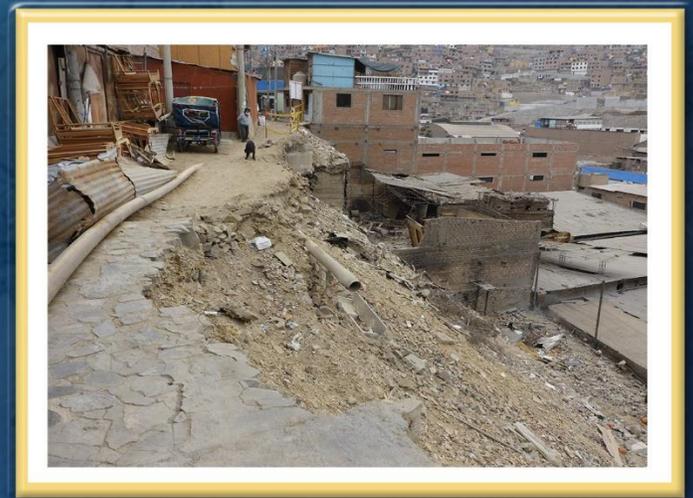


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7228

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO LA MILLA

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito San Martín de Porres



FEBRERO
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO LA MILLA

(Distrito San Martín de Porres, provincia Lima, departamento Lima)

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

Equipo de investigación:

Julio Lara Calderón

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el asentamiento humano La Milla*. Distrito San Martín de Porres, provincia Lima, departamento Lima. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7228, 39 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	4
1.3. Aspectos generales.....	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Accesibilidad	8
1.3.3. Clima.....	8
1.3.4. Microzonificación Sísmica.....	9
2. DEFINICIONES	12
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	13
3.1. Unidades litoestratigráficas	13
3.1.1. Formación Ventanilla (Js-ve)	13
3.1.2. Depósitos aluviales (Qpl-al)	15
3.1.3. Depósitos coluviales (Q-co)	15
3.1.4. Depósitos antropógenos (Q-ant).....	15
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	16
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	16
4.2. Pendientes del terreno	16
4.3. Unidades geomorfológicas.....	16
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	17
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	18
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	21
5.1. Derrumbe en el asentamiento humano La Milla.....	21
5.1.1. Características del evento.....	22
5.1.2. Factores condicionantes	24
5.1.3. Factores desencadenantes.....	25
5.1.4. Daños.....	29
6. CONCLUSIONES.....	31
7. RECOMENDACIONES	33
8. BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXO 1: MAPAS.....	36
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	40

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizada en el asentamiento humano La Milla, que pertenece a la jurisdicción del Distrito de San Martín de Porres, provincia y 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 para los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el asentamiento humano La Milla, el substrato rocoso está conformado por brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas (Fm. Ventanilla). Estas rocas están cubiertas por suelos no consolidados (depósitos coluviales, eólicos y antropógenos), adosados a las laderas del Cerro La Milla, de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales excepcionales y sismos.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico degradacional y erosional, conformadas por colinas y lomadas en roca sedimentaria. En las laderas se aprecian geoformas de origen depositacional y agradacional, conformadas por vertientes coluvial de detritos y rellenos artificiales.

Los peligros geológicos identificados en el asentamiento humano La Milla comprenden a movimientos en masa de tipo: caída (derrumbes). El evento tiene una zona de arranque de hasta 36 m de longitud aproximadamente y es de forma irregular y continua. También abarca un área de 389 m² aproximadamente.

Los principales factores condicionantes para la ocurrencia del derrumbe en el asentamiento humano La Milla son los factores litológicos y geomorfológicos. El factor litológico corresponde al substrato rocoso que se encuentra ligeramente a moderadamente meteorizado y medianamente a muy fracturado, mostrando un GSI entre 55 - 75, lo cual origina inestabilidad en las laderas. Mientras que, el factor geomorfológico corresponde a las colinas y lomadas en rocas sedimentarias del Cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°) del terreno; ello permite la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbe y podría generar caídas de rocas.

Los factores desencadenantes para la generación del derrumbe en el asentamiento humano La Milla son los sismos y factores antrópicos. Según el mapa de zonificación sísmica, el asentamiento humano La Milla se encuentra en la zona de alta sismicidad y según el mapa de distribución de máximas intensidades de escala de Mercalli modificada, se encuentra en la escala de intensidades de VIII. Mientras que los factores antrópicos corresponden a las excavaciones para la construcción de viviendas, calles, carreteras, entre otros, que contribuyen a la inestabilidad de las laderas; el uso de terraplenes artesanales inestables (pircas) que contribuyen a incrementar el grado de vulnerabilidad; y la población

se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales, es decir en laderas inestables.

Entre los daños generados por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla, se tienen: 27 m de alcantarillado (agua y desagüe) afectados, 38 m de Pasaje S/N afectados y muro de contención de 21.5 m destruido, aproximadamente.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el asentamiento humano La Milla, es considerado como zona de **Peligro Alto** a la ocurrencia de derrumbes y caídas de rocas que pueden ser desencadenados por sismos y factores antrópicos.

Finalmente, se brindan recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, las cuales consisten principalmente en: prohibir la expansión urbana sobre las laderas del Cerro La Milla o en laderas inestables, para lo cual es necesario colocar señaléticas; construir un muro de contención en el Pasaje S/N, tramo entre el Pasaje Huascarán y Pasaje Chavín, en la zona afectada por el derrumbe ocurrido en el asentamiento humano La Milla, dicha obra debe ser realizada por profesionales especializados, entre otras.

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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres, según Oficio N° 056-2021-SGGRDyDC-GDE-MDSMP, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación del evento de tipo derrumbe, que afecta a la población, viviendas y vías de acceso del asentamiento humano La Milla en el distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó al geólogo Julio Lara Calderón, para realizar la evaluación técnica respectiva.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres-CENEPRED y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el asentamiento humano La Milla, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima, que pueden comprometer la seguridad física de personas, viviendas, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar las causas de origen de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluyen al asentamiento humano La Milla, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 76, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Lima” (Luque *et al.*, 2020). Los trabajos de campo y gabinete realizados como parte de este estudio en el departamento de Lima, permitieron identificar un total de 4329 eventos de peligros geológicos según su origen: siendo los de movimientos en masa de mayor ocurrencia (75.6 %); peligros geohidrológicos (10.3 %) y otros peligros geológicos (14.1 %). De acuerdo con el mapa de inventario de peligros geológicos, se han identificado procesos de tipo caída (derrumbe) en el Cerro La Milla-Urb. San Germán.

También en el departamento de Lima, se han identificado un total de 278 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos; 106 zonas críticas corresponden a Lima Metropolitana (provincias Lima y Callao) y 172 zonas críticas al resto del departamento. Por ejemplo, se tiene identificada una zona crítica por caída de rocas en el asentamiento humano Víctor Raúl Haya-Cerro La Milla.

De igual manera, se cuenta con un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1: 500 000 (Luque *et al.*, 2020). Considerando este mapa el asentamiento humano La Milla se ubica en zonas de susceptibilidad muy baja a baja a la ocurrencia de movimientos en masa (cuadro 1 y figura 1). Entendiéndose susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) Boletín N° 59, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao” (Villacorta *et al.*, 2015). En este estudio se identificaron peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres en el ámbito de Lima Metropolitana y el Callao. Se tiene un total de 848 ocurrencias de peligros inventariados y determinación de 107 zonas críticas. De igual forma, en el mapa de inventario de peligros geológicos de este trabajo, en el Cerro La Milla-Urb. San Germán se han identificado procesos de tipo caída (derrumbe).

- C) Boletín N° 28, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 3” (Ingemmet, 2003). En este trabajo, a escala regional, se tratan acápite de geología, geomorfología, peligros geológicos de tipo movimientos en masa y geohidrológicos, la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, finalmente identifica zonas críticas. Se identificaron movimientos en masa de tipo caída (derrumbe) en el en el Cerro La Milla-Urb. San Germán.

Cuadro 1. Susceptibilidad a los movimientos en masa en el departamento de Lima.

Distribución Geográfica	Recomendaciones
<p>SUSCEPTIBILIDAD BAJA: Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa.</p>	
<p>Se localizan en la zona de bofedales y pampas, límite de Huancavelica y Junín, en zona de bofedales entre las lagunas Pallihua, Parionilla, sectores Verdecampa, Champahuasi, Shirapampa, Pampa Llantapallana y Pampa Shitca, entre otros. Al norte del departamento de Lima, en pampas como San Alejo, Vinto disectadas por el río Pativilca, en las superficies localizadas sobre los poblados de Río Seco, Pedregal, Cieneguilla, Quilmaná; en terrenos planos localizados en terrazas de ríos y quebradas del departamento. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.</p> <p>Terrenos ubicados en cimas de colinas y montañas, en mesetas volcánicas lávicas, al este del sector Matará entre los cerros Tres Ventanas, Colorada, Condorcoto y Mortero con presencia de bofedales. En mesetas volcánicas sedimentarios, en la cima de los cerros Quebra Porongo, Ranra, Apacheta y Huaylla Puquio.</p>	<p>Permitir el desarrollo de infraestructura al incorporarse las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto, o adaptarse a las condiciones del terreno.</p>
<p>SUSCEPTIBILIDAD MUY BAJA: Podrían ser afectadas por procesos que ocurren en sus franjas marginales, como obstrucciones o cierres de valles originados por flujos, deslizamientos u otro movimiento en masa.</p>	
<p>Valles principales al occidente del departamento de Lima como los valles de los ríos Fortaleza, Pativilca, Supe, Huaura, Chancay, Chillón, Rímac, Lurín y Cañete, entre otros. Donde se ubican las llanuras o planicies aluviales y costeras. Sobre estas unidades se encuentran asentados algunos poblados como Pativilca, Barranca, Supe, Huaura, Huacho, Huaral, Chancay, Pro, Lima Cercado, Mala, San Vicente de Cañete, Nuevo Cañete, entre otros.</p>	<p>Evaluar procesos geohidrológicos circundantes (inundación y erosión fluvial), en las áreas de escorrentía, generación de flujos de detritos u otros movimientos en masa en sus zonas marginales.</p>

Fuente: Luque *et al.* (2020).



Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa en el asentamiento humano La Milla y alrededores (Luque *et al.*, 2020).

- D) Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26j), Lurín (25j), Lima (25i) (León & De la Cruz, 2003). Este trabajo realizado a escala 1: 50 000 muestra que la zona de estudio se encuentra conformada por brechas y aglomerados volcánicos de la Formación Ventanilla (Grupo Puente Piedra), así como depósitos aluviales del cono deyeectivo del río Rímac.
- E) Boletín N° 43, serie A, carta geológica nacional: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992). Este estudio realizado a escala 1: 100 000 muestra que el ámbito evaluado se asienta sobre andesitas y dacitas masivas de la Formación Ventanilla (Grupo Puente Piedra), mientras que en los alrededores se encuentran depósitos aluviales del cono deyeectivo del río Rímac. Cabe mencionar que las rocas volcánicas de la Fm. Ventanilla, debido a su mayor dureza con relación a las rocas circundantes, presentan relieves prominentes y superficies ligeramente redondeadas.
- F) Boletín N° 8b, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio geodinámico de la cuenca del río Rímac” (Ingemmet, 1988). Este trabajo menciona que la estratigrafía de la zona de estudio está conformada por rocas volcánicas (derrames andesíticos de textura afanítica y porfirítica) que muestran notorio diaclasamiento y fracturamiento,

características que facilitan la alteración y meteorización de las rocas, y depósitos superficiales (gravas, cantos y bolos, redondeados y subredondeados). También se identificaron fenómenos de geodinámica externa que ocurren a lo largo de la cuenca, tales como erosión fluvial, desprendimiento de rocas, derrumbes, huacos, deslizamientos y erosión de laderas que en varias zonas comprometen la seguridad física de las obras viales, de irrigación, centros poblados y terrenos de cultivo.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al asentamiento humano La Milla, ubicado en el distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 - Zona 18S) detalladas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Coordenada central del asentamiento humano La Milla.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	275344	8670787	-12.01°	-77.06°



Figura 2. Ubicación del asentamiento humano La Milla.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al asentamiento humano La Milla se realiza mediante el sistema vial Metropolitano de Lima. Partiendo desde la sede central del Ingemmet (Av. Canadá, San Borja), se sigue la ruta como se indica en el cuadro 3.

Cuadro 3. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima (San Borja) - asentamiento humano La Milla	Asfaltada	15.9	41 minutos

1.3.3. Clima

De acuerdo con el Mapa climático del Perú, elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, el asentamiento humano La Milla presenta un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año y templado (figura 3).

La temperatura oscila entre 13°C a 30°C en verano (diciembre a marzo), con un promedio de 18.6 °C y una humedad relativa promedio de 83%. La nubosidad se considera alta, con un promedio anual de 6/8 ya que ocupa un 75% del cielo.

Las lluvias son muy escasas en la mayor parte del año, excepto ante la presencia de fenómenos tipo El Niño, entre otros, que ocasionan lluvias de moderada a fuerte intensidad.



Figura 3. Clima del asentamiento humano La Milla.

1.3.4. Microzonificación Sísmica

De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica, elaborado por Alva *et al.* (1984) y utilizado como base en el nuevo Reglamento Peruano de Construcción Sísmica con la norma técnica de edificación E-30 (Diseño Sismorresistente, actualizado al 2016), el territorio nacional está dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z, este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (Diario El Peruano 2016). De acuerdo a este mapa, el asentamiento humano La Milla, se ubica en la zona 4 (figura 4), correspondiente a una zona de sismicidad alta, donde las aceleraciones con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años de vida útil, corresponden 200, 500 y 1000 años de período de retorno respectivamente para un 10% de excedencia. Se determinó aceleraciones de 0.45 g.

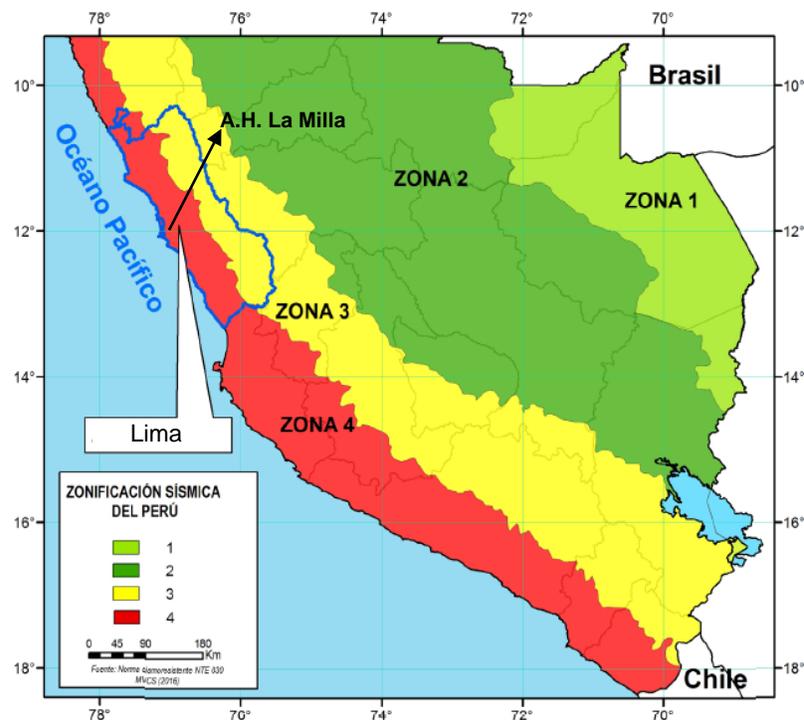


Figura 4. Zonificación sísmica del área de estudio.

Mientras que el Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al 2016 (CISMID, 2016) muestra la calidad de suelos y su comportamiento ante un peligro sísmico (figura 5). En este mapa se puede observar, que el asentamiento humano La Milla se encuentra en la zona II, conformada por depósitos de arena, de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media, y períodos de vibración ambiental menores a 0.40s (figura 6).

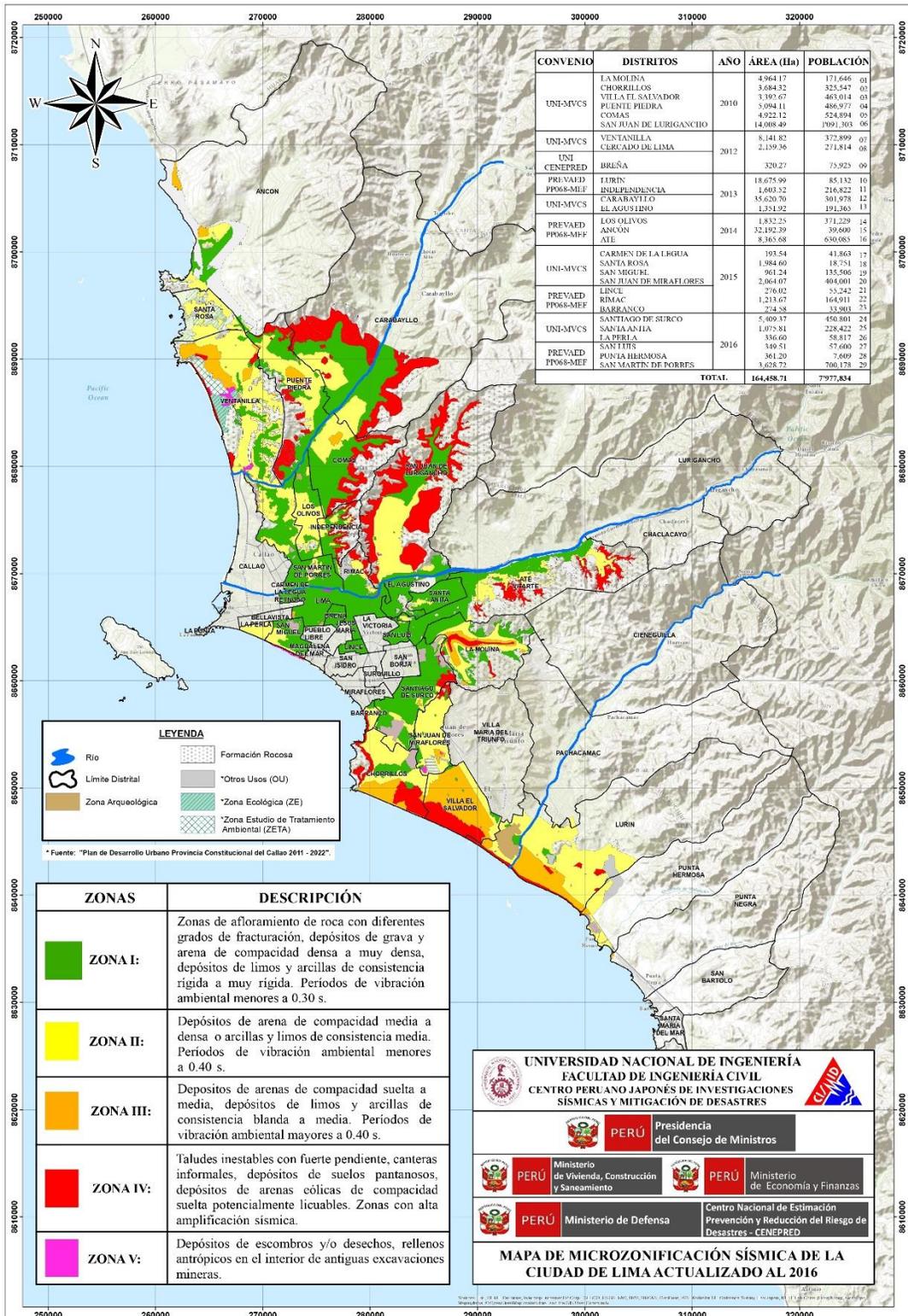


Figura 5. Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al 2016 (CISMID, 2016).

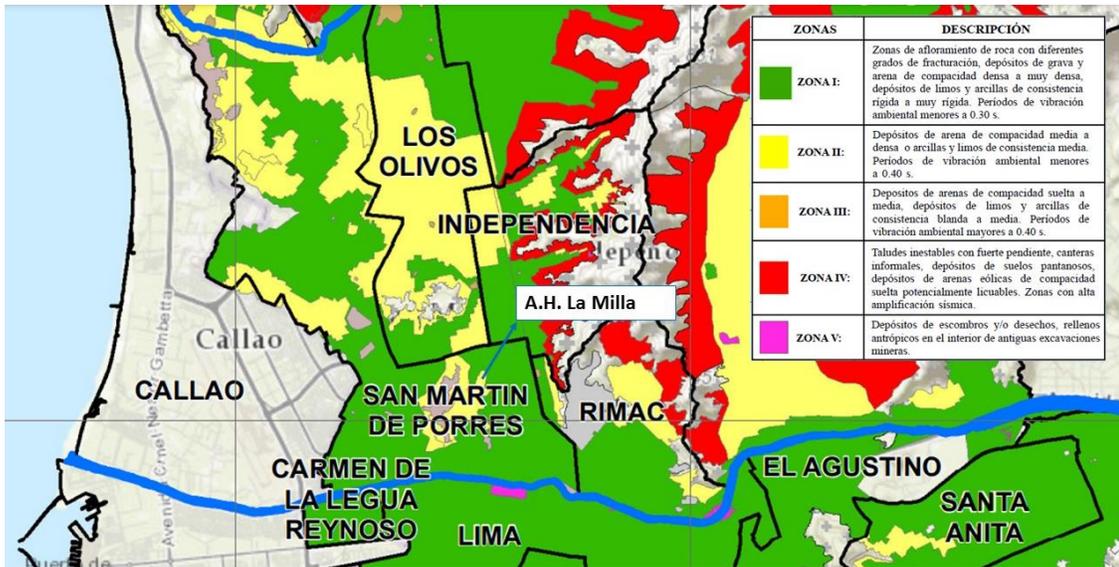


Figura 6. Ubicación del asentamiento humano La Milla en la Zona II. Fuente: CISMID (2016).

De acuerdo con el mapa de intensidades máximas (INDECI-DIPRE, 2017) por sismo de 8.8 MW similares a las del terremoto de 1746, gran parte de las provincias y distritos ubicados en la zona occidental del departamento de Lima se verían sometidas a intensidades mayores a VIII (MM). En cuanto al distrito de San Martín de Porres y el asentamiento humano La Milla, serían expuestas a las más altas intensidades debido a su cercanía a la zona de ruptura (figura 7), además se espera que ocurran movimientos en masa como derrumbes y caída de rocas.

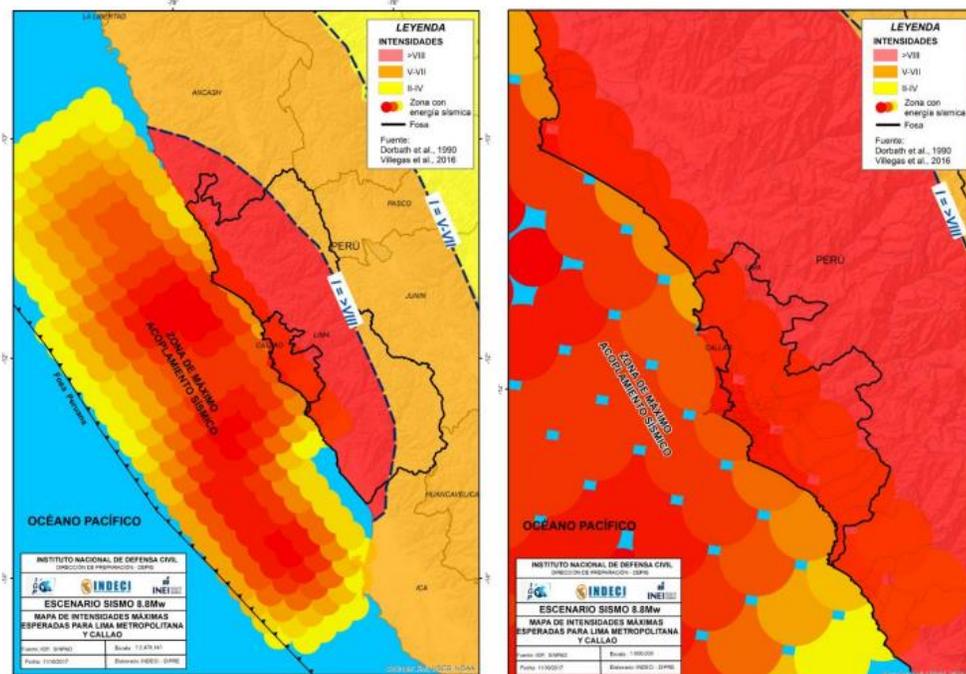


Figura 7. Departamentos y distritos que se verían sometidos a intensidad > VIII (MM). Fuente: INDECI-DIPRE (2017).

2. DEFINICIONES

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

Caída: Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Se subdivide en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

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

Formación geológica. Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por sus propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

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.

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

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

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base el Boletín N° 43: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992), la Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26j), Lurín (25j), Lima (25i) (León & De La Cruz, 2003) y el Mapa geológico del cuadrángulo de Lima (Hoja 25-i-I) (León & De La Cruz, 2002), donde se han identificado principalmente brechas y aglomerados volcánicos de la Formación Ventanilla (Grupo Puente Piedra), así como depósitos aluviales del cono deyectivo del río Rímac. De igual manera se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes en el ámbito de estudio corresponden a la Formación Ventanilla (Grupo Puente Piedra) del Jurásico Superior, depósitos aluviales del Plioceno, así como depósitos coluviales y antropógenos del Holoceno (anexo 1).

3.1.1. Formación Ventanilla (Js-ve)

Corresponde a una secuencia volcánica que aflora en el Cerro Chillón hasta los alrededores de la ciudad de Ventanilla llegando hasta el Cerro La Milla (al Norte de Lima). Descansa concordantemente sobre la Formación Puente Inga y hacia el sureste de Ventanilla, subyace en aparente discordancia erosional a la Formación Cerro Blanco.

Está conformada por brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas (fotografía 1). Sobre esta formación se asienta el asentamiento humano La Milla.

También, se aprecia que las rocas están ligeramente a moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Asimismo, en algunos sectores, se encuentran cubiertas por depósitos coluviales, eólicos y antropógenos.

En el pasaje Huascarán se realizó la toma de datos de las principales familias de fracturamiento (cuadro 4), las cuales presentan espaciamiento entre las fisuras de 5 a 35 cm (fotografía 2). Esta zona, geodinámicamente, podría generar caída de rocas, con probabilidad de falla planar y cuña.

Cuadro 4. Medidas registradas en brechas y aglomerados volcánicos de la Formación Ventanilla.

Familia de fracturas	Azimut	Buzamiento
F1	N 338°	82° NE
F2	N 261°	78° NNW
F3	N 194°	65° WNW



Fotografía 1. Afloramiento de brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas pertenecientes a la Formación Ventanilla en el asentamiento humano La Milla.



Fotografía 2. Afloramiento de brechas y aglomerados volcánicos medianamente a muy fracturadas, con espaciamentos entre las fisuras de 5 a 35 cm.

3.1.2. Depósitos aluviales (Qpl-al)

Son depósitos Cuaternarios (Plioceno) que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales. Se ubican en ambas márgenes del río Rímac y quebradas principales formando terrazas a diferentes niveles.

Estos depósitos están constituidos por gravas y arenas que pertenecen al cono deyectivo del río Rímac con grosores de hasta 800 metros.

3.1.3. Depósitos coluviales (Q-co)

Corresponden a depósitos de origen gravitacional, acumulados en las laderas de las elevaciones; constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos de la Formación Ventanilla.

En el asentamiento humano La Milla, los depósitos coluviales se originaron por eventos de derrumbes. Están conformados por materiales gruesos y finos de naturaleza heterogénea y heterométrica, bloques subangulosos a angulosos provenientes de la Formación Ventanilla, así como material de relleno antrópico. Su distribución es caótica y constituyen depósitos de piedemonte (fotografía 3).



Fotografía 3. Depósitos coluviales originados por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla.

3.1.4. Depósitos antropógenos (Q-ant)

Corresponde a depósitos generados por la actividad antrópica, los cuales pueden ser de dos tipos: 1) los que son generados sin un proceso de transformación industrial, entre ellos se tienen las ruinas, desechos, coprolitos, construcciones civiles (terraplenes, diques de

presas, enrocados, espigones, etc.); 2) los depósitos resultantes de procesos de transformación industrial, entre estos se tienen depósitos de relaves, desechos industriales, escorias, canchas de minerales, escombreras, entre otros.

En el asentamiento humano La Milla, específicamente en la zona del derrumbe, los depósitos antropógenos son generados sin un proceso de transformación industrial; conformados por acumulaciones de desmontes de construcción, residuos sólidos (basura), así como material aluvial y/o rocas removidos de otros sectores.

Es importante mencionar que algunas viviendas y vías de acceso se encuentran asentadas sobre estos depósitos y podrían ser afectadas y/o dañadas ante la ocurrencia de sismicidad.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis de la geomorfología, se obtuvo el modelo digital de terreno del servidor ALOS PALSAR con una resolución (GSD) de 12.5 m, además se realizó el análisis de imágenes satelitales para el estudio de la morfometría del relieve, complementada con los trabajos de campo.

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

El asentamiento humano La Milla se distribuye sobre un relieve con elevaciones entre 120 m s.n.m. y 150 m s.n.m., las que conforman las máximas elevaciones del Cerro La Milla. Las viviendas del asentamiento humano La Milla se asientan sobre las laderas del Cerro La Milla conformado por relieves con pendiente moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°) del terreno.

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el mapa 2 (anexo 1), se presenta el mapa de pendientes de terreno, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde predominan laderas con pendientes muy baja (>1°) a terrenos de pendiente abrupta (>45°).

Las laderas sobre las cuales se asienta el asentamiento humano La Milla presentan pendientes que varían de moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°), las que conforman las laderas del cerro La Milla. En las laderas de esta elevación, sobre todo en las de muy fuerte a abrupta pendiente, en caso de sismo o cualquier otra vibración facilita la ocurrencia de movimientos en masa como derrumbes o caídas de rocas.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización

conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2019).

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos 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 tiene la siguiente unidad:

Unidad de colinas y lomadas

Está representada por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16 % (como se cita en Villota, 2005, p. 64). Conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo. Esta unidad se ubica próxima a la de montañas y forma parte de las estribaciones andinas. Se asocian litológicamente a rocas de tipo intrusivo, volcánico, volcánico-sedimentario y sedimentario, cuyas edades varían desde el Jurásico al Neógeno. Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)

Corresponde a geoformas modeladas en rocas volcánicas de alturas menores a 300 m. Estos relieves se han generado en rocas de la Formación Ventanilla (Grupo Puente Piedra) reducidas por procesos denudativos, que conforman elevaciones alargadas.

El asentamiento humano La Milla se asienta sobre las colinas y lomadas del cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°) del terreno, con cimas subredondeadas a agudas (fotografía 4).



Fotografía 4. Colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias, en el cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada a muy fuerte.

4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y 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 hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Villota, 2005). Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de planicie

Está asociada a depósitos aluviales, aluviales antiguos y fluvio-glaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas o colinas. Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, porque provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales. Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de llanura o planicie aluvial (PI-al): Está comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental. Se asocia a la planicie costanera y los conos deyecciónes antiguos. Constituye una sucesión de abanicos aluviales antiguos que, en vista horizontal, se asemejan a conos con acumulación de material heterogéneo y de diferente tamaño (gravas, arenas, limos y arcillas), y, en vista de perfil, muestran una forma cóncava hacia arriba. Son frecuentemente acumulados en regiones semiáridas por torrentes de ríos

o quebradas estacionales o intermitentes cuando la carga de sedimentos que transportan disminuye hacia un sector llano y abierto, con un marcado cambio de pendiente. En la actualidad, sobre esta geoforma se asienta la zona urbana del distrito de San Martín de Porres. Por ejemplo, la zona urbana e industrial ubicada en los alrededores del Cerro La Milla se asienta sobre estas geoformas que corresponden a relieves con pendiente muy baja ($>1^\circ$) a baja ($1^\circ-5^\circ$) del terreno (fotografía 5).



Fotografía 5. Llanura o planicie aluvial (PI-al), en los alrededores del Cerro La Milla, con pendiente muy baja a baja.

Unidad de piedemontes

Los piedemontes corresponden a un conjunto de depósitos que conforman una superficie inclinada y disectada que se extiende al pie de sistemas montañosos y que ha sido formada por la depositación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas (Villota, 1991). Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d)

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas de montañas, colinas o acantilados, en forma de talud de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden hacia los valles principales o quebradas tributarias. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea; sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

Los depósitos de vertientes de detritos se caracterizan por conformar material potencialmente inestable de las laderas. Se producen en rocas diaclasadas y alteradas que

dejan bloques inestables que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, con ayuda de las lluvias intensas o movimientos sísmicos.

En la zona de estudio, estas geoformas están asociadas a movimientos en masa de tipo derrumbe, como el evento ocurrido en el asentamiento humano La Milla (fotografía 6). Este derrumbe se generó en terrenos con pendiente muy fuerte (25° - 45°) del terreno y en depósitos antropógenos que se encuentran en las laderas del Cerro La Milla.



Fotografía 6. Vertiente coluvial de detritos (V-d) generada por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla.

Subunidad de relleno artificial (R-art)

Subunidad que comprende los materiales de desmonte dispuestos en laderas y talud inferior de calles y pasajes.

Este relleno artificial está conformado por desmonte de construcción de viviendas, residuos sólidos provenientes de la zona urbana y el material resultante (rocas y/o depósitos) de excavaciones realizadas en otros sectores, dispuestos y rellenando hondonadas ubicadas en los bordes de las laderas con la finalidad de la construcción de calles, pasajes y /o viviendas.

Actualmente, algunas viviendas y/o calles se asientan sobre estas geoformas, y por consiguiente se encuentran expuestas a derrumbes ante la ocurrencia de algún sismo.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el asentamiento humano La Milla, corresponden a movimientos en masa de tipo derrumbe (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007) (anexo 1). Este evento es el resultado del proceso de modelamiento del terreno, en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

Uno de los peligros asociados a los sismos de pequeña, moderada y gran magnitud son los movimientos en masa, específicamente los derrumbes y caídas de rocas. Para que se presenten estos fenómenos, se deben contar con algunas características básicas tanto del sismo como del terreno, como, por ejemplo: aceleración del terreno, duración del sismo (ambos parámetros relacionados a la magnitud del sismo), pendiente, litología, fracturamiento, meteorización (estos últimos relacionados con las características del terreno).

Los derrumbes tienen como causas o condicionantes a factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, así como el tipo de roca y/o suelo. Mientras que los factores desencadenantes se representan por eventos de sismicidad.

5.1. Derrumbe en el asentamiento humano La Milla

El asentamiento humano La Milla se encuentra asentado sobre afloramientos rocosos conformados por brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas pertenecientes a la Formación Ventanilla. Las rocas de la Formación Ventanilla se encuentran ligeramente a moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas.

Los relieves corresponden a colinas y lomadas en rocas sedimentarias del cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°) del terreno, con cimas subredondeadas a agudas.

De acuerdo a lo manifestado por los pobladores del asentamiento humano La Milla, el derrumbe ocurrió en el mes de mayo de 2013, a consecuencia del colapso de un muro de contención artesanal (concreto) construido por los mismos pobladores del asentamiento humano en mención. También los pobladores manifestaron que los movimientos sísmicos ocurridos en los últimos años han contribuido en la destrucción total del muro de contención y la generación de nuevos procesos de derrumbes.

De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales de los años 2013 y 2021 (figura 8), se puede apreciar la ocurrencia del derrumbe en el asentamiento humano La Milla. En la imagen satelital del año 2013 se observa el Pasaje S/N, tramo entre el Pasaje Huascarán y Pasaje Chavín, en el asentamiento humano La Milla sin ninguna afectación.

Mientras que la imagen del año 2021 muestra el derrumbe identificado en el asentamiento humano en mención y los daños generados.

Actualmente, el derrumbe identificado en el asentamiento humano La Milla tiene una zona de arranque de hasta 36 m de longitud aproximadamente y es de forma irregular y continua. También abarca un área de 389 m² aproximadamente.



Figura 8. Análisis multitemporal con imágenes satelitales de los años 2013 y 2021, donde se puede apreciar la ocurrencia del derrumbe en el asentamiento humano La Milla.

5.1.1. Características del evento

El derrumbe identificado en el asentamiento humano La Milla (fotografías 7 y 8), distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento Lima, tiene las siguientes características:

- Longitud de la zona de arranque: 36 m.
- Forma de la superficie de rotura: irregular y continua.
- Diferencia promedio de altura aproximada de la zona de arranque a la base del derrumbe: 12.5 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 310°
- Área del derrumbe (considerando la zona de arranque y el depósito): 389 m²
- Presencia de material colgado desde la zona de arranque del derrumbe que forma terrenos inestables.



Fotografía 7. Derrumbe identificado en el asentamiento humano La Milla. Coordenadas UTM (WGS 84): 275330 E, 8670810 N.



Fotografía 8. Vista panorámica del derrumbe en el asentamiento humano La Milla. Coordenadas UTM (WGS 84): 275330 E, 8670810 N.

5.1.2. Factores condicionantes

a. Factor litológico

Substrato rocoso conformado por brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas. Estas secuencias se encuentran ligeramente a moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, mostrando un GSI¹ entre 55 - 75 (figura 9), originando inestabilidad en las laderas.

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suave.
ESTRUCTURA	DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE					
INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90				N/A	N/A
FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades	80	70				
MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60				
FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			50			
DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				40		
LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla					30	
						20
						10
		N/A	N/A			

Figura 9. Caracterización del macizo rocoso GSI, con valores entre 55 - 75 para el substrato rocoso en la zona de estudio. Fuente: modificado Hoek & Marinos (2002).

¹ El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

Presencia de suelos no consolidados (depósitos coluviales y antropógenos), adosados a las laderas del Cerro La Milla. Los depósitos coluviales están conformados por materiales gruesos y finos de naturaleza heterogénea y heterométrica, bloques subangulosos a angulosos provenientes de la Formación Ventanilla, así como material de relleno antrópico. Mientras que los depósitos antropógenos están conformados por acumulaciones de desmontes de construcción, residuos sólidos (basura), así como material aluvial y/o rocas removidos de otros sectores. Estos depósitos son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales excepcionales y sismos.

De acuerdo con el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al 2016 (CISMID, 2016), el asentamiento humano La Milla se encuentra en la Zona II, conformada por depósitos de arena, de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media, y períodos de vibración ambiental menores a 0.40s, así como peligro geológico moderado (Zona II).

b. Factor geomorfológico

Las viviendas del asentamiento humano La Milla se asientan sobre colinas y lomadas en rocas sedimentarias del Cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45°) del terreno; ello permite la ocurrencia de movimientos en masa como derrumbes y podría generar procesos de caídas de rocas. Mientras que el material suelto disponible en las laderas se erosiona y se remueve fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.

5.1.3. Factores desencadenantes

a. Sismos

Lima Metropolitana muestra un índice alto de pérdidas asociadas a sismos en el periodo reciente, registrado desde el siglo XVI (IGP, 2005). Debido a la cercanía de las costas del Perú a la zona de subducción, es decir a causa de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, Lima ha soportado a lo largo de su historia eventos naturales desastrosos como terremotos y tsunamis. Los más importantes fueron los terremotos de 1586, 1609, 1655, 1687, 1746, 1940, 1966 y 1974, que causaron pánico y destrucción de viviendas e infraestructura, especialmente en zonas donde las condiciones geológicas son menos favorables y donde viven las poblaciones más pobres.

En este contexto, es necesario indicar el Mapa de zonificación sísmica, elaborado por Alva *et al.* (1984), utilizado como base en el nuevo Reglamento Peruano de Construcción Sísmica con la norma técnica de edificación E-30 (Diseño Sismorresistente, actualizado al 2016), donde el territorio nacional está dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica.

A cada zona se asigna un factor Z, este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (Diario El Peruano 2016). De acuerdo a este mapa, el asentamiento humano La Milla se ubica en la zona 4, correspondiente a una zona de sismicidad alta, donde las aceleraciones con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años de vida útil, corresponden 200, 500 y 1000 años de período de retorno respectivamente para un 10% de excedencia. Se determinó aceleraciones de 0.45 g.

De acuerdo al mapa de intensidades máximas esperadas a nivel nacional que produciría un sismo de 8.8 MW similares a las del terremoto de 1746. Gran parte de las provincias y distritos ubicados en la zona occidental del departamento de Lima se verían sometidas a intensidades mayores a VIII (MM). En cuanto al distrito de San Martín de Porres y toda Lima Metropolitana, así como el asentamiento humano La Milla, evidentemente serían expuestas a las más altas intensidades debido a su cercanía a la zona de ruptura, además se espera que ocurran efectos de licuefacción de suelos en la costa, asentamientos, movimientos en masa (derrumbes y caídas de rocas), entre otros.

b. Factores antrópicos

Dentro de los factores antrópicos, se consideran las actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas (excavaciones, corte de talud), las prácticas inadecuadas de construcción (muros de contención artesanales, terraplenes artesanales, sobrecarga, etc.) y la ocupación inadecuada del territorio.

Actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Las excavaciones para la construcción de viviendas, calles, carreteras, entre otros, contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Ejemplos de estas actividades los encontramos en el asentamiento humano La Milla. La construcción de viviendas, calles y carreteras debilita los materiales (suelos y rocas), si no se realizan labores de desquinche o perfilado del talud de corte.

Prácticas inadecuadas de construcción. El uso de terraplenes artesanales inestables (pircas, llantas, costalillos de arena, etc.) contribuyen a incrementar el grado de vulnerabilidad de las poblaciones.

Muchas viviendas del asentamiento humano La Milla han sido levantadas sobre pircas, bases artesanales que son propensas a los derrumbes por sismicidad, sobrecarga o humedecimiento del terreno. Las pircas están constituidas por bloques de rocas, gravas y ladrillos apilados sobre una ladera con el fin de nivelar el terreno con respecto a la pendiente (fotografías 9 a 12).

Estos terraplenes artesanales (pircas) no proporcionan ninguna seguridad ya que son inestables. Con sobrecargas debido a construcciones en laderas: rellenos, acumulación de materiales, muros, reservorios de agua, etc. constituyen áreas muy inestables en caso de sismos de gran magnitud y representan un mayor peligro en el asentamiento humano La Milla.



Fotografía 9. Vivienda de madera y calamina ubicada sobre pircas de rocas y ladrillos a la altura del Pasaje Huascarán. Coordenadas UTM (WGS 84): 275362 E, 8670769 N.



Fotografía 10. Vivienda ubicada sobre pircas de rocas en el Pasaje Huascarán. Coordenadas UTM (WGS 84): 275358 E, 8670785 N.



Fotografía 11. Viviendas construidas sobre pircas de rocas en el Pasaje Arica. También se puede apreciar material de relleno como arenas y desmote. Coordenadas UTM (WGS 84): 275315 E, 8670772 N.



Fotografía 12. Viviendas ubicadas sobre pircas de rocas en el Pasaje Arica. Coordenadas UTM (WGS 84): 275311 E, 8670757 N. Ante un eventual sismo de gran magnitud, estas pircas podrían colapsar afectando las viviendas asentadas en ella y las ubicadas en la parte baja.

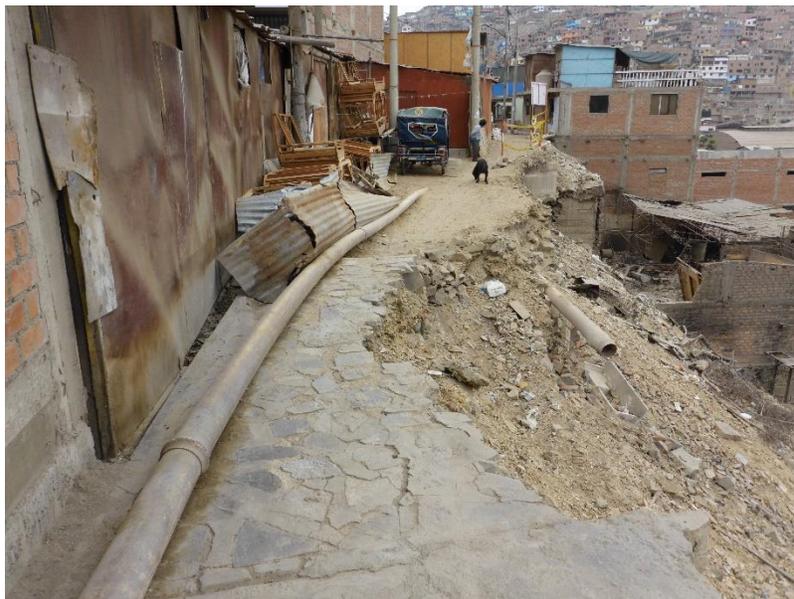
Ocupación inadecuada del territorio. La población se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales, es decir en laderas inestables, depósitos de movimientos en masa antiguos, zonas arenosas y dunas; al pie de los taludes de corte de carreteras, en zonas de rellenos, entre otros. Esto sucede porque no se consideran los factores geológicos, climáticos, procesos geodinámicos, etc. al momento de elegir un lugar para vivir. Se dan casos en que las autoridades locales, regionales y nacional permiten a los pobladores que se ubiquen en estas zonas, inclusive proporcionándoles servicios básicos (luz, agua y desagüe).

5.1.4. Daños

Entre los daños generados por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla, se tienen los siguientes (fotografías 13 a 15):

- 27 m de alcantarillado (agua y desagüe) afectados, aproximadamente.
- 38 m de Pasaje S/N afectados, aproximadamente.
- Muro de contención de 21.5 m destruido, aproximadamente.

Es importante considerar que de continuar el avance retrogresivo del derrumbe, podrían ser afectadas las viviendas del asentamiento humano La Milla, ubicadas por encima del evento en mención. También en la zona del derrumbe existe un buzón de alcantarillado que se encuentra expuesto y podría colapsar, generando la afectación de las viviendas ubicadas en la parte baja.



Fotografía 13. Daños en el Pasaje S/N generados por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla. Se puede observar el alcantarillado (desagüe) afectado y buzón expuesto. Coordenadas UTM (WGS 84): 275335 E, 8670807 N.



Fotografía 14. Daños generados por el derrumbe en el asentamiento humano. La Milla. Coordenadas UTM (WGS 84): 275335 E, 8670807 N.



Fotografía 15. Señalización de la zona de peligro por derrumbe en el asentamiento humano La Milla. Coordenadas UTM (WGS 84): 275335 E, 8670807 N.

6. CONCLUSIONES

- a) El asentamiento humano La Milla se asienta sobre secuencias de brechas y aglomerados volcánicos intercalados con tobas y lavas andesíticas pertenecientes a la Fm. Ventanilla. Estas secuencias se encuentran ligeramente a moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Mientras que los suelos no consolidados (depósitos coluviales y antropógenos) se encuentran adosados a las laderas del Cerro La Milla y son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales excepcionales y sismos.
- b) Las colinas y lomadas del cerro La Milla, sobre las cuales se ubica el asentamiento humano La Milla, presentan laderas con pendiente moderada (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°) del terreno; ello permite la ocurrencia de movimientos en masa como derrumbes y podría generar procesos de caídas de rocas. Mientras que el material suelto disponible en las laderas se erosiona y se remueve fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.
- c) El peligro geológico identificado en el asentamiento humano La Milla corresponde a movimientos en masa de tipo caída (derrumbe). Este derrumbe tiene una zona de arranque de hasta 36 m de longitud aproximadamente y es de forma irregular y continua. También abarca un área de 389 m² aproximadamente.
- d) Los factores condicionantes para la ocurrencia del derrumbe en el asentamiento humano La Milla son los factores litológicos y geomorfológicos. El factor litológico corresponde al substrato rocoso conformado por brechas, aglomerados volcánicos, tobas y lavas andesíticas ligeramente a moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, mostrando un GSI entre 55 - 75, lo cual origina inestabilidad en las laderas. Mientras que el factor geomorfológico corresponde a las colinas y lomadas en rocas sedimentarias del Cerro La Milla, cuyas laderas presentan pendiente moderada (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°) del terreno; ello permite la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbe.
- e) Los factores desencadenantes para la generación del derrumbe en el asentamiento humano La Milla son los sismos y factores antrópicos. Según el mapa de zonificación sísmica, el asentamiento humano en mención se encuentra en la zona de alta sismicidad y según el mapa de distribución de máximas intensidades de escala de Mercalli modificada, se encuentra en la escala de intensidades de VIII. Mientras que los factores antrópicos como las excavaciones para la construcción de viviendas y/o calles, contribuyen a la inestabilidad de las laderas; el uso de terraplenes artesanales inestables (pircas) contribuye a incrementar el grado de vulnerabilidad; y la población se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales, es decir en laderas inestables.

- f) Entre los daños generados por el derrumbe en el asentamiento humano La Milla, se tienen: 27 m de alcantarillado (agua y desagüe) afectados, 38 m del Pasaje S/N afectados y muro de contención de 21.5 m destruido, aproximadamente. Es importante considerar que de continuar el avance retrogresivo del derrumbe, podrían ser afectadas las viviendas del asentamiento humano La Milla, ubicadas por encima del evento en mención.

- g) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el asentamiento humano La Milla, es considerado como zona de **Peligro Alto** a la ocurrencia de derrumbes y caídas de rocas que pueden ser desencadenados por sismos y factores antrópicos.

7. RECOMENDACIONES

- a) Prohibir la expansión urbana sobre las laderas del Cerro La Milla o en laderas inestables, para lo cual es necesario colocar señaléticas.
- b) Construir un muro de contención en el Pasaje S/N, tramo entre el Pasaje Huascarán y Pasaje Chavín, en la zona afectada por el derrumbe ocurrido en el asentamiento humano La Milla. Dicha obra debe ser realizada por profesionales especializados.
- c) En caso de un movimiento sísmico de gran intensidad, las viviendas asentadas sobre pircas artesanales y cortes de talud colapsarían, afectando también las viviendas que se encuentran en la parte inferior.
- d) Realizar monitoreo visual y constante en las laderas del Cerro La Milla ante la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas, que pueden ser originados por sismos.
- e) Realizar estudios de estabilidad de taludes para determinar el comportamiento del terreno frente a las edificaciones y cortes de talud. Así como simulaciones para determinar la zona de colapso del talud. Con ello, se permitirá la construcción de medidas correctivas certeras.
- f) Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre el peligro y riesgo a los que se encuentran expuestos los pobladores del asentamiento humano La Milla y otras localidades asentadas en laderas del Cerro La Milla del distrito de San Martín de Porres.



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



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

8. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J., Meneses J. & Guzmán V. (1984). *Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú*. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.

Diario Oficial El Peruano (2016). Decreto Supremo que modifica la Norma Técnica E.30 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N°011-2006-Vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda. Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1988). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Rímac*. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 8b. Perú: INGEMMET. 330 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003). *Estudio de riesgos geológicos del Perú*, Franja No. 3 Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 28. Perú: INGEMMET. 373 p.

Instituto Nacional de Defensa Civil. Dirección de Preparación (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*, 54 p
<https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201711231521471-1.pdf>

León, W. & De la Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l). Memoria descriptiva. Perú: INGEMMET. 18 p.

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.

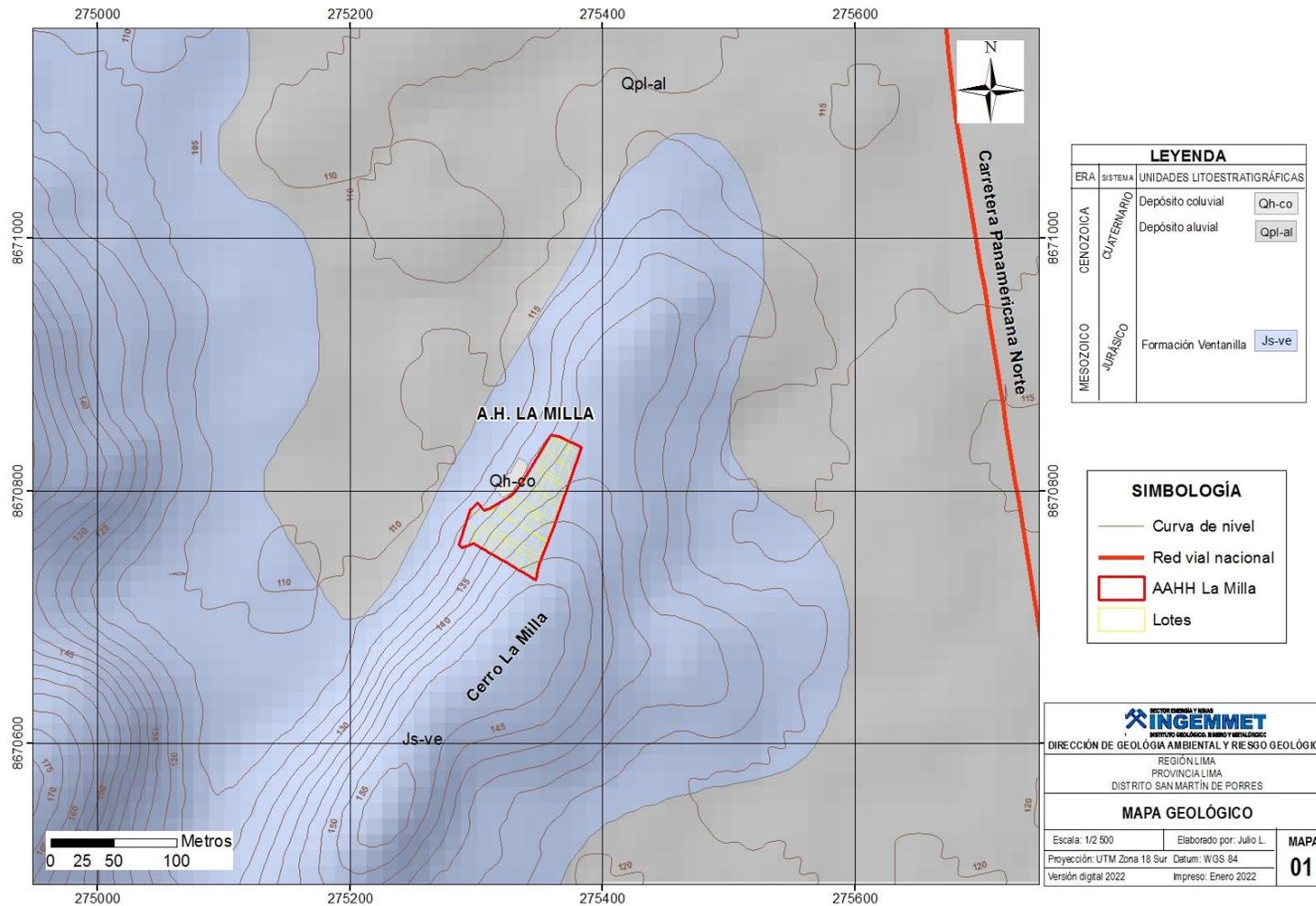
Palacios, O., Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lurín, Chancay y Chosica. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 43. Perú: INGEMMET. 163 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

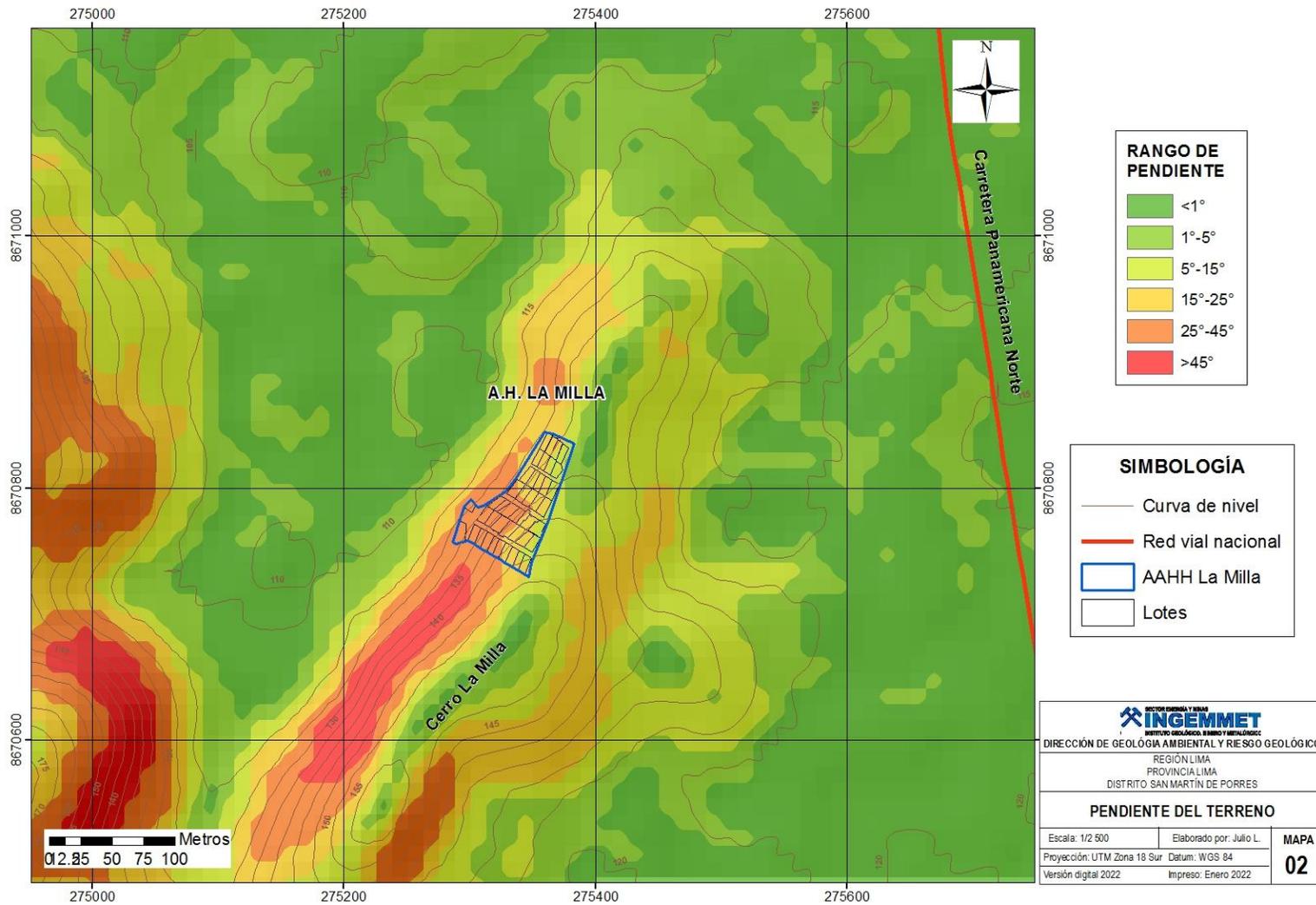
Villacorta, S., Núñez, S., Vásquez, J., Pari, w., Ochoa, M., Benavente, E., Tatar, L., Luque, G., Rosado, M., Fidel, S. & Úbeda J. (2015). *Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao*. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 99. Perú: INGEMMET. 151 p.

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

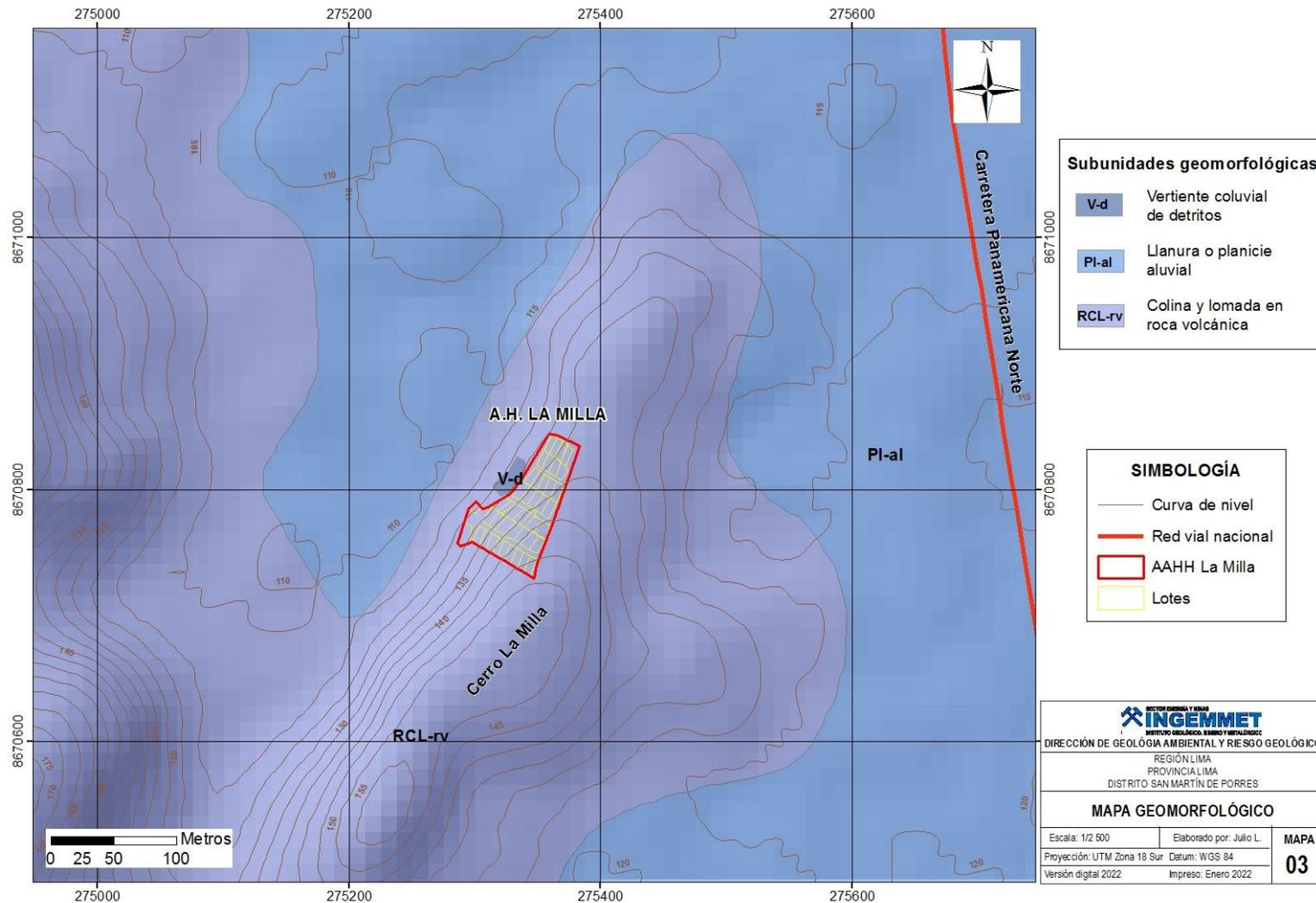
ANEXO 1: MAPAS



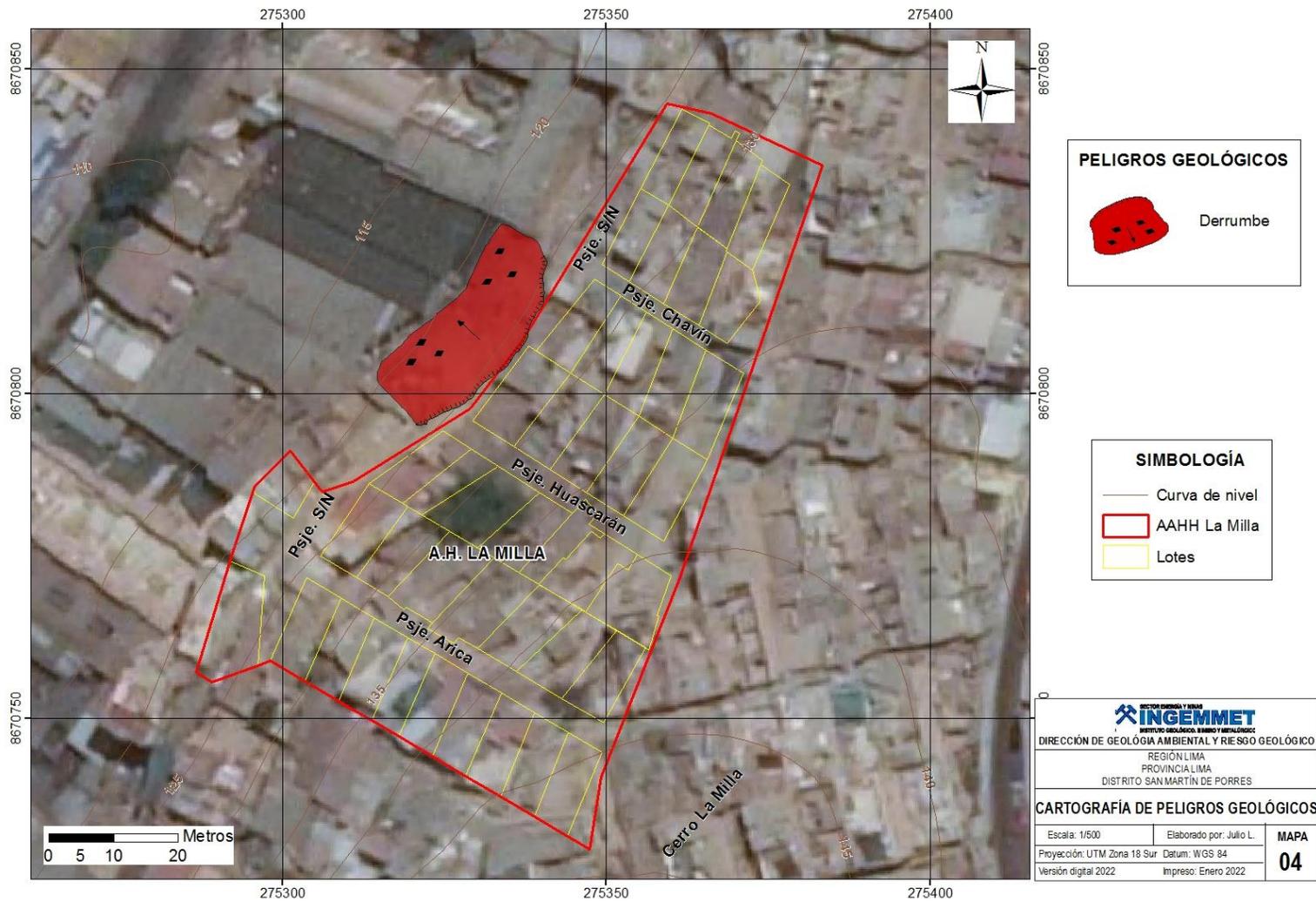
Mapa 1. Mapa geológico del asentamiento humano La Milla. Fuente: León & De La Cruz (2002).



Mapa 2. Mapa de pendientes de terreno.



Mapa 3. Mapa geomorfológico del asentamiento humano La Milla.



Mapa 4. Cartografía de peligros geológicos en el asentamiento humano La Milla.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A partir de la evaluación geológica-geodinámica realizada, se dan algunas propuestas de intervención de forma general para la zona evaluada, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de derrumbes, caídas de rocas, entre otros. Así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias. Se debe considerar como medidas de prevención y mitigación ante futuros eventos que puedan causar desastres en las laderas del cerro, el no permitir la expansión urbana hacia las laderas. Se recomienda realizar estudios a detalle para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas, con especialistas. A continuación, se señalan una serie de recomendaciones que pueden servir como base para mitigar los peligros geológicos en la zona evaluada.

Muros: que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 1) y pueden ser de: 1) gravedad, contruidos de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños, y 2) aligerados, ejecutados con hormigón armado en forma de "L", aquí la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón, y 3) muros contrafuertes.

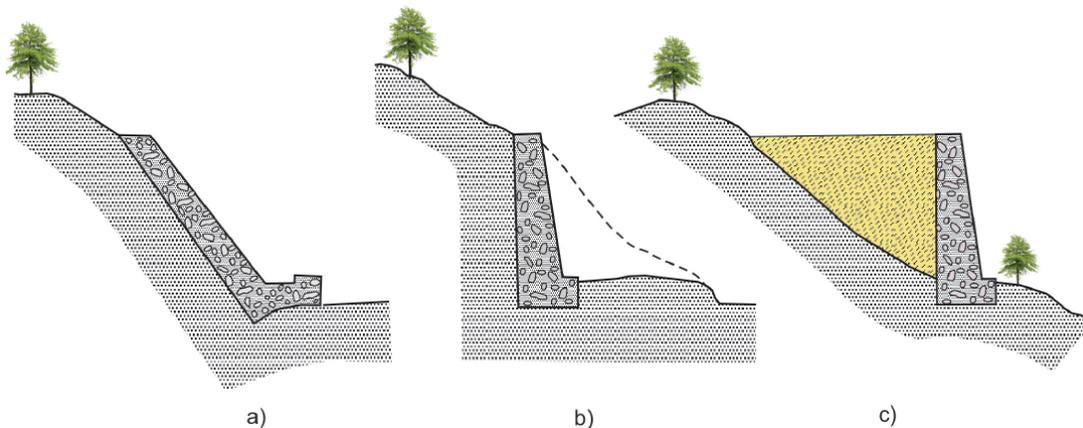


Figura 1. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez *et al.*, 1976).