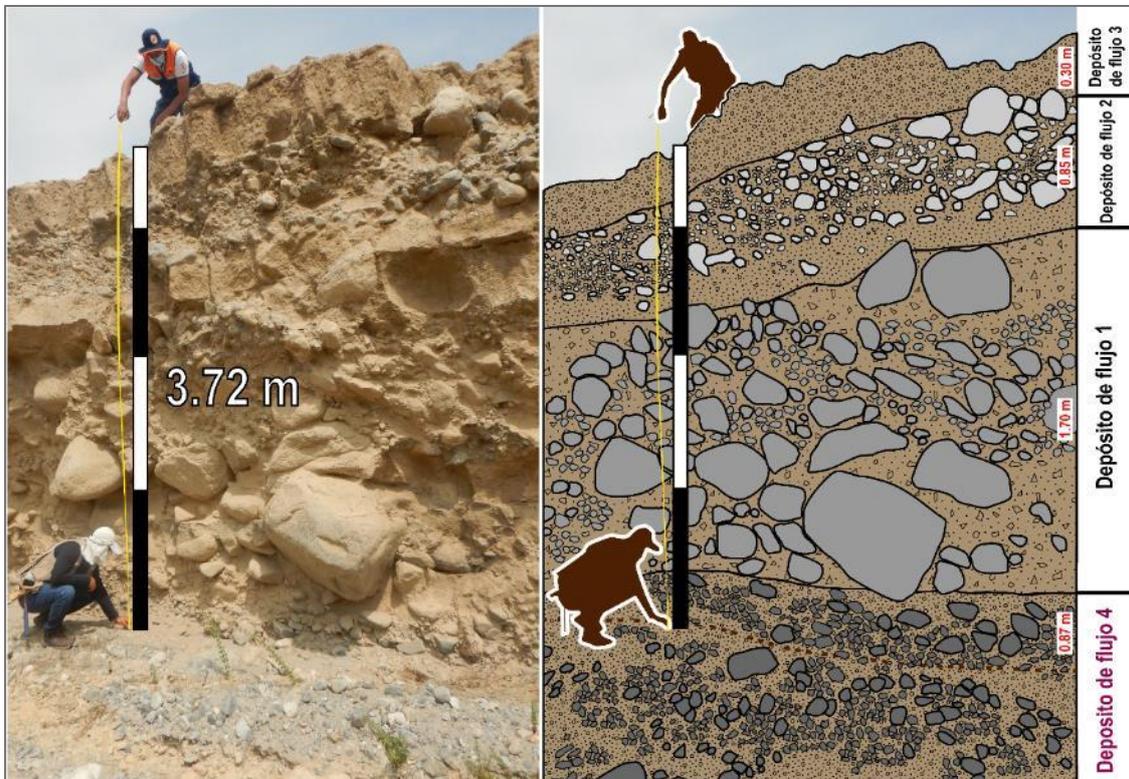


Figura 14. Representación gráfica que muestra el perfil de diferentes eventos de flujos de detritos (huaico), que conforman terrazas de distintas alturas en el cauce de la quebrada Lumbrá.

Depósito de flujo 1

Se encuentra a lo largo de la quebrada, corresponde a los depósitos más antiguos dejados por los flujos (huaicos), formando una terraza con altura de hasta de 1.70 m. Se caracteriza por presentar material de bloques y bolones de forma subanguloso con tamaños máximos de 1.0 m y mínimos de 0.10 m., envueltos en matriz de arenas y limos. Este depósito se relaciona con un evento extremo de lluvias que ha rellenado gran parte de la quebrada Lumbrá, y sobre estos se han originado nuevos eventos que han erosionado y depositado continuamente nuevos materiales detríticos (Figura 15).

Estos depósitos posiblemente llegaron hasta desembocadura del río Chancay, pero a través del tiempo los depósitos más recientes cortaron o cubrieron a esta unidad.



Figura 15. Evidencias de flujos de detritos más antiguos con bloques angulosos a subangulosos con diámetros entre 0.50 m y 0.10 m envueltos en matriz de arenas, limos y sobre el cual se han desarrollado nuevos eventos.

Depósito de flujo 2

Corresponde a flujos de detritos con predominancia de material grueso de tipo grava y arenas y en menor cantidad bloques y bolones con tamaños máximos de 0.30 m y mínimos de 0.02 m envueltos en abundante matriz de arenas de grano medio a grueso con contenidos de limos y arcillas, formando una terraza con altura de hasta de 0.85 m.

Se puede deducir que este evento corresponde a lluvias de intensidades medias a fuertes, llegando de igual forma hasta la desembocadura del río Chancay.

Depósito de flujo 3

Este depósito muestra una homogeneidad entre su contenido de material (arenas gruesas y medias con contenidos de limos y arcillas). Se podría inferir que estos eventos corresponden a una inundación de detritos desencadenados por lluvias prolongadas y menos intensas que removieron paulatinamente el material de la quebrada, generando terrazas bajas visibles de 0.30 m (Figura 16).



Figura 16. Evidencias de flujos 2 y 3. El depósito de flujo 2 presenta bloques angulosos a subangulosos con diámetros entre 0.18 m y 0.03 m envueltos en abundante matriz de arenas, limos y sobre el cual se deposita el depósito del flujo 3 de arenas gruesas a medias.

Depósito de flujo 4

Corresponde a los depósitos que han dejado los flujos recientes, donde predominan bloques y gravas con tamaños máximos de 0.25 m y mínimos de 0.04 m, envueltos en matriz de arenas y limos, sin embargo, en el cauce de la quebrada se puede distinguir bloques de hasta 3.0 m de diámetro producto de la erosión de los depósitos antes mencionados o de las laderas adyacentes.

Por la cantidad se puede deducir que corresponden a eventos generados por lluvias extremas de alta intensidad.

Evidencias de flujos recientes

Entre febrero y abril del 2017 producto de intensas lluvias desencadenadas por el fenómeno de “El Niño Costero” se registró la ocurrencia de flujos de detritos en la quebrada Lumbra, cuya zona de arranque corresponde a la parte alta de la cuenca del mismo nombre.

Debido a la recurrencia de estos eventos, en la margen izquierda de la quebrada, aproximadamente, en un tramo de 240 m, se colocó una barrera de contención de forma artesanal (material arrimado), con el fin de proteger a la población asentada en la parte baja. Este muro (Figura 17) está compuesto de material detrítico que acarreó la quebrada Lumbra en el evento de 1993; sin embargo, este no fue suficiente para impedir el ingreso de flujos de detritos del evento del 2017 que ocasionó la afectación de 8

viviendas ubicadas muy cerca del cauce principal, corrales de animales (Figura 18) y áreas de cultivo frutales.

Por último, se puede observar que el puente Lumbrá (anteriormente destruido en el fenómeno del niño del año 1983) presenta muros o enrocados que lo protegen ante posibles reactivaciones de flujos (Fotografía 3); así mismo, aguas más abajo se evidenció un canal de agua donde se registró marcas o huellas dejadas por el huaico de 1997 con alturas de flujo de hasta 2.8 m (Figura 19).



Figura 17. Material acarreado por el evento de 1993 que sirve como muro protección y construido de manera artesanal con el fin de proteger a la población.



Figura 18. Erosión del cauce principal entre 7.0 m a 9.0 m producto del último evento del 2017, que pone en riesgo una corral y viviendas próximas a la quebrada. La flecha entrecortada azul indica la dirección del flujo.



Fotografía 3. Vista del puente Lumbra, el cual fue reconstruido debido al fenómeno de El Niño del año 1983; ahora presenta enrocados que lo protegen ante posibles reactivaciones de flujos.



Figura 19. Huellas o marcas en los estribos de un canal de agua que según reportan los pobladores corresponde a las dejadas por el evento del año de 1997, donde se evidencia alturas de flujo de 2.8 m.

5.3. Simulación numérica

El material detrítico en adición con el caudal líquido genera un tipo de flujo denominado “No Newtoniano” (mezcla de sólido y líquido) que dependiendo de la concentración de sus componentes se mueve a cierta velocidad y con determinados tirantes (alturas) aguas abajo hasta que pierde su capacidad de transporte, todo esto ocasiona el arrastre y el depósito de material detrítico en el área de estudio.

Con el fin de conocer las características del comportamiento de un flujo de detritos (huaico) en la quebrada Lumbrá, se realizó un modelamiento numérico con el software FLO-2D, para dos tiempos de retorno de 50 años (Tr:50) y 100 años (Tr:100). Los aportes de agua y sedimento son considerados de los afluentes tributarios a esta.

a. Condiciones de entrada

Las siguientes condiciones de entrada son empleados para la simulación:

- Se utilizó registros de precipitación pluviométrica (máxima de 24h) de la estación Huayan-Senamhi para un periodo de 51 años (1963-2014).
- La información topografía utilizada se generó a partir de un modelo de elevación digital de 10 m/pix de resolución; el cual fue generado a partir de Imágenes Satelitales SPOT proporcionados por el CNOIS-CONIDA y procesadas por Ingemmet.
- Sobre esta información, se delimitó el área a simular, el cual comprendió desde el sector de Repartición y toda la extensión de la quebrada Lumbrá incluyendo la zona urbana probablemente afectada hasta antes de llegar al río Chancay; obteniendo un área total de simulación de 4.25 km².
- Se asignó un valor de número de curva de 0.85% a toda la quebrada.
- Para la creación del histograma de avenidas máximas se utilizó el software HEC-HMS, con la metodología del Soil Conservation Service (SCS), con caudales pico estimados de 16.6 m³/s y 24.4 m³/s para tiempos de retorno de 50 y 100 años respectivamente (Figura 20).
- Se generó una malla computacional con celdas de 10 m x 10 m cada una.
- El hidrograma de caudal líquido se colocó como condición de entrada ubicada aguas arriba de la quebrada (sector Repartición).
- Se asignó celdas de salida ubicadas al final del dominio computacional, con el fin que el flujo simulado no se estanque donde la información topográfica borde el límite de la zona de simulación, así el programa interpretará que no existe un impedimento para que el flujo se acumule y continúe fluyendo.
- Se asignó un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.040 para el cauce principal, 0.015 para zonas urbanas y 0.055 para zonas aledañas.
- Se consideró una concentración de sólidos (Cv) máxima de 0.45.
- El tiempo de simulación fue de 30 horas.

- Los parámetros reológicos del fluido se fijaron en función de la ecuación cuadrática de O'Brien, (O'Brien, J. and Julien, P., 1988).

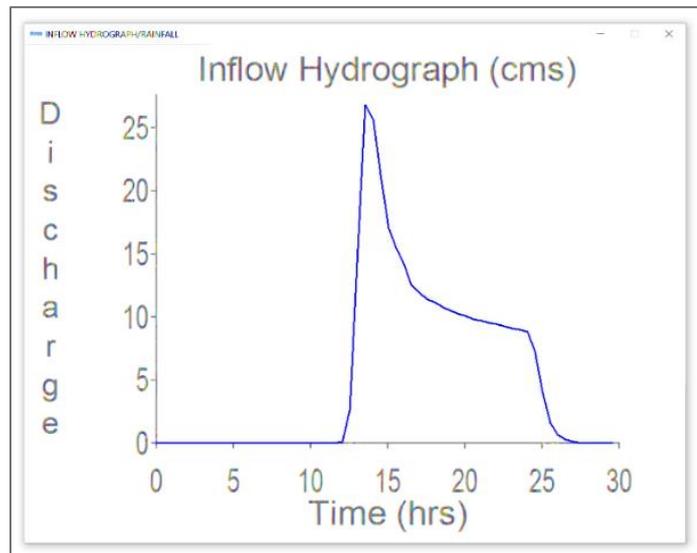


Figura 20. Hidrograma líquido para un Tr:50 años, usado en el modelamiento numérico Flo2D.

b. Análisis de resultados

La simulación de flujos de detritos se realizó de acuerdo a dos escenarios principales, propuesto de acuerdo a la realidad geodinámica que presenta la quebrada, la concentración volumétrica de sedimentos y teniendo en cuenta los caudales máximos para cada periodo de retorno:

- Resultados para Tr:50 años

Este primer escenario consistió en la simulación de un flujo de detritos con un caudal líquido máximo de 16.6 m³/s y una concentración volumétrica de sedimentos con un pico máximo de 45%, con las siguientes características:

- El modelo reporta tirantes máximos (altura de flujo) de hasta 5.20 m en zonas puntuales, pero en general el valor promedio en el cauce de la quebrada es de 1.65 m, disipándose a 0.75 m en la desembocadura con el río Chancay.
- Las velocidades del flujo en el cauce de la quebrada fluctúan desde máximos de 3.05 m/s en zonas puntuales de mayor pendiente y mínimos de 1.8 en la desembocadura con el río Chancay, pero en general el valor promedio varía entre 1.8 m/s a 2.2 m/s.
- El modelo indica el desborde del flujo en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X: 275834.24 m, Y: 8741949.48 m y X: 275668.79 m, Y: 8740842.64; el cual afectaría parte de la población del centro poblado San Francisco de Lumbra.
- En la zona urbana el modelo reporta tirantes máximos entre 1.40 m a 0.5 m con velocidades que fluctúan entre 0.65 m/s a 0.3 m/s, para finalmente mantenerse casi constantes en 0.02 m/s.
- El volumen de entrada líquido total es de 379018.841 m³, y la concentración de mezcla agua/sedimento es de 569 597.471 m³.

- La simulación muestra la afectación directa de ~34 ha agrícolas, incluido las viviendas que se encuentran cerca del cauce principal, entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas, así como, el puente Lumbrá, 4.5 km lineales de trocha carrozable y 300 m de la red vial nacional Huaral -Acos (Figura 21).

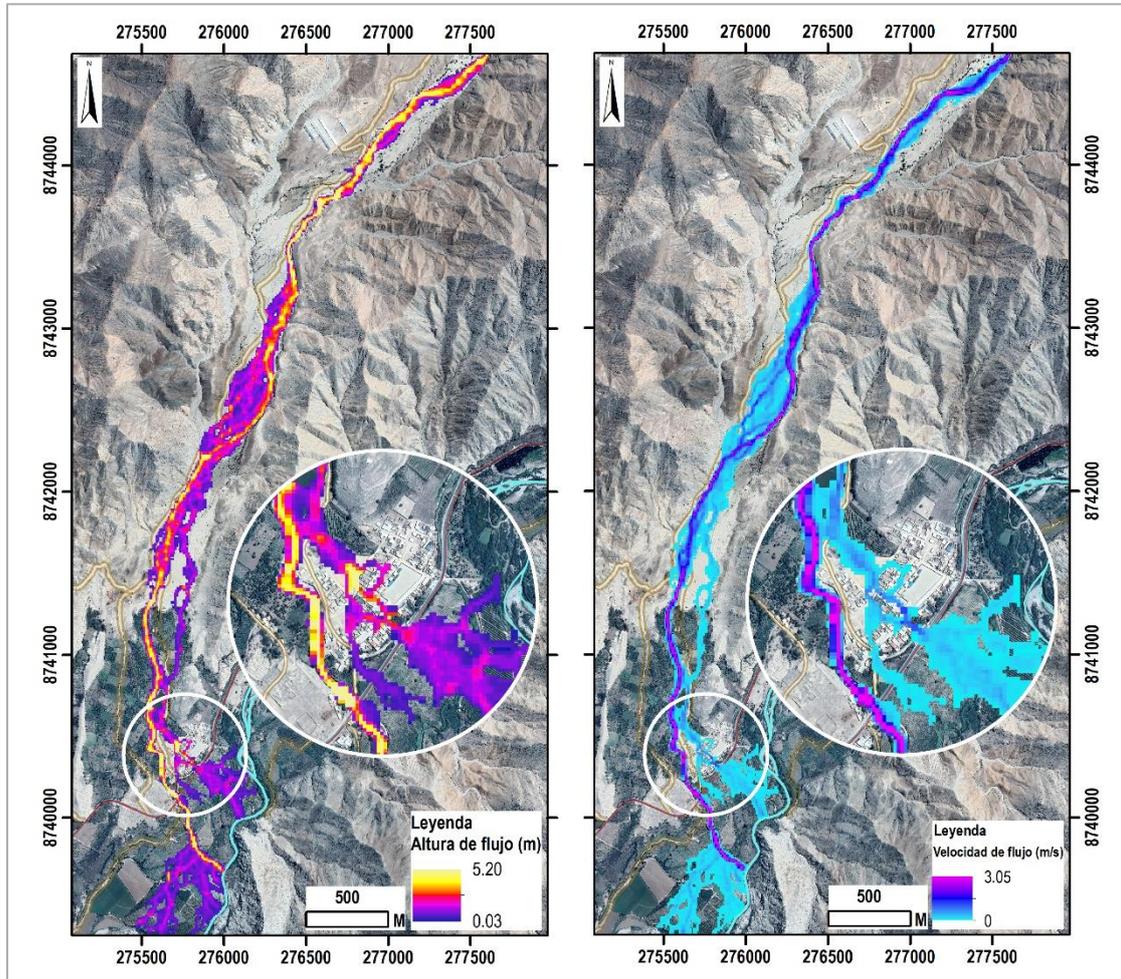


Figura 21. Mapa de altura de flujo (izquierda) y velocidades máximas (derecha), obtenidos de la simulación de flujos de detritos para un tiempo de retorno de 50 años. Se distingue la afectación de las viviendas que se encuentran próximas del cauce principal, entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas.

- Resultados para Tr:100 años

El segundo escenario consistió en la simulación de un flujo de detritos con un caudal líquido máximo de 24.4 m³/s y una concentración volumétrica de sedimentos con un pico máximo de 45%, con las siguientes características:

- El modelo reporta tirantes máximos (altura de flujo) de hasta 4.50 m en zonas puntuales, pero en general el valor promedio en el cauce de la quebrada es de 1.40 m, disipándose a 0.70 m en la desembocadura con el río Chancay.
- Las velocidades del flujo en el cauce de la quebrada fluctúan desde máximos de 3.53 m/s en zonas puntuales de mayor pendiente y mínimos de 1.9 m/s en la desembocadura con el río Chancay, pero en general el valor promedio varía entre 2.2 m/s a 3.0 m/s.

- El modelo indica el desborde del flujo en las coordenadas UTM, WGS 84, 18s, X: 275897.74 m, Y: 8742057.43 m y X: 275624.34 m, Y: 8740914.61; el cual también afectaría parte de la población el centro poblado San Francisco de Lumbrá.
- En la zona urbana el modelo reporta tirantes máximos entre 1.60 m a 0.70 m con velocidades que fluctúan entre 0.85 m/s a 0.5 m/s, para finalmente mantenerse casi constantes en 0.05 m/s.
- El volumen de entrada líquido total es de 538 318.670 m³, y la concentración de mezcla agua/sedimento es de 810 395.698 m³.
- La simulación muestra la afectación directa de ~41.5 ha agrícolas, incluido las viviendas que se encuentran próximas del cauce principal, entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas, así como, el puente Lumbrá, 4.65 km lineales de trocha carrozable y 320 m de la red vial nacional Huaral -Acos (Figura 22).

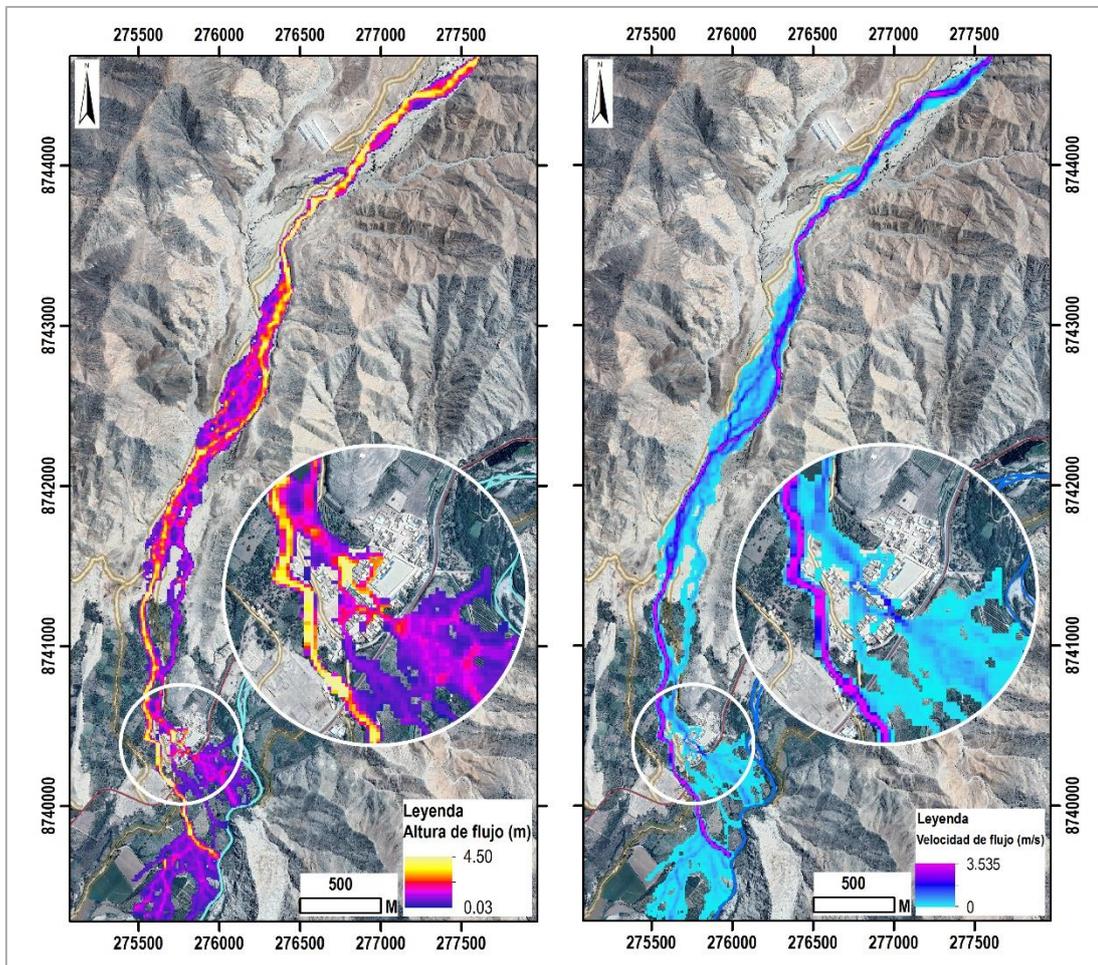


Figura 22. Mapa de altura de flujo (izquierda) y velocidades máximas (derecha), obtenidos de la simulación de flujos de detritos para un tiempo de retorno de 100 años. De igual forma se distingue la afectación de las viviendas que se encuentran cerca del cauce principal, entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas.

5.4. Factores condicionantes

Las causas principales están relacionados a los siguientes factores:

Factor litológico

- Substrato rocoso compuesto por rocas intrusivas (tonalitas, granito, granodiorita, monzogranito y dioritas) que forman parte del Batolito de la Costa; estas rocas se encuentran muy fracturadas y altamente meteorizadas, que van generando depósitos coluvio-deluviales que se adosan a las laderas, circunscriben la quebrada, y son susceptibles a procesos de erosión y transporte ante precipitaciones pluviales intensas.
- Presencia de depósitos proluviales encauzados y a lo largo del cauce de la quebrada, corresponden a material detrítico no consolidado, fácilmente erosionable con diámetros de hasta 3 m, que se disponen a lo largo de toda la quebrada.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas en rocas intrusivas, con laderas de pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
- Quebrada Lumbrá con una pendiente media de 37.5% y en su cauce principal de hasta de 3.4%. Esta configuración de pendientes, favorecen el incremento de velocidad en la parte alta de la quebrada y depositación de material en la parte baja.

Factor antrópico.

- Ocupación inadecuada del terreno, con presencia de viviendas muy cercanas del cauce principal, ocupando áreas vulnerables (Figuras 23, 24 y 25).

5.5. Factores detonantes o desencadenantes

- El principal factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Lumbrá serían las precipitaciones excepcionales con lluvias intensas y/o prolongadas (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro) con incidencia en las cabeceras de las quebradas del sector mencionado. Se tiene un registro histórico de la estación Huayan-Senamhi para un periodo de 50 años (1964-2014), donde se muestra que la precipitación máxima diaria puede llegar a umbrales de 15.8 mm (Figura 26).



Figura 23. Presencia de viviendas ubicadas al borde del cauce principal, a solo 5.0 m de distancia.



Figura 24. Viviendas ubicadas en la margen izquierda del cauce principal, a solo 17.8 m de distancia.



Figura 25. Viviendas ubicadas cerca del cauce principal de la quebrada Lumbrá y expuestas ante posible venida de flujo de detritos desencadenado en temporadas de precipitaciones excepcionales intensas y/o prolongadas (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro).

REGISTRO HISTÓRICO ESTACIÓN HUAYAN													
Estación :	HUAYAN										Dpto.	LIMA	
Parámetro :	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)										Prov.	HUARAL	
Tipo :	Meteorológica										Dist.	HUARAL	
	Longitud : 77°7'19.22" "W"												
	Latitud : 11°27'10.11" "S"												
	Altitud : 346 m.s.n.m.												
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁXIMO
1964	0.3	0.4	1.9	0.1	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	0.1	1.9
1965	0.3	0.2	0.6	0	0.6	0.2	0	0	2	0.5	0.1	0.3	2.0
1966	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.6	0.2	15.8	0.5	0	15.8
1967	4.5	2	0	0	0	0	5.1	0.9	0.6	0	0	0	5.1
1968	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	1.0
1969	0	0	0	0		0.4	0.8	2.2	0	0	0	0	2.2
1970	14	5.2	0	0	0	1.8	1.7	0	1.4	0	0	0	14.0
1971	0.4	0.1	0	0.5	0	10.4	1	10.8	0	0.3	0.2	1	10.8
1972	0	3.5	3	0.5	0	0	0	1.6	0.8	0	6	6	6.0
1973	3	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.0
1974	0.4	1.5	1.1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4.0
1975	0	3.6	0	0	0.01	0.7	0.5	0.3	0	0	0	0	3.6
1976	2.5	3	0.3	0	1	1.5	0.5	1.5	1.2	0	0	0	3.0
1977	0	0.8	0	0	0	0	0.6	0	2	0	0.1	0	2.0
1978	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6
1979	0	0	11.9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11.9
1980	0	0	0	0	0.2	0.6	0	0	0	0	0	0	0.6
1981	2	0.1	0.2	0	0	0	0	3	0	0	1.5	0	3.0
1982	0	1.8	0	0	0.6	0	0.6	0	0	0	0	0	1.8
1983	0.6	1	2.6	0.5	0	0	1.8	0	0	0	0	0.1	2.6
1984	0	3.5	1	0	0.6	0	0	0.1	1.7	0	0	0.2	3.5
1986	0	0.3	0.4	0	0	0	0	0.01	0.1	0	0	5.8	5.8
1987	2.5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0.6	4.0
1988	4.2	0	0	0	0	0	0	2.5	0.1	0.01	0	0.1	4.2
1989	0	10	0	0	0	0	0.01	0.2	0	0.2	0	0	10.0
1990	0	0	0	0	0	2	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	5.4	5.4
1991	0.01	0	0.01	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0	0.6
1992	0	0	0	0.01	0	0.2	0.9	0	0	0.1	0	0	0.9
1993	0	0	0	0	1	0.4	0.6	0	0	0	0	0.01	1.0
1994	0.4		0	0.01	0.5	0.5	0	0.1	0	0.2	0.4	0	0.5
1995	0	0	1.3	0.01	0.01	0.01	1	0.3	0.5	0.01	0.01	0	1.3
1996	0	0	6.8	0.1	0	0.5	0.5	0.4	0.1	0.01	0.1	0.01	6.8
1997	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.6	0.1	1.6	0	2	2.0
1998	2	4.8	4.7	0	0.5	0.8	1	1.2	0.5	0.1	0.1	0	4.8
1999	2.9	5.2	0.9	0.1	0	1	0.5	0.3	0.4	0	1.4	0	5.2
2000	1.8	0.7	0.3	0	0.3	0.5	0.9	0.4	0.2	0.1	0	0.5	1.8
2001	2.7	1.4	0.8	0.2	1	0.6	0.8	0.3	0.2	0	4.8	0.1	4.8
2002	0	36.7	0.1	0.5	0.1	0.7	0.9	0.7	0.6	0.9	0.4	0.2	36.7
2003	1.4	0.6	0.6	0	0	0.4	0.7	1.1	1.1	0	0	1.1	1.4
2004	0	0	0	0	0	0	0.9	0.2	0.4	0	0.4	0.3	0.9
2005	0.1	0	0	0	0.6	0.5	0.4	0.3	1.1	0	0	0.1	1.1
2006	0.9	0.2	0.9		0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.9
2007	0				0	0	0.5	1.5	0.3	0	0	0	1.5
2008	0	0	1	0	0.5	1	0.7	1.1	1.2	0.6	1.7	0.6	1.7
2009	1	2.8	1.5	0.5	0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6	2.8
2010	1	0.2	0.4	0.5	1	0.6		0.2	0.3	0.3	0.1	0.8	1.0
2011	0.6	1	1.4	0.9	0.3	2.4	1.2	1.3	1.5	0.4	0.1	0	2.4
2012	0	3.5	2.4	0	0.5	1.5	1.6	1.7	0.5	0.4	0.2	1.4	3.5
2013	0	0.2	2.6	0	0.6	1.2	0.5	0.5	0.6	0.1	0.4	0	2.6
2014	0.7	0	3.3	0.1	0.5	1	1						3.3
PROMEDIO	1.0	2.0	1.1	0.1	0.3	0.7	0.7	0.9	0.4	0.5	0.4	0.6	4.4
DESV. EST.	2.2	5.5	2.1	0.2	0.3	1.5	0.9	1.7	0.6	2.3	1.1	1.4	5.8
MÁXIMO	14.0	36.7	11.9	0.9	1.0	10.4	5.1	10.8	2.0	15.8	6.0	6.0	36.7
MÍNIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
N° Datos	50	48	49	47	47	50	49	49	49	49	49	49	50

: Sin Dato

FUENTE: SENAHMI

datos de precipitaciones maximas diarias del SENAHMI. Disponible en: <https://www.senahmi.gob.pe/?&p=estacione>

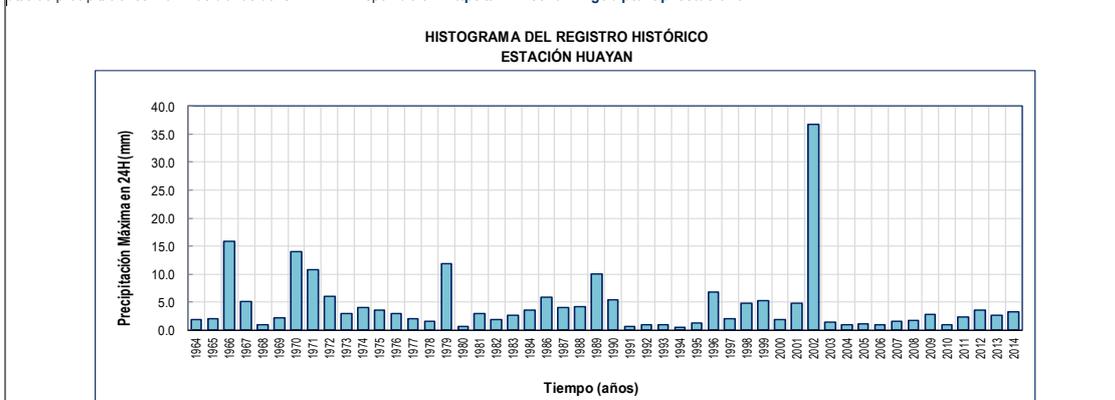


Figura 26. Registro e histograma histórico de la estación Huayan-Senamhi para un periodo de 50 años (1964-2014), el color rosado se muestra incrementos extremos de precipitación y el color celeste los años registrados como “El Niño”. **Fuente:** SENAHMI

6. CONCLUSIONES

- 1) La quebrada Lumbrá, presenta evidencias y antecedentes de presencia de flujos de detritos (huaicos) detonados principalmente con lluvias extraordinarias, relacionadas al fenómeno de “El Niño”, siendo el más reciente, el del año 2017, que afectó 8 viviendas del centro poblado San Francisco de Lumbrá, corrales de animales y áreas de cultivo frutales, ubicados muy cerca del cauce principal.
- 2) El centro poblado San Francisco de Lumbrá se sitúa en la desembocadura de esta quebrada, geodinámicamente activa, la cual además se encuentra rellena y /o circundada por abundante material suelto proveniente de sus laderas y eventos de flujos antiguos. La disposición de este material detrítico es susceptible a ser erosionado y generar nuevos flujos de detritos, por ello se considera que sus cauces están sujetos a huaicos excepcionales.
- 3) Basándose en una simulación numérica para dos tiempos de retorno de 50 y 100 años, se determinó la probabilidad de activación de la quebrada con caudales máximos de 16.6 m³/s y 24.4 m³/s, el cual generaría un flujo de detritos con tirantes máximos de 4.85 m y velocidades máximas de 3.29 m/s en el cauce de la quebrada; y tirantes máximos entre 0.6 m a 1.1 m con velocidades que fluctúan entre 0.75 a 0.4 m/s en la zona urbanas.
- 4) De generarse un flujo de detritos, afectaría entre 34 a 41.5 hectáreas agrícolas, incluido parte de las viviendas del centro poblado San Francisco de Lumbrá, ya que se encuentran ubicadas cerca del cauce principal; estructuras del puente Lumbrá, 4.65 km lineales de trocha carrozable y 320 m de la red vial nacional Huaral-Acos.
- 5) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, tipo flujo de detritos, está condicionada por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso intrusivo del Batolito de la Costa fuertemente fracturados y altamente meteorizados que origina depósitos coluviales sueltos adosados a las laderas que circunscriben la quebrada y son susceptibles a procesos de erosión y transporte ante precipitaciones pluviales intensas.
 - Presencia de depósitos proluviales, conformado por material detrítico no consolidado fácilmente erosionable con diámetros de hasta 3 m, que se disponen a lo largo de toda la quebrada.
 - Laderas de montañas que circunscriben la quebrada afluente, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Así mismo la pendiente del cauce principal de 3.4% que favorece el incremento de velocidad en la parte alta de la quebrada y depositación de material en la parte baja.
- 6) El factor desencadenante para la ocurrencia de flujos de detritos en la quebrada Lumbrá se atribuye a precipitaciones de carácter extraordinario y/o prolongadas; cuyo registro histórico en la estación Huayan del Senamhi (1964-2014), muestra que la precipitación máxima diaria puede llegar a picos a 36.7 mm.

- 7) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas, el centro poblado San Francisco de Lumbra y su quebrada afluente, se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujos de detritos, los cuales pueden ser desencadenados en temporadas de precipitaciones excepcionales con lluvias intensas y/o prolongadas (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro) con incidencia en las cabeceras de las quebradas del sector mencionado.

7. RECOMENDACIONES

- 1) Reubicar viviendas que se encuentren próximas del cauce principal de la quebrada Lumbrá (entre 50 m a 80 m) principalmente las que se localicen entre las calles San Antonio, San Gerónimo, Fátima, Rosas y Orquídeas (Figura 25) (Referencia según plano catastral del centro poblado San Francisco de Lumbrá, Municipalidad Provincial de Huaral).
- 2) Implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos (huaicos), estos pueden ser la construcción de diques transversales - disipadores o muros de roca (enrocado) usando el material presente en la quebrada y diques (Ver anexo 2: Medidas de prevención y mitigación); estos apoyarán en la retención de material detrítico y reducción de la velocidad de flujos, los cuales disiparán la energía de estos eventos.
- 3) Realizar trabajos de descolmatación y limpieza del cauce de la quebrada Lumbrá (especialmente después de épocas de avenida), el cual permitirá que este retorne a su curso, evitando procesos de erosión fluvial; esto se debe complementar con la construcción de defensas ribereñas con muros o gaviones a lo largo de la zona afectada, específicamente en la margen izquierda de la quebrada.
- 4) Proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para flujos, con los respectivos sensores y sistemas de comunicación – alarma, que avise con antelación a la población que vive en el cauce de la quebrada y zonas aledañas, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones del caso y salvaguardar sus vidas.
- 5) Se debe restringir la expansión urbana hacia el cauce actual de la quebrada, así como prohibir la construcción de viviendas a zonas aledañas a sus márgenes, por ser una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa, por flujos de detritos.
- 6) Todas las medidas estructurales deberán ser realizadas por un especialista en el tema, teniendo en cuenta cálculos hidrológicos y geotécnicos, que determinen, las características ingenieriles de cada una.
- 7) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentran expuestos el centro poblado San Francisco de Lumbrá.



Ing. NORMA LUZ SOSA SENTICALA
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

ANA (2016). Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables de la quebrada Lumbrá, centro poblado Lumbrá, departamento de Lima. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5744>.

Cobbing, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta. Lima, Servicio de Geología y Minería, Boletín N°26, Serie A: Carta Geológica Nacional (Escala 1:100 000), 171p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/144>.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: Colombia, 308p.

Dávila, S., Celi, C., (1994). Estudio geodinámico de la cuenca del río Chancay - Huaral: Departamento de Lima. Lima, Ingemmet, Boletín N°12, Serie C: Geodinámica, 134 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/267>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.

O'Brien, J. and Julien, P., (1988) "Laboratory Analysis of Mudflow Properties", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(8), 877-887

Ochoa, M., Nuñez, S., Moreno, J., Gómez, D., Medina, L., Vílchez, M., Rodríguez, R., Lara, J., Fabian, C., & Sosa, N. (2017) - Evaluación geológica de las zonas afectadas por El Niño Costero 2017 en las regiones Lima – Ica. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A6768, 121 p. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12544/818>.

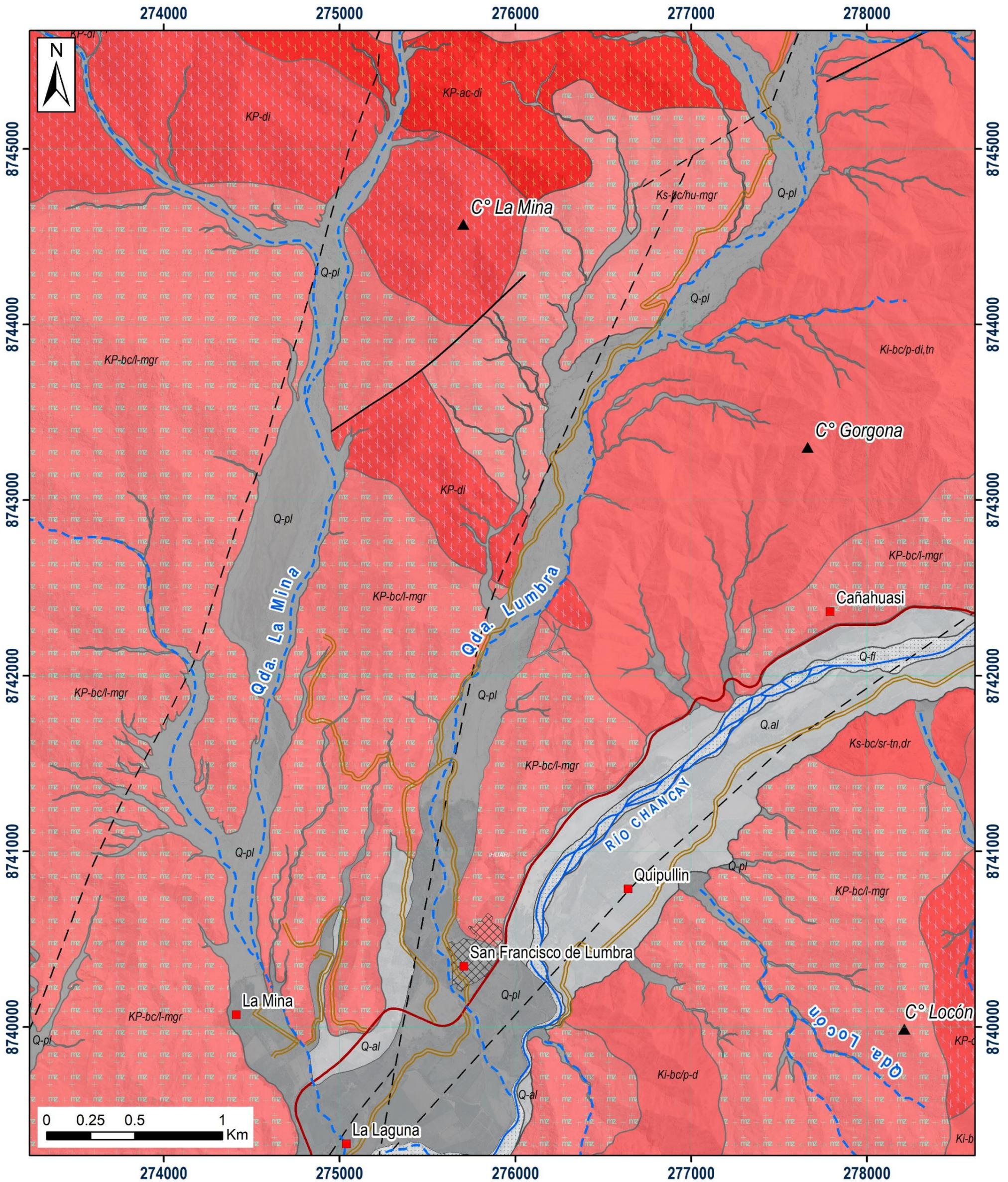
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: Mayo 2022). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica, SENAMHI (2020) – Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2185020/Climas%20del%20Per%C3%BA%3A%20Mapa%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica.pdf>.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA

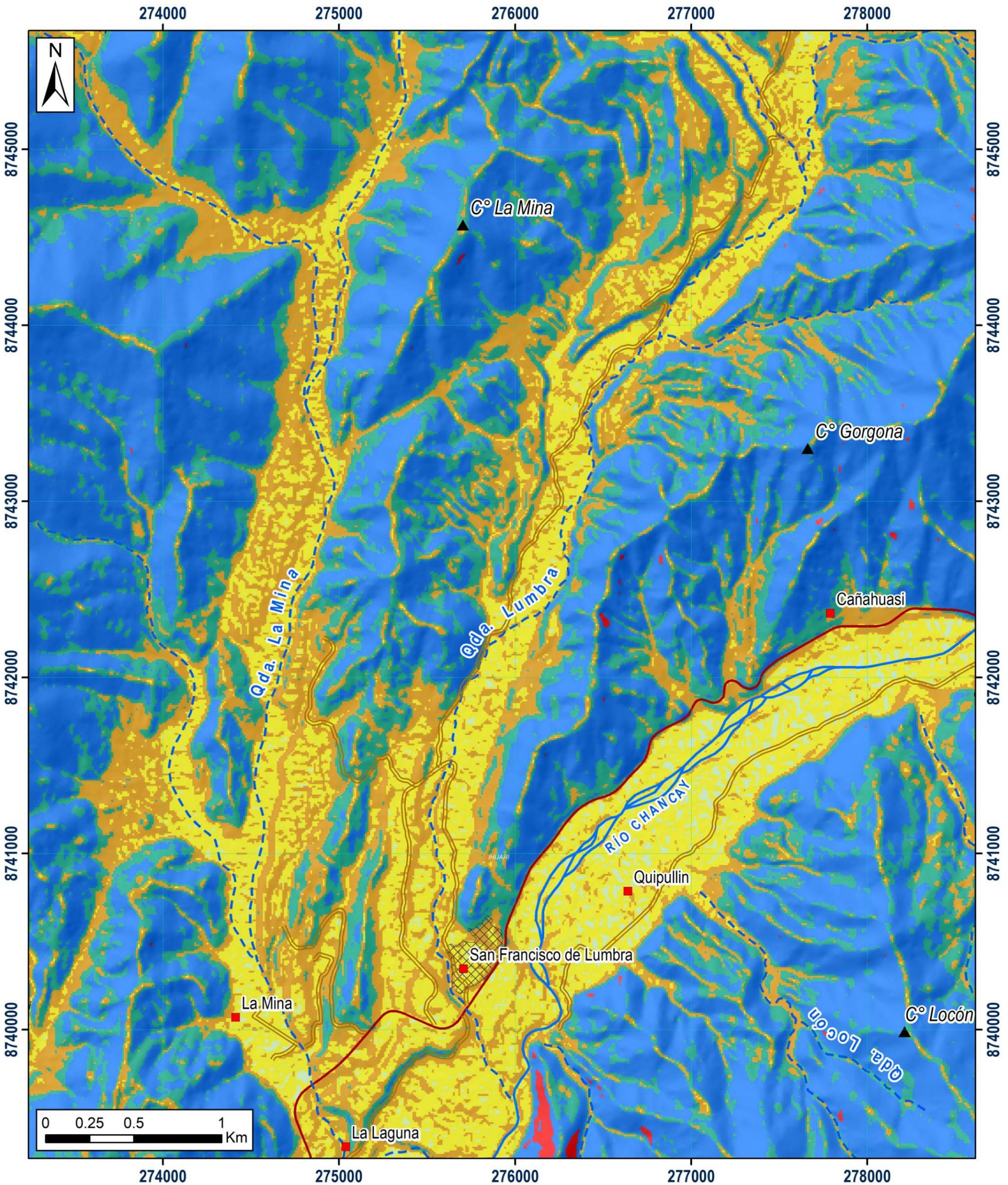
Q-al	Depósito aluvial	KP-bc/l-mgr	Super unidad Larchay
Q-fl	Depósito fluvial	Ks-bc/hu-mgr	Super unidad Humaya
Q-pl	Depósito proluvial	Ks-bc/sr-tn,dr	Super unidad Santa Rosa
KP-di	Diorita	Ki-bc/p-di,tn	Super unidad Paccho
KP-ac-di	Acarí - diorita		

—	Falla normal	- - -	Falla inferida
---	--------------	-------	----------------

SIMBOLOGÍA

■	Centros poblados
▲	Cerros
▣	Área urbana
- - -	Quebradas
—	Río
—	Trocha carrozable
—	Red vial nacional

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO LIMA PROVINCIA HUARAL DISTRITO HUARAL		
GEOLÓGICO		
Escala: 1/20,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Mayo, 2022	



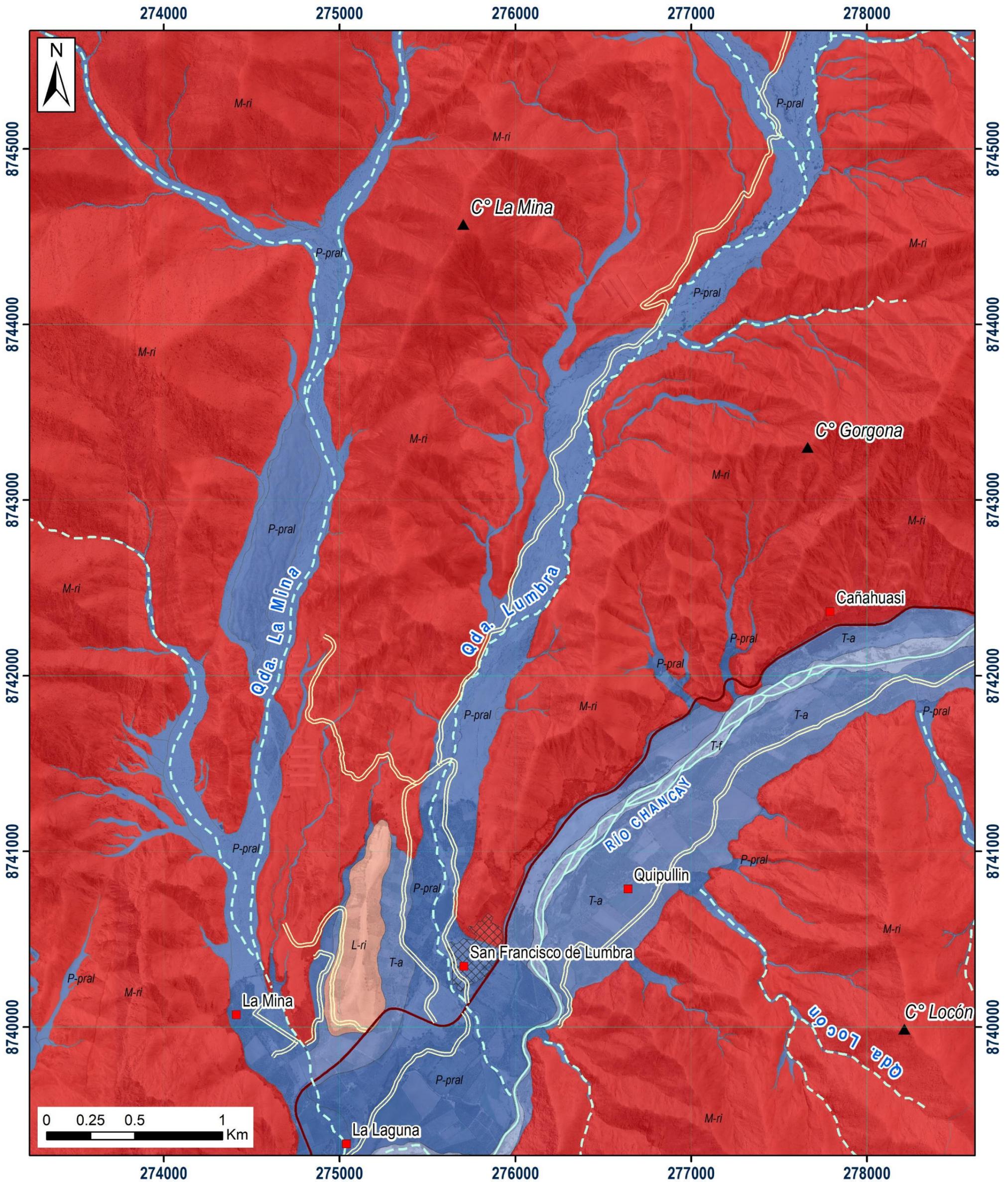
RANGO DE PENDIENTES

0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA

■	Centros poblados
▲	Cerros
▣	Área urbana
- - -	Quebradas
—	Río
—	Trocha carrozable
—	Red vial nacional

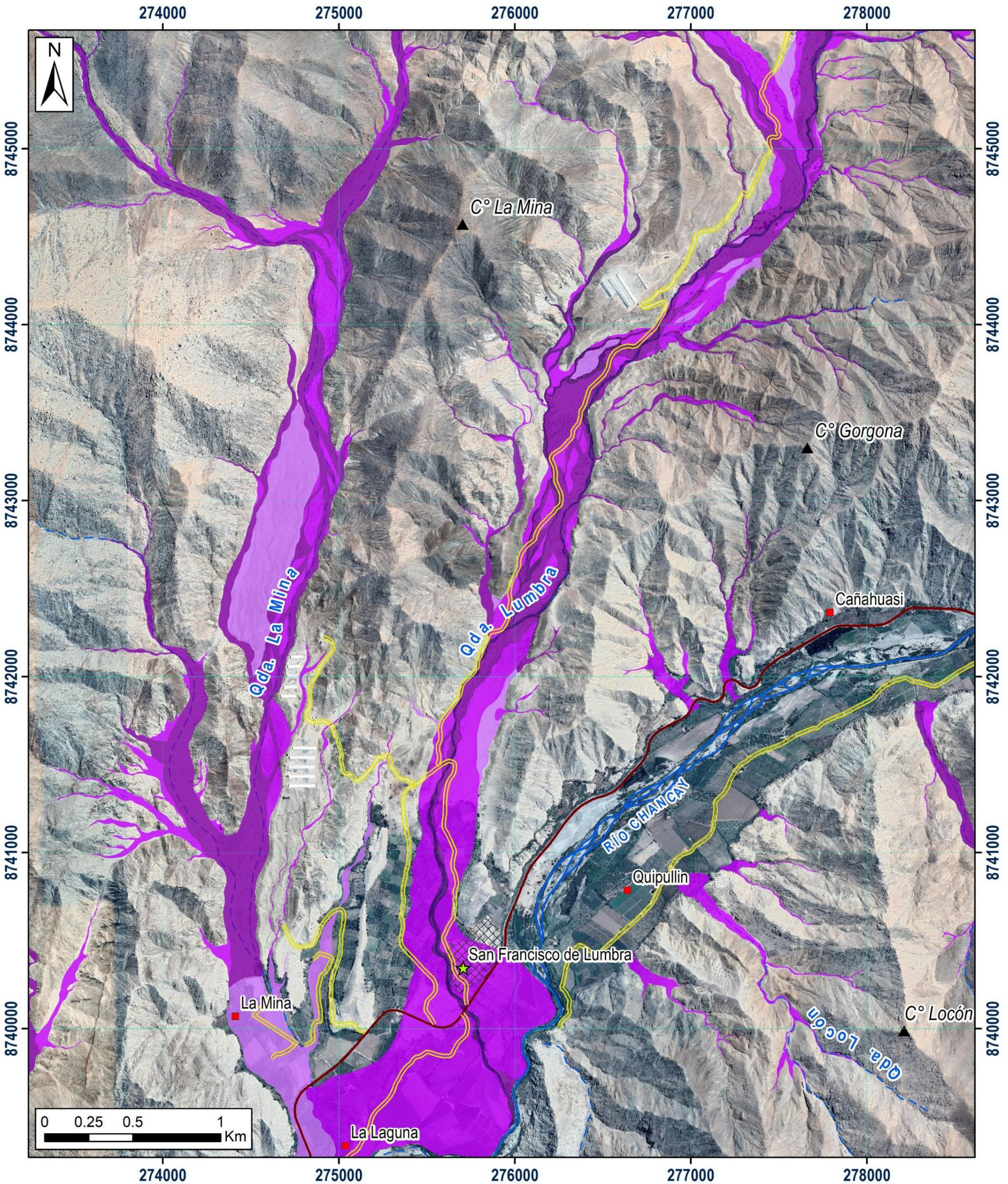
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO LIMA PROVINCIA HUARAL DISTRITO HUARAL		
PENDIENTES DE LOS TERRENOS		
Escala: 1/20,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Mayo, 2022	



LEYENDA	
M-ri	Montaña en roca intrusiva
L-ri	Lomada en roca intrusiva
P-pral	Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
T-a	Terraza aluvial
T-f	Terraza fluvial

SIMBOLOGÍA	
■	Centros poblados
▲	Cerros
▣	Área urbana
- - -	Quebradas
—	Río
—	Trocha carrozable
—	Red vial nacional

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO DEPARTAMENTO LIMA PROVINCIA HUARAL DISTRITO HUARAL		
GEOMORFOLÓGICO		
Escala: 1/20,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Mayo, 2022	



LEYENDA	
	Flujo de detritos reciente 4
	Flujo de detritos antiguo 3
	Flujo de detritos antiguo 2
	Flujo de detritos antiguo 1

SIMBOLOGÍA			
	San Francisco de Lumbra		Área urbana
	Centros poblados		Quebradas
	Cerros		Río
	Red vial nacional		Trocha carrozable

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO LIMA PROVINCIA HUARAL DISTRITO HUARAL		
PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
Escala: 1/20,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Mayo, 2022	

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. TRABAJOS PARA DISMINUIR LOS IMPACTOS DE FLUJOS.

Dentro de la alternativa para el control de huaicos se encuentran las medidas estructurales, son aquellas medidas tácticas o ingenieriles, que se encuentran orientadas a la construcción de obras o métodos manuales ejecutados por el hombre, con el objetivo de prevenir o mitigar los desastres ocasionados por el huaico. Dentro de las medidas se puede encontrar:

Construcción de presas contenedoras (chek dams): Se requiere de una estabilización en la zona de inicio de flujos detríticos, con la finalidad de estabilizar y disminuir la carga de material de los posibles flujos que se puedan generar, esto se puede lograr con la construcción de este tipo de presas.

Según VanDine (1996), en la zona de transporte se construyen presas contenedoras en serie, con el fin de disminuir la pendiente en forma local y minimizar la erosión en el fondo y laderas del cauce (Figura 27).

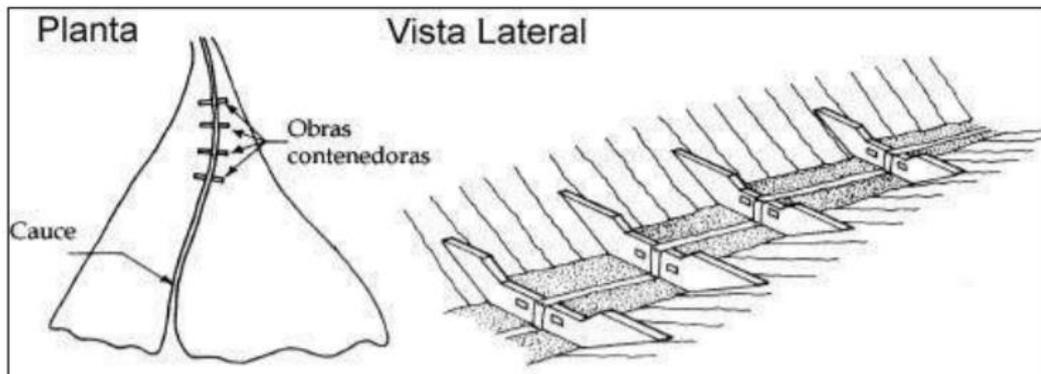


Figura 27. Esquema de ubicación y función de presas contenedor ("check dams") (VanDine, 1996).

Presas impermeables o del mismo tipo que las utilizadas como presas contenedoras o consolidadoras, también son utilizadas como obras de almacenamiento. El diseño de estas presas consiste en retener gran parte de los sedimentos arrastrados por un aluvión, de esta manera, al entrar el flujo al pie de la ladera, la concentración de sedimentos es lo suficientemente baja como para no causar daños y ser conducido sin mayores problemas (Electrowatt, 1995). Estas obras deben ser mantenidas constantemente con el fin de que se encuentren operativas.

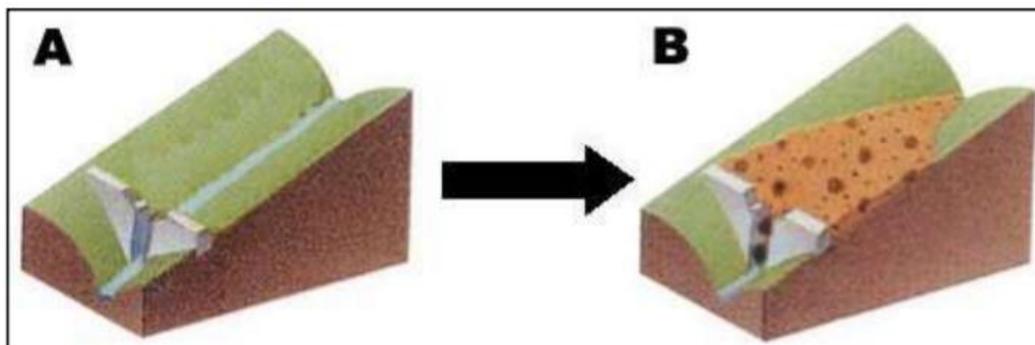


Figura 28. Función de presas abiertas (slit dam): 1) La presa permite que los sedimentos escurran libremente para condiciones normales; 2) Cuando ocurre un flujo detrítico de

proporciones, los sedimentos son capturados y retenidos temporalmente previniendo desastres hacia aguas abajo (International Sabonetwork, <http://www.saboint.org>).

Muros de Mampostería en Piedra (piedra seca): sirven para frenar la velocidad del agua y a la vez conseguir condiciones favorables para el establecimiento de la vegetación permanente o defender zonas críticas en donde no cabe ningún otro sistema de protección.

En las rocas, las diaclasas o fracturas propias de su origen presentan caras planas y llanas con diversas formas, desde un paralelepípedo hasta un cubo. Por lo tanto, sería las más adecuadas para ser empleadas la construcción de muro de mampostería en piedra o también llamados pircas.

Para la construcción es necesario la pirca seca sin mortero, que es altamente permeable por estar formada por bloques y fragmentos de rocas que dejan espacios vacíos del orden de 10% al 30 % en las mejores construidas. Estos conductos funcionan como drenes impidiendo la formación de presión por acumulación de agua en su lado posterior.

Las pircas se comportan como elemento asísmico. Durante el movimiento de la energía que transmite la onda sísmica es absorbida por las fuerzas de fricción generadas entre las caras de los bloques de los muros cuando entran en contacto. Esta es la razón por la que no han fallado en comparación de los muros de concreto de mayor superficie de fricción.

De acuerdo a las consideraciones y resultados de estudios anteriores, se deben evaluar las propuestas con alturas (0.5 a 10 m) Martínez (1990,1992).

Diques de regulación en el cauce del huaico: Los diques de regulación en el cauce son útiles para retener los sólidos que arrastra el flujo aluvional, disminuyendo la masa y velocidad del flujo huaico, al impedir la erosión de fondo del cauce.

Pueden ser construidos de piedra con solo un 5% en volumen de mortero añadido al volumen total, de esta manera se puede mejorar la resistencia y durabilidad.

Disponen de un vertedero central para evitar socavación lateral de los apoyos en la sección. Es recomendable construir los diques separados cada 25 o 50 metros, dependiendo el grado de riesgo que presenta la zona (García, 2016).

Diques desviadores del flujo o barreras deflectoras: La dirección de flujos detríticos puede ser controlada por la construcción de diques suficientemente altos como para prevenir rebases (Okubo et al., 1997). La diferencia con las barreras laterales es que este tipo de obras impide que el flujo mantenga su dirección natural desviándolo hacia otra zona. Pueden ser utilizadas para proteger alguna estructura, dirigir el flujo hacia otra zona, o aumentar el largo local del cauce, disminuyendo así su pendiente para favorecer la depositación (figura 7), (VanDine, 1996).

Además de los criterios de diseño utilizados para la construcción de las obras controladoras de dirección, debido a la curvatura que tendrá el cauce, deben considerarse criterios sobre fuerzas de impacto, sobre elevación y trepamiento del flujo (VanDine, 1996).

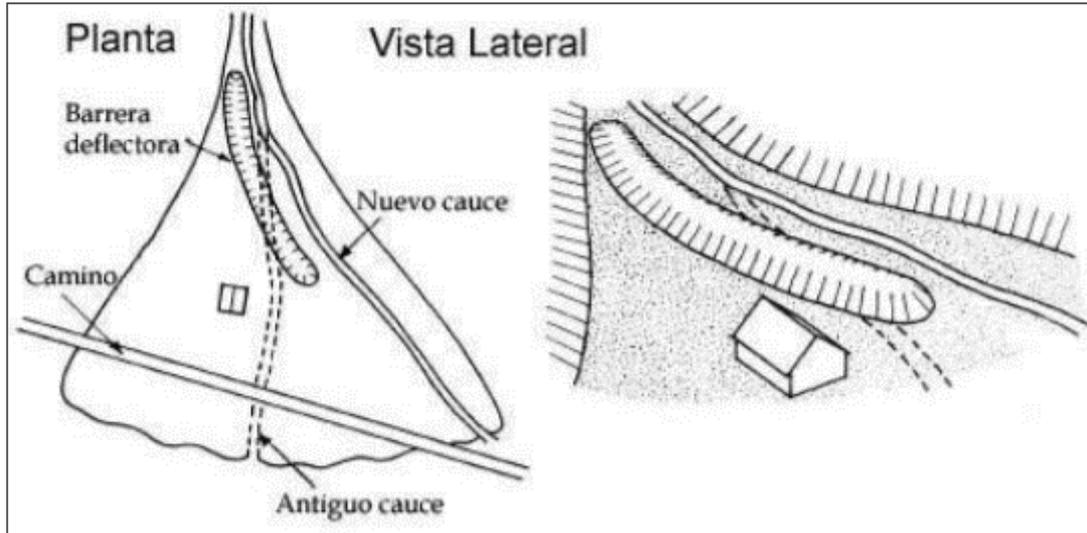


Figura 29. Diques desviadores (VanDine 1996).

Gaviones o enrocados: Se recomienda la construcción de gaviones o enrocado, por su fácil construcción, no necesitan cimentaciones profundas, no requieren mano de obra calificada y resultan más económicas que las que emplean soluciones rígidas o semirrígidas (relación vida útil vs. Costo total favorable).



Fotografía 4. Protección de riberas mediante enrocados

La tecnología SABO

SABO en japonés significa “control de la erosión” y con ese nombre se conoce a la tecnología que fue introducida en el Japón en 1860 por especialistas holandeses y posteriormente se perfeccionó en dicho país con apoyo de expertos suizos y alemanes. Actualmente el término SABO en Japón incluye todos los trabajos de prevención y mitigación de movimientos en masa, considerando la influencia futura de las medidas de control adoptadas con énfasis en su calidad (Ikeya, 1976; Tetra Tech, 2001; Wright, 1999).

Los métodos de trabajos SABO han sido clasificados históricamente en dos grandes grupos de obras: en ladera y obras de control de torrentes (Ikeya, 1976).



Figura 30. Represa SABO para el control de flujos de detritos en Minami-Aso Village (Kumamoto). Nótese el gran tamaño de la misma (Foto: S. Villacorta, 2015).

Las presas SABO

Son estructuras que permiten estabilizar los márgenes de cauces de quebradas de fuerte pendiente en las cuencas altas y medias, deteniendo los grandes bloques movilizados por flujos de detritos y eventos similares (avalanchas, etc.). El principal beneficio de una presa SABO radica en su funcionamiento ya que permite atrapar los sedimentos que bajan por el cauce activo y, una vez colmatada esta, se produce un cambio en la pendiente del cauce que se traduce en la disminución de la fuerza de futuros eventos. Por consiguiente, disminuye la velocidad de transporte de materiales, lo que incide en una menor erosión que protege frente a nuevos eventos (Mizuyama & Mizuno, 1997).

Están construidas principalmente de “suelo-cemento” (cemento ciclópeo con material del sitio) y tienen los siguientes componentes:

- Cuerpo de la presa
- Muros laterales (aguas abajo)
- Piso de fondo
- Contra-presa
- Agujeros disipadores de energía.

El cuerpo principal permite el almacenamiento de sedimentos, lo que poco a poco va disminuyendo la pendiente del río. Los muros unen la presa con la contra-presa. El piso de fondo protege a la presa contra la caída del agua e impacto de los sedimentos. La contra-presa disminuye la energía del agua y permite la formación de un colchón amortiguador hidráulico. Las perforaciones en el cuerpo principal alivian la presión hidráulica que tiende a socavar la contra-presa.

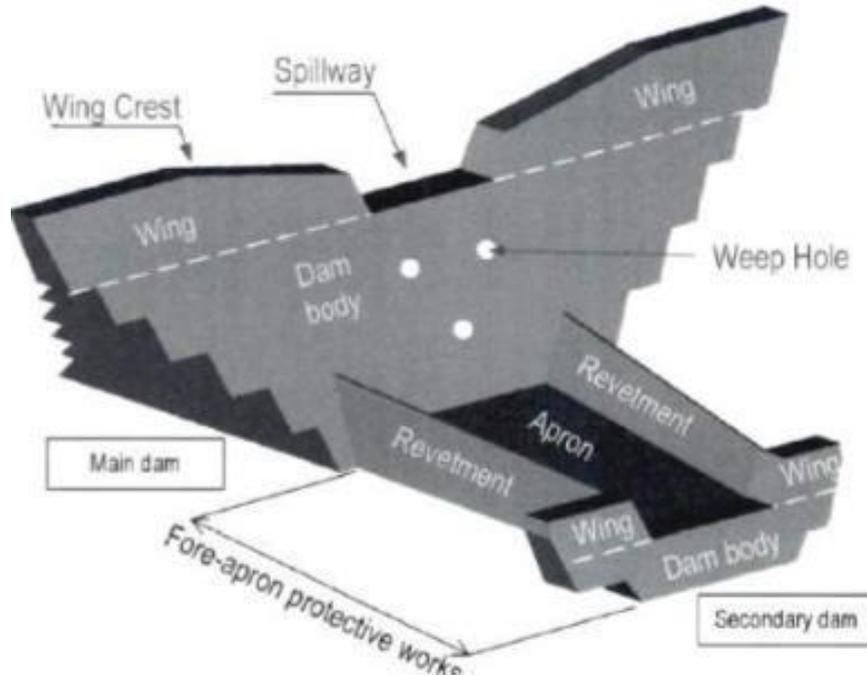


Figura 31. Modelo de presa tipo SABO (Tomado de: Ikeda, 2015).

El diseño de estas presas, considerando la colmatación de sedimentos, es tal que no necesita un proceso de limpieza constante. La aplicación de modelos numéricos permite la selección del modelo de presa, así como planificar el proceso de supervisión (Mizuyama & Mizuno, 1997).