

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6923

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL SECTOR DE SIRAHUAYA



Región Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distrito Ubinas



JULIO
2019

ARONAFI TORALDE FOMECOTEIENF307

Contenido

RESUMEN	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 OBJETIVO.....	6
1.3 UBICACIÓN.....	6
1.4 CLIMA E HIDROLOGÍA.....	6
II. ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL UBINAS	8
III. GEOMORFOLOGÍA	11
3.1 LADERA EN ROCA VOLCÁNICA (LA-RV).....	11
3.2 COLINAS Y LOMADAS EN DEPÓSITOS VOLCÁNICOS (CL-DV).....	13
3.3 RELIEVE DE MONTAÑAS EN ROCAS VOLCÁNICAS (RM-RV).....	14
IV. GEOLOGÍA	15
4.1 Formación Matalaque (Ki-Ma)	16
4.2 Grupo Tacaza (P-Ta)	16
4.3 Avalancha de escombros (P-Ba2)	17
4.4 Depósitos aluviales (Qh-al).....	19
V. PELIGROS GEOLÓGICOS	20
5.1 Lahares o huaicos	20
5.2 Erosión de laderas.....	20
5.3 Caída de rocas y derrumbes	20
VI. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN UBINAS	21
6.1 Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples.....	21
6.2 Mapa de peligros por caídas de ceniza y lapilli	23
6.3 Mapa de peligros por ocurrencia de lahares.....	25
VII. CONCLUSIONES	26
VIII. RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO	29

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación de la zona de Sirahuaya, la cual se encuentra a 12 km del volcán Ubinas.

Figura 2: Correlación entre la actividad interna (sismicidad) y la actividad externa (emisiones de ceniza) del volcán Ubinas correspondiente al día 19 de julio.

Figura 3: Imagen satelital CIRA del día 19 de julio de 2019 que muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección E - SE.

Figura 4: Imagen satelital PerúSAT-1 del día 22 de julio de 2019 que muestra la pluma en dirección sureste.

Figura 5: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio.

Figura 6: Zona de ladera en el sector de Anascapa.

Figura 7: Vista de la zona de ladera de Anascapa desde el sector de Sirahuaya.

Figura 8: Vista del sector de Sirahuaya, cuya superficie es plana subhorizontal con pendiente baja de aproximadamente 5°.

Figura 9: Vista en planta de quebradas superficiales que atraviesan el sector de Sirahuaya.

Figura 10: Vista de la escarpa de colapso y colina, constituido por depósitos de avalancha de escombros.

Figura 11: Mapa Geológico de la zona de estudio.

Figura 12: Secuencias volcanoclásticas correspondientes al Grupo Tacaza (P-Ta3) y depósitos de avalancha de escombros donde se localiza Sirahuaya.

Figura 13: Vista de colinas o hummocks de avalancha de escombros y depósitos volcánicos del Grupo Tacaza.

Figura 14: Matriz de avalancha de escombros constituida por material fino a medio (limo, arcilla y arena)

Figura 15: Roca de 1.5 m de diámetro que presenta fracturamiento con estructura en rompecabezas.

Figura 16: Quebrada sin nombre localizada a 140 m hacia el norte de la zona de estudio.

Figura 17: Sector de Sirahuaya fuera de la zona de influencia del mapa proximal para peligros múltiples.

Figura 18: Caída de ceniza de 1 mm de espesor en el sector de Sirahuaya, correspondiente a la erupción del Ubinas del día 19 de julio.

Figura 19: Sector de Sirahuaya está en una zona de alto peligro por la caída de ceniza del Ubinas.

Figura 20: Modelamiento con el software LAHARZ por ocurrencia de lahares en la zona de Sirahuaya.

RESUMEN

El 24 de junio del presente año se inició un nuevo proceso eruptivo del volcán Ubinas con emisión de cenizas. Las primeras explosiones ocurrieron el día 19 de julio generando una columna eruptiva de 6.5 km de altura sobre la cima del volcán, cuyas cenizas luego fueron dispersaron en dirección Este y Sureste a más de 250 km del volcán. Posteriormente, el 22 de julio a las 23:25 horas se produjo otra explosión que generó una columna eruptiva de 4 km y emitió bloques incandescentes los cuales alcanzaron las laderas del volcán. Debido al comportamiento actual del volcán y la posibilidad de incrementarse la actividad, INGEMMET recomendó evacuar los pueblos que se encuentran en zonas de alto peligro ante una erupción del volcán Ubinas, entre ellos Ubinas, Querapi, Escacha, Tonohaya, San Miguel y Huatagua.

Frente a esta situación las autoridades del COER del Gobierno Regional de Moquegua y del pueblo de Ubinas sugirieron el sector de Sirahuaya, como zona de albergue para los pobladores de los pueblos antes mencionados. En tal sentido, solicitaron a INGEMMET realizar una evaluación de Peligros Geológicos del sector de Sirahuaya, la cual se realizó el 23 de julio. Respecto a los peligros por movimientos en masa que pueden afectar la zona propuesta para el albergue, no se han identificado desprendimientos de rocas, derrumbes o deslizamientos que le puedan afectar dicha zona. Pero si se identificaron depósitos de caída de ceniza de 1 mm de espesor de la actual erupción y depósitos de lahares, que se canalizaron por una de las quebradas.

El sector de Sirahuaya geográficamente corresponde a una zona semi-plana asentada en medio de una ladera que podría verse afectada principalmente por caída de cenizas del volcán Ubinas por encontrarse a solo 12 km del cráter del volcán, cabe mencionar que de incrementarse la actividad el espesor y tamaño de la ceniza también incrementaría en este sector, en tal sentido se recomienda retomar el albergue de Chacchagen, el cual se utilizó en crisis anteriores y se encuentra a más de 15 km del volcán Ubinas.

Sin embargo, de construirse el albergue en esta zona se recomienda construir obras de mitigación estructural ante la ocurrencia de avenidas o lahares para evitar daños en el albergue; así como implementar medidas de protección a la población ante la caída de ceniza, proporcionándoles implementos de protección personal como mascarillas y lentes ante las caídas de ceniza, dado que la actividad del volcán Ubinas se desarrollará durante meses o años.

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es una entidad rectora de la geología en el país. Según el ROF del INGEMMET (Decreto Supremo Nro. 035-2007-EM, ver Anexo), en el Artículo 3, dentro sus Ámbitos de Competencia y Funciones, señala entre otras funciones "**Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros**".

El INGEMMET, dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenar en desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

Debido a la reciente actividad volcánica del Ubinas, la cual se inició el 24 de junio del presente año, el INGEMMET viene realizando el seguimiento permanente de la actividad volcánica informando a las autoridades sobre el estado del volcán y los efectos que generan las cenizas en el medio ambiente.

Por otro lado, el Gobierno Regional de Moquegua solicitó al INGEMMET, un informe técnico de peligros geológicos de la zona de Sirahuaya, sector propuesto como albergue para los cinco poblados afectados por la actividad del volcán Ubinas (Ubinas, Querapi, Tonohaya, Escacha, San Miguel y Huatagua), según Reporte Complementario N°23-19/07/2019/COER-MOQUEGUA/09:00 HORAS y oficio N°95 – 2019-GRM/GR de fecha 22 de julio. Cabe mencionar, que según el mapa de peligros volcánicos elaborado por INGEMMET, los pueblos a reubicar se encuentran en zonas de alto peligro por erupción de dicho volcán.

1.1 ANTECEDENTES

El Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Moquegua a través del Reporte Complementario N°23-19/07/2019/COER-MOQUEGUA/09:00 HORAS y el Gobierno Regional de Moquegua a través del Oficio N°95-2019-GRM/GR, solicitaron la "Evaluación de Peligros Geológicos del sector de Sirahuaya, distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro", zona propuesta como albergue para la instalación de cinco poblados que se encuentran en zonas de alto peligro por erupción del volcán Ubinas.

El Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designó a los Ings. Edu Taipe y Nélica Manrique, especialistas en riesgo geológico y volcánico, para que formulen un informe técnico detallado sobre este tema.

Los trabajos de geología y evaluación de peligros de campo se realizaron el día 23 de julio del 2019.

En el presente informe se detallan los resultados de la evaluación técnica realizada, debidamente ilustrado con fotografías y mapas, donde se describe las características geológicas de la zona de Sirahuaya y de qué manera podría ser afectada, sobre todo por peligros volcánicos, es decir debido a la actividad del volcán Ubinas. El informe se pone a consideración del COER Moquegua, así como a la Municipalidad Distrital de Ubinas.

1.2 OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivos:

- Analizar y evaluar los tipos de peligros geológicos que podrían afectar la zona Sirahuaya.
- Presentar la evaluación integral de las características geológicas, geomorfológicas y de los peligros volcánicos potenciales que se ciernen sobre dicha zona.
- Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de daños que pueden causar los peligros geológicos sobre dicha zona.

1.3 UBICACIÓN

El sector de Sirahuaya (*Anexo - Tabla1*) se encuentra ubicado a 1.5 km de la localidad de Anascapa, distrito de Ubinas, provincia General Sanchez Cerro, departamento de Moquegua; aproximadamente a 12 km de distancia del cráter del volcán Ubinas (*Fig. 1*) y comprende un área de 75571 m². Al sector de Sirahuaya se puede acceder a través de la carretera afirmada Anascapa – Logen – Arequipa.

1.4 CLIMA E HIDROLOGÍA

Existe un cambio o contraste de climas bien diferenciados respecto al volcán y a la zona de Sirahuaya. Al nivel 4600 a 5630 m s.n.m., donde se encuentra la parte alta y media del cono volcánico, corresponde un clima frío. El aire de esta región es seco y poco denso. La temperatura diurna está por encima de los cero grados; en cambio por las noches casi siempre es inferior a cero grados. En los meses de invierno (diciembre-marzo) tienen lugar las fuertes precipitaciones de lluvia, nieve y granizo. En estos meses la nieve se deposita dentro de la caldera y en la parte superior de los flancos en un espesor aproximado de 40 cm y 60 cm, en un área de 5 a 7 km² (que hacen un volumen aproximado de 30 000 m³).

Hacia el nivel 3800 a 2800 m s.n.m., donde se encuentra el valle de Ubinas y la zona de Sirahuaya, el clima es templado y seco durante la mayor parte del año (mayo-noviembre). En esta zona a veces se dan heladas que afectan seriamente los cultivos (junio-julio) y durante los meses de diciembre a marzo se producen abundantes lluvias, que consecuentemente, producen derrumbes y deslizamientos en los terrenos poco consolidados o inestables.

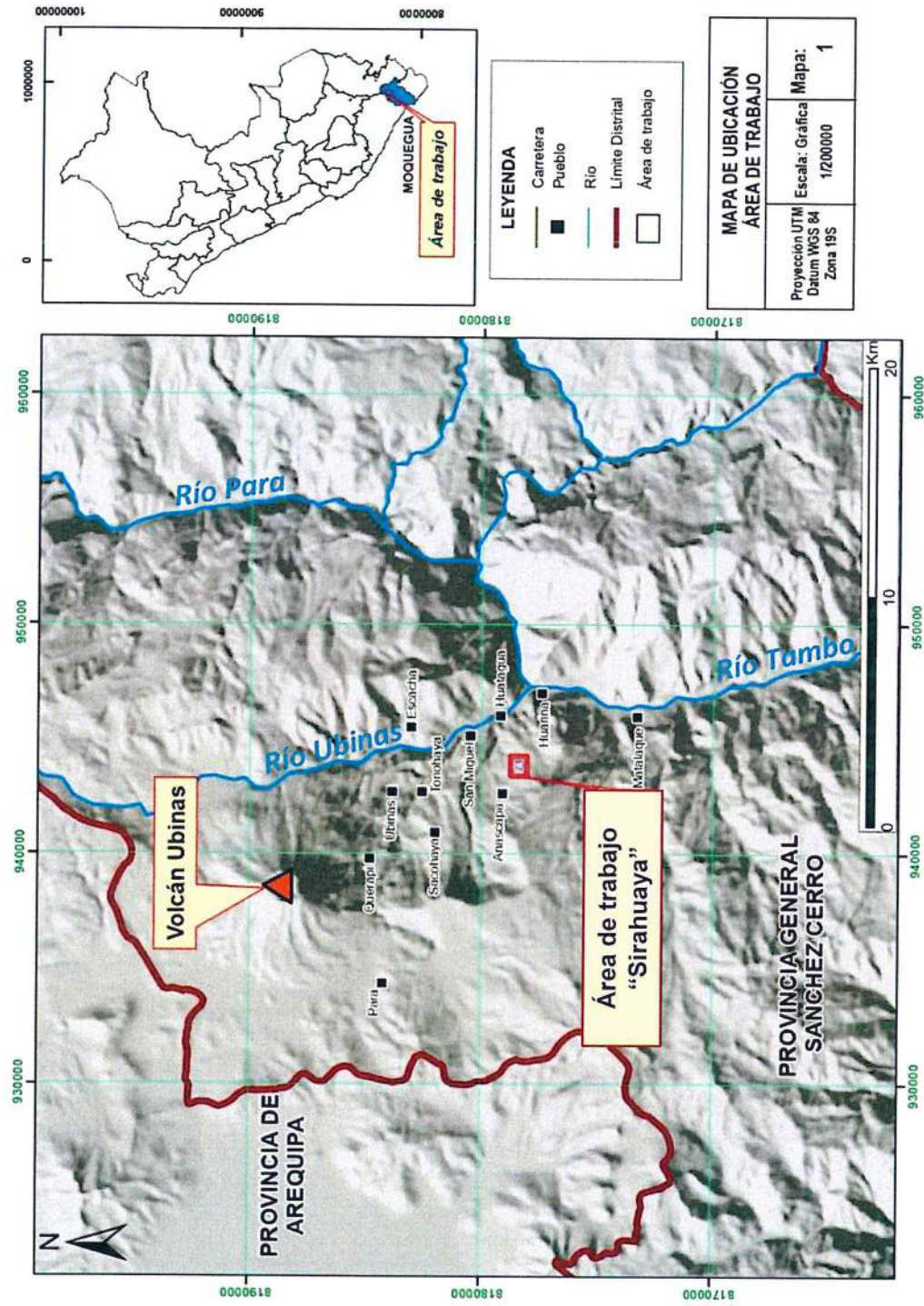


Figura 1: Mapa de Ubicación de la zona de Sirahuaya, la cual se encuentra a 12 km del volcán Ubina.

En cuanto a la hidrología, existen dos cuencas ubicadas al extremo sur y sureste del volcán Ubinas por donde drenan los ríos Ubinas y Para, respectivamente. Estos ríos se unen en inmediaciones del poblado de San Miguel, y juntos drenan sus aguas al río Tambo del cual son tributarios. Reciben aportes de quebradas pequeñas que durante las épocas de invierno transportan mayor volumen de agua. Las quebradas y ríos en su conjunto pertenecen a la vertiente hidrográfica del Océano Pacífico. Los ríos Para y Ubinas se caracterizan por transportar agua durante todo el año, incrementando cada uno considerablemente su caudal hasta en 12 m³/s durante el invierno (diciembre-marzo) y disminuyéndolo hasta 2 m³/s en los meses de verano (abril-noviembre).

II. ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL UBINAS

El volcán Ubinas es uno de los ocho volcanes activos del sur peruano, localizado en la región Moquegua. Estudios geológicos-vulcanológicos muestran que dicho volcán presentó al menos 26 crisis volcánicas desde el año de 1550 (Rivera, 1998; Rivera *et al.*, 2011), referidas a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas, con una recurrencia de 2 a 6 episodios por siglo, considerado por ello como el más activo del sur peruano. Esta actividad pasada se caracterizó por presentar erupciones leves a moderadas, que constantemente causaron daños en la población, terrenos de cultivos, pastizales y fuentes de agua.

La actividad eruptiva del volcán Ubinas registrada entre los años 2006-2009, causó alarma y preocupación entre los pobladores del valle de Ubinas y sus autoridades, quienes antes de dicha crisis no se disponía de un sistema de monitoreo volcánico, tampoco se disponía de planes de contingencia, ni estrategias destinadas a atender una crisis volcánica que involucre la evacuación de la población. En esta oportunidad se temió que la actividad se incrementara enormemente, inclusive con la generación de flujos piroclásticos o colapso del sector sur del volcán con posibles consecuencias trágicas para los más de 3000 habitantes que viven en el valle de Ubinas (situado al pie del flanco sur del volcán). Al inicio de esta actividad, es decir, desde abril a agosto del 2006, se produjo un importante incremento de la actividad volcánica, el cual, se vio reflejado por las continuas emisiones de cenizas que obligó a las autoridades a evacuar en un primer momento a los pobladores de Querapi hacia el refugio de Anascapa (ocurrido los días 20-21 de abril de 2006) y, en un segundo momento, a más de 1500 personas al refugio de Chacchagen (~15 km al sureste del volcán). Esto ocurrió entre los días 9 y 11 de junio del 2006 (Mariño *et al.*, 2011).

El 01 de setiembre del 2013, el volcán Ubinas inició un nuevo ciclo de actividad eruptiva, alcanzando su mayor nivel de actividad entre los días 12 y 23 de abril del 2014. En este periodo se produjeron alrededor de 46 explosiones, con emisiones importantes de ceniza, en columnas eruptivas de hasta 5 km sobre el cráter que produjeron caídas de ceniza a más de 25 km de distancia del cráter. A partir de mayo de 2014 la actividad eruptiva del volcán Ubinas disminuyó paulatinamente, manteniéndose en un nivel bajo, hasta enero del 2016.

El actual proceso 2019 del volcán Ubinas se inició la mañana del 24 de junio, desde las 07:30 am, se registraron emisiones de gases y ceniza en forma de columnas

fumarólicas que se elevaban hasta los 1400 m sobre el cráter del volcán y se dispersaban hacia el noreste; estas emisiones se prolongaron por cinco horas. Posteriormente, el volcán Ubinas bajó su producción de gases y ceniza, solo se apreciaban gases azulinos de poca intensidad que rápidamente se dispersaban por el viento, hacia el noreste.

El 19 de julio, desde las 02:30 horas, el Ubinas inició su segunda fase eruptiva, con abundante emisión de gases y ceniza, cuyas columnas superaron los 6.5 km sobre la cima del volcán (*Fig. 2*) y las cenizas se dispersaban hacia el este/sureste (*Fig. 3*), zona donde se encuentran la mayor cantidad de pueblos del valle de Ubinas. Ese día la intensa actividad perduró por más de 8 horas, durante el cual las cenizas viajaron a más de 250 km de distancia del volcán, traspasando los departamentos de Moquegua, Tacna y Puno, llegando hasta el territorio boliviano y argentino.

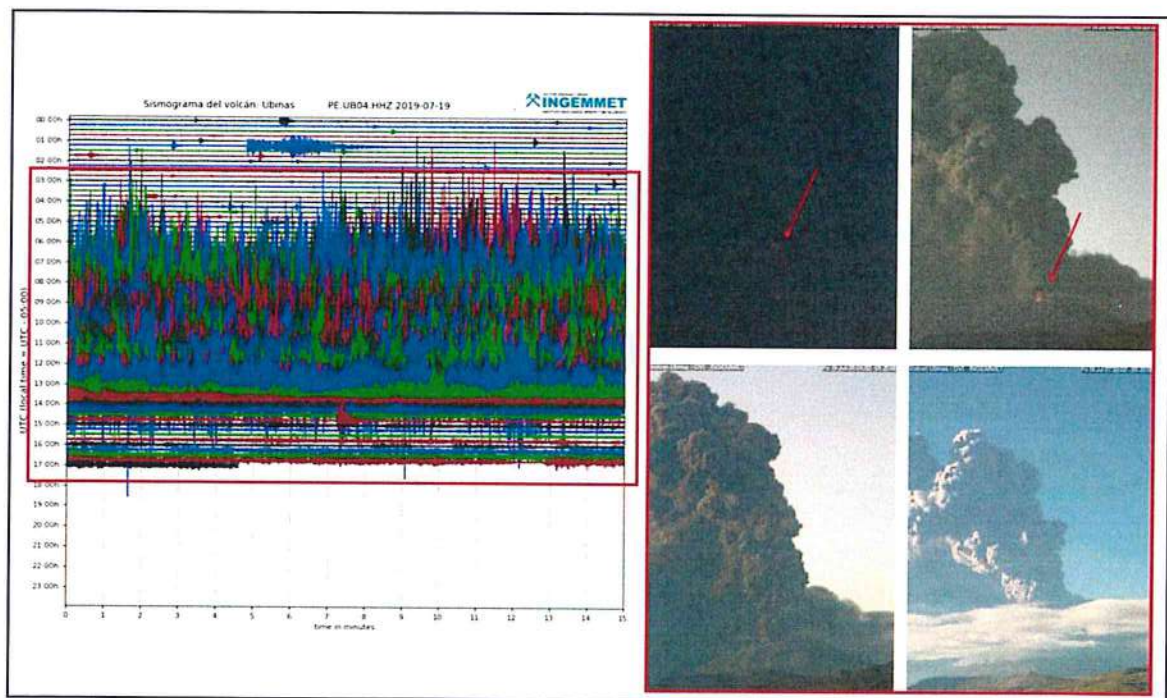


Figura 2: Correlación entre la actividad interna (sismicidad) y la actividad externa (emisiones de ceniza) del volcán Ubinas correspondiente al día 19 de julio.

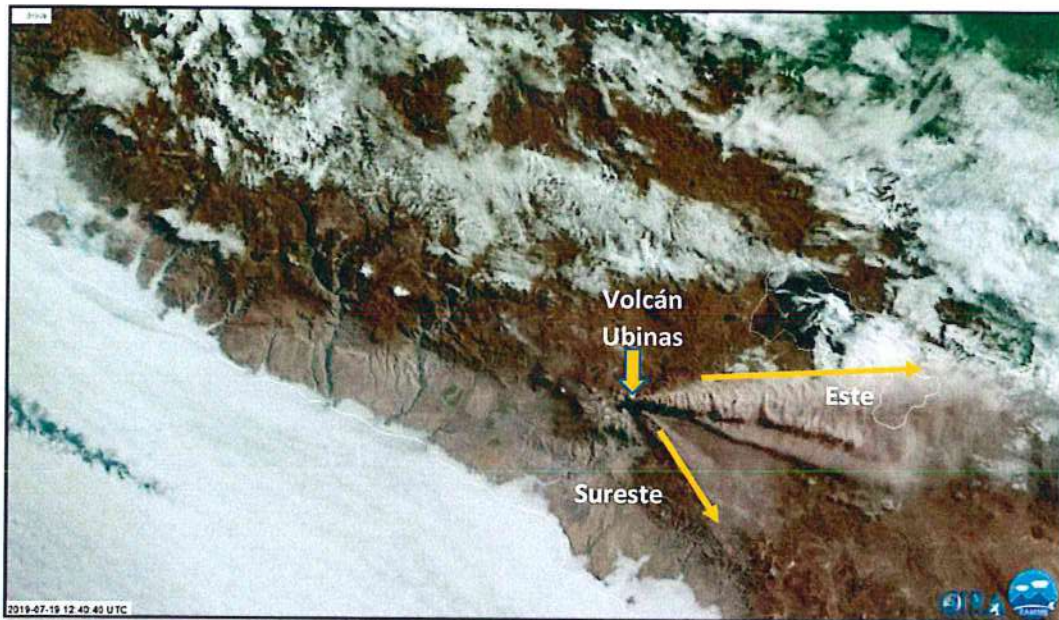


Figura 3: Imagen satelital CIRA del día 19 de julio de 2019 que muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección E - SE.

El 22 de julio, a las 23:25 horas se registró otra explosión, seguido de la emisión de gases, cenizas y fragmentos de roca. En el poblado de Ubinas ese día cayeron fragmentos de hasta 2 cm por más de 35 minutos. En aquel día las columnas superaron los 4 km sobre el nivel del cráter y se dispersaron en dirección sureste (Fig. 4).



Figura 4: Imagen satelital PerúSAT-1 del día 22 de julio de 2019 que muestra la pluma en dirección sureste.

III. GEOMORFOLOGÍA

La zona de Sirahuaya está localizada 3432 m s.n.m., en donde se distinguen las siguientes geoformas:

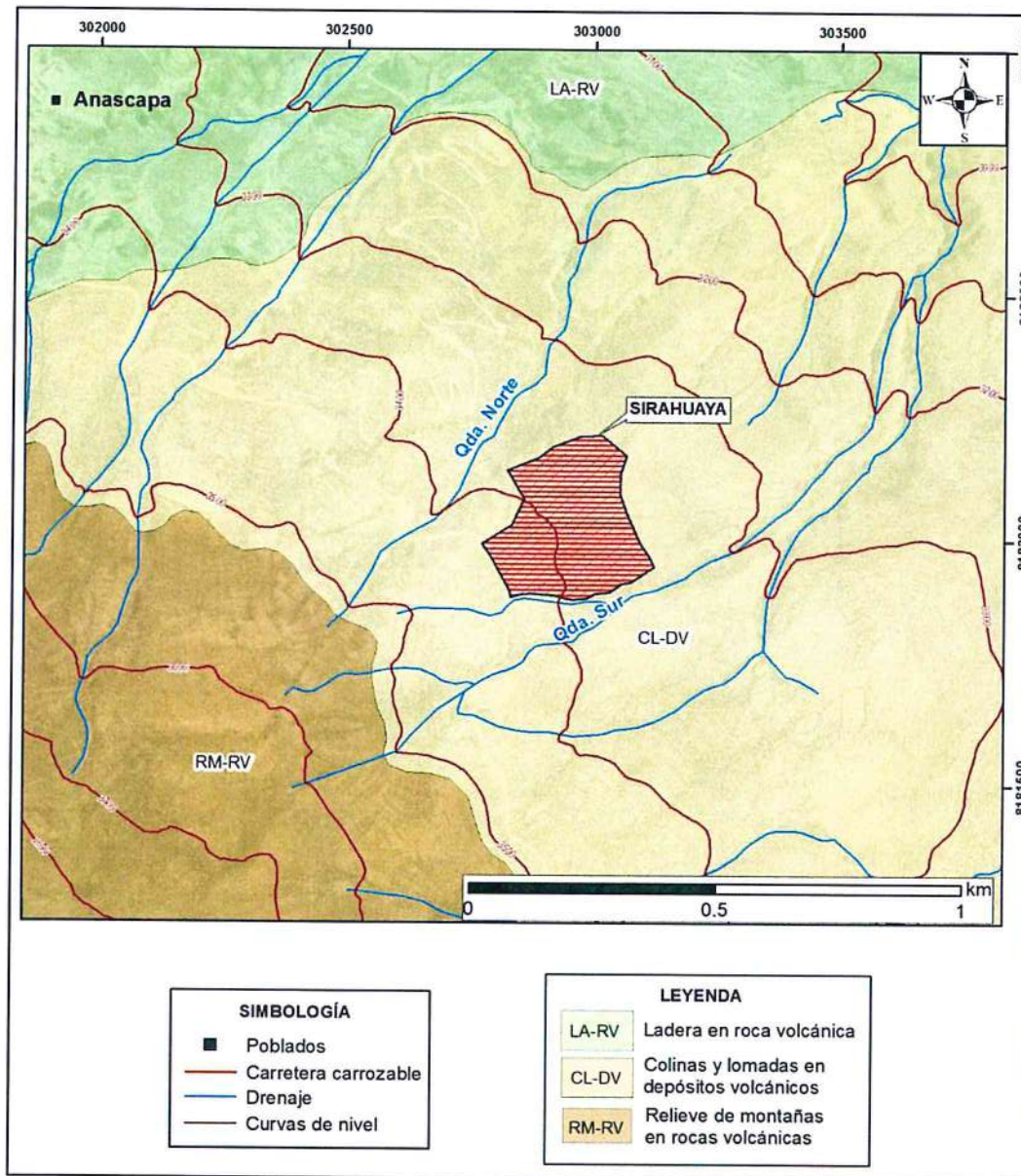


Figura 5: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio.

3.1 LADERA EN ROCA VOLCÁNICA (LA-RV)

A 1 km hacia el Norte del sector de Sirahuaya se distingue una zona de ladera donde se ha desarrollado la agricultura del pueblo de Anascapa. Esta ladera se prolonga desde la Quebrada de Anascapa (a 8 km hacia el sur del volcán Ubinas) hasta la confluencia del río Tambo (~14 km del cráter). En la cabecera de dicha ladera afloran

depósitos volcanoclasticos y avalanchas de escombros (Fig. 6 y 7). Hacia la parte baja de la ladera (3100 m s.n.m.) y hacia la margen izquierda de la quebrada, se encuentran terrazas. Dichas terrazas corresponden depósitos de lahares (huaycos) y depósitos aluviales (Fig. 5).

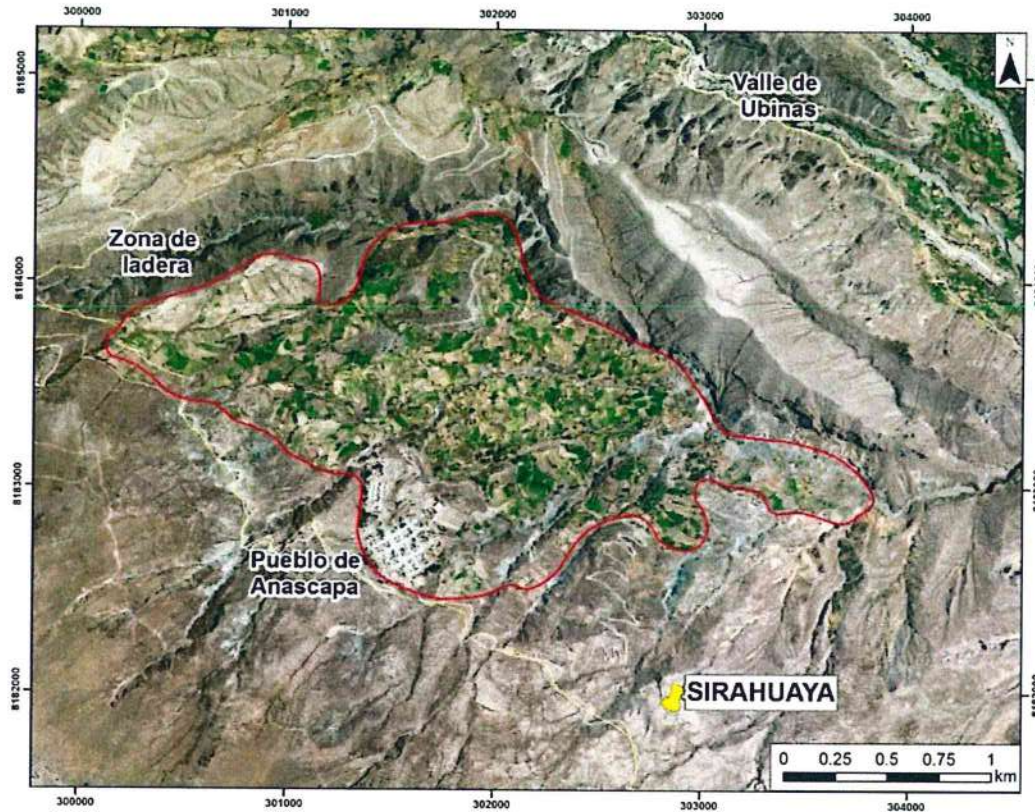


Figura 6: Zona de ladera en el sector de Anascapa.



Figura 7: Vista de la zona de ladera de Anascapa desde el sector de Sirahuaya.

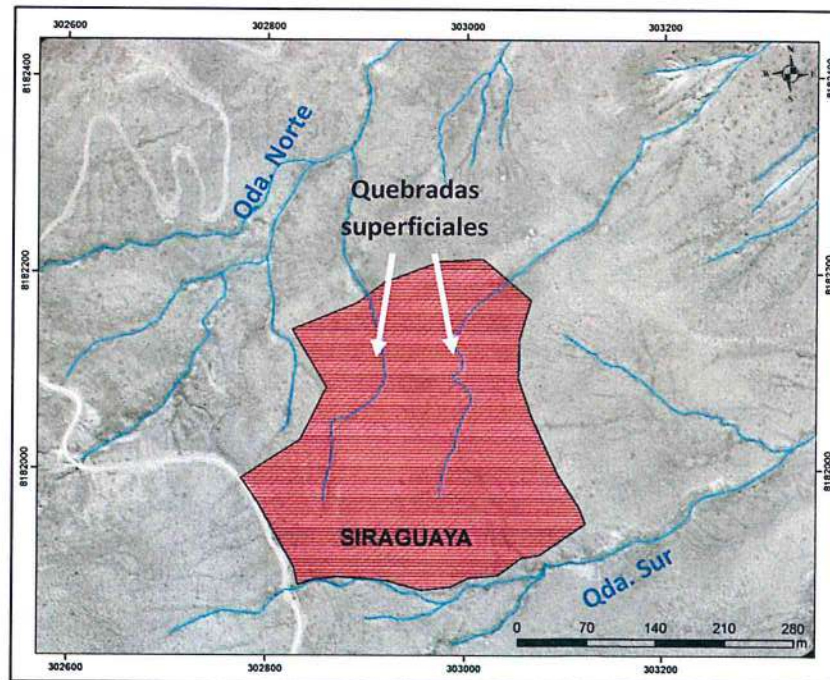
3.2 COLINAS Y LOMADAS EN DEPÓSITOS VOLCÁNICOS (CL-DV)

La zona de Sirahuaya destinada para el albergue, geográficamente se encuentra en una zona elevada y corresponde a una superficie plana subhorizontal con una pendiente de 5°. En la zona se observa que pequeñas quebradas de aproximadamente 8 m de ancho atraviesan el sector norte y sur del sector de Sirahuaya (Fig. 9), cabe mencionar que la profundidad de dichas quebradas no supera 1 m. Hacia los extremos del área de estudio se han identificado quebradas más grandes de 15 y 20 m de ancho respectivamente. Hacia el suroeste de la zona se han identificado colinas de avalanchas de escombros (hummocks) de hasta 30 m de espesor. Litológicamente este sector está constituido por depósitos de avalanchas caracterizado por presentar material oxidado e hidrotermalizado (Fig. 5 y 8).



Figura 8: Vista del sector de Sirahuaya, cuya superficie es plana subhorizontal con pendiente baja de aproximadamente 5°.

Figura 9: Vista en planta de quebradas superficiales que atraviesan el sector de Sirahuaya



3.3 RELIEVE DE MONTAÑAS EN ROCAS VOLCÁNICAS (RM-RV)

Las altas cumbres corresponden a las zonas más elevadas, mayores de 3500 m s.n.m., donde se han identificado escarpas con frente hacia el valle de Ubinas. Esta zona se caracteriza por presentar laderas con topografía abrupta, con pendientes mayores a 45°. (Fig. 5 y 10).

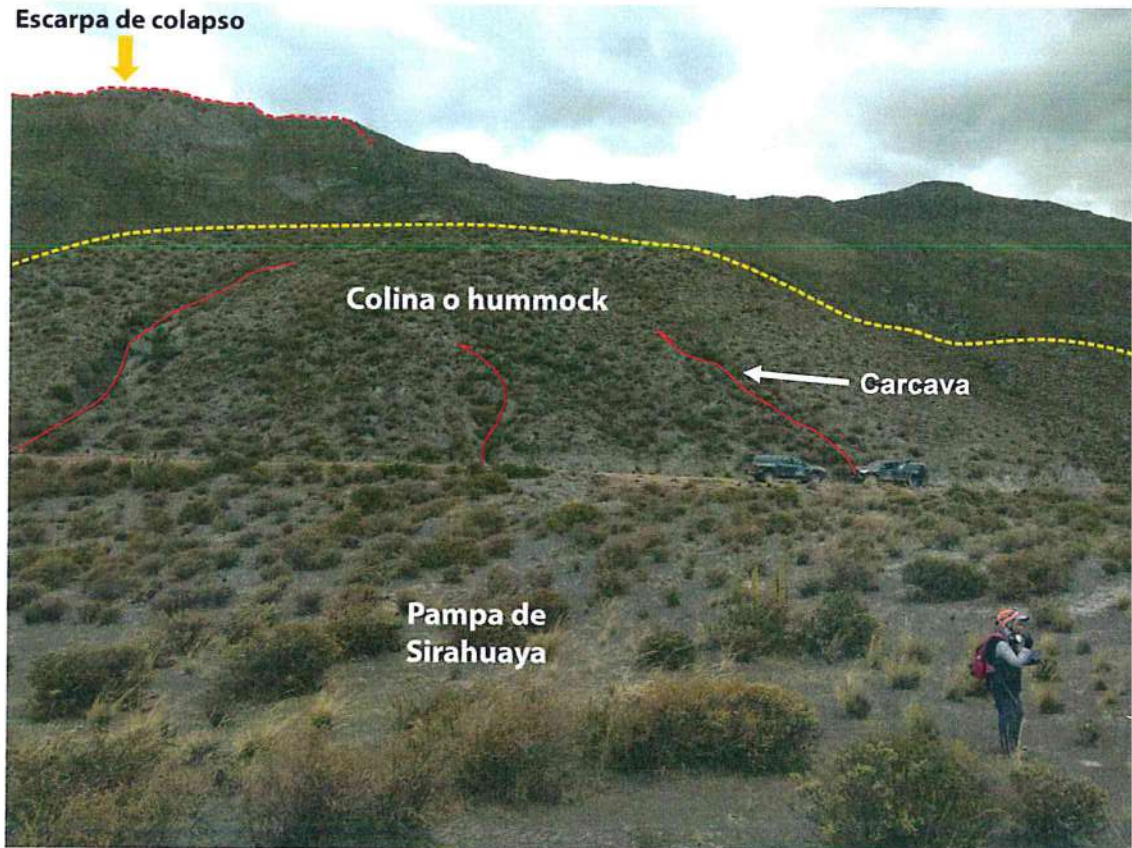


Figura 10: Vista de la escarpa de colapso y colina, constituido por depósitos de avalancha de escombros.

IV. GEOLOGÍA

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a las secuencias volcánicas del Cretáceo inferior al paleógeno pertenecientes a la Formación Matalaque y Grupo Tacaza.

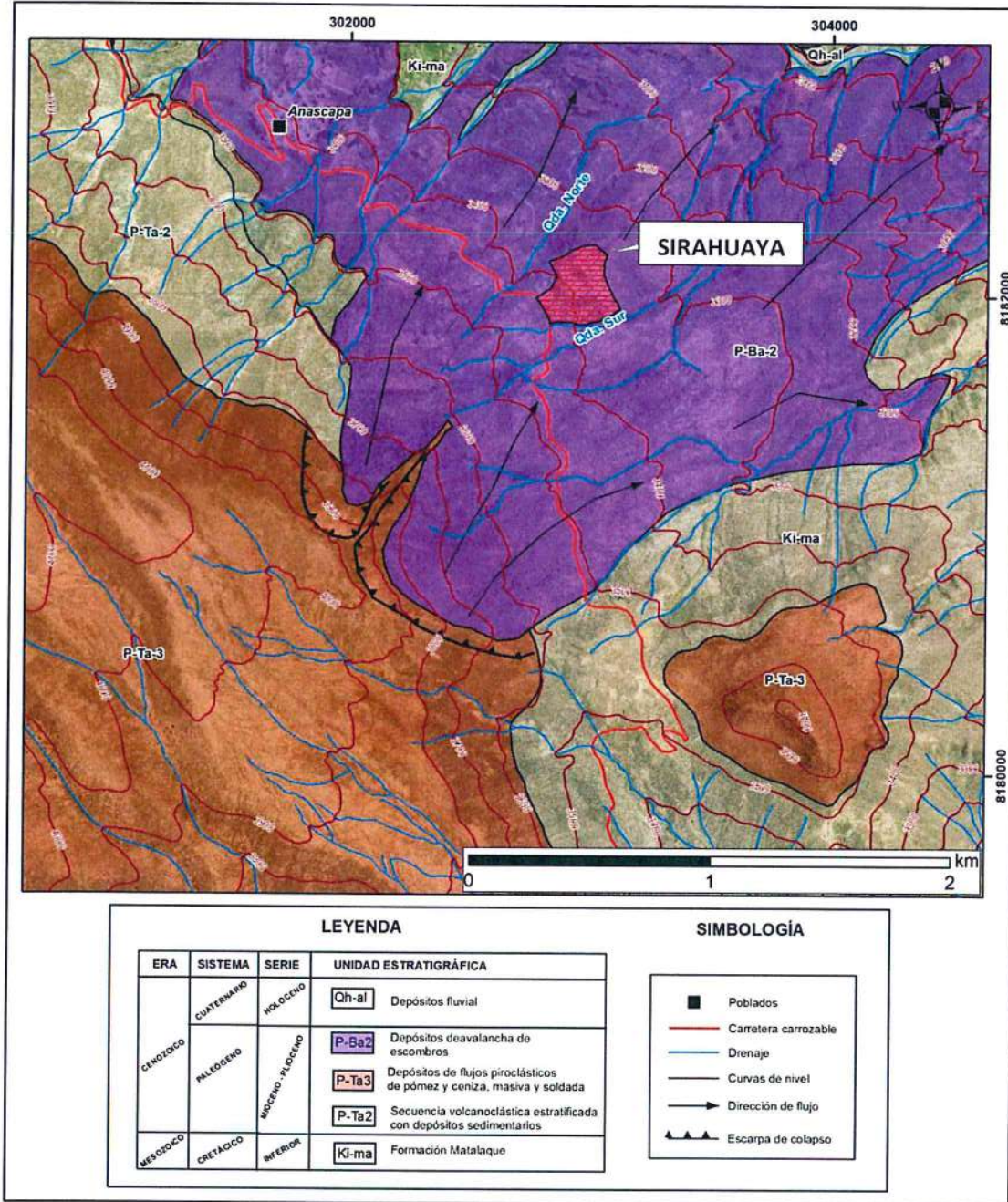


Figura 11: Mapa Geológico de la zona de estudio.

4.1 Formación Matalaque (Ki-Ma)

Esta unidad aflora en la intersección de los ríos Ubinas y Tambo, a 1 y 1.5 km hacia el sur y este de la zona de Sirahuaya, respectivamente. Está constituida por una secuencia de lavas andesíticas alteradas, ocasionalmente intercalados con bancos de ignimbritas soldadas (Fig. 11). La secuencia volcánica presenta coloraciones verdes grisáceas, gris oscuros y violetas, producto de la meteorización y alteración de sus minerales.

4.2 Grupo Tacaza (P-Ta)

Consiste en secuencias de ignimbritas de composiciones riolíticas y dacíticas, eventualmente intercaladas con flujos de lava y depósitos de avalanchas de escombros. En el área de estudio se identificaron dos secuencias volcánicas pertenecientes al Grupo Tacaza: P-Ta2 y P-Ta3, emplazados durante el Paleogeno.

P-Ta2: Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas soldados de color gris verdoso que yacen a 1 km del sector de Sirahuaya (Fig. 11). Estos depósitos contienen bloques juveniles andesíticos de hasta 80 cm de diámetro y miden entre 40 y 80 m de espesor. Descansan directamente sobre la Formación Matalaque del Cretáceo medio a tardío.

P-Ta3: Secuencia volcanoclástica estratificada con depósitos de flujo de lava (Fig. 11 y 12). Hacia el suroeste de Sirahuaya, esta secuencia presenta más de 60 m de espesor y está constituida por una intercalación de flujo de lava y niveles de lahares. Sobreyacen a lavas de la Formación Matalaque.

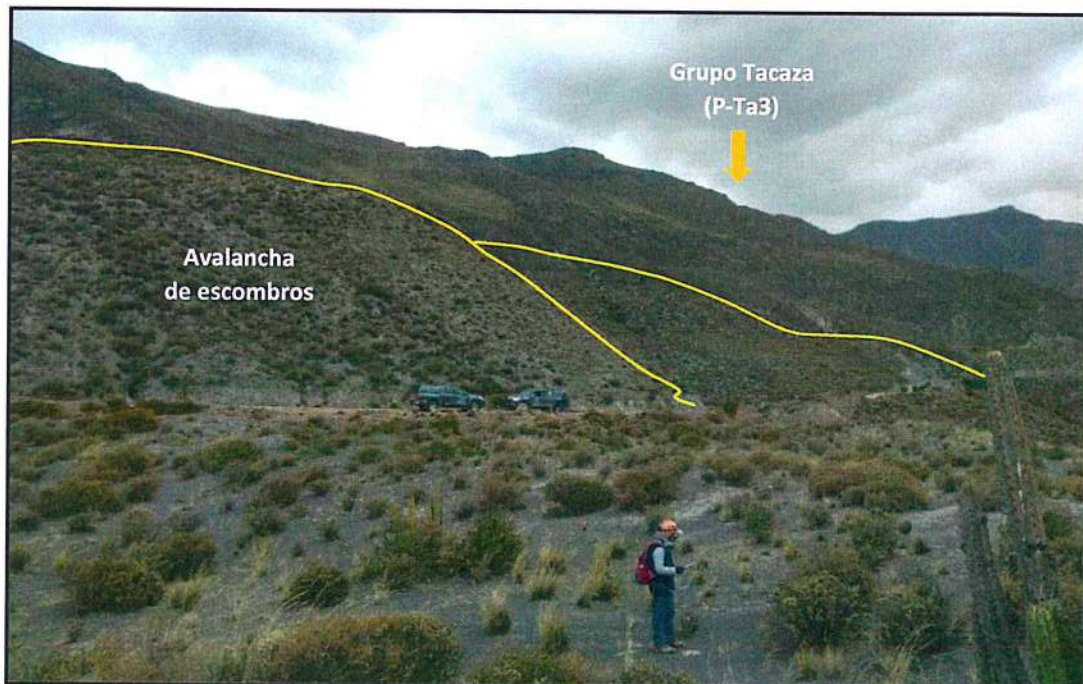


Figura 12: Secuencias volcanoclásticas correspondientes al Grupo Tacaza (P-Ta3) y depósitos de avalancha de escombros donde se localiza Sirahuaya.

4.3 Avalancha de escombros (P-Ba2)

El sector de Sirahuaya se asienta sobre un depósito de avalancha de escombros antiguo, constituido por bloques lávicos alterados de tamaño métricos a decimétricos de color gris verdoso, que presentan fracturamiento (estructura en rompecabezas, Fig 15) y material fino a medio (limo, arcilla y arena) que forma parte de la matriz (Fig. 14), producto del fracturamiento y desplazamiento de la avalancha. Se ha logrado identificar colinas cónicas o hummocks, las cuales tienen espesores que oscilan entre 30 y 60 m (Fig. 13), mientras que, hacia el sector suroeste, a 1.3 km de Sirahuaya se reconoció una escarpa de colapso (Fig. 13), ambas estructuras estarían relacionadas al emplazamiento de la avalancha de escombros. El depósito tiene una extensión de más de 3 km hacia el noreste. En la zona de estudio la avalancha está cubierta por depósitos de caída de lapilli de pómez del volcán Ubinas, así como material retrabajado y caída de ceniza fina de 1 mm de espesor perteneciente al actual proceso eruptivo del Ubinas.

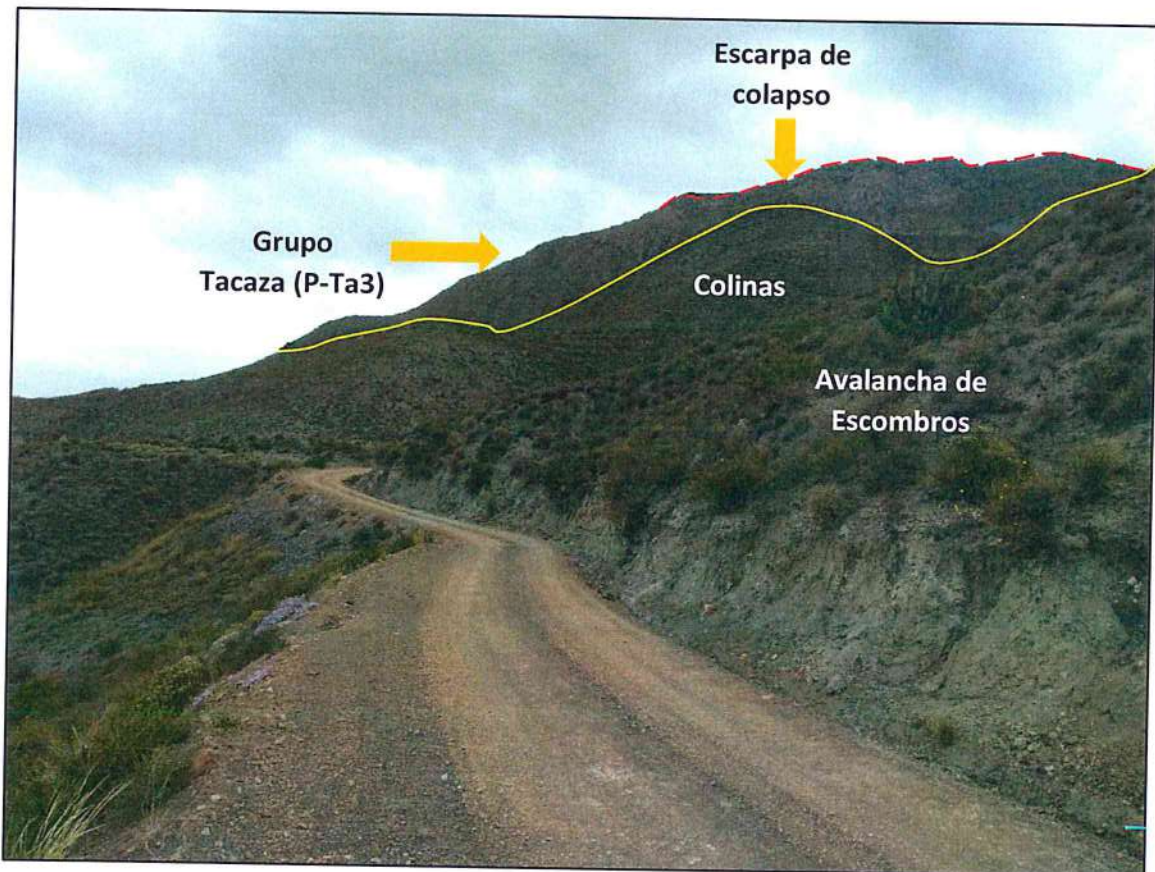


Figura 13: Vista de colinas o hummocks de avalancha de escombros y depósitos volcánicos del Grupo Tacaza.



Figura 14: Matriz de avalancha de escombros constituida por material fino a medio (limo, arcilla y arena)



Figura 15: Roca de 1.5 m de diámetro que presenta fracturamiento con estructura en rompecabezas.

4.4 Depósitos aluviales (Qh-al)

En los extremos norte (Fig. 16) y sur de la zona de estudio, a 140 y 40 m se identificaron dos quebradas de 15 y 20 m de ancho, respectivamente. En el cauce de dicha quebrada se observan depósitos volcanoclásticos: intercalación de lahares, caída de lapilli pómez y material retrabajado.

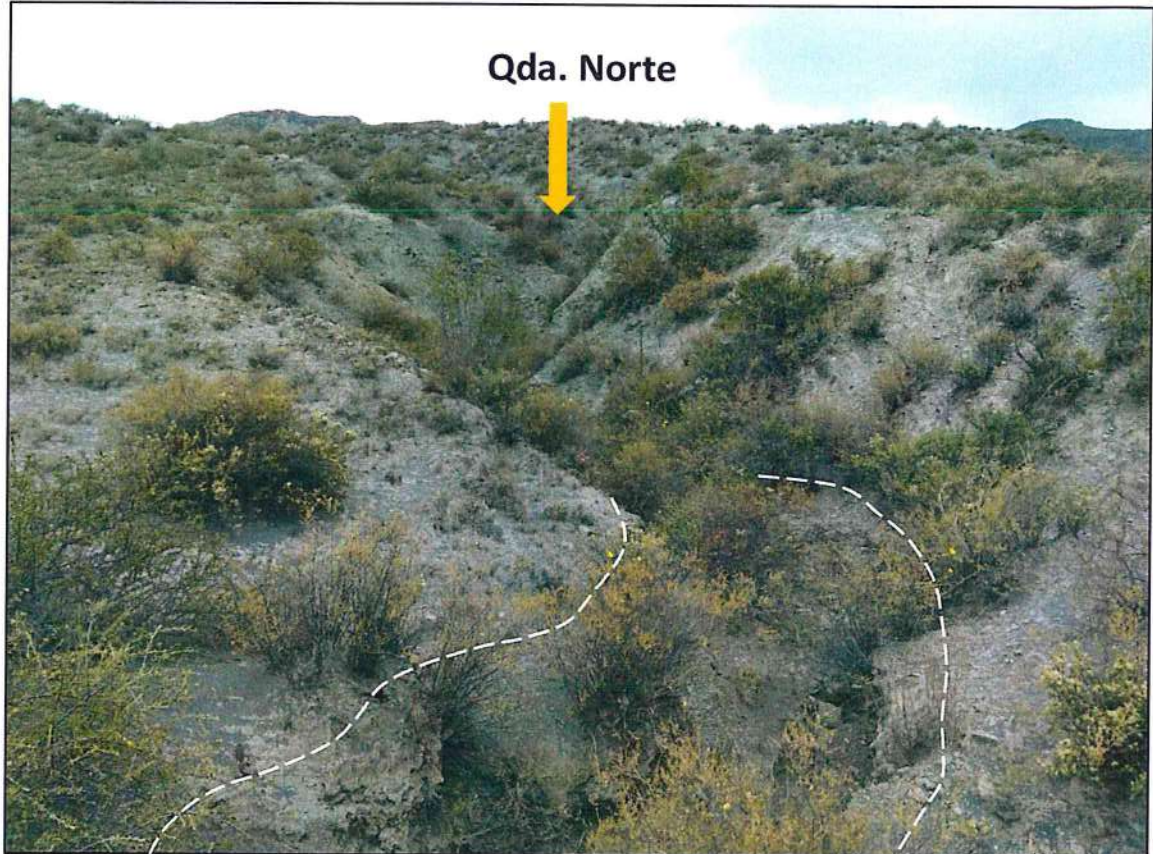


Figura 16: Quebrada sin nombre localizada a 140 m hacia el norte de la zona de estudio.

V. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1 Lahares o huaicos

Los flujos de lodo o lahares, son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas y cenizas movilizados por el agua que fluyen rápidamente por las quebradas y valles aledaños a un volcán, a velocidades que varían de 40 a 100 km/h. Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica. El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve. Estos flujos eventualmente pueden salir de los cauces de quebradas. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo lo que encuentran a su paso y pueden alcanzar grandes distancias (>200 km), Tilling (1993).

En la quebrada localizada hacia el norte del sector de Sirahuaya se identificó un depósito de lahar antiguo (*Fig. 16*) de aproximadamente 1 m de espesor. El depósito es de color marrón claro, ligeramente consolidado, con 95 % de material fino (limo-arcilloso) y 5 % de líticos angulosos a subangulosos lávicos de color gris de hasta 3 cm.

Este depósito está cubierto por material volcanoclástico no consolidado, constituido por una caída de lapilli pómez y material retrabajado.

5.2 Erosión de laderas

Se manifiesta a manera de surcos y cárcavas (*Fig.10*) en laderas de los cerros. Comienza con canales muy delgados y a medida que persiste la erosión se profundizan a decenas de metros. Las cárcavas pueden ir juntándose unas con otras dando origen a quebradas, escarpes que pueden ocasionar deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y flujos.

Hacia el suroeste del sector de Sirahuaya afloran colinas o hummocks de avalanchas de escombros y depósitos volcanoclásticos que muestran una ligera erosión de ladera. Las cuales pueden profundizarse debido a intensas lluvias intensas. Este material erosionado aportaría material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de lahares o huaycos.

5.3 Caída de rocas y derrumbes

Son fenómenos que ocurren principalmente por gravedad y al producirse la pérdida de equilibrio en el macizo rocoso. Los bloques de roca y/o suelo que se desprenden de una ladera, generalmente se emplazan por el aire efectuando golpes, rebotes y en algunos casos rodamiento. Generalmente el movimiento de estos procesos es rápido a extremadamente rápido con velocidades que superan los 5 m/s (Cruden y Varnes 1996).

En el sector de Sirahuaya no se encontraron derrumbes o caída de rocas. Sin embargo, a un 1 km en dirección suroeste en la zona alta se observan laderas con pendientes abruptas donde podría generarse caída de rocas, desencadenado por fuertes precipitaciones pluviales o fuertes movimientos sísmicos.

VI. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN UBINAS

El mapa de peligros del Ubinas publicado por Rivera *et al.* (2010), es un mapa que toma en cuenta diversos escenarios eruptivos: erupciones leves y también erupciones violentas. Este mapa muestra diversas áreas que incluyen poblados, terrenos agrícolas y carreteras que podrían ser afectados por una erupción del volcán Ubinas, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado el Ubinas a lo largo de su historia eruptiva, principalmente, durante los últimos 1000 años, durante el cual presentó erupciones explosivas moderadas a fuertes.

6.1 Mapa de peligros de la zona proximal para peligros múltiples

El mapa de peligros de la zona proximal (*Fig. 17*), ha sido elaborado por Rivera *et al.* (2011), a escala 1:50 000, en el cual se diferencian tres zonas pintadas de diferentes colores: zona de alto peligro, de moderado peligro y bajo peligro.

- Zona de alto peligro (rojo): Comprende un área semi-circular alrededor del cráter que involucra diversas quebradas y valles que drenan del Ubinas, las cuales pueden ser severamente afectadas por la ocurrencia de flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, colapso del flanco sur y/o emisión de flujos de lava. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud, como las ocurridas desde el año de 1550 hasta la actualidad (IEV 1-3). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja es alta, aproximadamente, uno a cinco eventos cada 100 años.
- Zona de moderado peligro (naranja): Se extiende desde 5 km hasta una distancia máxima de ~14 km del cráter, la cual corresponde inmediatamente a la zona colindante con la zona de alto peligro. Esta zona involucra cauces de quebradas y valles localizados al pie del volcán. Asimismo, comprende la parte de la altiplanicie volcánica (sectores Oeste, Norte y Noreste del Ubinas). Esta zona puede ser cubierta por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, lahares y/o avalanchas de escombros en caso que la erupción sea de moderada a alta magnitud (IEV 3-4).
- La zona de bajo peligro (amarillo): Esta zona se proyecta a más de 10 km alrededor del cráter, sobre todo en el flanco sur, y a más de 6 km en la zona de la altiplanicie. Esta zona puede ser severamente afectada por flujos piroclásticos incandescentes, oleadas piroclásticas, y/o flujos de barro, en caso que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV ≥ 4) denominada pliniana o subpliniana.

Según el mapa de peligros de la zona proximal el sector de Sirahuaya se localiza fuera de la zona de influencia del volcán Ubinas, por lo cual la probabilidad de verse afectado por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas y avalanchas de escombros es muy baja.

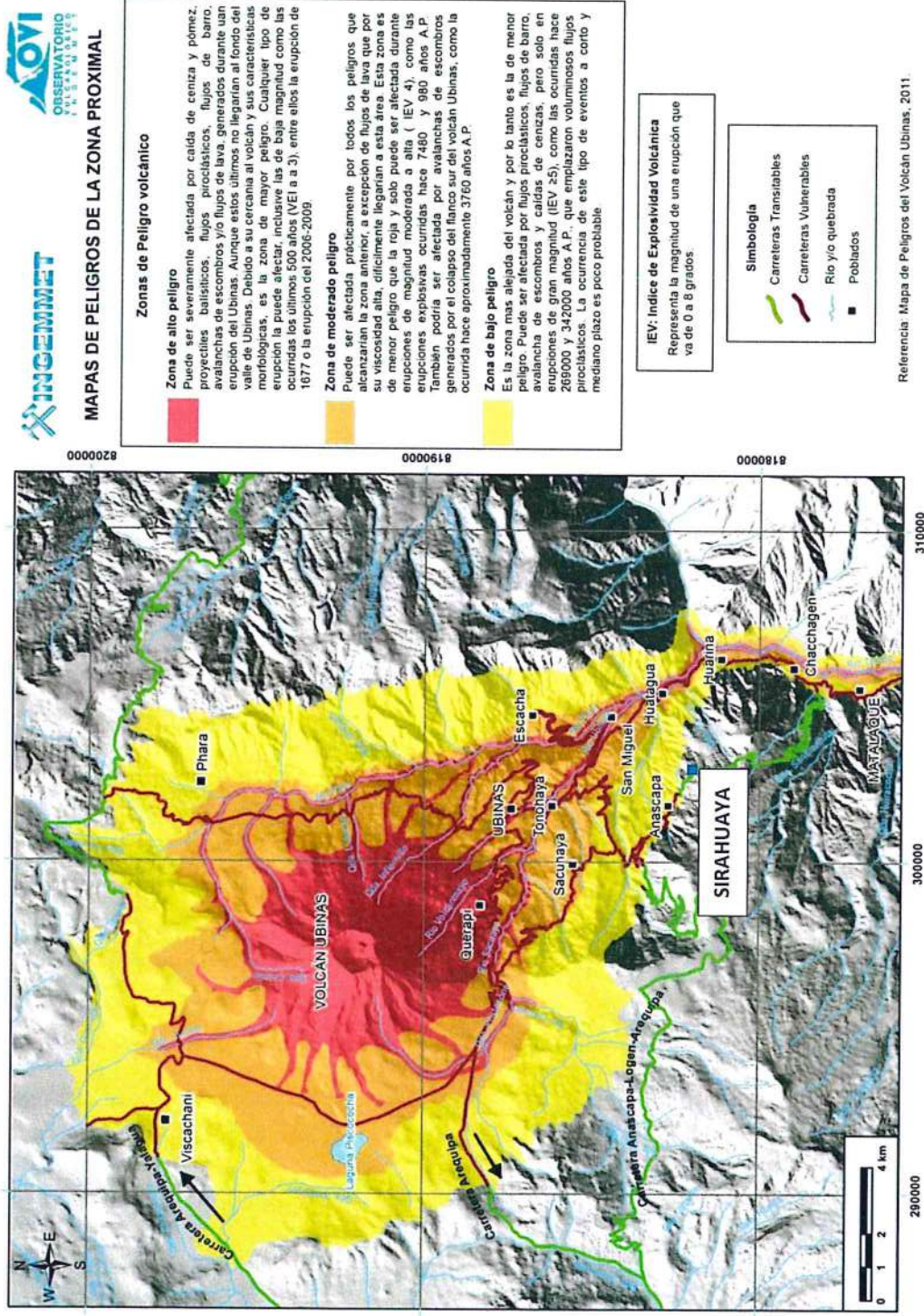


Figura 17: Sector de Sirahuaya fuera de la zona de influencia del mapa proximal para peligros múltiples.

6.2 Mapa de peligros por caídas de ceniza y lapilli

En el mapa principal se presentan dos mapas de peligros por caídas de tefras (pómez, cenizas, escorias) del volcán Ubinas. Estos mapas corresponden a dos escenarios: para erupciones leves a moderadas (vulcaniana) y erupciones grandes (subplinianas, plinianas).

En el caso de una erupción moderada (vulcaniana), se generarían principalmente columnas de cenizas y gases, que pueden viajar hacia el Oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el NE, E y/o SE en la época seca (abril a noviembre). Existe una zona de mayor peligro (zona roja), próxima al cráter la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de erupciones más explosivas o violentas (*Fig. 19*). El área afectada está basada en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (IEV 1 - 2) presentada por el Ubinas durante los últimos 500 años, e incluso las ocurridas recientemente: 2006-2009, 2013-2017 y el actual proceso.

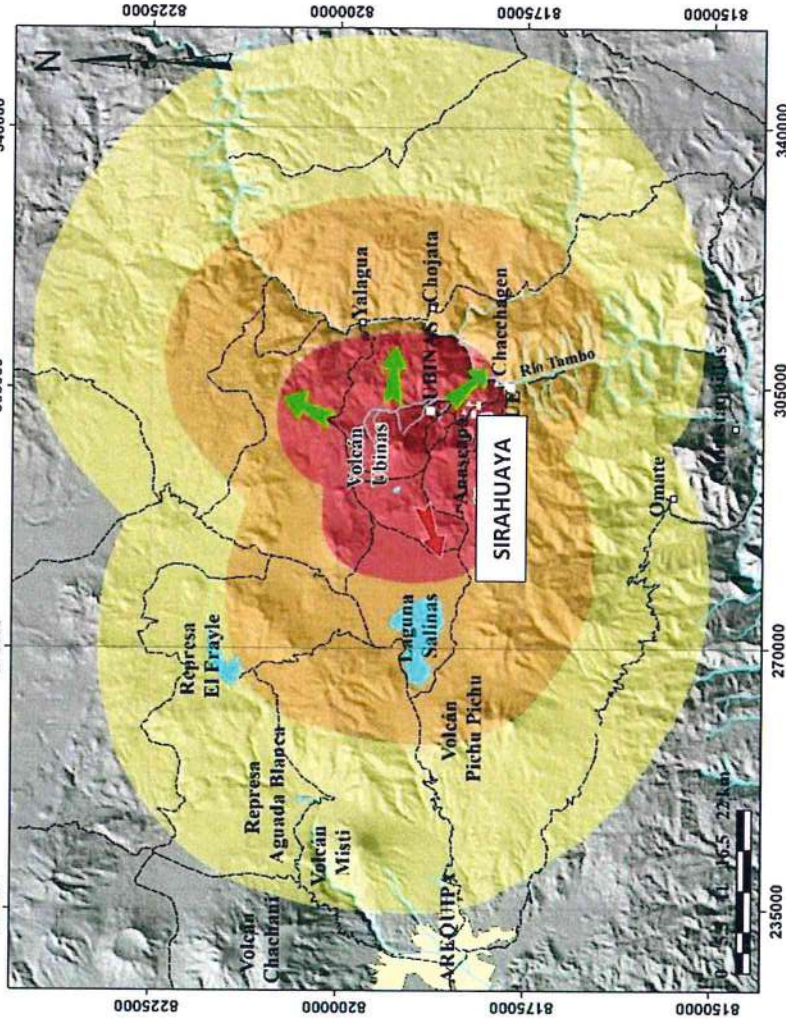
En caso de una erupción altamente explosiva (subpliniana a pliniana) se generarían caída de pómez de más de 1 m de espesor en un radio de ~10 km alrededor del Ubinas. Esta hipótesis está basada en el área cubierta durante las erupciones plinianas del volcán Ubinas ocurridas hace 7000 y 1000 años A.P. (Thouret et al., 2005; Rivera, 2010).

El sector de Sirahuaya el cual se encuentra a 12 km del volcán Ubinas (*Fig 19*), corresponde a una **zona de alto peligro** frente a la **caída de ceniza**. En el actual proceso eruptivo en la zona se identificaron caídas de ceniza de hasta 1 mm de espesor (*Fig 18*). Es importante mencionar que el eje principal de la columna eruptiva del 19 de julio del presente año estuvo dirigida en dirección este y sureste del volcán, de continuar la actividad volcánica, el sector de Sirahuaya seguiría siendo afectada por la caída de cenizas.



Figura 18: Caída de ceniza de 1 mm de espesor en el sector de Sirahuaya, correspondiente a la erupción del Ubinas del día 19 de julio.

MAPA DE PELIGROS POR CAÍDAS DE CENIZA PARA UNA ERUPCIÓN DE MAGNITUD BAJA A MODERADA (IEV 1 a 3)



Zona de peligro volcánico

- Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de hasta 3 cm de espesor.
- Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 1 cm de espesor.
- Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de menos de 1 cm de espesor.

➔ Direcciones de vientos predominantes de Abril a Noviembre

➔ Direcciones de vientos predominantes de Diciembre a Marzo

— Vías de acceso

Figura 19: Sector de Sirahuaya está en una zona de alto peligro por la caída de ceniza del Ubinas.

6.3 Mapa de peligros por ocurrencia de lahares

Hacia el extremo sur y norte se han identificado dos quebradas importantes por donde podrían discurrir lahares en época de lluvia, por lo cual se elaboró un mapa de peligros por ocurrencia de lahares de esta zona. Para hacer este trabajo se realizó un sobrevuelo con dron con la finalidad de obtener una Modelo de Elevación Digital (DEM) de alta resolución, y se utilizó el programa LAHARZ.

Para el modelamiento se utilizó dos valores; mínimo y máximo de 3000 m³ y 8000 m³ (Mariño et al., 2017), respectivamente, los cuales fueron empleados para calcular áreas afectadas por los lahares en febrero de 2016. En la zona de Sirahuaya podemos observar que los lahares se canalizan en ambas quebradas y solo en el extremo sur se ve una leve afectación (Fig.20). Por lo cual, es recomendable dejar la faja marginal y construir muros de contención, todo esto antes de instalar módulos o construir otras obras de infraestructura del albergue.

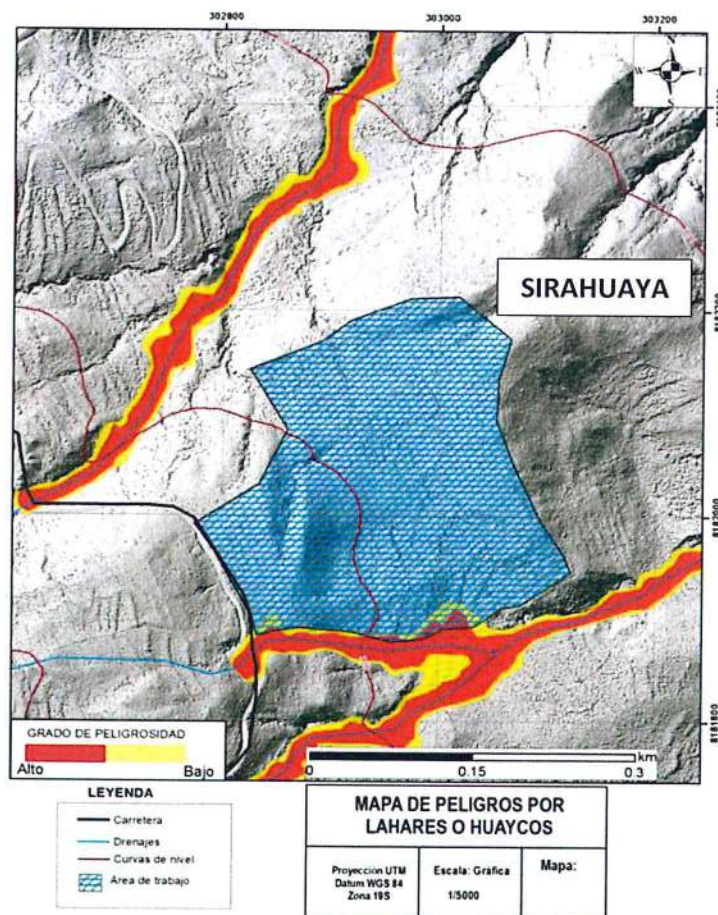


Figura 20: Modelamiento con el software LAHARZ por ocurrencia de lahares en la zona de Sirahuaya.

VII. CONCLUSIONES

Las conclusiones que a continuación se vierten están basadas en los resultados del estudio geológico-vulcanológico del sector de Sirahuaya y en la evaluación de los peligros geológicos en campo.

- El volcán Ubinas, es el volcán más activo del sur del Perú con aproximadamente 26 periodos eruptivos (importantes emisiones de gases y/o ceniza) registrados los últimos 500 años. Desde el 24 de junio de 2019 se inició un nuevo proceso eruptivo del volcán.
- Según el grado de frecuencia del tipo de erupciones, desde los más frecuentes a los menos frecuentes, las **erupciones leves a moderadas (IEV 1-3) son las más frecuentes y probables de ocurrir en el Ubinas**. Mientras que las erupciones explosivas moderadas a altas (IEV \geq 4) son las menos frecuentes, y poco probables de ocurrir en un futuro cercano. En cualquier tipo de erupción los principales peligros volcánicos corresponden a caídas de cenizas, flujos de lodo (lahares) y flujos piroclásticos. Desde luego, si estos fuesen generados por erupciones muy explosivas tendrían mayor volumen y dispersión, y causarían efectos más graves.
- El sector de Sirahuaya, zona propuesta por pobladores del valle de Ubinas y las autoridades del COER del Gobierno Regional de Moquegua como albergue para los pobladores de cinco localidades: Ubinas, Escacha, San Miguel, Tonohaya, Huatagua afectados por la actividad del volcán Ubinas, se localiza a 12 km del cráter del volcán Ubinas. Esta zona corresponde a una superficie subhorizontal de poca pendiente, localizada en medio de una ladera constituido de depósitos volcanoclásticos y avalanchas de escombros antiguos.
- Respecto a los peligros por movimientos en masa que pueden afectar la zona propuesta para la reubicación, en la actualidad no se han identificado desprendimientos de rocas, derrumbes o deslizamientos que le puedan afectar. Pero si se identificaron depósitos de lahares, que se canalizaron por una de las quebradas, que descienden del sector norte de la zona.
- Según el mapa proximal para peligros múltiples del volcán Ubinas (por flujos de lava, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, lahares) elaborado por INGEMMET, el sector de Sirahuaya se localiza fuera de la zona de influencia del volcán Ubinas. Sin embargo, según el mapa por caídas de ceniza para erupciones de magnitud baja a moderada (IEV 1-2), el sector de **Sirahuaya se encuentra en zona de alto peligro** y desde luego en cualquier tipo de erupción, dependiendo de la dirección de viento **será afectada por caídas de ceniza**, para lo cual se debe implementar medidas de protección a la población. En el actual proceso eruptivo 2019 se ha registrado un milímetro de espesor en esta zona y de continuar la actividad el espesor podría aumentar. La presencia de fuertes vientos puede removilizar fácilmente la ceniza depositada, lo cual podría resultar dañino para población.

- Según el mapa de peligros por ocurrencia de lahares, se observa que los lahares se canalizan en las quebradas que se encuentran en los extremos sur y norte de la zona de estudio y solo en el extremo sur se observa una leve afectación.

VIII. RECOMENDACIONES

- El sector de Sirahuaya geográficamente corresponde a una zona semi-plana asentada en medio de una ladera que solo podría verse afectado por caída de cenizas del volcán Ubinas por encontrarse a solo 12 km del cráter del volcán, en tal sentido se recomienda adicionalmente buscar otras zonas más alejadas del volcán, es decir zonas que estén a más de 15 km de distancia del volcán Ubinas para protegerse de las **caídas de ceniza**.
- Durante la crisis del 2006 – 2009 del Ubinas se habilitó el albergue de Chacchagen (Mariño et al. 2011), el cual se encuentra a poco más de 15 km del volcán, y presta las condiciones necesarias para albergar a más de 1000 personas. Además, en este periodo de crisis se realizaron obras de infraestructura para habilitar el albergue, se identificaron puntos de captación de agua y se construyeron plataformas bajas cerca al río tambo que permitieron albergar al ganado que también fue evacuado. Por lo antes mencionado, se sugiere se retome el albergue de Chacchagen para la evacuación de los pueblos ya que se encuentra en una zona de moderado peligro por caídas de ceniza y está exenta de otros peligros volcánicos.
- De construirse el albergue en la zona de Sirahuaya se recomienda implementar medidas de protección a la población ante la caída de ceniza, proporcionándoles implementos de protección personal como mascarillas y lentes ante las caídas de ceniza, dado que la actividad del volcán Ubinas se desarrollará por meses o algunos años.
- Antes de construir obras de infraestructura para la población en el refugio de Sirahuaya se recomienda respetar el cauce natural de las quebradas que descienden de la ladera, y construir obras de mitigación estructural como canales o muros de contención, ya que en época de lluvias intensas podrían generarse lahares (huaicos) afectando algunas construcciones del albergue. Además, es necesario diseñar sistemas de drenaje pluvial para poder evacuar las aguas en épocas de lluvias.


Ing. NÉILDA VICTORIA MANRIQUE LLERENA
Especialista en Peligros
Volcánicos
INGEMMET




Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M., & Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247 Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- Mariño J., Rivera M., Macedo O., Masías P., Antayhua Y., Thouret J-C. (2011). Gestión de la crisis eruptiva del volcán Ubinas 2006-2008. Boletín N°45 Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, INGEMMET
- Mariño J., Valdivia D., Soncco Y., Miranda R., Machaca R. (2017). Lahares emplazados en el valle de Ubinas en febrero del 2016: Geología, Impacto, Modelamiento y Evaluación de peligros. Región Moquegua. Informe Técnico N°A6745, INGEMMET, Lima.
- Rivera M., Thouret J.C., Gourgaud A. (1998). Ubinas, el volcán más activo del sur del Perú desde 1550: Geología y evaluación de las amenazas volcánicas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v.88, 53-71.
- Rivera, M., (2010). Genèse et évolution de magmas andésitiques a ryodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (sud du Pérou). Tesis Doctoral (PhD), Universidad Blaise Pascal (Francia), 407 p.
- Rivera, M., Mariño J., Thouret., (2011). Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas, Boletín INGEMMET, N°46, Serie C, Lima.
- Tilling, R., ed. (1993) – Apuntes para un curso sobre los peligros volcánicos. [s.l.]: Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, 125 p. Presentado en: Curso breve sobre los peligros volcánicos; Santa Fé, Nuevo México, 2-3 julio 1989.
- Thouret J.C., Rivera M., Worner G., Gerbe M.C., Finizola A., Fornari M., Gonzales K., (2005). Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. Bull Volcanol; 67: 557 – 589.

ANEXO

Nombre	Norte	Este
1	8181883.2391	302832.2496
2	8181901.1531	302827.7362
3	8181965.5771	302792.1871
4	8181991.4481	302774.0721
5	8182030.1310	302774.0721
6	8182083.7256	302859.8801
7	8182142.4230	302825.2200
8	8182169.0580	302890.1550
9	8182190.2120	302918.1010
10	8182211.4190	302974.2130
11	8182213.4950	303017.6300
12	8182172.3830	303066.1160
13	8182132.9400	303054.3870
14	8182092.1860	303053.3140
15	8182052.8210	303067.2470
16	8181993.8020	303094.4390
17	8181962.8210	303114.7540
18	8181945.0720	303122.0170
19	8181913.2350	303075.3760
20	8181910.4360	303057.6330
21	8181892.5220	303034.0140
22	8181889.8880	303004.0780
23	8181880.5070	302985.9510
24	8181877.3590	302956.8810
25	8181887.1530	302920.3010
26	8181891.0000	302872.4050
27	8181888.3600	302849.6480

Tabla 1: Coordenadas UTM WGS 84 del sector de Sirahuaya.