

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Opinión Técnica N° 6-2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA Y MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA DE ASENTAMIENTO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 40156 NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN

Departamento Arequipa
Provincia Arequipa
Distrito Miraflores



Febrero
2024

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN	4
3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES.....	4
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	4
5. PELIGRO GEOLÓGICO.....	6
6. CONCLUSIONES.....	14
7. RECOMENDACIONES.....	15
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	16

OPINIÓN TÉCNICA

“EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA Y MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA DE ASENTAMIENTO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 40156 NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN”

(Distrito Miraflores, Provincia Arequipa, Región Arequipa)

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET, ente técnico-científico, desarrolla a través de los proyectos y actividades de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuyendo de esta manera, con las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Mediante oficio N° 007-2024-MDM/A, la Municipalidad Distrital de Miraflores, solicita la emisión de una opinión técnica sobre el área de intervención del Proyecto “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO EDUCATIVO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIMARIA N° 40156 NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN, DISTRITO DE MIRAFLORES – PROVINCIA DE AREQUIPA – DEPARTAMENTO DE AREQUIPA” cui 2451782. En el marco de sus competencias el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designó al Ing. Rigoberto Aguilar Contreras, para la elaboración de la Opinión Técnica “**Evaluación de peligros geológicos por actividad volcánica y movimientos en masa en la zona de asentamiento de la Institución Educativa N° 40156 Nuestra Señora del Carmen**”.

Las edificaciones de la IE Nuestra Señora del Carmen, se encuentran sobre depósitos de huaicos (lahares) y depósitos volcanoclásticos del Holoceno, emplazados por las quebradas San Lázaro y Venezuela.

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada, están principalmente relacionados a la actividad del volcán Misti, que podrían ocurrir en caso de una reactivación eruptiva. Además, fenómenos relacionados con flujos de detritos como los lahares pueden ocurrir en tiempos de calma eruptiva, generados por la ocurrencia de precipitaciones estacionales.

Los mapas presentados en este documento, han sido tomados del mapa de peligros del volcán Misti, elaborado en el marco del “Proyecto GA17: Actualización del Mapa de Peligros del volcán Misti en la ciudad de Arequipa”, cuyo manuscrito se encuentra en proceso de revisión externa para su posterior publicación. Considerando que el mapa de peligros actualizado se encuentra en su fase final antes de su publicación, se ha considerado esta información con datos recientes y modelos digitales de elevación de alta resolución (4 m) sobre los que se realizaron las simulaciones para cada tipo de peligro. Este mapa contiene información mejorada con respecto al mapa de peligros publicado el año 2007.

2. UBICACIÓN

La IE Nuestra Señora del Carmen se ubica en el distrito de Miraflores, provincia y departamento Arequipa, en las coordenadas siguientes:

Tabla 1. Coordenadas de la IE Nuestra Señora del Carmen (aproximadas).

Punto	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	231635	8187193	16° 22' 53.73" S	71° 30' 44.71" O
2	231683	8187159	16° 22' 54.91" S	71° 30' 43.12" O
3	231644	8187111	16° 22' 56.43" S	71° 30' 44.43" O
4	231597	8187144	16° 22' 55.30" S	71° 30' 45.99" O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Punto Central	231643	8187154	16° 22' 55.04" S	71° 30' 44.42" O

3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES

- a) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Peligros Geológicos en la Región Arequipa. Informe Técnico A6650. Indica que las quebradas San Lázaro, quebrada Honda, Peregrinos de Chapi en los distritos de Miraflores y Mariano Melgar están sujetos a flujos de detritos, erosión de laderas y erosión fluvial. Se resalta que, el cauce de la torrentera San Lázaro se encuentra con material suelto, generado por labores de extracción de agregados, desmonte y basurales. Estos cauces son propensos a ser afectados por flujos de detritos en temporada de lluvias. Por lo que, se recomendó canalizar los cauces, realizar limpieza con asesoramiento técnico.
- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Geología y mapa de peligros del volcán Misti (Boletín N° 60, Serie C, 2016). Este boletín contiene un mapa geológico y un mapa de peligros, publicados el año 2007. Los autores indican que, los principales peligros en el volcán Misti son la caída de cenizas, lahares, flujos piroclásticos, flujos de lava y avalanchas de escombros. La zonificación de los niveles de peligro indica que, las zonas más próximas al cráter del volcán Misti, sería las más afectadas en caso haya una reactivación del volcán. Además, se remarca que, los cauces y zonas próximas a las torrenteras también son muy susceptibles a ser afectadas en caso de la ocurrencia de lahares. El mapa de peligros del volcán Misti es una herramienta para el ordenamiento territorial, para la elaboración de planes de desarrollo y planes de contingencia ante situaciones de emergencia volcánica.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

La IE Nuestra señora del Carmen se encuentra a aproximadamente 15 km al suroeste del cráter del volcán Misti (Fig. 1). La construcción se asienta sobre una ladera muy suave, que presenta una pendiente promedio de 6° hacia el suroeste. Esta superficie corresponde a un antiguo abanico aluvial formado por la acción de las torrenteras de San Lázaro y Venezuela. El substrato está conformado por depósitos de huaicos (lahares), depósitos de caída piroclástica y depósitos

volcanoclásticos del Holoceno. En la parte más superficial se encuentran depósitos de huaicos (lahares) que ocurrieron en época histórica, y que cubren la mayor parte del abanico aluvial. En zonas aledañas al abanico, afloran depósitos de flujos de lava andesítica (Fig. 2) y depósitos piroclásticos generados por erupciones pasadas del Misti. Los flujos de lava presentan superficies rugosas y con pendientes más pronunciadas.



Figura 1. Vista panorámica de la ubicación de la IE Ntra. Sra. Del Carmen con respecto al volcán Misti.

MAPA GEOLÓGICO LOCAL

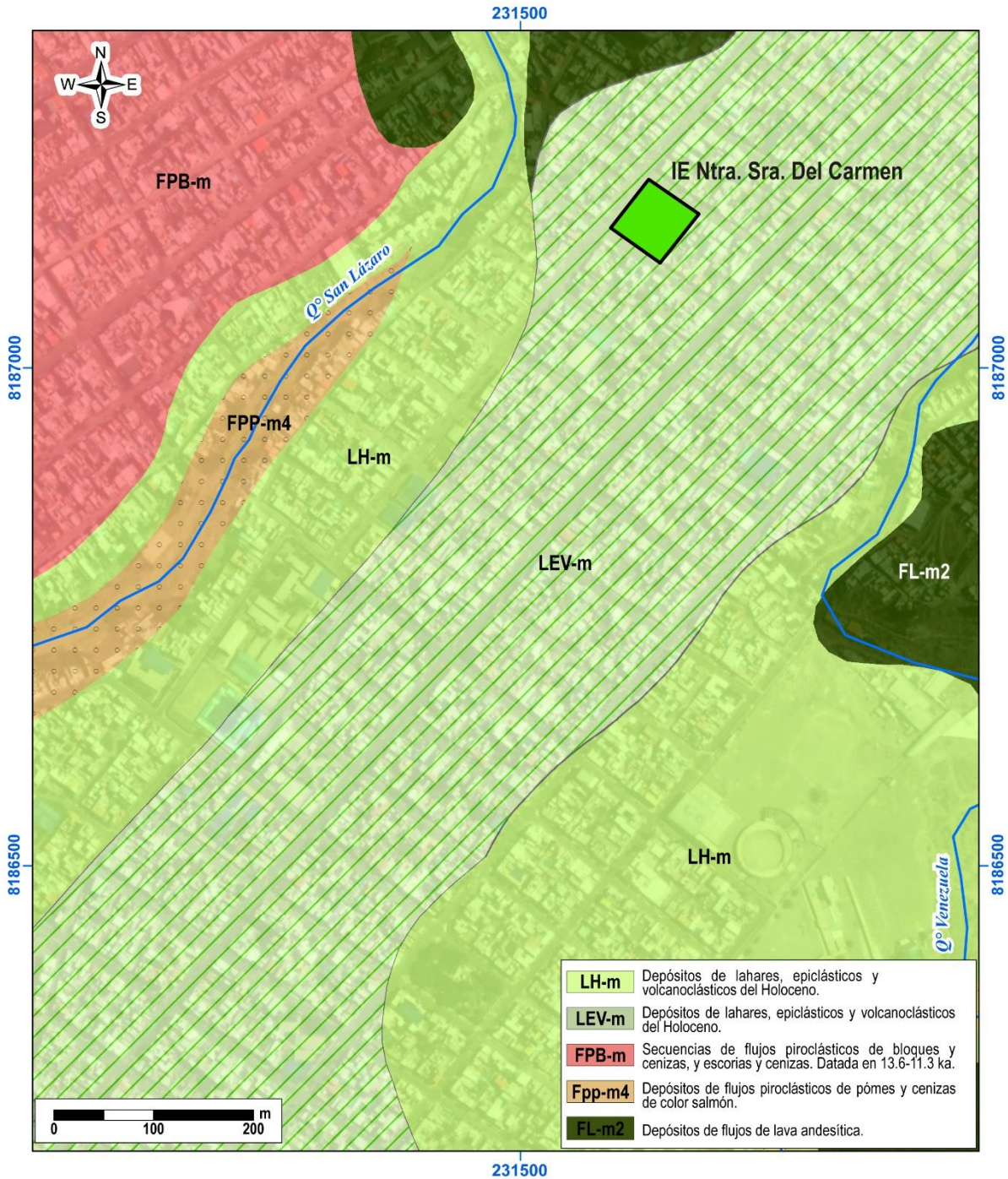


Figura 2. Unidades geológicas sobre las que se asienta la IE Ntra. Sra. Del Carmen. UTM E: 231643, N: 8187154.

5. PELIGRO GEOLÓGICO

La zona de estudio y alrededores son susceptibles a la ocurrencia de peligros geológicos relacionados a la actividad del volcán Misti, y ocurrencia de flujos de lahares (flujo de detritos), condicionados por el tipo y la magnitud de las erupciones, además de las características morfológicas, litológicas y pendiente de los terrenos.

5.1. Peligros por flujos de lava

Los estudios geológicos indican que, flujos de lava en los volcanes del sur del Perú, se desplazan a distancias relativamente cortas, alcanzando distancias menores a 10 km desde su punto de emisión. Otra característica de los flujos de lava, es su baja velocidad de emplazamiento, controlado por su alta viscosidad.

La IE Nuestra Señora del Carmen se encuentra a aproximadamente 15 km del cráter del volcán Misti. Esta distancia hace que el área evaluada se encuentre fuera del área de influencia de los flujos de lava. Sin embargo, la emisión de flujos de lava podría ser emitidos por “ventos parásitos” en los flancos del volcán, aunque su ocurrencia es muy poco probable, ya que en el volcán Misti, no se han evidenciado este tipo de emisiones.

5.2. Peligros por caídas piroclásticas

Las erupciones volcánicas explosivas eyectan hacia la atmósfera, fragmentos de rocas o piroclastos de manera violenta, que luego caen sobre el suelo a manera de “lluvia de rocas”, formando los depósitos de caída piroclástica. Los fragmentos emitidos durante las explosiones son pómez, escoria y líticos densos de distintos tamaños (bloques, lapilli y ceniza), que en conjunto son conocidos como “tefra”. El tamaño de los fragmentos y el espesor de los depósitos (material acumulado en el suelo) disminuyen con la distancia del cráter a la zona de caída; es decir que, mientras más cerca del cráter nos encontremos, los fragmentos de piroclastos y el espesor de sus depósitos serán más grandes en comparación a zonas más alejadas.

Las erupciones explosivas forman columnas eruptivas densas que, dependiendo de la magnitud, pueden alcanzar varias decenas de kilómetros de altura. Mientras más alta sea la columna eruptiva, más extensa será el área afectada. Otro factor que controla el área de afectación es la dirección y velocidad de los vientos sobre el volcán.

Los efectos negativos de las caídas piroclásticas, principalmente, cenizas son daños en la salud (afecciones respiratorias, irritación de ojos y piel), problemas en el tránsito vial por la poca visibilidad, contaminación de fuentes de agua y afectación en la agricultura. La acumulación de piroclastos sobre los techos de los edificios, puede provocar el colapso de estos, causando incluso la muerte de sus habitantes. Las cenizas pueden causar muchos otros daños en los sistemas de conexión eléctrica, la aviación, el clima, etc.

Los estudios geológicos detallados que se han realizado en el volcán Misti, reportan erupciones explosivas muy grandes a lo largo de su historia. En los últimos 50 mil años, el Misti generó al menos 20 erupciones explosivas plinianas y subplinianas. Una de las más recientes erupciones subplinianas ocurrió hace aproximadamente 2050 años, que emitió al menos 1.4 km³, con una altura de columna de 29 km sobre el cráter, y un índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 5 (e.g. Thouret et al., 2001, Harpel et al., 2011). En el periodo entre los años 1440 – 1470, se produjo una erupción vulcaniana que emitió un volumen de magma de 0.006 km³, una altura de 5 km, y un IEV de 2 (Mariño et al., 2016).

El mapa de peligros por caídas piroclásticas del volcán Misti para un escenario de erupción vulcaniana con IEV 1-2 (Fig. 3) fue elaborado considerando un volumen de 0.006 km³ (similar a la erupción de 1440-1470) y una altura de columna eruptiva de 10

km sobre el nivel del mar, utilizando el software Ash3D (Mastin et al., 2021). Según este mapa, la IE Nuestra Señora del Carmen se encuentra en la zona de peligro moderado (color anaranjado), donde se prevé la caída de cenizas con 1 cm de espesor. Esta cantidad de ceniza puede afectar la salud de las personas, si estas están expuestas por tiempos prolongados.

Durante erupciones con IEV 3-4, el volumen emitido sería de 0.5 km³ y una altura de 27 km sobre el nivel del mar, similar a la erupción ocurrida hace 2050 años. En este escenario, la IE Nuestra Señora del Carmen, se ubicaría en una zona de alto peligro (color rojo), con un espesor de depósito de caída piroclástica de 10 cm. Con esta cantidad, puede haber daños considerables en la salud de las personas, severa afectación en la agricultura y contaminación de fuentes de agua, colapso de techos de calamina o materiales poco resistentes.

En erupciones plinianas con IEV 5, el volumen emitido sería superior a 1 km³, y una altura de columna de 30 km sobre el nivel del mar. En este escenario, la IE Nuestra Señora del Carmen, se encontraría en una zona de peligro alto (color rojo), con un espesor del depósito mayor a 10 cm. En estas condiciones, la afectación a la salud puede ser muy severa, grandes daños a la agricultura, fuentes de agua y las comunicaciones. La acumulación de las cenizas puede causar incluso el colapso de los techos planos de concreto que hayan sido construidos sin adecuadas especificaciones técnicas, y podría ser empeorado si la ceniza se encuentra mojada (en caso de lluvias).

Las estimaciones sobre la magnitud y frecuencia para erupciones vulcanianas en el volcán Misti es de 500 a 1000 años; mientras que, para erupciones subplinianas y plinianas es de 2000 a 4000 años (Sandri et al., 2014). Esto indica que, las erupciones vulcanianas tienen un periodo de retorno menos prolongado que las erupciones plinianas.

MAPA DE PELIGROS POR CAÍDA PIROCLÁSTICAS DEL VOLCÁN MISTI

ESCENARIO ERUPTIVO PARA UN ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV) 2

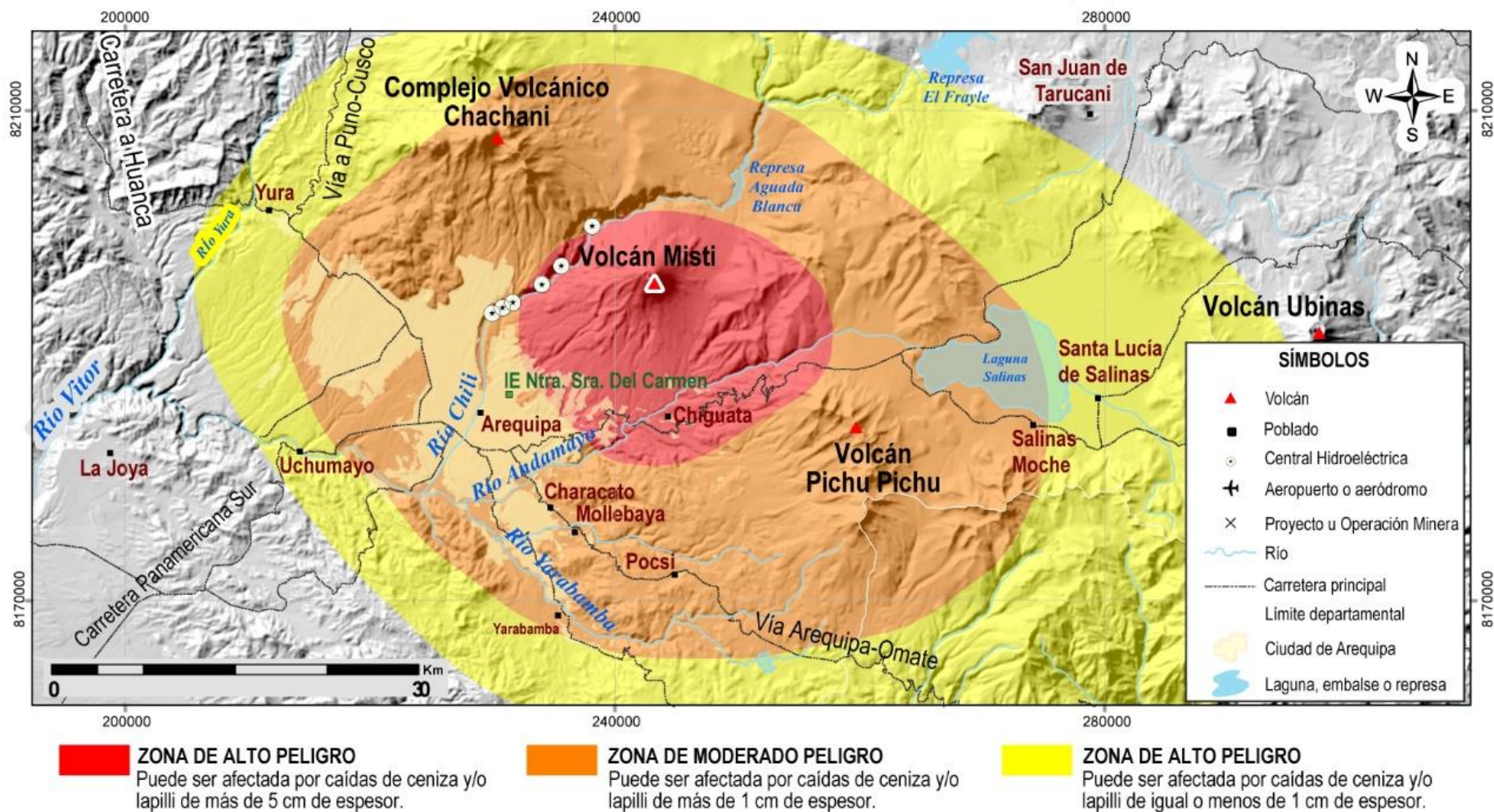


Figura 3. Mapa de peligros por caídas piroclásticas (caída de tefra) del volcán Misti, para un escenario de erupción vulcaniana con IEV 1-2.

5.3. Peligros por flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos o Corrientes de Densidad Piroclástica (PDC por sus siglas en inglés) son los fenómenos volcánicos más devastadores. Consiste en una mezcla turbulenta de pómez, ceniza, fragmentos de roca y gases que se desplazan por los flancos del volcán hacia las zonas bajas, a grandes velocidades (100 – 300 km/h) y altas temperaturas (300 – 800 °C). Estos flujos son generados por el colapso de la columna eruptiva en erupciones explosivas de gran magnitud, o por el colapso de domos de lava. La parte basal más densa del flujo piroclástico se desplaza al ras del suelo por las zonas bajas y pueden canalizarse en las quebradas; sin embargo, la parte más fluida con ceniza fina puede sobrepasar las paredes de los valles y colinas debido a su gran velocidad de desplazamiento.

El mapa de peligros por flujos piroclásticos (Fig. 4) fue elaborado con base en una serie de 300 simulaciones con el software VolcFlow (Kelfoun, 2009) sobre un modelo digital de elevación (DEM) de 4 m de resolución.

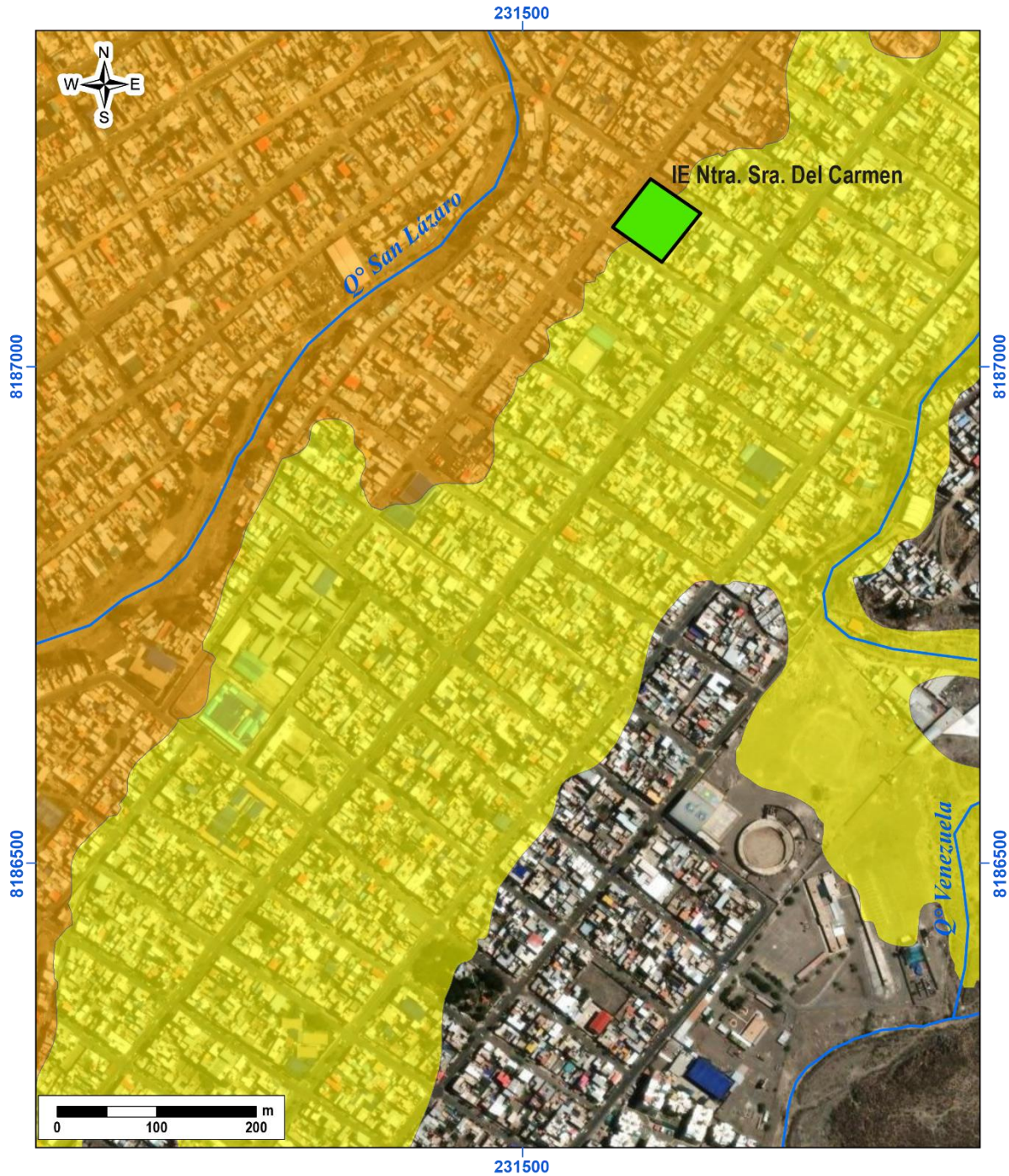
Para un escenario de erupción con IEV 2-3, el volumen considerado fue de $1 - 50 \times 10^6$ m³. Este escenario delimita la zona de alto peligro (color rojo) generado por una erupción vulcaniana similar a la ocurrida en 1440-1470 (Siglo XV).

Para un EIV 3-4, el volumen fue de $50 - 100 \times 10^6$ m³, que delimita la zona de moderado peligro (color anaranjado) afectado por una erupción similar a la de hace 2050 años.

Para un escenario eruptivo con IEV 5, el volumen de simulación fue de $100-1000 \times 10^6$ m³. Este escenario fue utilizado para delimitar la zona de bajo peligro, y se consideró una erupción de tipo pliniana ocurrida hace 47.3 – 40 mil años en el volcán Misti.

La IE Nuestra Señora del Carmen se ubica en la transición entre la zona de moderado a bajo peligro. Cabe señalar que esta zona sería afectada durante erupciones con Índice de Explosividad Volcánica superiores a 3, que tienen un periodo de recurrencia de 2000 a 4000 años.

MAPA DE PELIGROS POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS



<p>Zona de Alto Peligro</p> <p>Puede ser severamente afectada por caídas piroclásticas flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y avalanchas de escombros, generados durante una erupción del Misti. Por su cercanía al volcán y sus características geomorfológicas, es la zona de mayor peligro. Cualquier tipo de erupción la puede afectar, incluso las de baja magnitud como la ocurrida en el Siglo XV (IEV de 2).</p>	<p>Zona de Moderado Peligro</p> <p>Puede ser severamente afectado por todos los peligros que alcanzarían la zona anterior. Esta zona es de menor peligro que la roja y solo puede ser afectada durante erupciones de magnitud mediana a alta (IEV 3 a 4), como la erupción de hace 2 Ka.</p>	<p>Zona de Bajo Peligro</p> <p>Es la zona más alejada del volcán y por tanto la de menor peligro. Puede ser afectada por los productos descritos anteriormente pero proveniente de erupciones de magnitud muy alta (IEV 4 a 5), como algunas ocurridas en los últimos 50 mil años, que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos.</p>
--	---	--

Figura 4. Mapa de peligros por flujos piroclásticos del volcán Misti con la ubicación de la IE Jorge Luis Borges.

5.4. Peligros por flujos de detritos (lahares)

Los flujos de detritos que discurren por las quebradas en los flancos de los volcanes, llamados también lahares, son mezclas de partículas volcánicas de diversos tamaños y agua. El agua puede provenir de las lluvias, derretimiento de nieve, ríos o lagunas formadas en el cráter del volcán. La velocidad de desplazamiento es de 20-60 km/h. Estos flujos se generan durante una erupción volcánica (lahares primarios) o en periodos de tranquilidad (lahares secundarios).

Los flujos de detritos que se generan en las quebradas que descienden del volcán Misti, son fenómenos recurrentes; principalmente ocasionadas por la saturación de los suelos de los flancos del volcán en las estaciones de lluvia. En los últimos años, estos eventos han causado daños a la infraestructura, colapso de viviendas, y en algunos casos, la pérdida de vidas humanas. El impacto adverso causado por los flujos se ha intensificado debido a la ocupación de los cauces y bordes de quebradas con viviendas y obras de infraestructura.

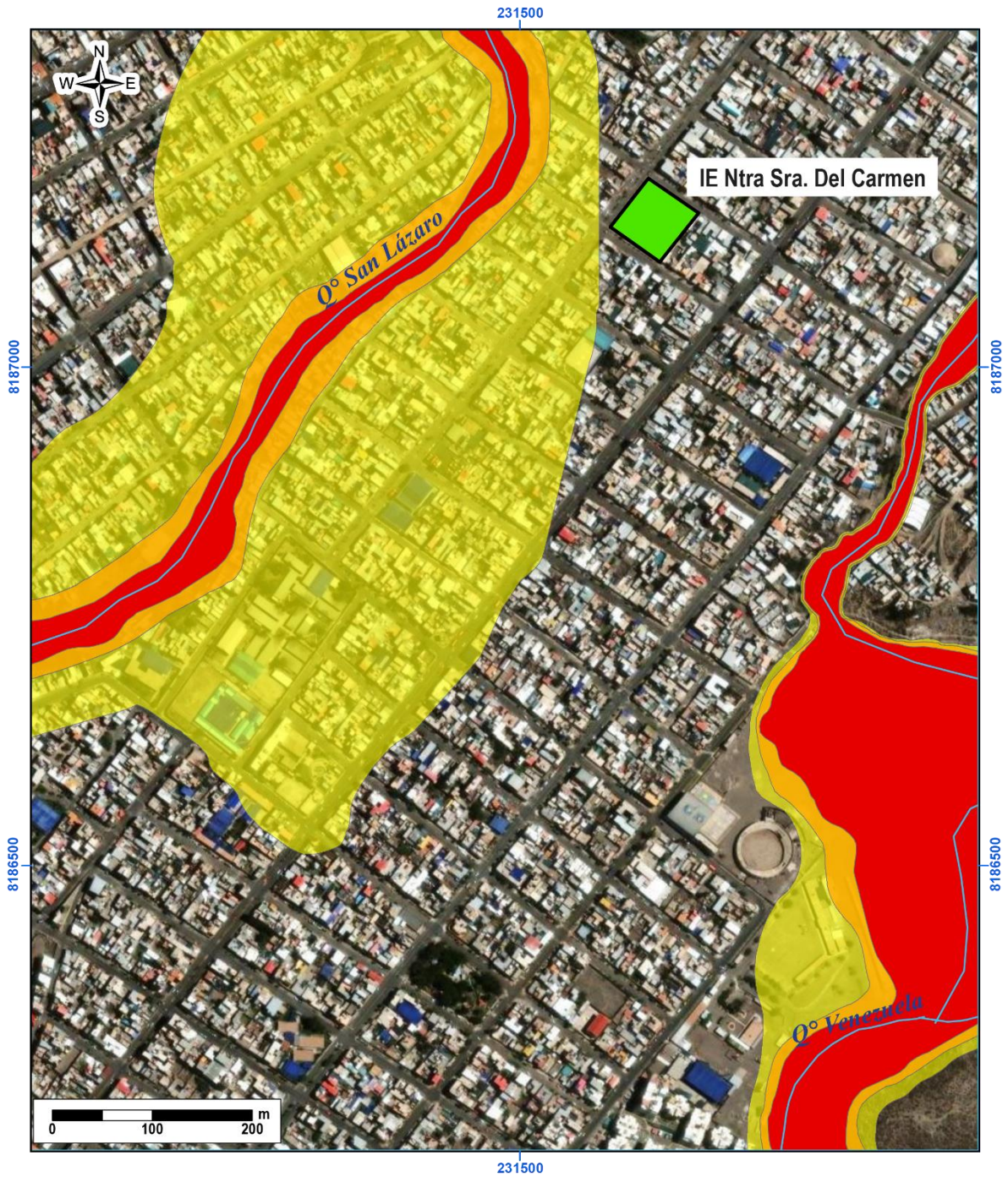
Las simulaciones para la elaboración de los mapas de peligro por flujos de detritos fueron realizadas con el software VolcFlow (Kelfoun, 2009). Los volúmenes del agua disponible para desencadenar los flujos fueron obtenidos a partir del balance de estimaciones de la cantidad de precipitación, escorrentía e infiltración en cada cuenca (delimitada por el “divortium aquarum”). El porcentaje de concentración entre agua y material removilizado es de 60 % y 40 % respectivamente.

El mapa de peligros por flujos de detritos (lahares) ha sido elaborado considerando tres escenarios:

- La zona de alto peligro (color rojo) puede ser afectada por flujos generados por lluvias de hasta 30 mm, como la ocurrida entre el 23-25 de febrero del 2020 en zonas aledañas al distrito de Miraflores.
- La zona de moderado peligro (color anaranjado) puede ser afectada por flujos formados por lluvias de hasta 50 mm, como la sucedida el 25 de febrero de 1997.
- La zona de bajo peligro (color amarillo) puede ser afectada por flujos desencadenados por lluvias de hasta 125 mm, como la ocurrida el 8 de febrero de 2013.

De acuerdo al mapa de peligros por flujos (Fig. 5), la IE Nuestra Señora del Carmen se encuentra fuera de la zona de peligros que descienden por la quebrada San Lázaro; sin embargo, es necesario considerar que la acumulación de aguas de lluvia en las avenidas y calles circundantes podrían afectar la construcción, aunque este impacto puede ser reducido con la construcción de sumideros, canales de evacuación y muros resistentes.

MAPA DE PELIGROS POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)



<p>Zona de Alto Peligro</p> <p>Puede ser severamente afectada por caídas piroclásticas, flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y avalanchas de escombros, generados durante una erupción del Misti. Por su cercanía al volcán y sus características geomorfológicas, es la zona de mayor peligro. Cualquier tipo de erupción la puede afectar, incluso las de baja magnitud como la ocurrida en el Siglo XV (IEV de 2).</p>	<p>Zona de Moderado Peligro</p> <p>Puede ser severamente afectado por todos los peligros que alcanzarían la zona anterior. Esta zona es de menor peligro que la roja y solo puede ser afectada durante erupciones de magnitud mediana a alta (IEV 3 a 4), como la erupción de hace 2 Ka.</p>	<p>Zona de Bajo Peligro</p> <p>Es la zona más alejada del volcán y por tanto la de menor peligro. Puede ser afectada por los productos descritos anteriormente pero proveniente de erupciones de magnitud muy alta (IEV 4 a 5), como algunas ocurridas en los últimos 50 mil años, que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos.</p>
---	---	--

Figura 5. Mapa de peligros geológicos por flujos de detritos para la zona de ubicación de la IE Jorge Luis Borges.

6. CONCLUSIONES

- a. La IE Nuestra Señora del Carmen se encuentra construida sobre depósitos volcanoclásticos y flujos de detritos (lahares) emplazados en los últimos 11 mil años (Holoceno).
- b. La institución educativa se encuentra a ~15 km de distancia del cráter del volcán Misti. Desde el punto de vista geomorfológico, el área evaluada, se ubica en una ladera de pendiente baja (~6°), rodeada por colinas relativamente empinadas, formadas por depósitos de flujo de lava antiguas.
- c. Según el mapa de peligros por **caídas piroclásticas** (caída de cenizas), la IE Nuestras Señora del Carmen se encuentra en una zona de **peligro moderado**, y sería afectada durante una erupción vulcaniana que depositaría una capa de cenizas de aproximadamente 10 cm de espesor.
- d. Según el mapa de peligros por **flujos piroclásticos**, la IE Nuestras Señora del Carmen se encuentra en una zona de transición de **peligro moderado** a **peligro bajo**, puesto que se encuentra a ~120 m de distancia desde el cauce de la quebrada San Lázaro que podría ser desbordado por flujos piroclásticos en caso de erupciones con IEV mayor a 3).
- e. Según los mapas de peligros por **flujos de detritos (lahares)** y **flujos de lava**, la IE Nuestra Señora del Carmen se encuentra fuera de las zonas de peligro, debido a que los flujos de lava se emplazan a distancias cortas (menor a 10 km), y que se encuentra a ~120 m de distancia del cauce de la quebrada San Lázaro, y a 270 m de la quebrada Venezuela.
- f. La zonificación de cada uno de los peligros geológicos descritos en este documento, indican que, la Institución Educativa Nuestra Señora del Carmen se encuentra en una zona de peligro bajo frente a fenómenos más recurrentes como los flujos de detritos, y en zona de peligro moderado frente a peligros con periodo de recurrencia más amplio como los flujos piroclásticos y la caída de cenizas causados por erupción del volcán Misti. En este contexto, es posible desarrollar proyectos de mejoramiento de la infraestructura siguiendo las recomendaciones indicadas.

7. RECOMENDACIONES

- a. Para reducir la vulnerabilidad física de la IE Nuestra Señora del Carmen frente a las caídas piroclásticas (principalmente caída de cenizas), se recomienda la construcción de techos resistentes que tengan una inclinación mayor a 15°, para facilitar su limpieza y evitar la acumulación de cenizas.
- b. Considerar la instalación de puertas y ventanas que permitan un cierre hermético, y que evitan el ingreso de partículas de ceniza a las aulas en caso ocurra una erupción explosiva con caída de cenizas.
- c. Se recomienda mantener limpios y evitar el arrojado de desmonte y basura a los cauces de las quebradas San Lázaro y Venezuela para controlar el paso de los flujos de detritos (lahares). La arborización de los bordes de las quebradas también puede ayudar a mejorar la actual situación.
- d. Los muros de las edificaciones deben ser construidos siguiendo las normas y estándares de construcción para asegurar su resistencia frente al descenso de flujos piroclásticos. Estas condiciones pueden también ayudar para reducir los riesgos frente a otros peligros como los sismos.
- e. Frente a los peligros por flujos de detritos (lahares), es necesario implementar medidas para sensibilizar a la comunidad estudiantil y plana docente respecto a las acciones para afrontar estos fenómenos naturales.



Rigoberto Aguilar Contreras



.....
Ing. SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Harpel, C.; De Silva, S. & Salas, G. (2011) - The 2ka eruption of Misti volcano, southern Peru – the most recent plinian eruption of Arequipa’s iconic volcano. Boulder, CO: *Geological Society of America*, 72 p. Special Paper, 484.
- Kelfoun, K.; Samaniego, P.; Palacios, P. & Barba, D. (2009) - Testing the suitability of frictional behaviour for pyroclastic flow simulation by comparison with a well-constrained eruption at Tungurahua volcano (Ecuador). *Bull. Volcanol* 71, 1057–1075. Disponible en: doi:10.1007/s00445-009-0286-6.
- Mariño, J.; Rivera, M.; Thouret, J.C. & Macedo, L. (2016) - Geología y Mapa de Peligros del Volcán Misti. *INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, N° 60*, Lima. Perú.
- Mastin, L.; Randall, M.; Schwaiger, H. & Denlinger, R. (2021) - User’s Guide and Reference to Ash 3D-A Three-Dimensional Model for Eularian Atmospheric Tephra Transport and Deposition. (ver. 2.0, April 2021) *U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1122*, 25 p., Disponible en: <https://doi.org/10.3133/ofr20131122>.
- Sandri, L.; Thouret, J.-C.; Constantinescu, R.; Biass, S. & Tonini, R. (2014) - Longterm multi-hazard assessment for El Misti volcano (Perú). *Bull. Volcanol.* 76, 2. Disponible en: doi:10.1007/s00445-013-0771-9
- Thouret, J.C. et al. (2001) - Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 113(12): 1593-1610.