

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7447

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO SAN MIGUEL

Departamento Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distrito Ubinas



NOVIEMBRE
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO SAN MIGUEL

Distrito Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Yeny Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos en el anexo San Miguel. Distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7447, 39 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.2.1. Ubicación	8
1.2.2. Accesibilidad	9
1.2.3. Precipitación pluvial	9
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
3.1. Unidades litoestratigráficas	12
3.1.1. Formación Matalaque (Ki-ma)	12
3.1.2. Flujo piroclástico de bloques y ceniza (P-Ta1)	13
3.1.3. Deposito volcanoclástica estratificada con depósitos sedimentarios (P-Ta2)	13
3.1.4. Depósito de avalancha de escombros (P-U2)	13
3.1.5. Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza (P-U3)	13
3.1.6. Depósitos de flujos de detritos (lahares) (Qh-L)	13
3.1.7. Depósitos coluviales (Qh-c1)	14
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
4.1. Pendientes del terreno	14
4.2. Unidades Geomorfológicas	15
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	15
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional o agradacional	15
5. ASPECTO ESTRUCTURAL	16
6. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
6.1. Peligros volcánicos	18
6.1.1. Lahares (flujo de detritos)	18
6.2. Peligros geológicos por movimientos en masa	21
6.2.1. Zona de derrumbes	21
6.3. Factores condicionantes	22
6.4. Factores desencadenantes	22
7. MAPA DE PELIGROS VOLCANICOS	22
7.1. Mapa de la zona proximal para peligros múltiples	22
7.2. Mapa de peligros por caídas de ceniza y lapilli	23
7.3. Dispersión de ceniza en el proceso eruptivo 2019	24
7.4. Dispersión de ceniza en el proceso eruptivo 2023	25
8. SIMULACION DE LAHAR (FLUJO DE DETRITOS)	27

8.1. Volumen del lahar (flujo de detritos)	27
8.2. Resultados de simulación de lahares (flujo de detritos).....	30
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXO 1 MAPAS	36

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el anexo San Miguel, del distrito Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua. 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 actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el área afloran secuencias de lavas, moderadamente meteorizadas y muy fracturadas de la Formación Matalaque, así como depósitos volcánicos de: a) flujo piroclástico de bloques y ceniza consolidados, b) secuencias volcanoclástica estratificada con niveles sedimentarios semi consolidados, c) flujos piroclásticos de pómez y ceniza constituidos de fragmentos de pómez y líticos lávicos polimíctico, poco consolidado, d) avalancha de escombros conformado por bloques de hasta 4 m de diámetro, no consolidado, e) flujo piroclástico de bloques y ceniza no consolidado, conformado por bloques y ceniza de composición andesítica y riolítica, f) flujos de detritos (lahares), constituidos de bloques de lava y grava, dentro una matriz arenolimoso bastante cohesiva. Finalmente, también se presentan depósitos coluviales no consolidados, producto de la erosión y meteorización de las rocas circundantes.

En el área de estudio afloran las siguientes unidades geomorfológicas, colina y lomada en roca volcánica, colina y lomada en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, terraza aluvial y terraza alta aluvial.

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área evaluada comprenden: derrumbes y caída de rocas. Asimismo, los peligros por actividad volcánica comprenden lahares y caída de cenizas.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** presencia de depósito no consolidados, volcanoclástica con niveles sedimentarios; flujos piroclásticos de bloques y ceniza; avalanchas de escombros, muy susceptibles a removerse, y coluviales, **b)** proximidad al volcán Ubinas, el área evaluada se ubica a 10.6 km del edificio volcánico. Según el mapa de peligros volcánicos múltiples del volcán Ubinas el área evaluada se ubica mayoritariamente en la zona de alto peligro (polígono de color rojo), **c)** las pendientes en el área evaluada varían desde moderado a fuertemente inclinado en los terrenos de cultivo (10° - 25°), en la parte baja y media es muy fuerte (25°-45°), y en los cerros y en las márgenes de los ríos Ubinas.

Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la zona urbana del anexo San Miguel es considerada de **Peligro Moderado**, frente a movimientos en masa, el sector puede ser afectado por caída de rocas y derrumbes desde sectores con pendientes fuertes a muy fuertes.

Con base a los mapas: **a)** proximal para peligros volcánicos múltiples y **b)** peligros por caídas de ceniza y lapilli, ambos elaborados por INGEMMET, el anexo San Miguel se localiza en la zona de color rojo, de **Alto Peligro** frente a peligros volcánicos. El anexo en cualquier tipo de erupción, dependiendo de la dirección de viento será afectada por caídas de ceniza. Además, la zona agrícola que se encuentra en las márgenes del río Ubinas, puede ser afectada por lahares (flujos de detritos) que pueden ocurrir en temporadas de lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica, como: La población debe ser incentivada a la implementación de nuevos tipos de cultivos y cambios de técnicas de irrigación, evitando las prácticas de riego por inundación; así como implementar un sistema de alerta temprana.

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 (ACT11)”, 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 Ubinas, según los Oficios N° 352-2022-A/MDU; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el anexo San Miguel. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los ingenieros Yhon Soncco Calsina y Yeny Ccorimanya Chalco, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos que afectan a los terrenos agrícolas del anexo San Miguel, en el distrito de Ubinas. Los trabajos de campo se realizaron del 25 al 29 de abril del 2022.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Ubinas e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el anexo San Miguel; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) Rivera et al. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas. Mencionan un colapso del flanco sur del edificio volcánico “Ubinas I”, que generó un depósito de avalancha de escombros, que se canalizó en los valles de Ubinas y Para. La avalancha está constituida de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos hasta decimétricos, la mayoría están hidrotermalizados, los bloques presentan fracturas de tipo “jigsaw”.

- b) Mendívil y Salvador (1966), Remoción de tierras en el anexo de Anascapa (Provincia General Sánchez Cerro - departamento Moquegua. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/123>. En cuya investigación identificaron, escarpes de deslizamientos y grietas en inmediaciones del centro poblado de Anascapa. Este se ubica próximo a San Miguel.
- c) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos que afectaron al centro poblado de Huarina, distrito Matalaque, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6785. 45p. En el estudio concluyen que el sector de Huarina, ubicado próximo al área evaluada, es una zona crítica por lahares, de presentarse lluvias intensas, podría generar flujos de detritos o lahares desde las laderas del volcán Ubinas.
- d) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Lahares emplazados en el valle de Ubinas en febrero del 2016: geología, impacto, modelamiento y evaluación de peligros, provincia General Sánchez Cerro, región Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6745. 19p. Se describen los lahares secundarios del volcán Ubinas, cuyos depósitos llegaron hasta la confluencia de los ríos Ubinas y Tambo. El depósito de lahares generó un dique natural, que embalsó las aguas de los ríos Tambo, y luego de la ruptura de este, afectó los terrenos agrícolas del anexo de Huarina.
- e) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Huarina y Candahua, distrito Matalaque, provincia General Sánchez Cerro, región Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6975. 45p. En el estudio realizaron estudios de lahares, simulación de lahares en las quebradas que descienden desde las partes altas de Huarina y Candahua. Ambos sectores fueron considerados como zonas críticas de peligro inminente ante la ocurrencia de lluvias intensas. Ambos sectores próximos a San Miguel.
- f) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación de peligros geológicos del sector de Sirahuaya, distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, región Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6923. 29p. En el informe identificaron mencionan que 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 y material fino a medio (limo, arcilla y arena) que forma parte de la matriz producto del fracturamiento y desplazamiento de la avalancha. Se refieren a la presencia de material no consolidado. Además, identificaron procesos de lahares, erosión de ladera, caída de rocas y afectación por ceniza volcánica; Sirahuaya está próximo a San Miguel.
- g) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Evaluación de peligros volcánicos de los poblados de Ubinas, Escacha, Sacohaya, San Miguel, Querapi y Anascapa, provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua: Informe Técnico N° A6990. 31 p - Ingemmet. En él se describe que la comunidad campesina de Tonohaya puede ser afectado por la caída de ceniza y pómez, flujos piroclásticos, flujos de lahares (lodo), avalanchas de escombros, flujos de lava y gases volcánicos generados por una erupción del volcán Ubinas y además por flujos de lahares en temporada de lluvias. (esta comunidad se ubica a 3 k, aguas arriba de San Miguel)

1.2.1. Ubicación

El área evaluada está ubicada en el distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua (figuras 1 y 2), dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector evaluado en el anexo San Miguel

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	303597	8184778	16°24'37.40"S	70°50'21.20"O
2	305005	8184787	16°24'37.52"S	70°49'33.74"O
3	305016	8183488	16°25'19.78"S	70°49'33.77"O
4	303613	8183476	16°24'37.40"S	70°50'21.20"O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
San Miguel	304336	8184299	16°24'53.20"S	70°49'56.44"O

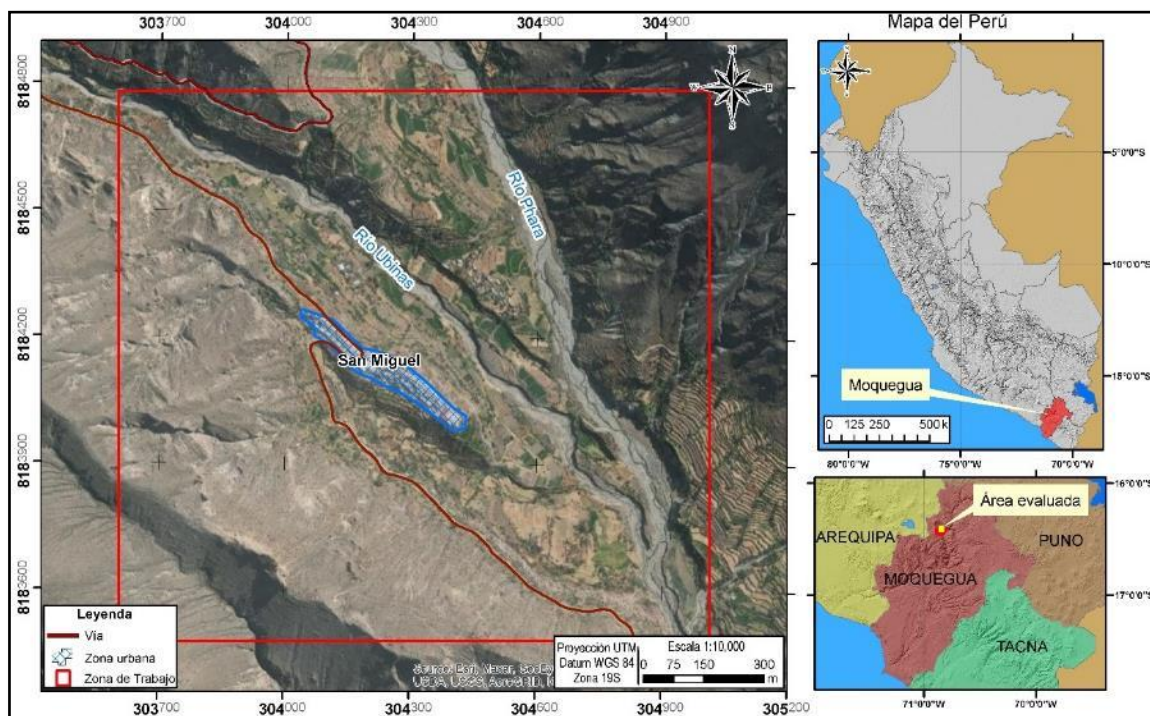


Figura 1. Ubicación del área de evaluación

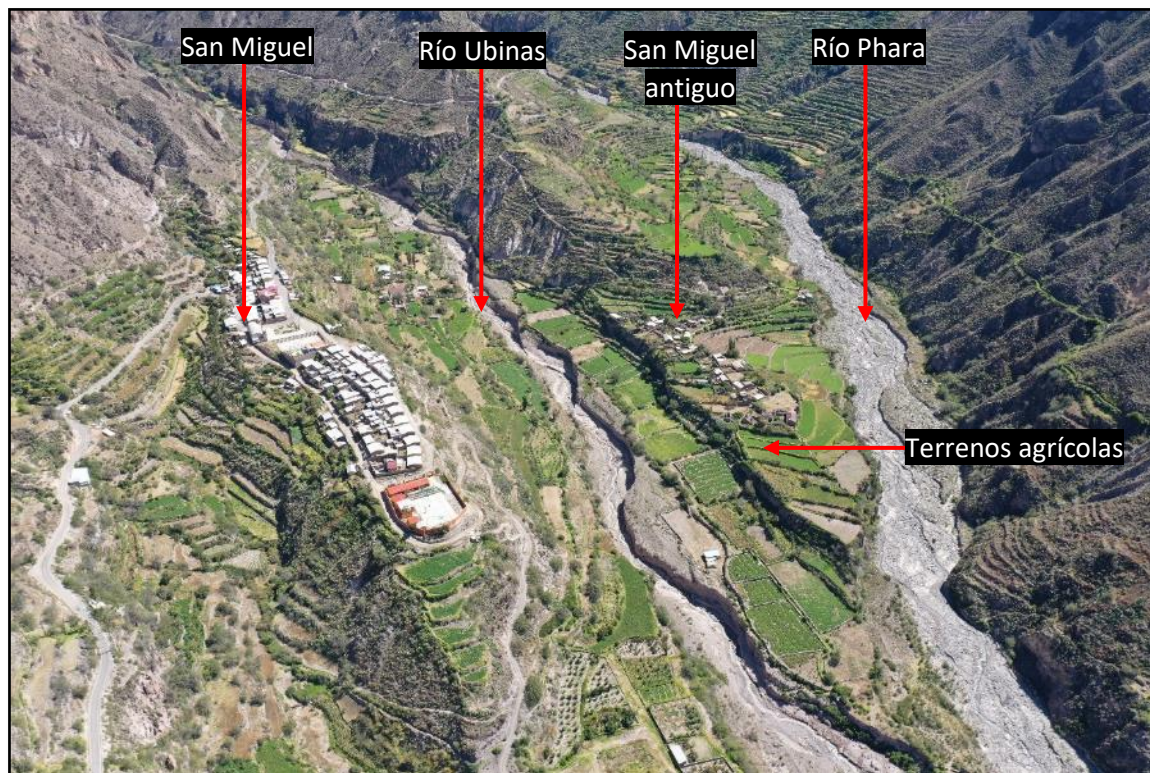


Figura 2. Vista de poblado Anascapa, terrenos agrícolas y albergue Sirahuaya

1.2.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio se realizó por vía terrestre partiendo desde Arequipa y se siguió la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Chihuata	Asfaltada	23.3	47 min
Chihuata – Ubinas	Carrozable y Asfaltada	82.4	2 h 5 min
Ubinas – San Miguel	Asfaltada	8.5	30 min

1.2.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible de la estación meteorológica Ubinas, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), los valores de precipitación se muestran en el gráfico 1. Donde se tiene una data de una ventana de tiempo desde 1964 hasta el 2014, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 35 mm. (figura 3).

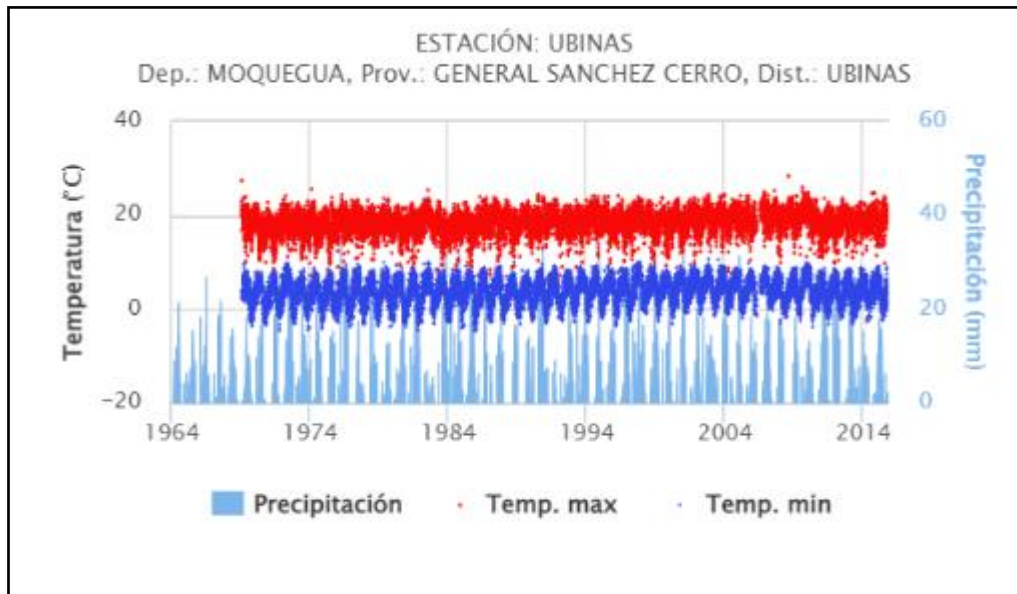


Figura 3. Precipitación diaria según la estación Ubinas (Senamhi).

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos. En el informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas" desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

AGRIETAMIENTO (cracking): Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown): Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento, ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide): Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FRACTURA (crack): 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 (weathering): 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.

CAÍDAS: La 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). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen 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 en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También 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.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et al, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

LAHARES: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

CÁRCAVAS: La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales

como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico se toma como referencia el mapa geológico del volcán Ubinas, elaborado a escala 1:25000 por (Rivera et al., 2011).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a lavas y depósitos de flujos piroclásticos alterados e hidrotermalizados de la Formación Matalaque (Ki-ma); flujos de bloques y ceniza (P-Ta1); depósito volcanoclástico estratificada con depósitos sedimentarios (P-Ta2); depósito de avalancha de escombros (P-U2); depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza (P-U3); depósito de flujo de detritos (Qh-L1, L2 y L3) y depósito coluvial (Qh-c1). (Anexo 1, **mapa 1**).

3.1.1. Formación Matalaque (Ki-ma).

Esta formación está constituida por una secuencia de lavas de composición andesítica moderadamente meteorizadas y muy fracturadas y, ocasionalmente, bancos de ignimbritas ligeramente meteorizadas y medianamente fracturadas. El conjunto litológico presenta coloraciones verdes grisáceo, gris oscuro y violeta (producto de alteración y/o meteorización). Esta formación se ubica al sureste del área evaluado.

En los frentes de lava, la roca se encuentra fracturada, por la disyunción columnar, donde forma bloques, que pueden desprenderse y generar caída de rocas.

3.1.2. Flujo piroclástico de bloques y ceniza (P-Ta1).

Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas soldados de color rojo ocre que yacen en ambas márgenes de los ríos Para y Ubinas. Estos depósitos contienen bloques juveniles andesíticos con diámetro de hasta 80 cm, en un tramo entre 40 y 80 m. Descansan directamente sobre la Formación Matalaque.

Este depósito se encuentra consolidado, se visualiza en el extremo superior derecho del mapa 1.

3.1.3. Depósito volcánoclastica estratificada con depósitos sedimentarios (P-Ta2)

La secuencia posee en la margen izquierda del valle del río Ubinas, un espesor más de 60 m. Está constituida por niveles de limonitas estratificadas intercaladas con niveles de flujos de barro. Este depósito se encuentra semi consolidado, se visualiza en el extremo superior derecho del mapa 1

3.1.4. Depósito de avalancha de escombros (P-U2)

Después de la construcción del estratovolcán del volcán Ubinas, se produjo un colapso del flanco sur del edificio volcánico, generando un depósito de avalancha de escombros cuyo volumen es de $\sim 2,8 \text{ km}^3$, que fue canalizado en los valles de Ubinas y Para. La avalancha está constituida de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos hasta decimétricos, la mayoría están hidrotermalizados, los bloques presentan fracturas de tipo "jigsaw" o "dientes de serrucho". El espesor de estas avalanchas es variable, sobrepasan los 220 m a 4 km al SE del cráter, y disminuyen hacia la parte baja del valle de Ubinas (30 m a 10 km al SE del cráter) (Rivera et al., 2011). Es un depósito no consolidado.

Por sus características litológicas, el depósito de avalancha de escombros es fácil de saturarse de agua en temporadas de lluvia y susceptible a la ocurrencia de deslizamientos.

3.1.5. Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza (P-U3)

Está conformado por flujos de bloques y ceniza de composición andesítica y riolítica, cuyos depósitos se encuentran dispersos en ambas márgenes de los valles de Para y Ubinas, y se extienden hasta la confluencia de los ríos Ubinas y Anascapa. Es un depósito no consolidado. También aflora al norte del poblado de Anascapa (mapa 1).

3.1.6. Depósitos de flujos de detritos (lahares) (Qh-L)

Estos depósitos se encuentran distribuidos en las quebradas que descienden por los flancos del volcán Ubinas. Están constituidos de bloques de lava y grava, dentro una matriz areno-limosa bastante cohesiva. Poseen espesores de 1 a 6 m, y se prolongan a distancias de 4 a 5 km del volcán, hacia donde disminuyen de espesor. Además, depósitos de lahares se encuentran hasta una distancia de 10 km del cráter (actual cauce del río Ubinas), formando terrazas escalonadas que hacen un espesor total de hasta 4 m. En general, los lahares debieron generarse durante lluvias fuertes o también por las interacciones entre los productos eruptivos calientes y una parte de la nieve y el agua que se encontraban en la cumbre y caldera del volcán, o después de erupciones, (Rivera et al., 2011).

Los depósitos se identificaron en el cauce del río Ubinas, formando terrazas aluviales, sobre la cual se desarrolla el área agrícola de Anascapa.

3.1.7. Depósitos coluviales (Qh-c1)

Aflora al noroeste del poblado de Anascapa, donde se encuentran cubriendo la avalancha de rocas. Se caracterizan por presentar clastos que van desde bloques a limos heterogéneos y sueltos producto de la erosión y meteorización de las rocas circundantes. Además, dentro de ellos se encuentran lapilli y cenizas removidas pertenecientes a caídas de tefras del volcán Ubinas. Los depósitos son no consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en el área evaluada, varía desde moderado a fuertemente inclinado; en los terrenos de cultivo es moderada (10° - 25°), parte baja y media de las laderas es muy fuerte (25° - 45°), en la las laderas de los cerros y en las márgenes de los ríos Ubinas y Phara se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), (figuras 4). Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m, tomado del portal EARTH-DATA - Alaska Satellite Facility Distributed (ASF DAAC) de la NASA (mapa 2).



Figura 4. El texto con color amarillo muestra las distintas pendientes del anexo San Miguel.

Tabla 3. Clasificación de pendientes del terreno.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escapado
>45	Muy escarpado

4.2. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geoformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el (Anexo 1, mapa 3).

En el área de estudio se han formado geoformas, los cuales son: vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at), colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv), colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs), terraza aluvial (T-al) y terraza alta aluvial (Ta-al).

4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

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). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades y subunidades:

Unidad de colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, conforman alineamientos tipo serranías de carácter denudativo y volcánico; pueden constituir superficies colinosas, alomadas, onduladas o lomeríos en general, de amplia extensión y resultantes de la degradación prolongada e intensiva de anteriores piedemontes y altiplanicies, o resultantes del casi aplanamiento por la denudación extrema de una antigua cordillera; estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 m desde el nivel de base local).

Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv): Subunidad de superficie cambiante, las colinas presentan márgenes con pendiente que varían predominantemente entre 15° y 30°. Esta unidad aflora en el sector Noreste y Suroeste del anexo San Miguel (**mapa 3**).

Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs): Subunidad de superficie con pendientes predominantemente entre 15° y 30°. Esta unidad aflora en el sector Este del anexo San Miguel, (**mapa 3**).

4.2.2. Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades.

Unidad de Piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las unidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua. Se ubica en las partes bajas del área agrícola, en inmediaciones de los ríos Ubinas y Phara.

Terraza aluvial (T-al): Planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de materiales transportados por las corrientes de agua. Se ubica en las partes bajas, en inmediaciones de los ríos Ubinas y Phara (figura 5).

Terraza alta aluvial (Ta-al): Son terrenos con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas aluviales, principalmente en el cauce de los ríos Ubinas y Phara, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos consolidados de materiales aluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle. (figura 5)

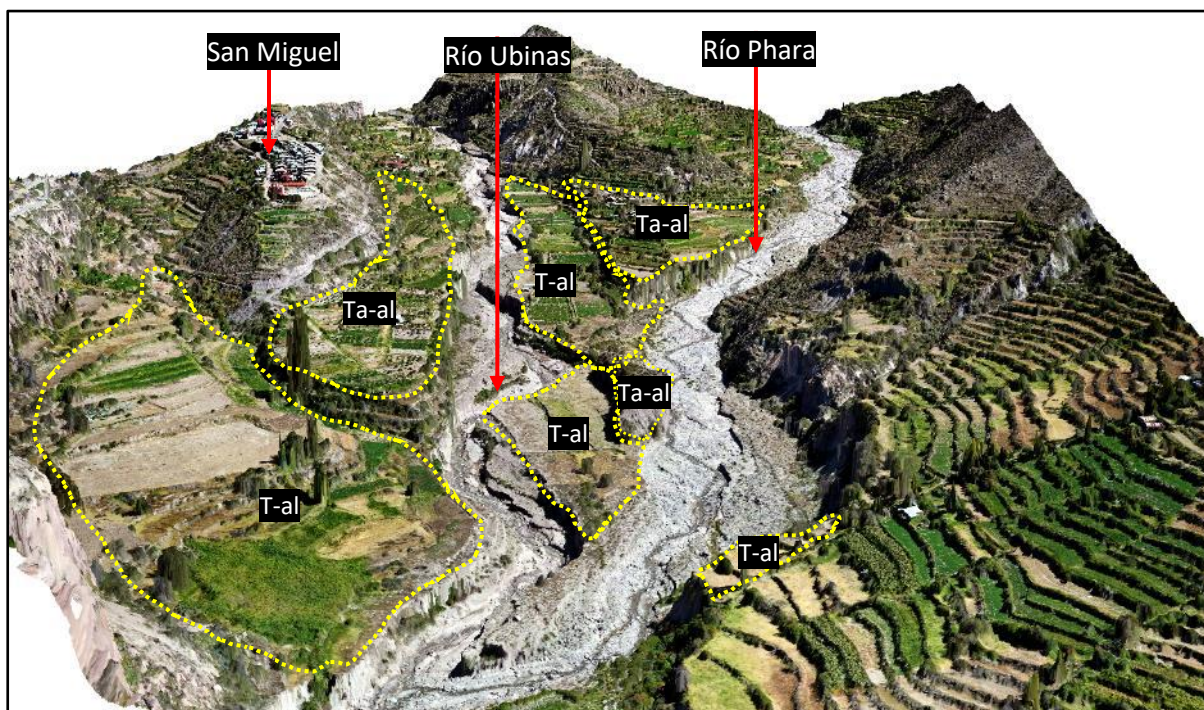


Figura 5. Terrazas en anexo San Miguel.

5. ASPECTO ESTRUCTURAL

En base al análisis de imágenes de satélite, fotografías aéreas y datos de campo se distingue un sistema de fallamiento normales de orientación NO-SE que se prolonga desde el flanco sur del volcán Ubinas hacia el valle del río Tambo (figura 6).

El sistema de fallas a la vez genera un graben de aproximadamente 1500 m de desnivel en el valle del río Tambo (Lavallée et al., 2008).

Este sistema de fallamiento, genera que la roca se fracture en varias familias, por lo cual genera bloques inestables, que ante movimientos sísmicos o lluvias intensas genere caída de rocas.

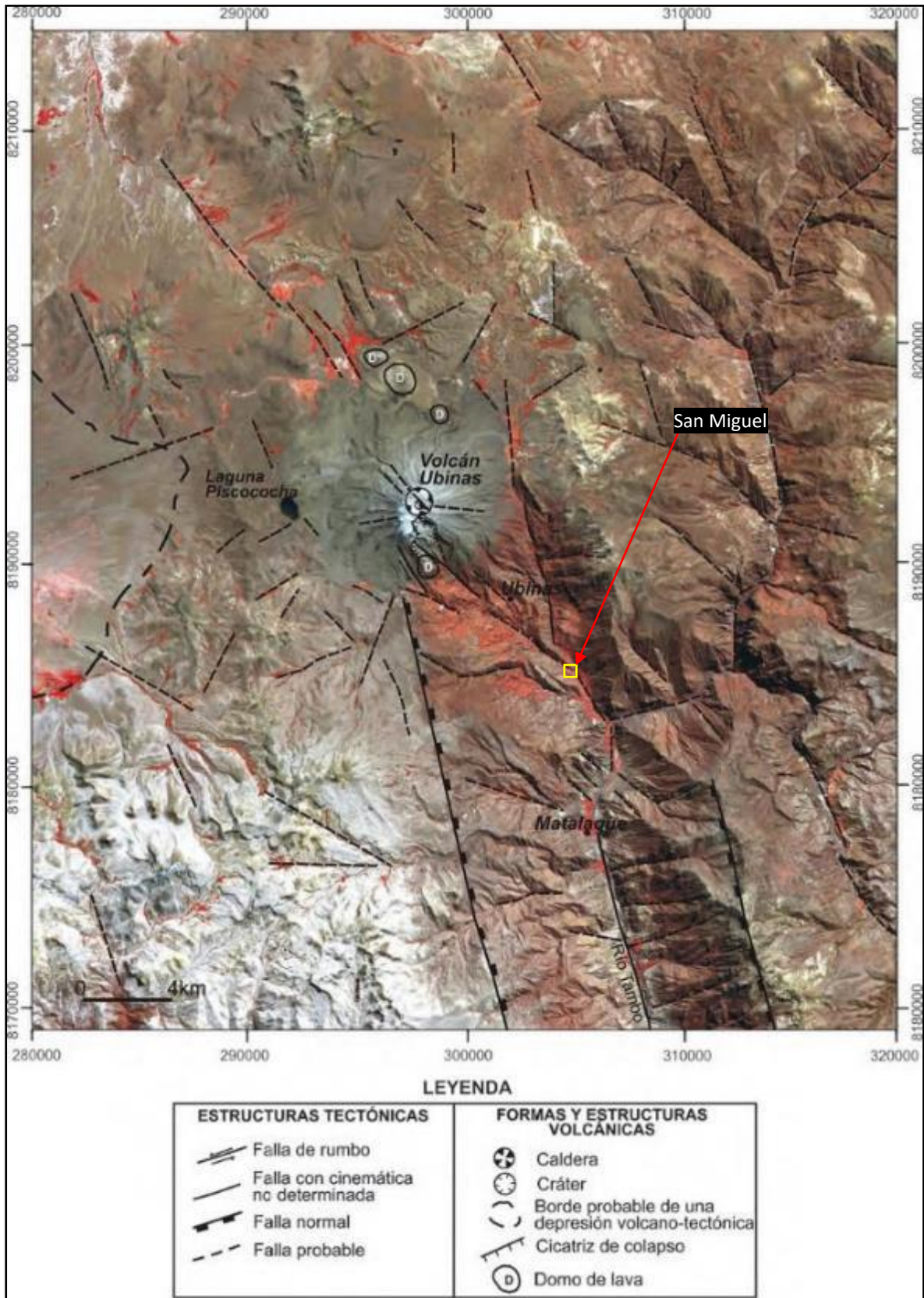


Figura 6. Fallas existentes en el volcán Ubinas y áreas aledañas Rivera et al. (2011).

6. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos son resultados del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por los ríos, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

6.1. Peligros volcánicos

6.1.1. Lahares (flujo de detritos).

Los lahares o flujos de lodo y/o detritos, son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua y que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas originados en los volcanes (Tilling, 1993). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica (Tilling, 1993).

Los pobladores de la zona, reportaron que los lahares de febrero del 2016, descendieron principalmente en los ríos Ubinas, Anascapa y Phara, (figuras 7 y 8). Éste último es considerado el más importante, ya que posee mayor volumen y tuvo un área de afectación mayor, y aflora a lo largo de casi 4.8 km, desde cerca del pueblo de Escacha, hasta la confluencia con el río Tambo.

Estos depósitos tienen un ancho promedio de 40 a 100 m en la parte alta, antes de la confluencia con el río Ubinas, y entre 60 y 150 m río abajo hasta la confluencia con el río Tambo, posee espesores de entre 0.2 y 1.5 m. y cubre un área aproximada de 324,463 m². Considerando espesores promedio de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 m, se obtuvieron volúmenes promedio de 64,893, 97,339, 129,785 y 162,231 m³, respectivamente. Mariño et al. (2016)

Los lahares que ocurrieron el 2020 y 2022, dejaron varios depósitos, principalmente en el río Ubinas. Estos se describen ampliamente más adelante.



Figura 7. Lahares emplazados en los ríos Para y Ubinas-Volcanmayo los días 11, 12 y 22 de febrero. Vista del sector de San Miguel, en la zona de confluencia de ambos ríos. Mariño et al. (2016)

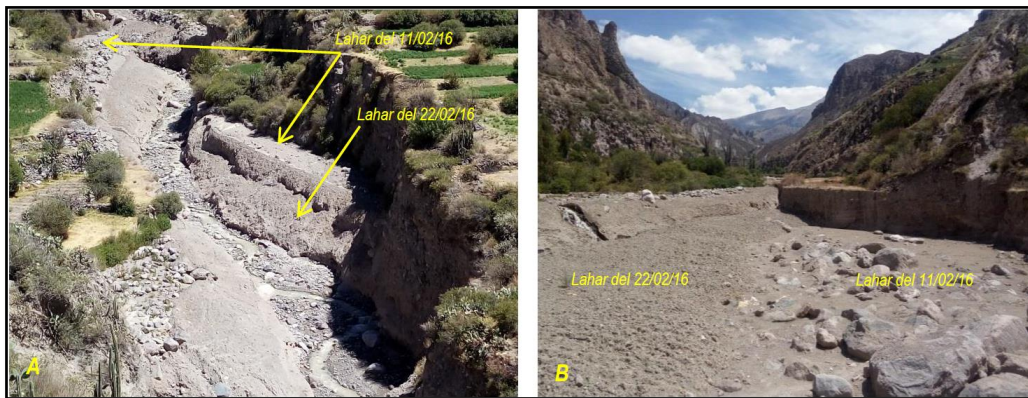


Figura 8. Depósitos de lahar emplazados los días 11 y 22 de febrero en el río Volcanmayo-Ubinas. El lahar del 11 de febrero posee una superficie lisa, mientras que el lahar del 22 de febrero tiene una superficie rugosa. A: Zona Tonohaya; B: sector San Miguel.

El Lahar del 2016: Presenta dos niveles, el primero posee espesores que van de 0.2 a 1 m y es rico en bloques, está conformado por bloques (40 %), gravas (25 %) y matriz areno limo-arcillosa (35%). Los bloques más abundantes poseen entre 0.2 a 1 m de diámetro y representan más del >80% del depósito. Los bloques poseen litología heterogénea, son lavas, bloques de domo, pómez y fragmentos hidrotermalizados. El depósito está ligeramente compactado y presenta una superficie lisa.

El segundo depósito posee espesores que van de 0.2 a 0.8 m y rico en matriz. Está conformado por bloques (25 %), gravas (25 %) y matriz limo-arcillosa (50 %). Los bloques más abundantes tienen diámetro menor a 0.25 m y representan más del 90% de bloques, mientras que los bloques con diámetro de 0.25 a 0.5 m, representan menos del 10%. El depósito es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie rugosa. Los bloques poseen litología heterogénea, pero la mayoría son lavas, bloques de domo y fragmentos hidrotermalizados, (figura 9).



Figura 9. Remanentes del depósito de lahares del 2016.

Lahar del 2020: Depósito posee espesores que van de 0.2 a 0.5 m y es rico en matriz. Está conformado por bloques (20 %), gravas (30 %) y matriz limo-arcillosa (50 %).

Los bloques más abundantes presentan diámetro de hasta 0.25 m y representan más del >90% de bloques, mientras que los bloques de 0.2 a 0.4 m de diámetro representan menos del 10%. El depósito es masivo, está ligeramente compactado y presenta una superficie rugosa. Los bloques poseen litología heterogénea, pero la mayoría son lavas, bloques de domo y fragmentos hidrotermalizados.

Estos depósitos tienen un ancho promedio de 2 a 36 m a la altura del San Miguel, cubre un área aproximada de 20,317 m². Considerando espesores promedio de 0.3 m, se obtuvo un volumen promedio de 6,095 m³.

Lahar del 2022: Depósito posee espesores que van de 0.2 a 0.4 m y es rico en matriz. Está conformado por bloques (10 %), gravas (20 %) y matriz limo-arcillosa (70 %), representa un flujo de lodo (figura 10).

Estos depósitos tienen un ancho promedio de 2 a 25 m a la altura del San Miguel, cubre un área aproximada de 15,950 m². Considerando espesores promedio de 0.3 m, se obtuvo un volumen promedio de 4,785 m³.



Figura 10. Depósito de lahares del 2022.

Los Lahares (flujos de detritos) ocurridos en el 2020 y 2022 son pequeños en volumen, comparados con los lahares ocurridos en el 2016.

6.2. Peligros geológicos por movimientos en masa

6.2.1. Zona de derrumbes

Los derrumbes se presentan en las laderas a lo largo del río Ubinas y Phara, Las laderas presentan pendiente muy fuerte a escarpados. Estos se ubican principalmente en la parte alta de la zona urbana de San Miguel, (figuras 11 y 12).



Figura 11. Zona de desprendimiento de rocas, desde la parte alta de San Miguel.



Figura 12. Terreno con pendientes muy fuerte hasta escarpado.

Se desarrollan en depósitos poco consolidados de avalancha de escombros, en depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza de composición andesítica y riolítica. Es un depósito no consolidado. También aflora al norte del poblado de Anascapa (mapa 1).

6.3. Factores condicionantes

- Presencia de depósitos no consolidados, volcanoclastica con niveles sedimentarios; flujos piroclásticos de bloques y ceniza; avalanchas de escombros, muy susceptibles a removerse.
- Proximidad al volcán Ubinas, el área evaluada se ubica a 10.6 km del edificio volcánico. Según el mapa de peligros múltiples del volcán Ubinas el área evaluada se ubica mayoritariamente en la zona de alto peligro (polígono de color rojo).
- Las pendientes en el área evaluada varían desde moderado a fuertemente inclinado en los terrenos de cultivo ($10^\circ - 25^\circ$), en la parte baja y media de las laderas es muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$); y en las laderas de los cerros y en las márgenes de los ríos Ubinas y Phara se tiene un cambio abrupto de terrenos escarpados ($> 45^\circ$).
- El área presenta unidades geomorfológicas, colina y lomada en roca volcánica, colina y lomada en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, terraza aluvial y terraza alta aluvial. Las dos últimas unidades son susceptibles a generar flujos.

6.4. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material inestable y las fuerzas tendientes al deslizamiento y los flujos de detritos (lahares). Según la estación Ubinas (Senamhi), se presentan precipitaciones de hasta 35 mm en los meses de diciembre a abril.
- Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N°011-2006-Vivienda, la zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. "El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad. Los sismos pueden desencadenar procesos de caída de rocas.

7. MAPA DE PELIGROS VOLCANICOS

7.1. Mapa de la zona proximal para peligros múltiples

El mapa de peligros de la zona proximal (figura 13), 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 semicircular 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 de 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 de 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 anexo San Miguel se localiza en zona de color rojo, que representa la zona de **alto peligro frente a peligros volcánicos**.

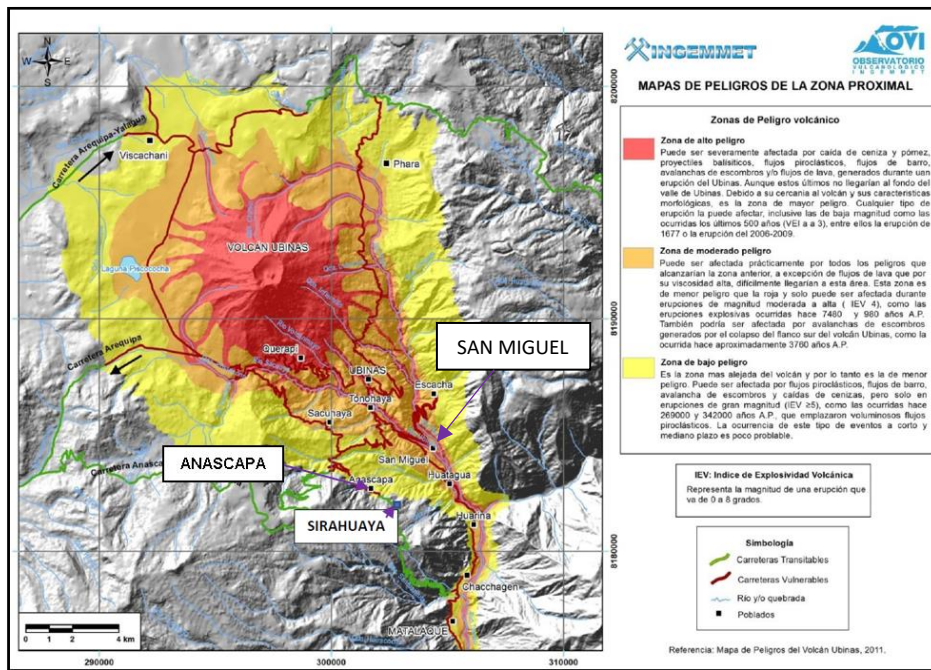


Figura 13. El anexo San Miguel, poblado Anascapa y albergue Sirahuaya, ubicados en el mapa proximal para peligros múltiples del volcán Ubinas.

7.2. 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 (figura 13). 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, 2019 y el actual proceso del 2023.

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 anexo San Miguel se encuentra a 10.6 km del volcán Ubinas (figura 14), corresponde a una zona de alto peligro frente a la caída de ceniza.

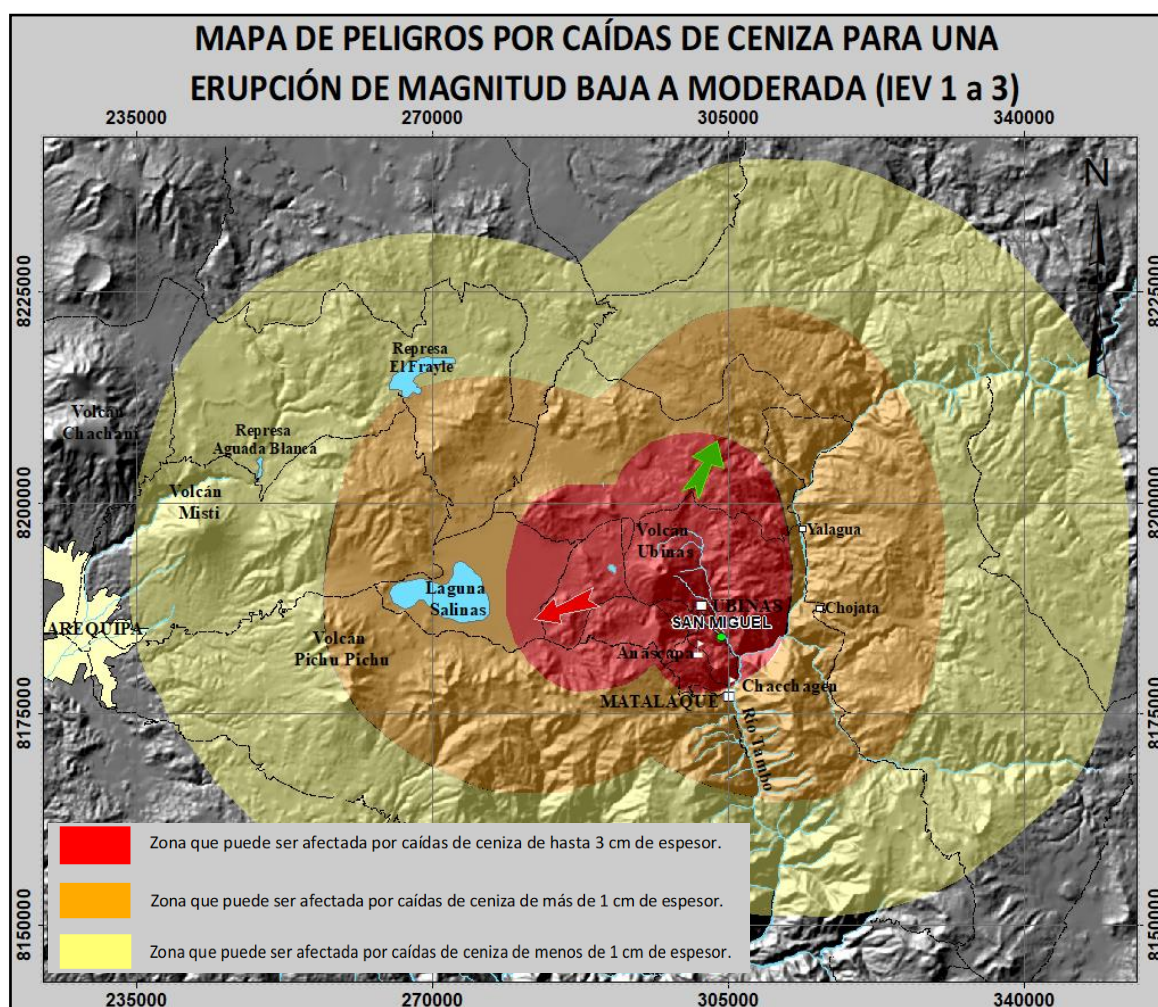


Figura 14. Zonas de afectación por caída de cenizas del volcán Ubinas (Rivera et al., 2011).

7.3. Dispersión de ceniza en el proceso eruptivo 2019

En base a los trabajos realizados por (Ramos et al., 2019) la erupción del volcán Ubinas del 19 de julio del 2019, fue considerada como una de las actividades explosivas vulcanianas más energéticas y de gran magnitud, que libero una energía de hasta 284 MJ (MegaJoule), y expulsó un volumen estimado de 3.5×10^6 m³ entre cenizas y productos volcánicos, la altura de las emisiones superaron los 6,500 m s.n.c., (metros sobre el nivel del cráter), los balísticos alcanzaron hasta una distancia de 3.5 km del cráter que consisten en fragmentos de hasta 2.5 cm, el desplazamiento de la pluma volcánica (cenizas) según las imágenes de satélite

viajaron por más de 180 km, atravesando los departamentos de Tacna, Moquegua, Puno y Oruro (Bolivia), incluido Salta (Argentina).

La magnitud de la erupción se ha clasificado dentro del índice de explosividad VEI 2. Además, el autor ha realizado medidas de espesores de caída de cenizas en el sector suroeste del volcán Ubinas, determinando que entre 5 a 15 km, la erupción acumuló espesores de 8 a 1 mm, principalmente en el valle del río Ubinas y en la zona urbana del distrito de Matalaque, (figura 15).

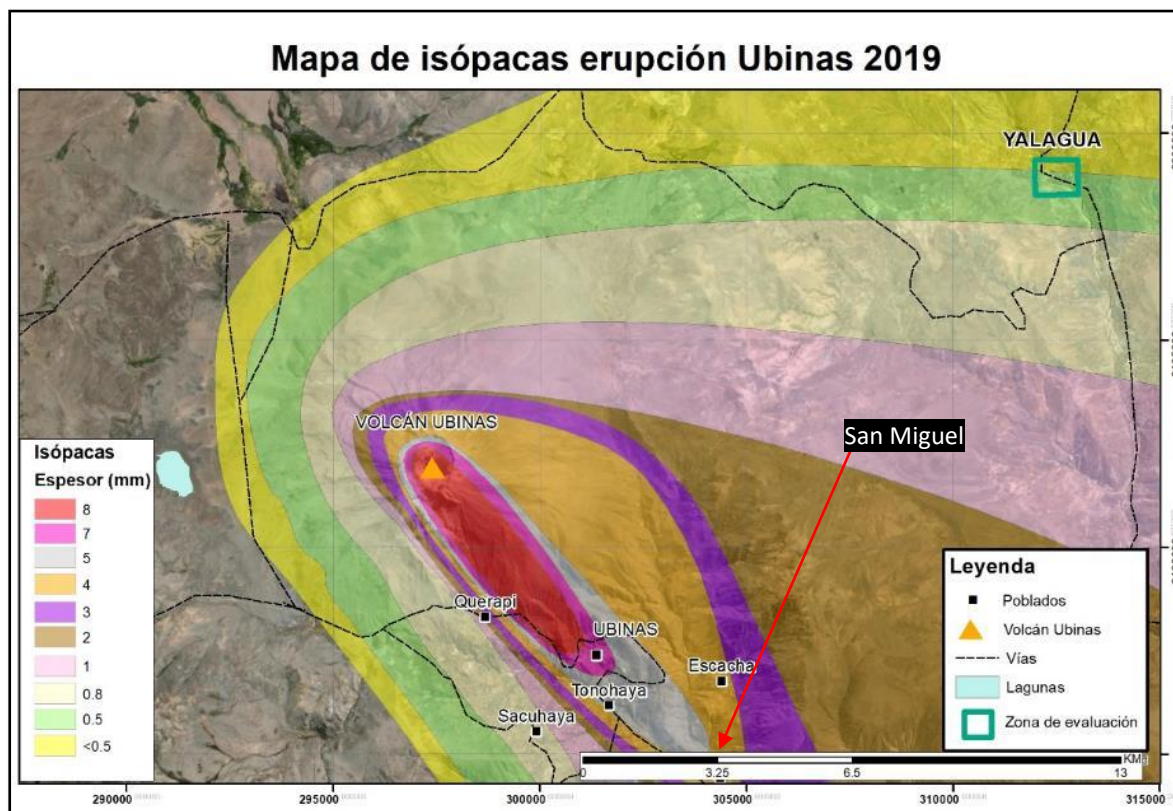


Figura 15. Isópacas de caída de cenizas, de la erupción del 19 de julio del 2019, volcán Ubinas (Ramos et al., 2019).

7.4. Dispersión de ceniza en el proceso eruptivo 2023

Durante el actual periodo eruptivo del volcán Ubinas, se ha evidenciado que, a partir del 22 de junio, la dirección de caída y dispersión de cenizas reportada por el OVI y observación de los pobladores locales, fueron predominantemente al sureste, este, suroeste y oeste del cráter del volcán, donde gran parte de los poblados ubicados alrededor del volcán fueron afectados por la caída de cenizas. Tras una de las explosiones más energéticas ocurrida el 4 de julio, la dispersión de la ceniza alcanzó más de 55 km.

Así mismo, observaron que en el pueblo de Querapi, ubicado a 4 km del cráter, se depositó alrededor de 1.5 mm de espesor de ceniza, en Ubinas a 6 km 1 mm de espesor, mientras que en los pueblos de Sacohaya Viejo, Tonohaya, Chaloge, Escacha, Escacha Bajo, Sacohaya, Sancaya, **San Miguel Viejo**, Anascapa, Chimpa, **San Miguel**, Tahuaca y Huatagua Y Matalaque se registraron caídas inferiores a 1 mm de espesor (figura 16). Sin embargo, cabe mencionar que se reportó caída de ceniza en pueblos que se encuentran en un radio de más de 20 km durante este periodo. Con los datos antes mencionados construyeron un mapa de isópacas, el cual consiste en unir puntos con espesores similares, generando elipses. Como

primeros resultados se obtuvo el área de afectación para cada una de las isópacas. Informe Técnico N° A7420

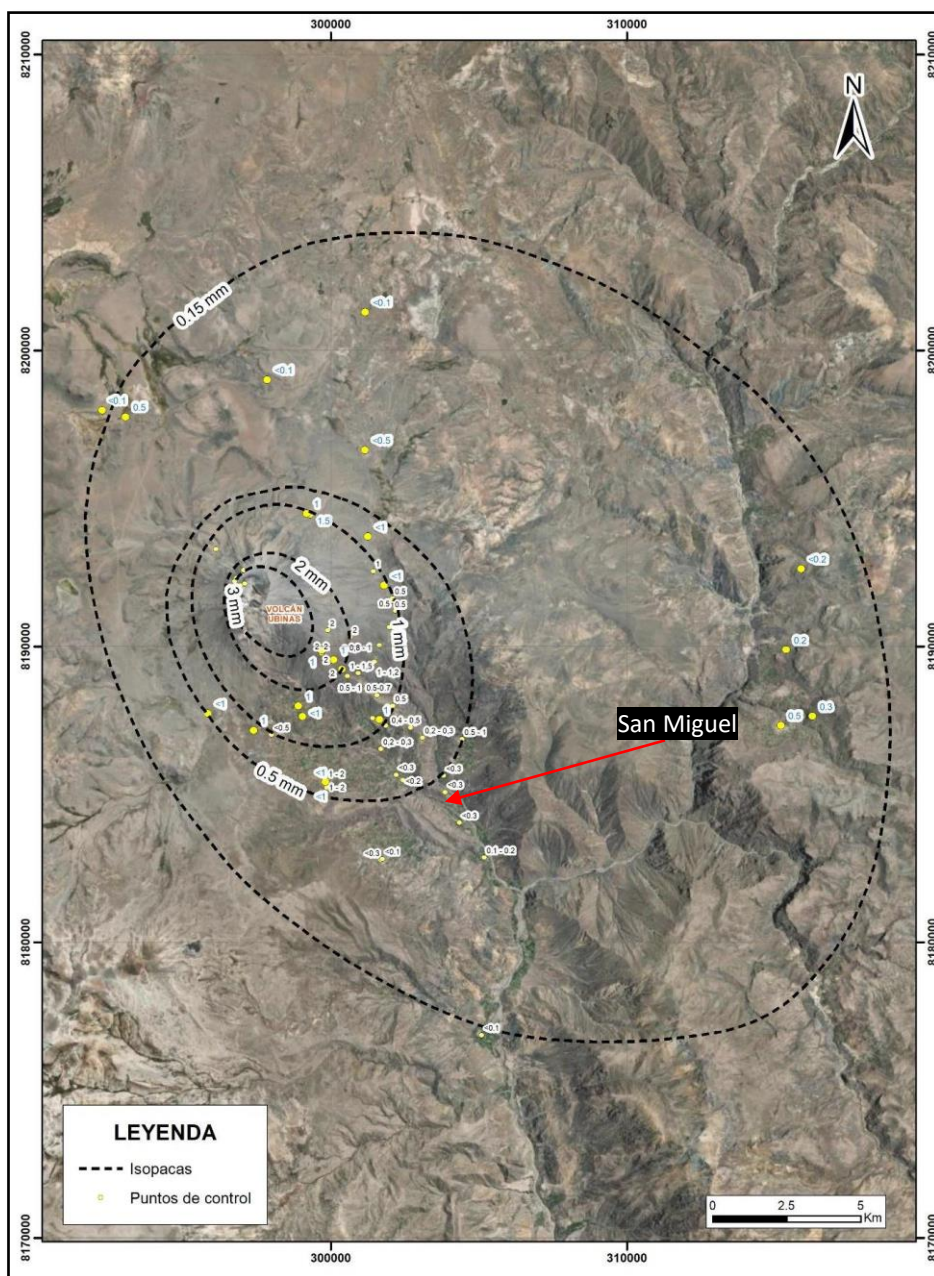


Figura 16. Mapa de isópacas de la caída de cenizas durante el periodo eruptivo del volcán Ubinas del 22 de junio al 10 de agosto del año 2023. Informe Técnico N° A7420.

Los parámetros eruptivos calculados para la erupción entre junio a agosto son: densidad promedio 0.65 g/cm³, masa del depósito 2.25x10⁸ a 2.34x10⁸kg, volumen de roca equivalente (DRE) 93750 a 97500 m³, tasa de descarga de masa (MER) 4.6 x 10³ kg/s.

El volumen final de la tefra emitida oscila entre 346120 a 360330 m³ y corresponde a los valores mínimos y máximos. Informe Técnico N° A7420. Se interpreta, que existe material disponible para nuevas generaciones de lahares (flujo de detritos), los cuales podrían generarse en los meses diciembre a febrero del 2024.

8. SIMULACION DE LAHAR (FLUJO DE DETRITOS)

La simulación de flujos de detritos (lahares) fue realizado con el código VolcFlow, (Kelfun et al., 2005), el cual permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (ecuación 1) y la cantidad de movimiento (ecuaciones 2 y 3). Los parámetros empleados, para correr los distintos flujos se describen más adelante.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{huv}) = \mathbf{ghsin}\alpha_x - \frac{1}{2} \mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{gh}^2 \mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hv}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hvu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}^2) = \mathbf{ghsin}\alpha_y - \frac{1}{2} \mathbf{Kactpass} \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{gh}^2 \mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_y}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

- h: Es el espesor del flujo
- u: = (u,v) es la velocidad del flujo
- α: Pendiente del terreno
- ρ: Densidad aparente
- T: Retardo de esfuerzo - “Savage y Hunter (1989)”
- Kaccpass: Coeficiente de presión terrestre - “Inverson y Denlinger (2001)”

8.1. Volumen del lahar (flujo de detritos)

El parámetro de volumen es uno de los más importantes datos de entrada en el código VolcFlow, su cálculo es dificultoso, para ello se empleará la metodología utilizada en trabajos anteriores, debido a que se obtuvieron buenos resultados.

El volumen de un flujo de detritos está dado por la sumatoria del volumen de agua y el de sedimentos, en base a porcentajes proporcionales. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está dado por la ecuación número 1.

$$V_{\text{flujo}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}} \quad (1)$$

Según algunos autores el porcentaje varía desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua (Vascones, 2009); 50% de agua y 50% de sedimentos (Vallance, 2000); 70% de agua y 30% de sedimentos (Córdoba et al., 2014). Scott et al., 1995 plantea desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua.

La principal fuente de agua para el cálculo del volumen de los flujos de detritos (lahares) y lahares secundarios en el Perú está dada por la precipitación de lluvias intensas y excepcionales. Para ello se emplea valores de precipitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

Los flujos de detritos en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de transporte para finalmente depositarse en las partes bajas formando abanicos (Bateman et al., 2006).

El volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación de lluvias expresado en P (mm) y el área de la zona de generación de flujo representado como A (m²),

(figura 17), cuyo límite horizontal está dado por el *divortium aquarum* o línea divisoria de aguas, la cual es una línea imaginaria que traza la separación entre dos vertientes o cuencas fluviales limítrofes (Casaverde, 2011); mientras que el límite vertical está representado por zonación dada por Bateman et al., (2006).

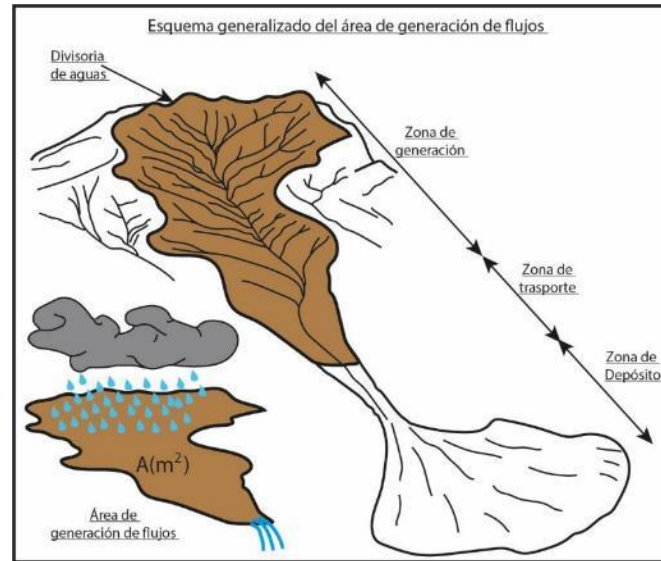


Figura 17. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco, Y., et al 2022).

El volumen de agua se representa por:

$$V_{\text{agua}} = P_n * A \quad (2)$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m^2), área de zona de generación de flujos

En base al porcentaje de agua y sedimentos de un flujo de detritos o lahares, se calcula el volumen total. Si tomamos la relación de 60 % de agua y 40 % de sedimentos.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A \quad (3)$$

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en base a los datos de las estaciones Ubinas. La mayor precipitación es de aproximadamente 35 mm. (figura 3)

Precipitación neta mediante el método del S.C.S.

Parte del agua de lluvia tiende a infiltrarse, debido a esto se tiene que separar dicha precipitación infiltrada, denominada (abstracción). El exceso de precipitación o precipitación neta es la precipitación que no se retiene en la superficie y no se infiltra en el suelo. Para nuestro caso es esta fracción, denominada precipitación neta, la cual genera la escorrentía directa.

El suelo retiene una cierta cantidad de caída de lluvia al principio, y después las abstracciones van disminuyendo progresivamente (figura 18).

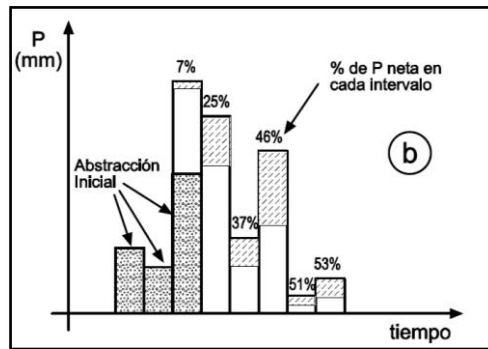


Figura 18. Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

El cálculo de la precipitación neta fue establecido empíricamente por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S), USA (Mockus, V., 1964).

La clave es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se emplea tablas en función del tipo de suelo (arenosos, arcilloso, etc), uso del suelo (bosques, cultivos, etc), pendientes, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN (“curve number”, que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía (P_o).

El cálculo del umbral de escorrentía, P_o (o “abstracción inicial”). Es un dato que aparece tabulando en función del uso de la superficie, de la pendiente, del tipo de suelos (A, B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Las tablas de P_o pueden modificarse si los días anteriores han sido muy secos o húmedos.

Para el cálculo de P neta. Se utiliza la expresión siguiente. (Mockus, V., 1964).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- P = precipitación total registrada (SENAMHI)
- Pn = precipitación neta
- Po = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta Pn (m), continuamos a partir de la ecuación 3.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A$$

$$V_{\text{flujo}} = P_n * A * (X\%)^{-1}$$

Donde:

- Pn (m), precipitación neta
- A (m2), área de zona de generación de flujos

- X, porcentaje de agua asumido por el investigador.

En la microcuenca del río Ubinas, el área de generación del lahar mide 30,000,000 m², la precipitación considera es la de mayor valor 35 mm, por lo tanto, la precipitación neta fue de 22 mm; consideraremos una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%)

Después de realizar los cálculos matemáticos, el volumen del Lahar (flujo de detrito) es de **1,161,986 m³**.

8.2. Resultados de simulación de lahares (flujo de detritos)

El objetivo de las simulaciones de lahares (flujo de detritos) es identificar, puntos críticos, sectores que podrían ser afectadas por un evento futuro. Con base a los resultados, se identificó que en el anexo San Miguel, el flujo afectaría aproximadamente 01 hectárea de terreno de cultivos, ubicados principalmente próximo al cauce del río Ubinas, en puntos donde se aprecian ligeras sinuosidades, (figuras 19 y 20).

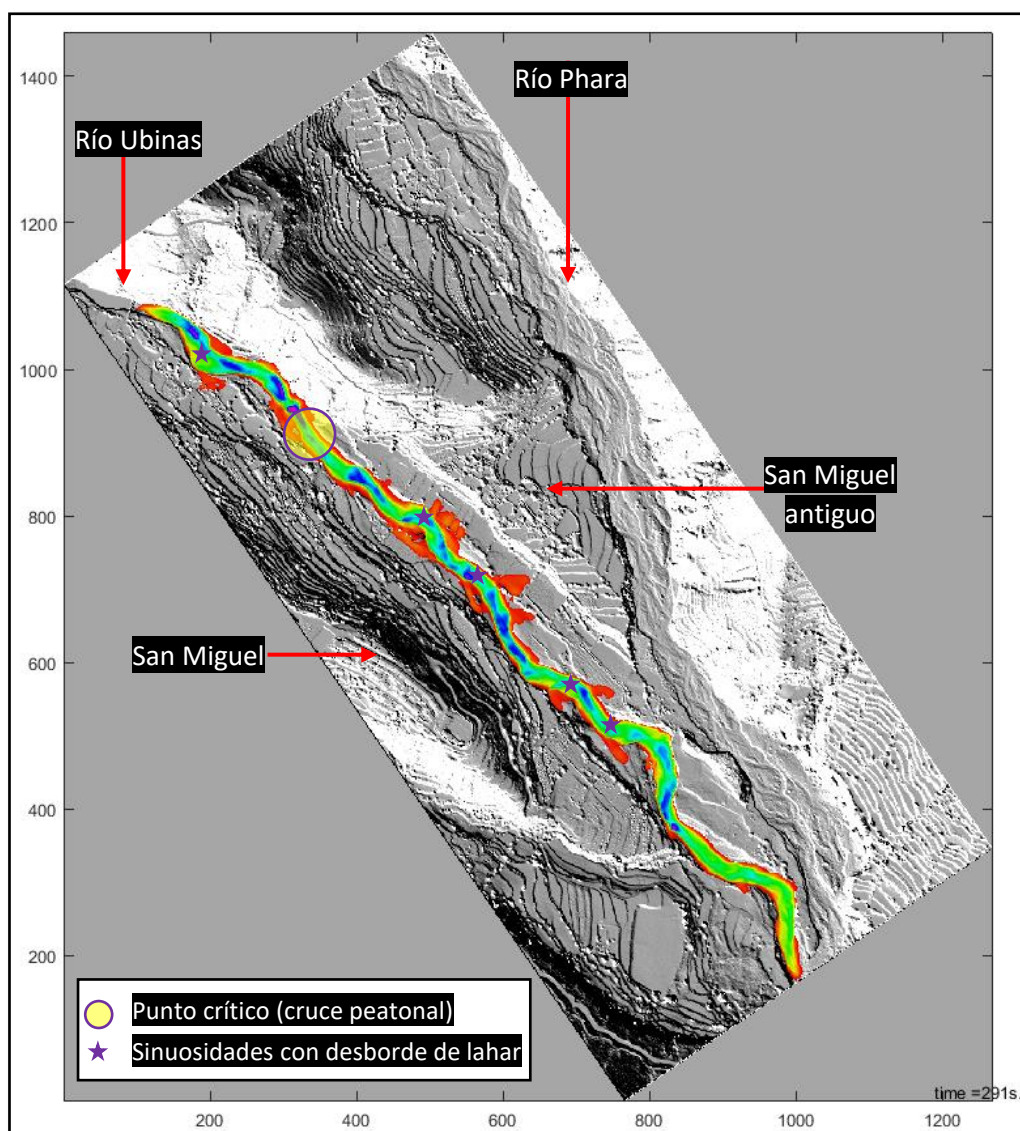


Figura 19. Simulación de lahar (flujo de detritos) en el río Ubinas, inmediaciones del anexo San Miguel.

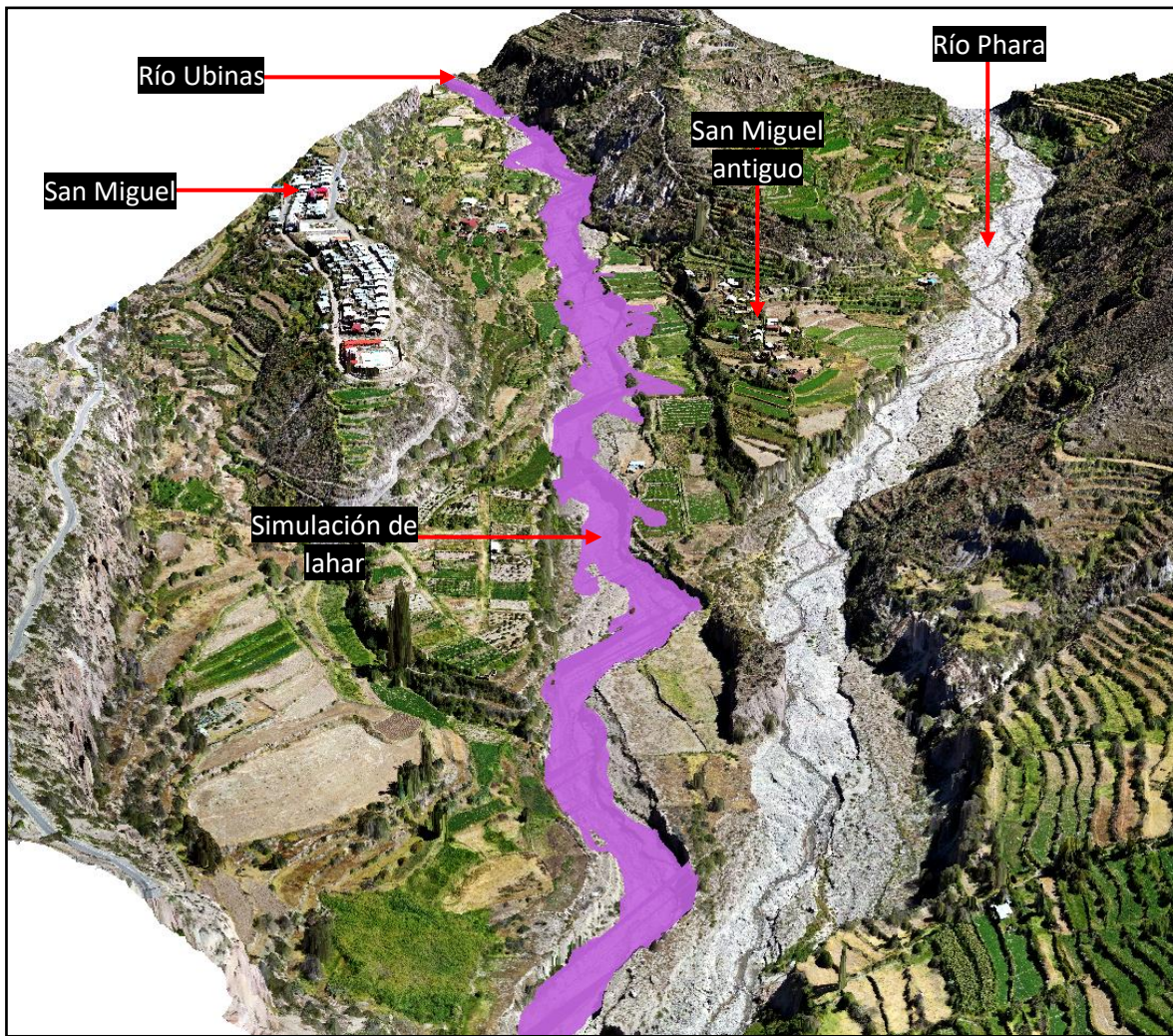


Figura 20. Vista ortométrica de la simulación de lahar (flujo de detritos) en el río Ubinas.

CONCLUSIONES

- a) En el área afloran secuencias de lavas, moderadamente meteorizadas y muy fracturadas de la Formación Matalaque, así como depósitos volcánicos de: a) flujo piroclástico de bloques y ceniza consolidados, b) secuencias volcanoclástica estratificada con niveles sedimentarios semi consolidados, c) flujos piroclásticos de pómez y ceniza constituidos de fragmentos de pómez y líticos lávicos polimíctico, poco consolidado, d) avalancha de escombros conformado por bloques con diámetro de hasta 4 m, no consolidado, e) flujo piroclástico de bloques y ceniza no consolidado, conformado por bloques y ceniza de composición andesítica y riolítica, f) lahares (flujos de detritos), constituidos de bloques de lava y grava, dentro una matriz arenolimsa bastante cohesiva. Finalmente, también se presentan depósitos coluviales no consolidados, producto de la erosión y meteorización de las rocas circundantes.
- b) En el área de estudio afloran las siguientes unidades geomorfológicas, colina y lomada en roca volcánica, colina y lomada en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, terraza aluvial y terraza alta aluvial, en las tres últimas unidades se presentan lahares.
- c) Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área evaluada comprenden: derrumbes y caída de rocas.
- d) Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** presencia de depósitos volcánicos no consolidados y de depósitos cuaternarios no consolidados, descritos líneas arriba, **b)** Proximidad al volcán Ubinas, el área evaluada se ubica a 10.6 k del edificio volcánico, las explosiones generadas por el volcán aceleran las caída de rocas, **c)** pendientes del terreno, en la parte baja es moderado a fuertemente inclinado (10° - 25°), y parte media es muy fuerte (25° - 45°). Así también se aprecian unidades geomorfológicas, colina y lomada en roca volcánica y sedimentaria; vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, terraza aluvial.
- e) Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la zona urbana del anexo San Miguel es considerada de **Peligro Moderado**, frente a movimientos en masa, el sector puede ser afectado por caída de rocas y derrumbes desde sectores con pendientes fuertes a muy fuertes.
- f) Los peligros geológicos por actividad volcánica identificados en el área evaluada comprenden: lahares (flujo de detritos) y caída de cenizas.
- g) Con base al volumen de tefra emitido en el actual proceso eruptivo 2023 del volcán Ubinas, el cual oscila entre 346120 a 360330 m³, se interpreta, que existe material disponible para que se generen lahares (flujo de detritos), los cuales podrían ocurrir en los meses diciembre - 2023 a abril - 2024.
- h) Con base a los mapas: **a)** proximal para peligros múltiples y **b)** peligros por caídas de ceniza y lapilli, ambos elaborados por INGEMMET, el anexo San Miguel se localiza en la zona de color rojo, de **Alto Peligro** frente a peligros volcánicos. El anexo en cualquier tipo de erupción, dependiendo de la dirección de viento será afectada por caídas de ceniza. Además, las zonas agrícolas, ubicadas en las márgenes del río Ubinas, pueden ser afectadas por lahares (flujos de detritos) que pueden ocurrir en temporadas de lluvias intensas y/o prolongadas.

- i) Con base al resultado de las simulaciones, se identificó un punto crítico, en el cual se ubica el principal cruce peatonal, que comunica en anexo de San Miguel con terrenos de cultivo y el antiguo San Miguel. Además, un futuro lahar (flujo de detritos) afectaría cerca de 01 hectárea de terrenos de cultivo, principalmente ubicados próximos a sinuosidades del cauce del río Ubinas.

RECOMENDACIONES

1. Evitar alterar las condiciones normales de los suelos en el anexo San Miguel, para mantener el grado de peligrosidad.
2. Con el objetivo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie incluyendo canales (tubería de PVC o manguera flexibles) para evitar infiltraciones de agua al subsuelo.
3. Todos los reservorios y canales de agua en el sector deberían ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
5. Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), frente a la ocurrencia de peligros volcánicos (lahares).
6. Realizar un EVAR, para determinar el grado de riesgo al que está expuesto el anexo San Miguel, cuyo trabajo debe ser realizado por un personal acreditado por CENEPRED.



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



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Rivera M., Mariño J., Thouret J-C. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas.

Mariño, J., Valdivia, D., Soncco, Y., Miranda, R., Machacca, 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. 29p.

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportatiön researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The análisis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Lavallée, Y.; De Silva, S., Salas, G., Byrnes, J.M. (2009) - Structural control on volcanism at the Ubinas, Huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (UHTVG), southern Peru. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 186(3-4): 253-264.

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

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019). Evaluación de peligros geológicos en el sector Sirahuaya. Distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento Moquegua: Ingemmet, Informe Técnico N° A6923, 29p

Mendivil y Salvador (1966), Remoción de tierras en el anexo de Anascapa (Prov. General Sánchez Cerro - Dpto. de Moquegua. Boletín N° 13. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/123>.

Valdivia, D., Aguilar, R., Manrique, N. (2019). Evaluación de peligros volcánicos de los poblados de Ubinas, Escacha, Sacohaya, San Miguel, Querapi y Anascapa, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua. Informe Técnico N° A6990 INGEMMET 31p.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportatiön researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

ANEXO 1 MAPAS

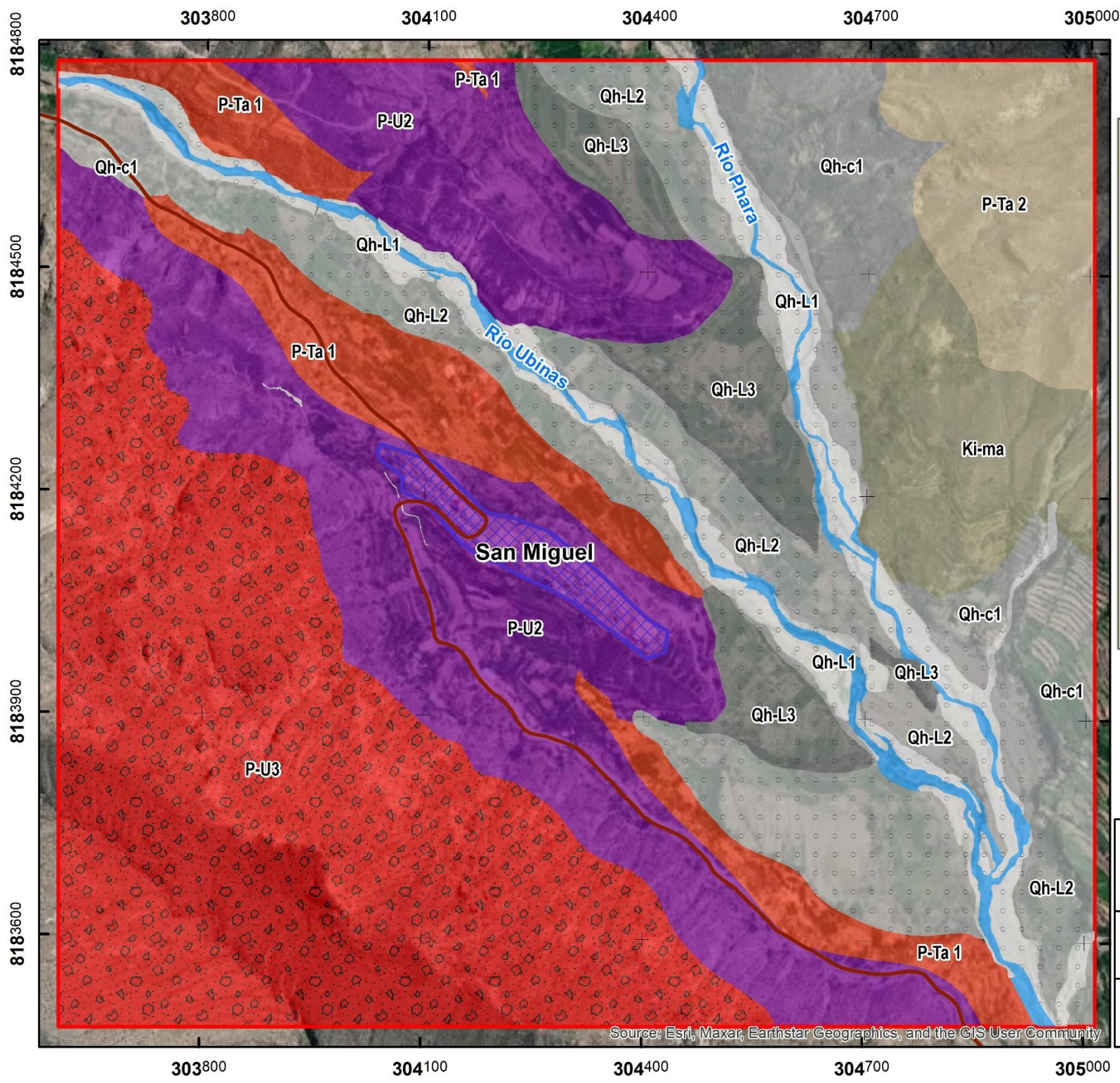
Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Muestra la geología del área de trabajo. Tomado y modificado del mapa geológico del volcán Ubinas, Rivera M., Mariño J., Thouret J-C. (2011)

Mapa N°2. Muestra las pendientes, elaborado a partir de un modelo digital de elevaciones (DEM) de 0.5 m de resolución. Elaboración propia.

Mapa N°3. Muestra la geomorfología del anexo San Miguel. Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.

Mapa N°4. Muestra el mapa de cartografía de peligros geológicos en el anexo San Miguel. Elaboración propia.



Unidades litoestratigráficas

Qh-c1	Depósito coluvial
Qh-L3	Depositos de flujo de detritos (Lahares 3)
Qh-L2	Depositos de flujo de detritos (Lahares 2)
Qh-L1	Depositos de flujo de detritos (Lahares 1)
P-U3	Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza cohesivos, ricos en líticos de mas de 176 Ka.
P-U2	Depósito de avalancha de escombros
P-Ta2	Deposito volcanoclástica estratificada con depósitos sedimentarios
P-Ta1	Flujo de bloques y ceniza soldada de color rojizo
Ki-ma	Lavas y depósitos de flujos piroclásticos alterados e hidrotermalizado

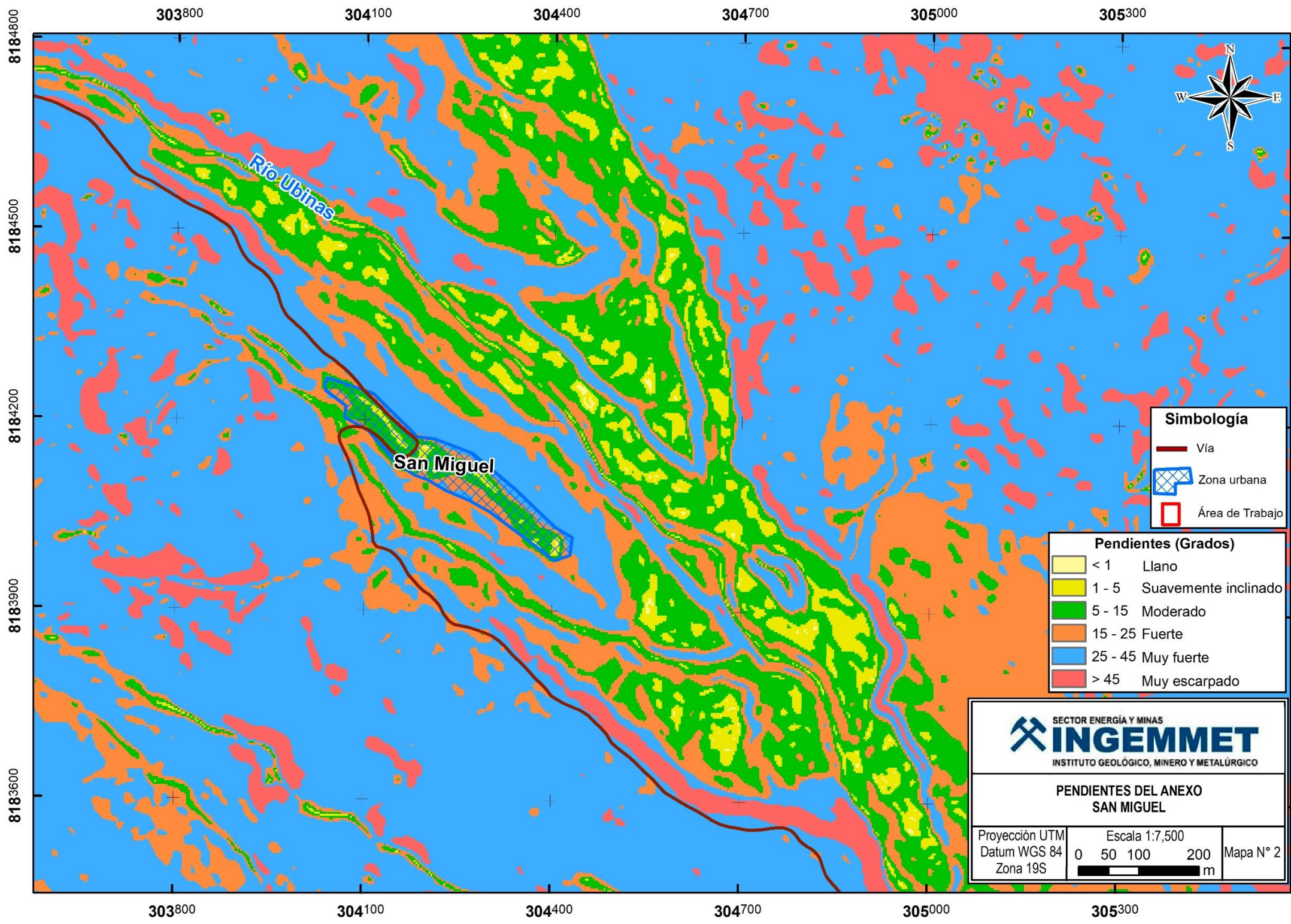
Simbología	
	Zona urbana
	Vía
	Área de Trabajo
	Río



GEOLOGÍA DEL ANEXO SAN MIGUEL

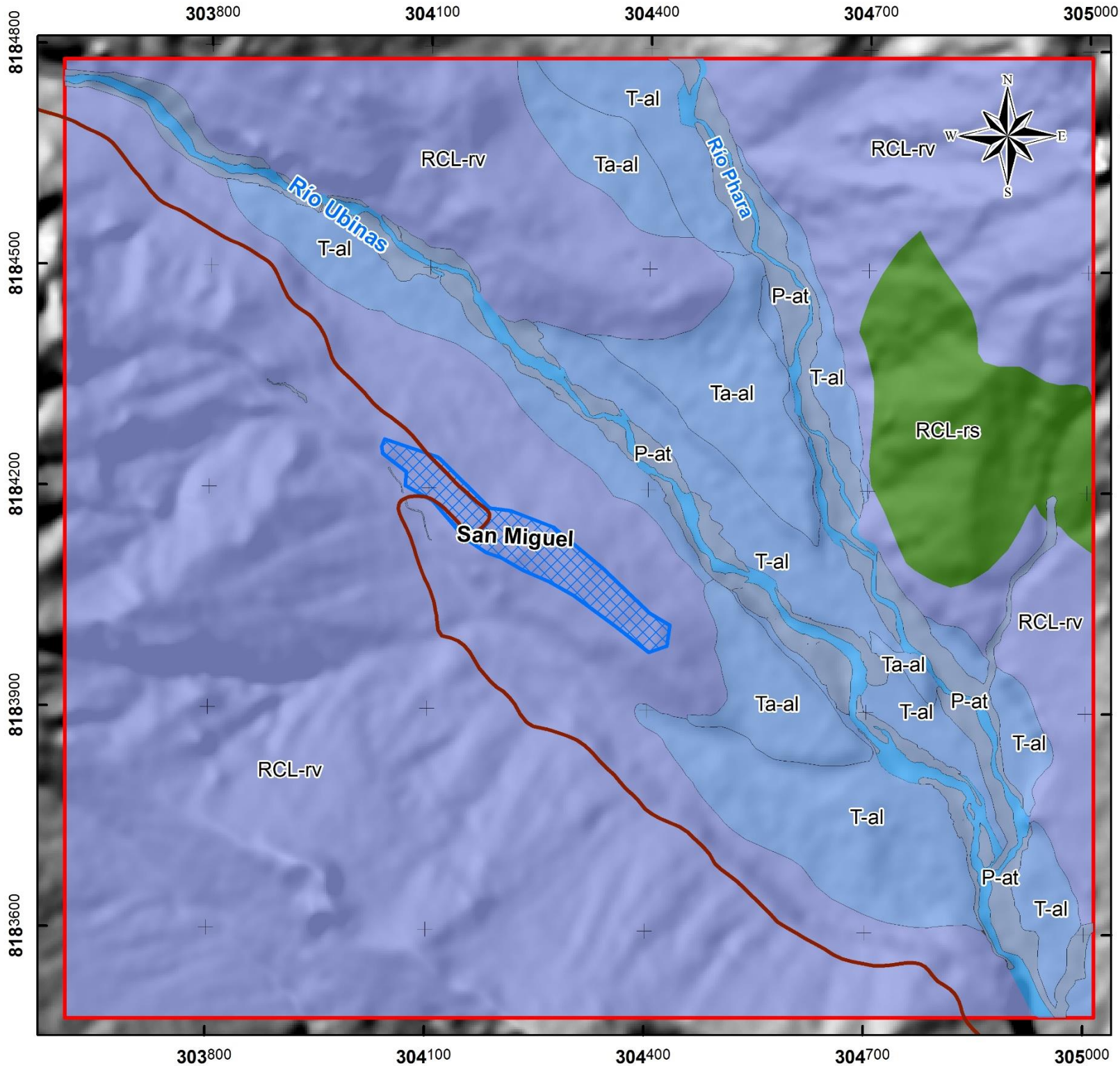
Proyección UTM	Escala 1:7,500	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 50 100 200 m	
Zona 19S		

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community



**PENDIENTES DEL ANEXO
SAN MIGUEL**

Proyección UTM	Escala 1:7,500		Mapa N° 2
Datum WGS 84	0 50 100 200	m	
Zona 19S			



Unidades geomorfológicas

P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
Ta-al	Terraza alta aluvial
T-al	Terraza aluvial
RCL-rv	Colina y lomada en roca volcanica
RCL-rs	Colina y lomada en roca sedimentaria

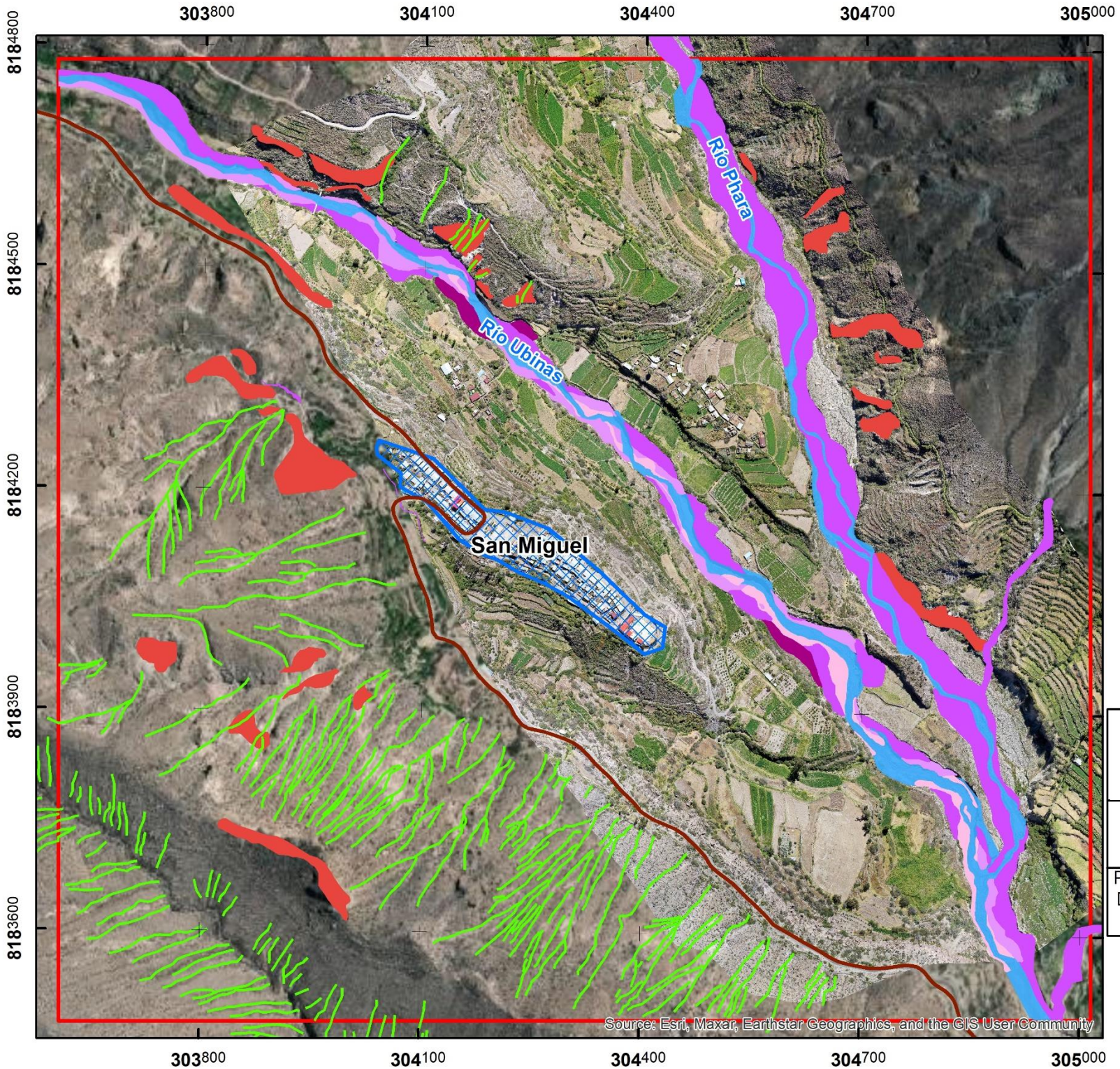
Simbología

	Zona urbana		Via
	Área de Trabajo		Río

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

GEOMORFOLOGÍA DEL ANEXO SAN MIGUEL

Proyección UTM	Escala 1:7,500	Mapa N° 3
Datum WGS 84	0 50 100 200	
Zona 19S	m	



Peligros geológicos

- Derrumbes
- Flujo de detritos (lahar - 2007)
- Flujo de detritos (lahar - 2016)
- Flujo de detritos (lahar - 2020)
- Flujo de detritos (lahar - 2022)
- Erosión de laderas

Simbología

- Vía
- Río
- Zona urbana
- Área de Trabajo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO SAN MIGUEL

Proyección UTM	Escala 1:7,500	Mapa N° 4
Datum WGS 84	0 50 100 200	
Zona 19S	m	

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community