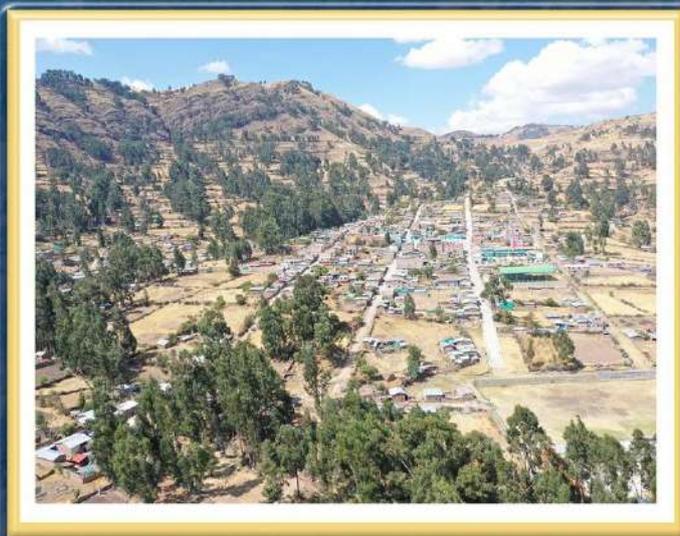


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7553

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO Y EFECTOS GEOLÓGICOS POST-SISMO DEL 31 DE AGOSTO DEL 2024 EN EL POBLADO DE POMABAMBA

Departamento: Ayacucho
Provincia: Cangallo
Distrito: María Parado de Bellido



NOVIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR DESLIZAMIENTO Y EFECTOS GEOLÓGICOS POST-SISMO DEL 31 DE AGOSTO DEL 2024 EN EL POBLADO DE POMABAMBA

*Distrito de María Parado de Bellido
Provincia Cangallo
Departamento Ayacucho*



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

Equipo técnico:

*Lucio Medina Allcca
Anderson Rafael Palomino Tacuri
Guisela Choquenaira Garate
Gabino Fabrizio Delgado Madera*

Referencia bibliográfica

Medina, L. Palomino, A. R. & Choquenaira, G. (2024). Evaluación de peligro geológico por deslizamiento y efectos geológicos post-sismo del 31 de agosto del 2024 en el poblado de Pomabamba. Distrito de María Parado de Bellido, provincia Cangallo, departamento Ayacucho. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7553, 45 p.

CONTENIDO

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Población	9
1.3.3. Accesibilidad	9
1.3.4. Clima	10
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	15
3.1. Unidades litoestratigráficas	15
3.1.2. Formación Castrovirreyna (PN-cas)	16
3.1.3. Centro Volcánico Tutayac Orcco (Np-to/and)	18
3.1.4. Depósito coluviodeluvial (Q-cd).....	18
3.1.5. Depósito coluvial (Q-cl).....	20
3.1.6. Depósito proluvial (Q-pl).....	21
3.1.7. Depósito fluvial (Q-fl).....	22
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	22
4.1. Pendientes del terreno	22
4.2. Unidades geomorfológicas	23
4.2.1. Unidad de Montañas	23
4.2.2. Unidades de vertiente y piedemonte	23
4.2.3. Unidad de terraza	24
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	25
5.1. Deslizamiento rotacional inactivo	26
5.1.1. Factores condicionantes.....	28
5.1.2. Factores desencadenantes.....	28
6. ANÁLISIS NEOTECTÓNICO POST-SISMO DEL 31 DE AGOSTO DEL 2024	29
6.1. Parámetros del sismo	29
6.2. Descripción geológico – morfoestructural	31
6.3. Efectos cosísmicos	31
7. CONCLUSIONES	36
8. RECOMENDACIONES	38

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXO 1: MAPAS	41

RESUMEN

El presente informe, es el resultado de la evaluación de peligro geológico por deslizamiento y de los efectos geológicos post-sismo del 31 de agosto del 2024 en el poblado de Pomabamba. Distrito de María Parado de Bellido, provincia Cangallo, departamento Ayacucho. Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico cumple con la función de brindar asistencia técnica en el tema de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

Las rocas del área evaluada están compuestas por secuencias sedimentarias del Grupo Mitu, volcanosedimentarias de la Formación Castrovirreyna y volcánicas del Centro Volcánico Tutayac Orcco. Estas rocas en superficie se encuentran cubierto parcialmente por depósitos inconsolidados conformado por coluviodeluviales, coluviales, proluviales y fluviales.

Geomorfológicamente, Pomabamba, Ccoriacc, Llulucha Chata, San Miguel de Acco, Huascarpamapa y San José de Ccachccara, centros poblados o barrios que conforman la capital del distrito de María Parado de Bellido, se asienta en vertiente coluviodeluvial con pendiente inclinado suave a moderada; a excepción, de San José de Ccachccara que se ubica en vertiente coluvial con pendiente del terreno similar a los demás barrios.

En el área de evaluación se identificaron 12 deslizamientos rotacionales inactivos, 11 erosiones en cárcavas activas, 10 derrumbes activos, 4 flujos inactivos latentes, 3 deslizamientos rotacionales flujos (movimientos complejos) inactivos latentes, 1 derrumbe inactivo latente, 1 deslizamiento rotacional inactivo relicto, 1 flujo de detritos activo y 1 área con erosión en surco activo. El Barrio de San José de Ccachccara se encuentra asentado sobre un deslizamiento inactivo latente, cuyas características visibles son las siguientes: área estimada de 86 hectáreas; 2200 m de longitud de la escarpa principal del deslizamiento, 200 m de desnivel entre la escarpa principal y el pie del deslizamiento, entre 20 m a 70 m de salto principal, 720 m de longitud en el eje principal y 1750 m de ancho.

Los factores que condicionaron la ocurrencia de este deslizamiento inactivos latentes donde se encuentra asentada la población San José de Ccachccara, corresponde a depósitos coluviodeluviales, posibles filtraciones de agua, superficie cóncava con pendiente variables desde inclinado suave (1° a 5°) a muy escarpado ($>45^\circ$). Además, se infiere que los factores desencadenantes fueron lluvias excepcionales prolongadas y fuertes sismos.

En base al análisis del modelo de elevación digital, RIMM, imágenes satelitales y la observación en campo sugieren la presencia de fallas geológicas activas, de orientación ONO-ESE y localizadas próximas al epicentro del sismo. Los sismos están relacionados con la presencia de fallas geológicas activas, que a pesar de generar sismos de magnitudes moderadas a bajas ($M_w < 4$) impactó en las viviendas de los poblados adyacentes. Las construcciones afectadas se encuentran sobre cuerpos de deslizamiento, que amplifican las ondas sísmicas (efecto de sitio) e incrementan la vulnerabilidad en las construcciones.

Por las características descritas en tres párrafos anteriores, el área que abarca el deslizamiento inactivo latente donde se encuentra asentada la población San José de Ccachccara, se considera como Zona Crítica y de Peligro Muy Alto; en caso de registrarse lluvias prolongadas y sismos fuertes el deslizamiento se podría reactivar. Para el caso de los demás barrios o centros poblados evaluados el Peligro es Alto ante sismos.

Finalmente, en el informe de evaluación técnica se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes y tomadores de decisiones pongan en práctica en el área evaluada con la finalidad de minimizar los daños que se puedan generar.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de María Parado de Bellido, Oficio N° 414-2024-MDMPB/A; en el marco de nuestras competencias se realizó la evaluación del deslizamiento y los efectos de sismo del 31 de agosto del 2024.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros geólogos Lucio Medina Allcca, Guisela Choquenaira Garate y Gabino Fabrizio Delgado Madera realizar la evaluación de peligros geológicos in situ, la cual se llevó a cabo el 16 y 17 de setiembre del 2024. El trabajo de campo se realizó con la presencia de funcionarios de la Municipalidad Distrital Maria Parado de Bellido y representante de los pobladores afectados y damnificado por efectos del sismo del 31 de agosto de 2024.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: la primera corresponde a la preparación del pre-campo, se inicia con la recopilación de antecedentes, información geológica, geomorfológica entre otros; la segunda, pertenece a la etapa de campo a través de la observación directa, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de la población local afectada; y en la etapa final correspondiente a 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 en consideración de la Municipalidad María Parado de Bellido 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 y la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar el peligro geológico que se presenta en el área de evaluación y los efectos geológico del sismo del 31 de agosto del presente año.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa inactivos latentes.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante el peligro geológico evaluado en trabajo de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional, que involucra la zona de evaluación, tenemos:

- A) El Boletín N° 70 de la Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Peligros Geológicos en la Región Ayacucho” elaborado por Vílchez et al., (2019). El estudio contiene información básica sobre los peligros geológicos registrados en la región Ayacucho y los factores que los condicionan para su ocurrencia. En el mapa

anexo al mencionado boletín se observa que el área donde la población de Pomabamba se asienta se considera de muy alta susceptibilidad (Figura 1) a la ocurrencia de movimientos en masa; además, según la información del mapa 6, en la zona se registra el inventario de ocurrencias de erosión de ladera tipo cárcava.

- B) El Boletín N° 28 de la Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 3” publicado por Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental (2003).
- C) Boletín N° 31 de la Serie L, Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000): Geología del cuadrángulo de Huancapi (hojas 28ñ1, 28ñ2, 28ñ3, 28ñ4) donde se describen los aspectos geológicos y estructurales. Elaborado por Valdivia et al., (2021).
- D) Boletín N° 70 de la Serie A, Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. Hojas: 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o donde también se describen los aspectos geológicos y estructurales elaborado por Asociación LAGESA-CFGS (1996).

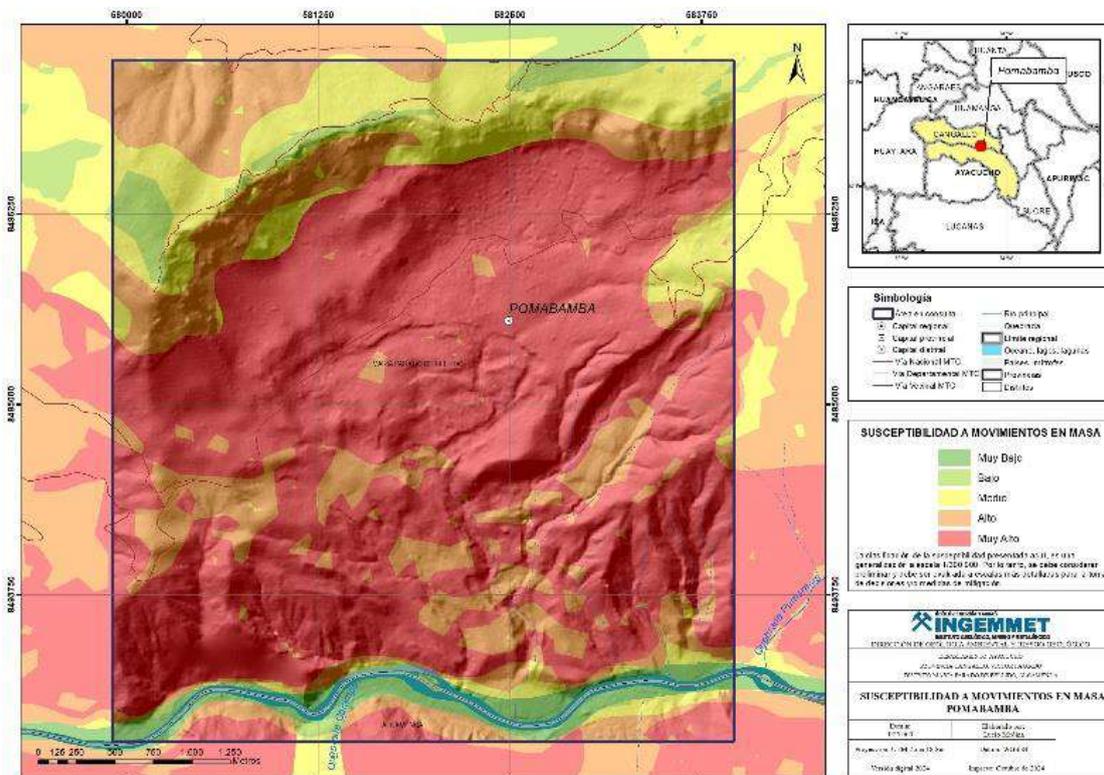


Figura 1. Susceptibilidad a movimientos en masa

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada donde se generó sismo el 31 de agosto del 2024, corresponde a la capital del distrito de María Parado de Bellido, provincia Cangallo, departamento Ayacucho; conformada por los centros poblados o barrios de Pomabamba, Ccoriacc, Llulucha Chata, San Miguel de Acco, Huascarpamapa y San José de Ccachccara (Figura 2). Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) del área evaluada se muestran en la tabla 1:

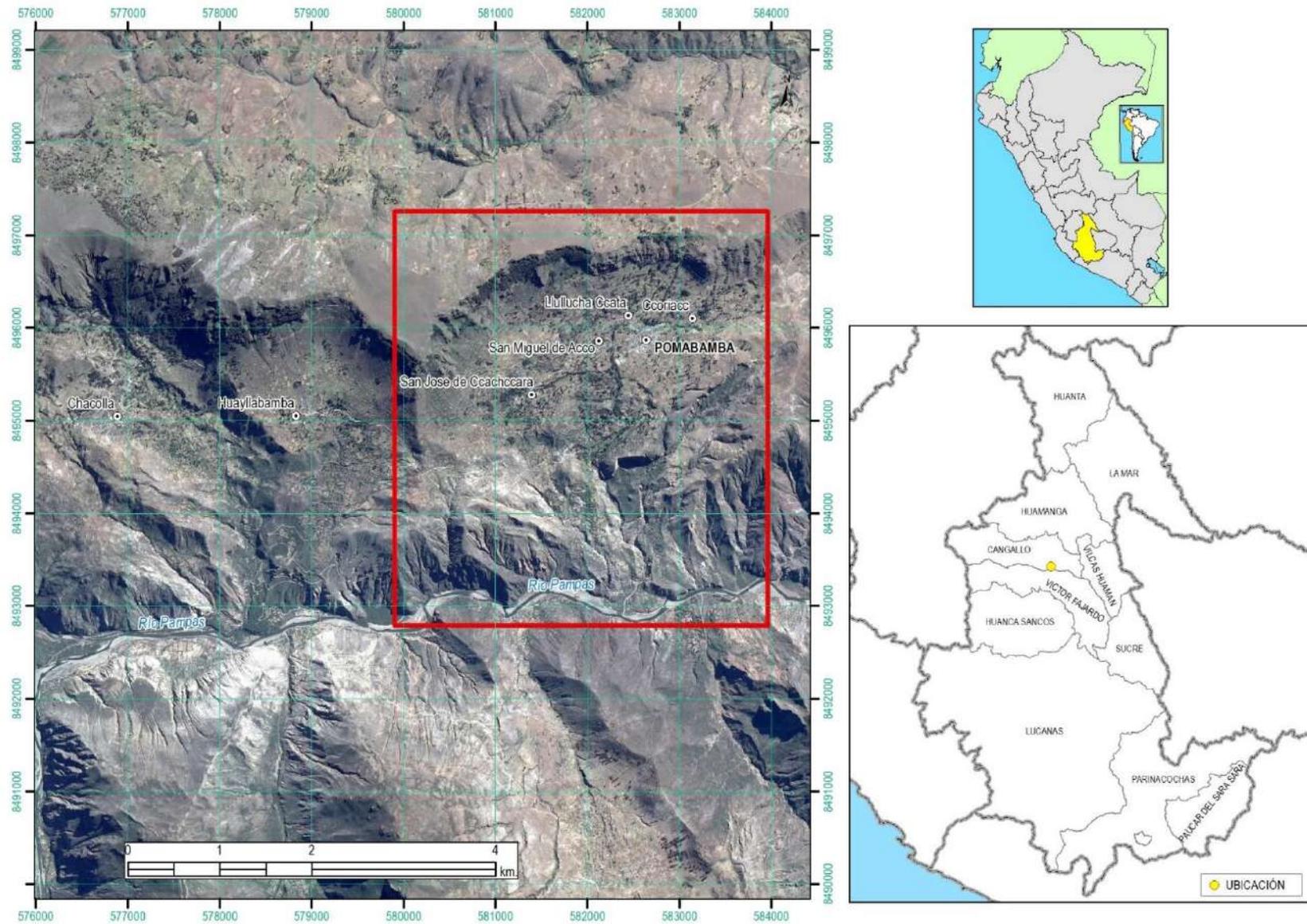


Figura 2. Ubicación y límite del área de evaluación

Tabla 1. Coordenadas del área de evaluación

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	583956	8497280	-13.591838°	-74.223935°
2	583956	8492800	-13.632344°	-74.223803°
3	579890	8492800	-13.632458°	-74.261392°
4	579890	8497280	-13.591952°	-74.261517°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	581832	8495258	-13.610180°	-74.243509°

1.3.2. Población

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el distrito de María Parado de Bellido cuenta con una población urbana rural de 2067 habitantes; de ellos, 442 pertenece al centro poblado de Pomabamba, 113 a Ccoriacc, 108 a Llullucha Chata, 125 a San Miguel de Acco, 92 a Huascarpamapa y 67 a San José de Ccachccara.

Referente a viviendas, 359 corresponden al centro poblado de Pomabamba, 55 a Ccoriacc, 78 a Llullucha Ccata, 120 a San Miguel de Acco, 54 a Huascarpamapa y 61 a San José de Ccachccara.

Según el Informe técnico N° 006-2024-MDMPDB-JDRD/COO proporcionado por la Municipalidad Distrital María Parado de Bellido mediante Oficio N° 414-2024-MDMPB/A, a causa del sismo que se suscitó el día 31 de agosto del 2024 a las 3.58 pm, con réplica del 01 de setiembre del 2024; se registraron 251 viviendas dañadas; de ellos, 77 inhabitables, 168 afectadas y 6 viviendas destruidas. A nivel de barrios:

- En San Miguel de Acco se registraron 78 viviendas dañadas; de ellas, 40 inhabitables y 38 afectadas.
- En San José de Ccachccara se registraron 49 viviendas dañadas; de ellas, 21 inhabitables y 28 afectadas.
- En Llullucha Ccata se registraron 27 viviendas dañadas; de ellas, 04 inhabitables y 23 afectadas.
- En Pomabamba se registraron 54 viviendas dañadas; de ellas, 02 inhabitables, 46 afectadas y 6 destruidas.
- En Ccoriacc se registraron 25 viviendas dañadas; de ellas, 09 inhabitables y 23 afectadas.
- En Huascarpampa se registraron 18 viviendas dañadas; de ellas, 01 inhabitables y 17 afectadas.

1.3.3. Accesibilidad

Para acceder al área de evaluación, se parte desde la ciudad de Lima siguiendo las siguientes rutas mencionadas en el cuadro 1:

Cuadro 1. Rutas y accesos

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Pisco	Asfaltada	223	3 horas
Pisco - Ayacucho	Asfaltada	337	7 horas
Ayacucho - Pomabamba	Asfaltada	80	2 horas

1.3.4. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el área de estudio, presenta un clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo enero 2021 – setiembre 2024 fue de 32.7 mm, (Figura 3).

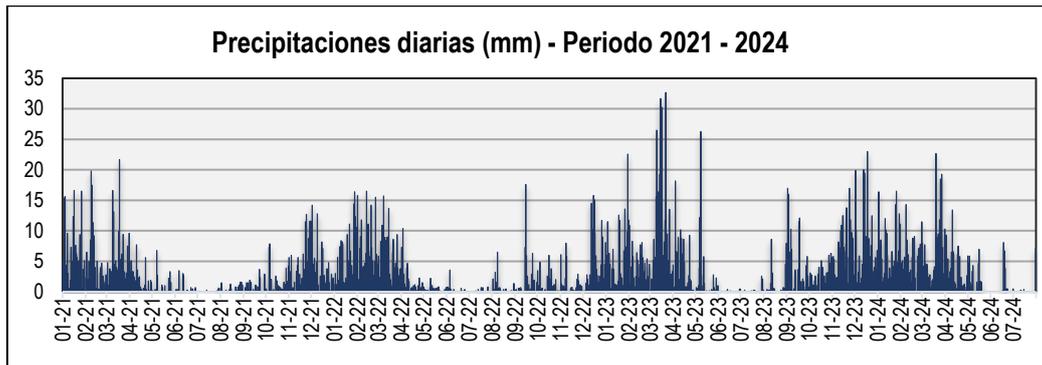


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm entre enero 2021 a julio 2024. Fuente: Landviewer.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 24.0°C en verano y un mínimo de 3.0°C en invierno (Figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 63.9% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

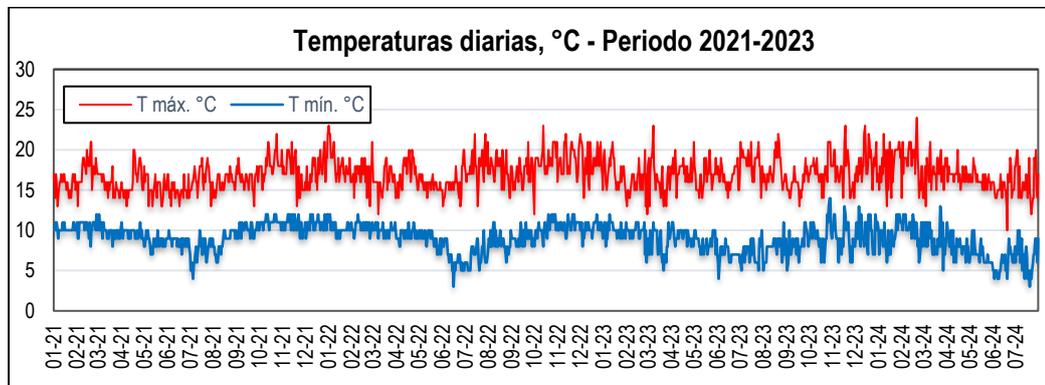


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias durante el mes de enero 2021 a julio 2024. Fuente: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/10221786>.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen 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:

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

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

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

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

Arcilla. Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

Avalancha de detritos. Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo (Hungry et al., 2001).

Buzamiento. Ángulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

Caída de rocas. Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

Caída. Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

Coluvial. Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

Coluvio-deluvial. Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interstratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

Corona. 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.

Deluvial. Corresponde a materiales compuesto por suelo y roca que se depositan en las laderas de los cerros por la acción del agua de lluvia.

Derrumbe. Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

Deslizamiento traslacional. Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996).

Deslizamiento. Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

Erosión de laderas. Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

Escarpe o 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.

Estructura tectónica capaz / Falla activa. Se refiere a una estructura tectónica, como una falla geológica, que tiene el potencial de generar terremotos o deformaciones en la superficie terrestre, lo que la convierte en una falla activa. El concepto de falla activa se define en función de la edad de su último desplazamiento. Stewart & Hancock (1994) definen desde una perspectiva neotectónica, una falla activa es aquella que ha experimentado deformaciones durante el régimen tectónico actual. En ingeniería geológica, y particularmente en la evaluación de proyectos de infraestructura, una falla activa es aquella que ha mostrado actividad en los últimos 10.000 años.

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

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

Falla geológica. Las fallas geológicas son discontinuidades en la corteza terrestre que se presentan como planos de fractura o rotura, con un desplazamiento relativo entre los bloques adyacentes. Estas fallas tienen un origen tectónico, es decir, resultan de los esfuerzos internos generados dentro de la Tierra.

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

Flujo. Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

Formación geológica. Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura. Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

Hundimiento. Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000).

Inactivo latente. Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

Inactivo relicto. Movimiento en masa que claramente ocurrió bajo condiciones geomórficas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varnes, 1996).

Ladera. Superficie natural inclinada de un terreno.

Licuefacción. Pérdida de la resistencia al corte de un suelo debido a un incremento rápido de la presión de poros del agua. El caso más común se presenta cuando ocurre un sismo en suelos granulares finos saturados con baja densidad relativa. Sin.: licuación.

Lutita. Roca sedimentaria de grano muy fino, de textura pelítica, es decir integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de tamaños de la arcilla y del limo.

Meteorización. Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

Movimiento complejo. Tipo de movimiento en masa que involucra una combinación de uno o más de los tipos principales de movimientos, ya sea dentro de las diferentes partes que componen la masa en movimiento, o en los diferentes estados de desarrollo del movimiento (Varnes, 1978). Los más comunes son: deslizamiento-flujo, derrumbe-flujo, deslizamiento-caída de rocas, deslizamiento-flujo, deslizamiento-reptación, entre otros.

Movimiento en masa. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

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

Proluvial. Complejo sedimento deltaico friable de material fragmental, acumulado al pie de una pendiente como resultado de una ocasional avenida torrencial.

Reactivado. Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

Relación entre fallas activas y sismos. La relación entre las fallas activas y los sismos se describe de la siguiente manera: una falla geológica en el interior de la corteza terrestre origina una ruptura, la cual genera una liberación de energía en forma de ondas sísmicas. Estas ondas se propagan hacia la superficie, donde su impacto y amplificación dependen en gran medida del tipo de suelo sobre el que inciden.

Reptación de suelos. Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Retrogresivo. Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

Saturación. El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Sismo. Un sismo es el proceso mediante el cual se libera la energía acumulada en la corteza terrestre. Este fenómeno se manifiesta en la superficie a través de movimientos bruscos del terreno, que pueden causar daños y destrucción.

Suelo residual. Suelo derivado de la meteorización o descomposición de la roca in situ. No ha sido transportado de su localización original, también llamado suelo tropical.

Susceptibilidad. La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

Suspendido. Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

Talud. Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

Velocidad. Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

Zona crítica. Zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La información base considerada para el análisis de los aspectos geológicos corresponde al boletín N° 31 de la serie L, elaborado por Valdivia et al., (2021) y al mapa geológico de Huancapi – Hoja 28ñ1 a escala 1:50,000 de la Serie L, actualizado por Valdivia et al., (2015). Además, se realizó trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

El área evaluada está compuesta por rocas sedimentarias permotriásicas del Grupo Mitu, volcánicas del paleógeno-neógeno de la Formación Castrovirreyna, volcánicas del neógeno-pleistoceno del Centro Volcánico Tutayac Orcco y depósitos coluviodeluviales, coluviales, proluviales y fluviales (Anexo 1: Mapa 1).

3.1.1. Grupo Mitu Sedimentario (PET-m/sed)

El Grupo Mitu sedimentario (Fotografías 1 y 2) está compuesto de conglomerados, areniscas, limolitas y posible presencia de yeso. Los conglomerados son polimícticos y varían de clasto soportado a matriz soportada. Los clastos pueden variar de subangulosos, caóticamente distribuidos, a sub redondeados con arreglos internos imbricados; principalmente, están compuestos de rocas volcánicas, además de areniscas cuarzosas de tamaños heterométricos, con eje mayor de hasta 1 m y están envueltos en una matriz areno-limolítica; características que concuerdan con las descritas por Valdivia et al., (2021); además, menciona que las areniscas son principalmente arcósicas y cuarzo feldespáticas. Las areniscas arcósicas son las más frecuentes, varían de grano grueso a medio y se presentan de estratos medianos a delgados. Asociadas en conjunto con los conglomerados y limolitas, son de color rojo y forman secuencias estrato decrecientes. Pueden tener laminaciones cruzadas y paralelas, así como presentar clastos blandos. Las areniscas cuarzo feldespáticas poseen colores gris verdoso y violáceo, predominando en los afloramientos el color violáceo. Las areniscas gris verdosas son de grano medio, mientras que las areniscas violáceas son de grano fino. Las limolitas que son menos frecuentes, se caracterizan por su coloración rojiza más intensa; asimismo, están generalmente laminadas. En conjunto y asociadas con los conglomerados y areniscas, forman secuencias estrato grano decrecientes.



Fotografía 1. Vista panorámica del afloramiento del Grupo Mitu Sedimentario ubicado en la margen izquierda del río Pampas
UTM: 583115 / 8493769, Zona 18.



Fotografía 2. Afloramiento del Grupo Mitu Sedimentario ubicado en el límite con la Formación Castrovirreyna. UTM: 581130 / 8961103, Zona 18.

3.1.2. Formación Castrovirreyna (PN-cas)

Está compuesto por las intercalaciones conglomerados clastos soportados a matriz soportada, intercalados con areniscas y limolitas de color gris claro a rojizo. Además, presenta

niveles de toba de lapilli de color gris blanquecino y lavas andesíticas (Fotografías 3 y 4). En conjunto la Formación Castrovirreyna sobreyace en discordancia angular al Grupo Mitu.



Fotografía 3. Afloramiento de la Formación Castrovirreyna.
UTM: 581247 / 8494099, Zona 18.



Fotografía 4. Afloramiento de la Formación Castrovirreyna.
UTM: 581857 / 8494179, Zona 18.

3.1.3. Centro Volcánico Tutayac Orcco (Np-to/and)

El centro Volcánico Tutayac (Fotografía 5) está compuesto por lavas andesíticas de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa. Además, lo componen según Valdivia et al., (2021) bloques y cenizas (Figura 5).



Fotografía 5. Afloramiento del centro Volcánico Tutayac Orcco ubicado en talud superior del poblado de Pomabamba.
 UTM: 581857 / 8494179, Zona 18.

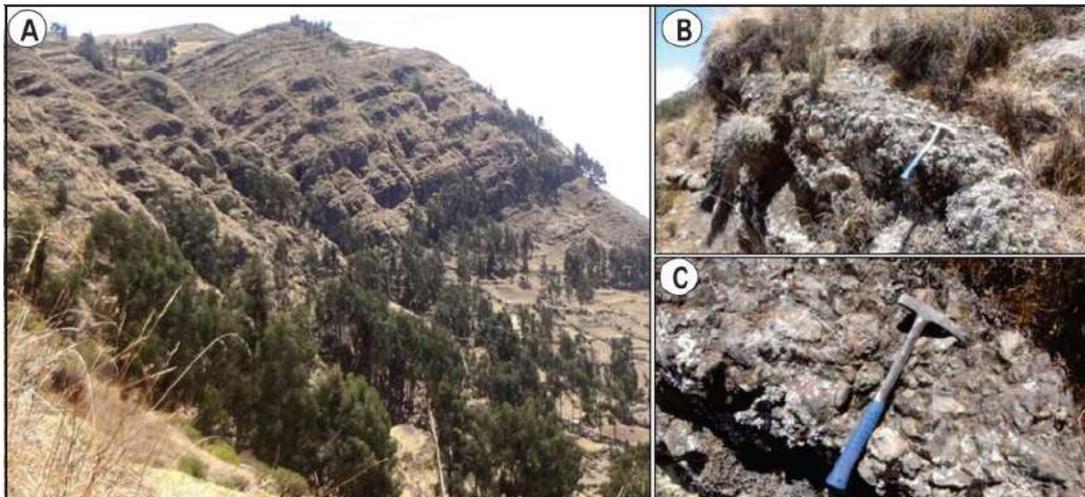


Figura 5. Centro Volcánico Tutayac Orco. A. Vista panorámica del apilamiento de bloques y cenizas. Vista tomada hacia el noreste cerca al poblado de Pomabamba. B. Estrato de bloques y cenizas. C. Detalle de los bloques subangulosos englobados en una matriz de cenizas. Fuente: Valdivia et al., (2021).

3.1.4. Depósito coluviodeluvial (Q-cd)

Están conformados por capas de suelo compuesto principalmente por ceniza volcánica limos y arcillas con inclusiones de fragmentos de roca volcánica como lavas y andesitas (Fotografía 6 y 7); el material proviene del centro Volcánico Tutayac.

Se encuentra depositado en la ladera entre los cerros Romaní y Punta Pata; los depósitos han sido formados por la escorrentía (pequeños chorros) pluvial sin cauce o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido y ocurrencias de movimientos en masa

ocasionado por la gravedad. Actualmente, el área lo ocupa gran parte de la población de Pomabamba (Fotografía 8).



Fotografía 6. Depósito coluviodeluvial donde se observa asienta parte de la población de Pomabamba
UTM: 582504 / 8495451, Zona 18.



Fotografía 7. Depósito coluviodeluvial donde se observa viviendas dispersas de la población de Pomabamba
UTM: 582560 / 8495409, Zona 18.



Fotografía 8. Depósito coluvideluvial donde se observa viviendas dispersas de la población de Pomabamba
UTM: 583089 / 8496284, Zona 18.

3.1.5. Depósito coluvial (Q-cl)

Corresponde al depósito producto de la meteorización mayormente física (deslizamientos), resultantes principalmente de la acción transportadora de la gravedad (Fotografía 9).

Están formados por material de naturaleza ligeramente homogénea, con fragmentos de roca volcánicas heterométricos mezclados con materiales finos como limo y arcilla principalmente (Fotografía 10). Su distribución es caótica (Fotografía 11).



Fotografía 9. Depósito coluvial cubierta por tierra de cultivo, presencia de árboles y vivienda del barrio San José de Ccachccara.
UTM: 581523 / 8495071, Zona 18.



Fotografía 10. Depósito coluvial cubierta por tierra de cultivo, presencia de árboles y vivienda del barrio San José de Ccachccara.
UTM: 582605 / 8495252, Zona 18.



Fotografía 11. Depósito coluvial en la margen izquierda del río Pampas
UTM: 582456 / 8494116, Zona 18.

3.1.6. Depósito proluvial (Q-pl)

Los depósitos proluviales (Fotografía 12) se originan a partir de los depósitos de flujos, por la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas.

Estos depósitos están constituidos por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas, con elementos subangulosos a subredondeados, envueltos en una matriz de arenas, limos y combinaciones arenoarcillosas en proporciones variables, medianamente consolidados.

3.1.7. Depósito fluvial (Q-fl)

Conformado por bloques, gravas y arenas mal seleccionadas en matriz areno-limosa; se ubica en el curso principal del río Pampas.



Fotografía 12. Depósito proluvial en la margen izquierda del río Pampas.
UTM: 582513 / 8493061, Zona 18.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La caracterización de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como un factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa; además, muestra las características morfométricas del terreno.

Para el área evaluada, la pendiente del terreno se caracterizó en base a la información del modelo de elevación digital de 6 m de resolución espacial generado a partir de imágenes SPOT-6 (Imágenes satelitales SPOT proporcionadas por el CNOIS-CONIDA y procesadas por el Ingemmet).

En la caracterización se consideraron 6 rangos de pendientes como son: de 0°-1° considerados terrenos llanos; 1° a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno como muy escarpado.

En el mapa 2 se observa que la población de Pomabamba se encuentra asentada en terreno inclinado con pendiente suave (1° a 5°) a pendiente moderada (5° a 15°). Además, la pendiente en las laderas de la montaña varía de fuerte a muy escarpado (de 15° a > 45°). Las escarpas de las ocurrencias de movimientos en masa inactivos son claramente reconocibles por el cambio brusco de pendiente, tal como se puede observar en el Anexo 1: Mapa 2.

4.2. Unidades geomorfológicas

La caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas (Figura 6) se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve individualizando tres tipos generales y específicos del relieve en función de su altura relativa, diferenciándose montañas, piedemontes y planicies.

Además, para la delimitación se consideró los límites de las unidades metamórficas (substrato rocoso) dando énfasis en la diferenciación de los depósitos recientes (depósitos superficiales); sobre todo depósitos de movimientos en masa identificados en campo y con ayuda de las fotografías aéreas captadas por dron e imágenes satelitales de alta resolución.

En el mapa 3, se muestra las subunidades geomorfológicas identificadas dentro del área de evaluación.

4.2.1. Unidad de Montañas

La unidad de montañas consiste en geformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local (citado por Villota, 2005) donde se reconocen cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza.

En el área de evaluación se identificó la siguiente subunidad geomorfológica (Anexo 1: Mapa 3):

Montaña en roca volcánica (M-rv)

Se ubica al norte y noroeste de Pomabamba, consiste en relieve modelado en roca volcánica, ligeramente plana. La pendiente del terreno varía de muy fuerte a escarpada en la ladera (25° a mayor a 45°) y de moderado a fuerte en la cima de la montaña (5° a 25°).

Montaña en roca volcanosedimentaria (M-rvs)

En el área de evaluación, la subunidad se presenta en ladera de montaña compuesta por roca volcanosedimentaria con pendiente del terreno que varía entre moderada a muy fuerte (5° a 45°).

Montaña en roca sedimentaria (M-rs)

Superficie modelada en roca sedimentaria compuesta por conglomerados, areniscas, limolitas y posible presencia de yeso. Sobre esta subunidad geomorfológica se observa procesos de erosión de ladera tipo cárcava. La pendiente varía de muy fuerte a muy escarpado (25° a mayor a 45°). A causa del movimiento sísmico en esta unidad se ha producido pequeños derrumbes dispersos y caídas de rocas en superficies escarpadas.

4.2.2. Unidades de vertiente y piedemonte

Se identificó las siguientes subunidades:

Vertiente coluviodeluvial (V-cd)

Esta subunidad se formó por la acción de la escorrentía superficial en ladera de montaña con pendiente del terreno variable entre 5° a 25° caracterizado como moderada a fuerte; también,

presenta lugares con pendiente entre 1° a 5° considerado inclinado a suave donde se asienta la población Pomabamba y se observa tierras de cultivo esporádico.

Piedemonte coluvial (P-c)

Subunidad formada principalmente por proceso de movimientos en masa de tipo derrumbe, su composición litológica es homogénea a causa de su corto a mediano recorrido, está compuesta por materiales inconsolidados. Además, en superficie están formados por la acción de la escorrentía, litológicamente está compuesto por fragmentos de roca volcánica principalmente.

Su morfología es convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Presenta superficie ligeramente escalonada relacionada con las escarpas principales y secundarias de deslizamientos múltiples; a nivel general, la pendiente del terreno que varía entre 1° a mayor 45° caracterizado como terrenos inclinados con pendiente suave a pendiente fuerte.

Piedemonte coluviodeluvial (P-cd)

Subunidad formada al pie de la montaña por la acción de la escorrentía superficial en ladera de montaña con pendiente del terreno variable entre 25° a 45° caracterizado como muy fuerte a escarpado.

Piedemonte proluvial (P-pral)

Corresponde a geoformas posicionadas al pie de las montañas modeladas en rocas volcánicas y sedimentarias, está compuesto por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua y lluvias estacionales de carácter excepcional; además, corresponde a depósitos de flujos de detritos.

4.2.3. Unidad de terraza

Se identificó la siguiente subunidad:

Terraza aluvial (T-f)

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

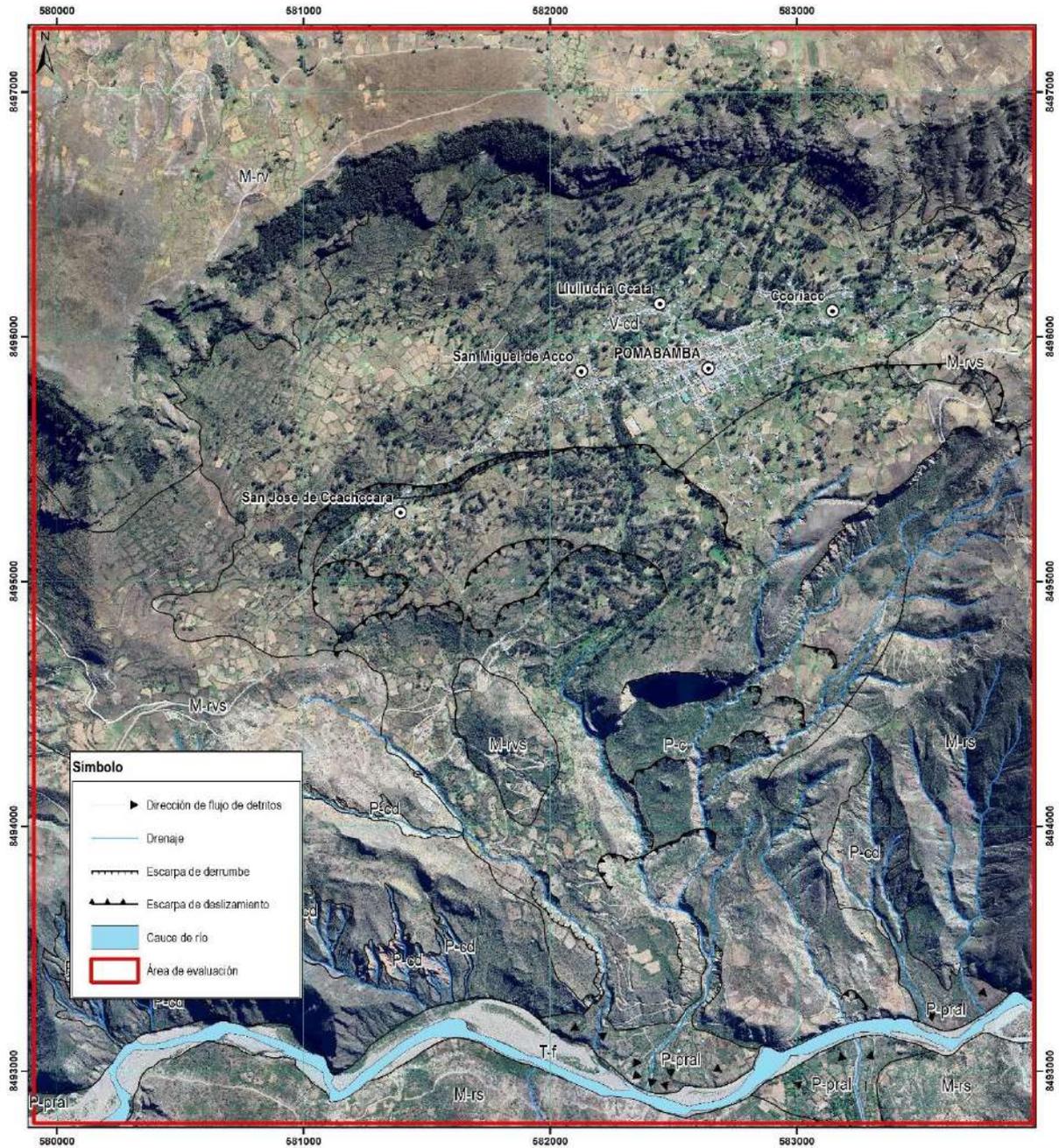


Figura 6. Se observa las subunidades geomorfológicas como Montaña en roca volcánica (M-rv), Montaña en roca volcanosedimentaria (M-rvs), Montaña en roca sedimentaria (M-rs), Vertiente coluvideluvial (V-cd), Piedemonte coluvial (P-c), Piedemonte coluvideluvial (P-cd), Piedemonte proluvial (P-pral) y Terraza fluvial (T-f).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

La evaluación de peligros geológicos se realizó en base a la información obtenida en los trabajos de campo, donde se identificaron distintos tipos de movimientos en masa inactivos y activos a través del cartografiado morfológico, método basado en la observación y descripción in situ; además, se tomó datos referenciales con GPS, fotografías a nivel de terreno dron y se complementó con el análisis de imágenes satelitales de alta resolución disponibles en SASPlanet e imágenes satelitales SPOT proporcionadas por el CNOIS-CONIDA y procesadas por el Ingemmet.

En el área evaluada se observó una geodinámica pasada muy activa (Anexo 1: Mapa 4), representada por 12 deslizamientos rotacionales inactivos, 11 erosiones en cárcavas activas, 10 derrumbes activos, 4 flujos inactivos latentes, 3 deslizamientos rotacionales flujos (movimientos complejos) inactivos latentes, 1 derrumbe inactivo latente, 1 deslizamiento rotacional inactivo relicto, 1 flujo de detritos activo y 1 área con erosión en surco activo.

De todos los eventos de movimientos en masa mencionados en el párrafo superior, el principal consiste en un deslizamiento ubicado en la ladera inferior del área poblada de Pomabamba (Figura 7) y sus características se describen a continuación.

5.1. Deslizamiento rotacional inactivo

El deslizamiento abarca un área estimada de 86 hectáreas, sin considerar los movimientos en masa que lo rodea; además, el evento se considera en estado de actividad inactivo latente con escarpas múltiples, forma de la escarpa continua elongada y superficie de rotura rotacional con avance retrogresivo.

El deslizamiento posee las siguientes características visibles sobre imágenes satelitales: 2200 m de longitud de la escarpa principal, 200 m desnivel entre la escarpa principal y el pie del deslizamiento, salto de la escarpa principal entre 20 m a 70 m, 720 m de longitud del eje principal y 1750 m de ancho.

En el pie del deslizamiento se observa arranques de movimientos complejo compuesto por deslizamiento rotacional seguido de flujos que llegan hasta el río Pampas.

En el cuerpo del deslizamiento, cerca de la escarpa principal, se encuentra asentada la población del “barrio” San José de Ccachccara (Fotografía 13). Además, en la ladera superior se encuentra un área de derrumbe de estado inactivo (Fotografía 14 y Mapa 4) latente donde se observa bloque aislados de roca.

Características visuales del deslizamiento Pomabamba:

A continuación, se detalla las características relevantes del evento principal al que se le denomina deslizamiento Pomabamba (figura 5):

- Estado de actividad: inactivo latente
- Estilo de la escarpa: múltiples
- Forma de la escarpa: elongada continua
- Longitud de la escarpa principal: 2200 m
- Desnivel entre la escarpa principal y el pie del deslizamiento: 200 m
- Superficie de rotura: rotacional
- Salto principal o desplazamiento vertical (DV): 20 m a 70m
- Desplazamiento horizontal (DH) estimado: No definido
- Longitud aproximada del eje principal del evento: 720 m
- Ancho: 1750 m
- Área de deslizamiento: 86 ha
- El avance del deslizamiento: retrogresivo

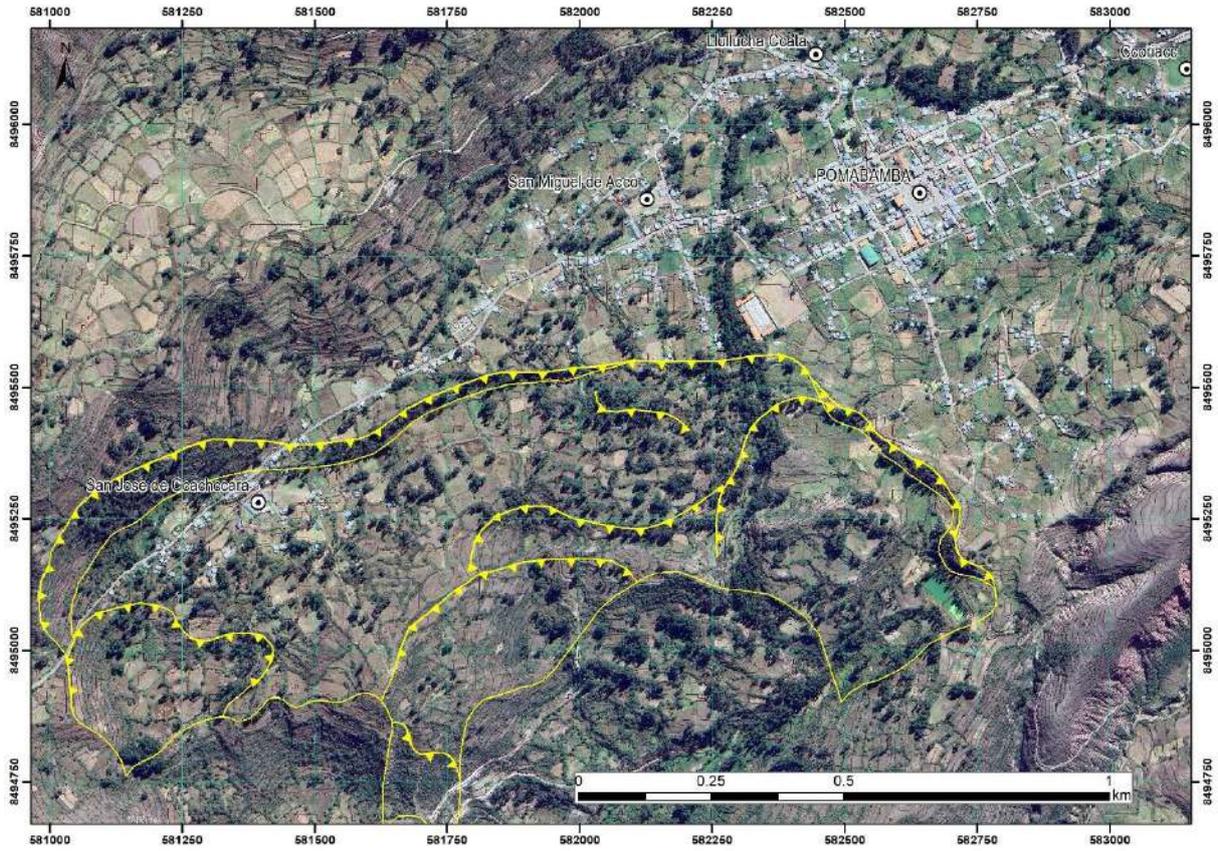


Figura 7. Con líneas amarillas se observa delimitada el deslizamiento inactivo latente con múltiples escarpas en el cuerpo de la masa desplazada.



Fotografía 13. Vista panorámica de las viviendas de San José de Ccachccara asentada sobre el cuerpo de deslizamiento inactivo latente.

UTM: 581392 / 8495276, Zona 18



Fotografía 14. Vista del derrumbe ubicado en la ladera superior del barrio San José de Ccachccara. UTM: 580817 / 8495663, Zona 18.

5.1.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

Superficie con depósitos coluviales y deluviales conformado principalmente por capas de suelo compuesto principalmente por ceniza volcánica, limos y arcillas con inclusiones de fragmentos de roca volcánica como lavas y andesitas.

El tipo de litología permite la filtración y retención del agua, lo que aumenta el peso de la masa inestable.

Factor geomorfológico

Superficie cóncava con pendiente variables desde inclinado suave (1° a 5°) a muy escarpado ($>45^\circ$).

Factor antropogénico

Actualmente en la zona no se evidenció actividad antropogénica que haya influido en el deslizamiento; sin embargo, se observa tierras de cultivos.

5.1.2. Factores desencadenantes

De acuerdo con las características y dimensiones del deslizamiento, se infiere que fue causado por las filtraciones de agua acumuladas en periodos de lluvias excepcionales prolongados y sismos fuertes.

6. ANÁLISIS NEOTECTÓNICO POST-SISMO DEL 31 DE AGOSTO DEL 2024

6.1. Parámetros del sismo

El 31/08/2024, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) registró un sismo superficial, localizado en las siguientes coordenadas 13. 63° S y 74. 24° O. Asimismo, el 01/09/2024 se registró una réplica a 1 km del evento principal, localizada las coordenadas 13. 62° S y 74. 24° O. A continuación, se detalla los parámetros.

Sismos del 31 de agosto:

- Hora: 15:58:52 (UTC - 5).
- Latitud sur: -13.63°
- Latitud oeste: -74.24°
- Profundidad: 18 km
- Magnitud: 4
- Intensidad: III Cangallo

Sismos del 01 de setiembre:

- Tiempo Origen: 15:02:50 (UTC - 5)
- Latitud Sur: -13.62°
- Latitud Oeste: -74.24°
- Profundidad: 12 km
- Magnitud: 3.7
- Intensidad: II Cangallo

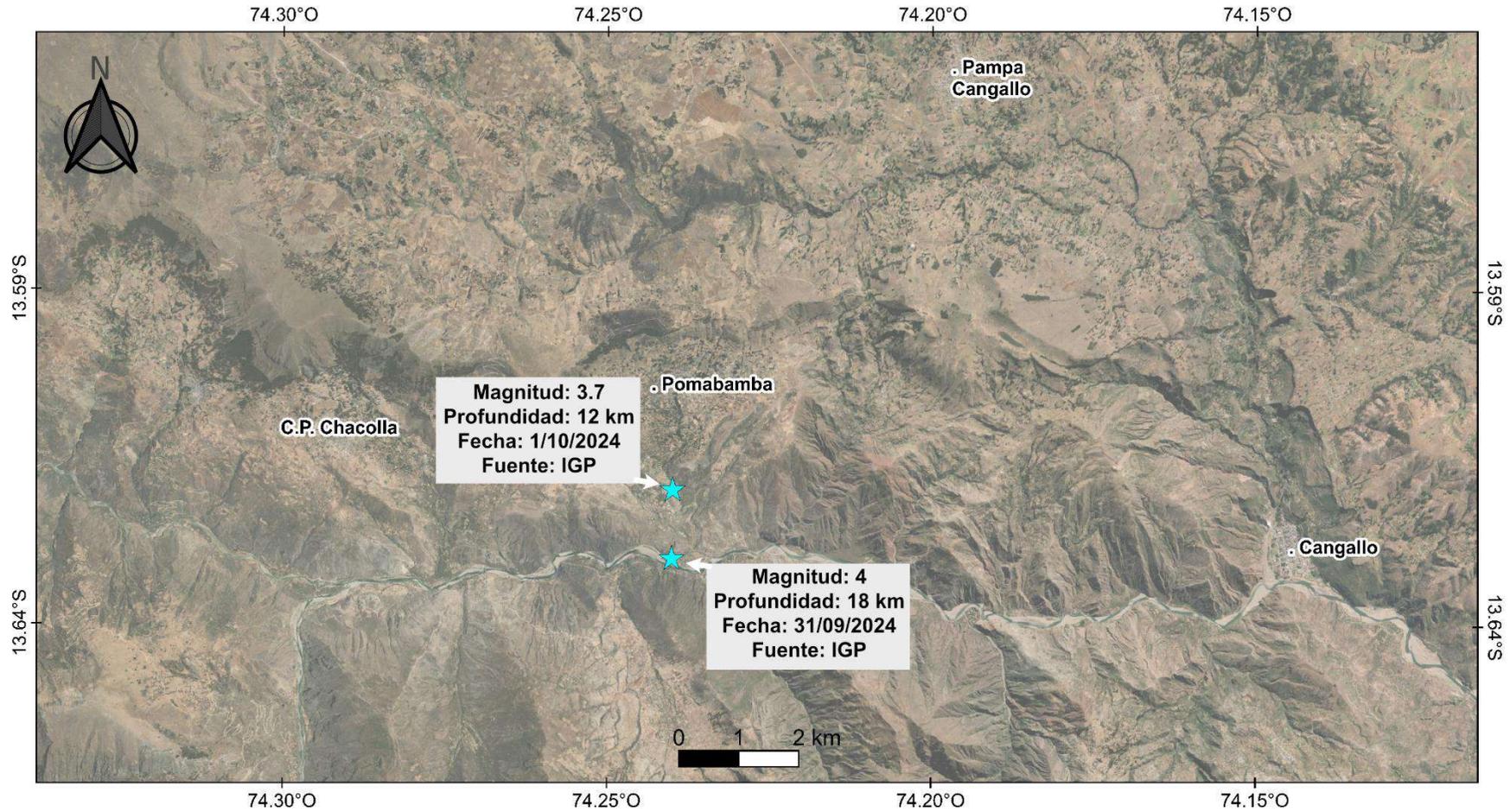


Figura 8. Mapa de ubicación del sismo del 31 de agosto registrado por el IGP.

6.2. Descripción geológico – morfoestructural

El sismo ocurrido el 31 de agosto de 2024, cerca del centro poblado de Pomabamba, generó daños significativos en edificaciones, especialmente en aquellas ubicadas al este del poblado de Pomabamba, los cuales se encuentran asentadas sobre depósitos poco consolidados. Estas edificaciones de material de adobe mostraron deterioros visibles, lo cual indica la susceptibilidad de los depósitos poco consolidados ante la actividad sísmica.

Mediante el análisis de imágenes satelitales y modelos de elevación digital (MED), se identificaron elementos morfológicos como lineamientos, distintivos en la topografía (Figura 9 a), utilizando técnicas de visualización RIMM (Chiba et al., 2019), los cuales evidencian la existencia de fallas geológicas de buzamiento alto, próximas al epicentro del sismo. El buzamiento de estas fallas fue analizado empleando un MDE de 30 m de resolución espacial, en combinación con un plugin especializado de QGIS para el análisis cuantitativo de estructuras geológicas. Este procedimiento permitió proyectar planos de falla optimizados a partir de puntos topográficos seleccionados, proporcionando un cálculo aproximado de los ángulos de buzamiento de los planos de falla. En 1 buzamiento de 83° y Azimut de 33°, en 2 buzamiento de 79° y Azimut de 202°, en 3 buzamiento de 70° y Azimut de 187°, en 4 buzamiento de 79° y Azimut de 188°. (Figura 9 a) (Alberti, 2019).

Las fallas identificadas siguen una orientación aproximada ostenoroeste-estesureste (ONO-ESE) y afectan diversas unidades geológicas. Se observó que desplazan depósitos cuaternarios, depósitos neógenos volcano sedimentarios de la Formación Ayacucho. Además, cortan rocas del Grupo Mitu de edad Pérmico-Triásica y, hacia el extremo oeste, desplaza depósitos volcánicos neógenos de la Formación Yanamachay (Figura 9b)).

En los trabajos de campo, se observaron escarpes de fallas asociados a la actividad de estas fallas geológicas. Estas estructuras geológicas cortan depósitos cuaternarios mostrando evidencia de su actividad reciente.

6.3. Efectos cosísmicos

Además del movimiento vibratorio característico, los terremotos pueden causar una serie de efectos cosísmicos (Figura 10), que generan deformaciones y rupturas en la superficie. Estos efectos incluyen fenómenos como los movimientos en masa y la licuefacción del suelo.

Estos efectos reflejan las deformaciones causadas por el terremoto y pueden estar relacionados tanto con procesos geológicos (como la ruptura superficial de una falla) como con daños directos en las construcciones.

En campo se observaron efectos geológicos (Fotografías 15, 16 y 17), principalmente agrietamientos en el terreno, aparentemente asociados a la poca consolidación de los depósitos cuaternarios y la pendiente del terreno. Estos efectos también están vinculados a la presencia de cuerpos de deslizamiento en la zona.

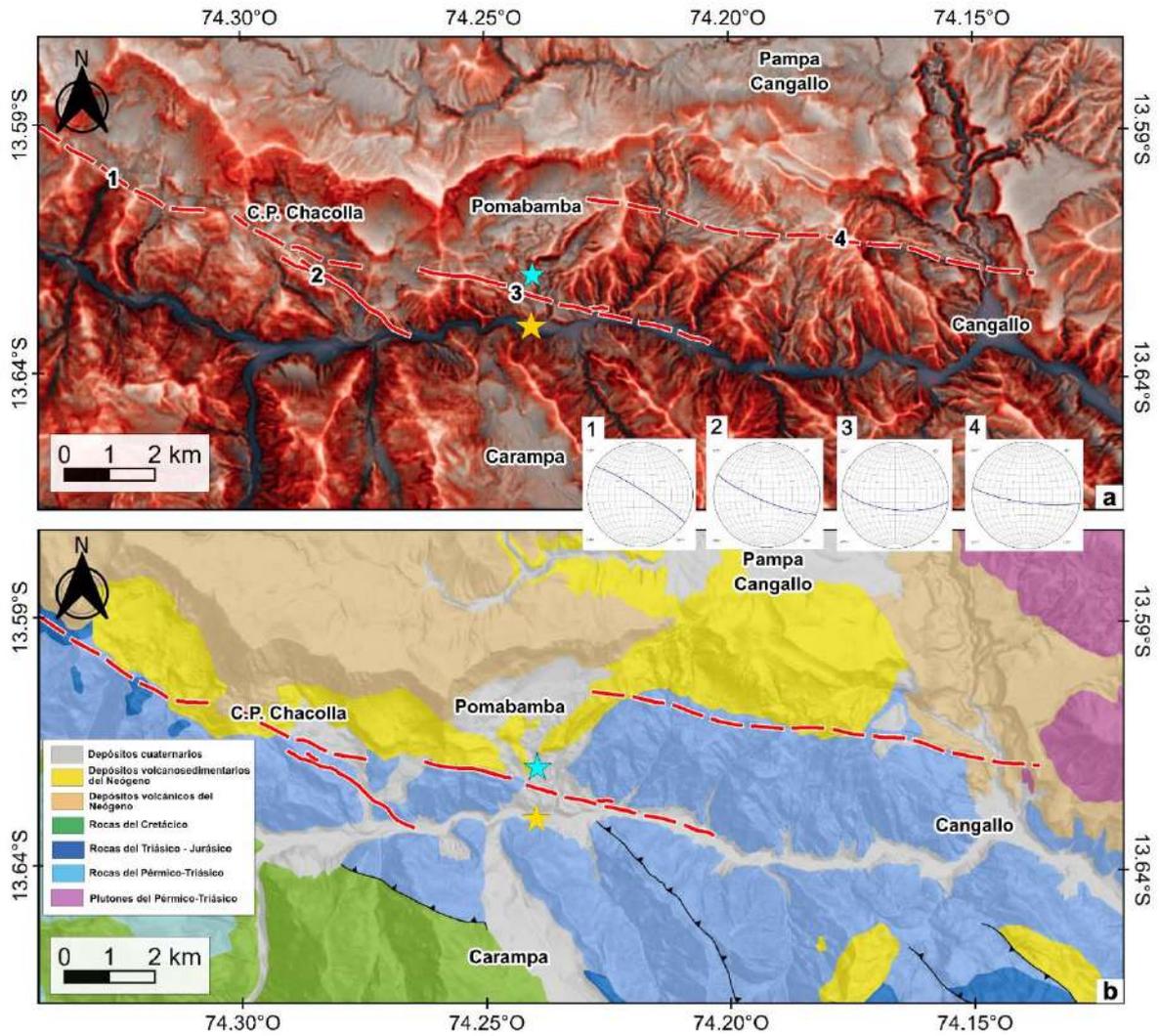


Figura 9. Se muestra dos mapas con la ubicación del sismo del 31 de agosto, estrella de color amarillo, además de una réplica con estrella de color celeste; a) Mapa a morfoestructural, con líneas rojas de muestra el cartografiado de fallas geológicas activas, con líneas discontinuas de color rojo de muestran fallas geológicas activas inferidas. ; b) Mapa geológico de la zona de interés donde se muestra con líneas de color rojo las fallas geológicas que cortan depósitos cuaternarios hasta rocas del Paleozoico.

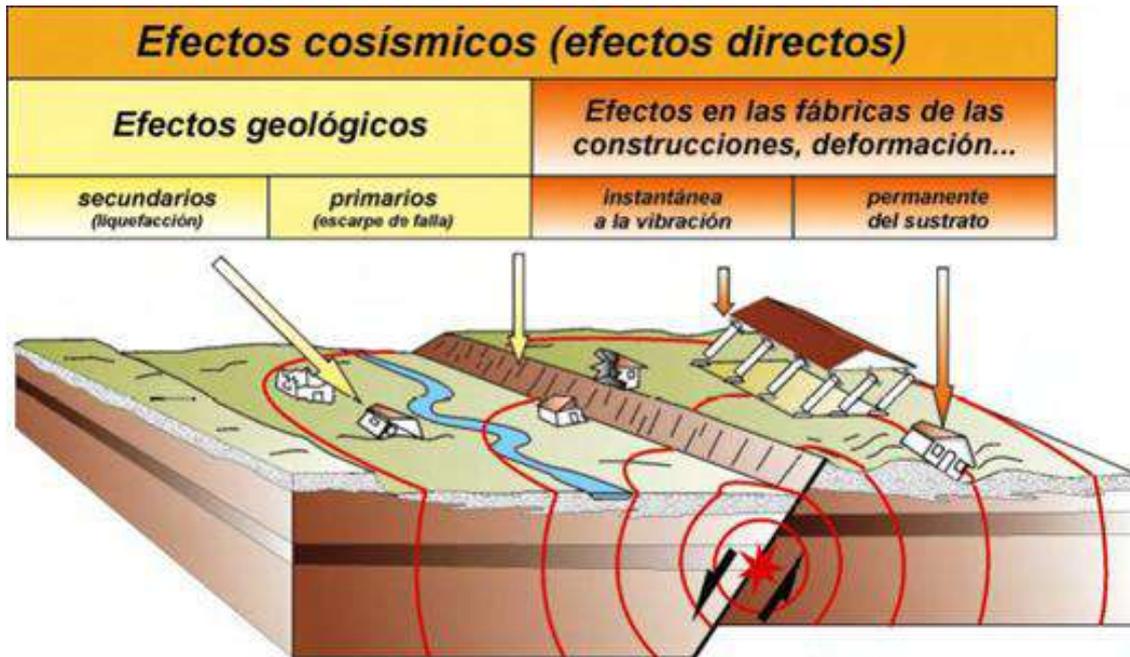


Figura 10. Diagrama de distribución de efectos cosísmicos (efectos directos) de terremotos en yacimientos arqueológicos (Rodríguez-Pascua et al., 2011).



Fotografía 15. Fotografía de grietas asociadas al evento del sismo.

Asimismo, se identificaron daños en las construcciones, asociados al movimiento vibratorio generado por el sismo y al tipo de material inconsolidado en la zona. Las grietas observadas no presentan una tendencia claramente alineada con alguna dirección de propagación de las ondas sísmicas, lo que sugiere preliminarmente una influencia en mayor proporción de las características locales del suelo, es decir, un efecto de sitio relacionado con la geología del lugar.



Fotografía 16. Vivienda agrietada ubicada al este del centro poblado de Pomabamba.



Fotografía 17. Vivienda afectada y con la presencia de grietas por la vibración del suelo a causa del sismo.

7. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

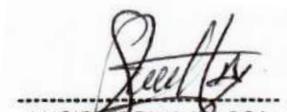
1. El macizo rocoso en el área evaluada está compuesto por rocas sedimentarias del Grupo Mitu, volcanosedimentarias de la Formación Castrovirreyna, volcánicas del Centro Volcánico Tutayac Orcco. El macizo en superficie se encuentra cubierto parcialmente por depósitos inconsolidados conformado por coluviodeluviales, coluviales, proluviales y fluviales, generados por escorrentías superficiales y la gravedad.
2. Los centros poblados o barrios de Pomabamba, Ccoriacc, Llulucha Chata, San Miguel de Acco, Huascarpamapa y San José de Ccachccara que conforman la capital del distrito de María Parado de Bellido, geomorfológicamente se asientan en vertiente coluviodeluvial con pendiente inclinado suave a moderada; a excepción, de San José de Ccachccara que se ubica en vertiente coluvial con pendiente del terreno similar a los otros barrios.
3. Dentro del área de evaluación se identificó 12 deslizamientos rotacionales inactivos, 11 erosiones en cárcavas activas, 10 derrumbes activos, 4 flujos inactivos latentes, 3 deslizamientos rotacionales flujos (movimientos complejos) inactivos latentes, 1 derrumbe inactivo latente, 1 deslizamiento rotacional inactivo relicto, 1 flujo de detritos activo y 1 área con erosión en surco activo. De los cuales, en el cuerpo de uno de los deslizamientos se encuentra asentado el Barrio de San José de Ccachccara.
4. El deslizamiento donde se encuentra asentada la población San José de Ccachccara abarca un área estimada de 86 hectáreas; además, el deslizamiento se considera en estado de actividad inactivo latente. La longitud de la escarpa principal del deslizamiento mide 2200 m, el desnivel entre la escarpa principal y el pie del deslizamiento 200 m, el salto principal entre 20 m a 70 m; además, de 720 m de longitud en el eje principal y 1750 m de ancho.
5. Las viviendas del Barrio de San José de Ccachccara asentadas sobre el deslizamiento inactivo latente fueron las más afectadas durante el sismo del 31 de agosto y 1 del setiembre del presente año; tal como se observan en las paredes de las viviendas.
6. Los factores que condicionaron la ocurrencia del deslizamiento inactivo latente donde se encuentra asentada la población San José de Ccachccara, corresponde a depósitos coluviodeluviales, posibles filtraciones de agua, superficie cóncava con pendiente variables desde inclinado suave (1° a 5°) a muy escarpado (>45°). Además, se infiere que los factores desencadenantes fueron lluvias excepcionales prolongadas y fuertes sismos.
7. El análisis de modelos de elevación digital, RIMM, imágenes satelitales y la observación en campo sugieren la presencia de fallas geológicas activas, de orientación ONO-ESE y localizadas próximas al epicentro del sismo. Estas fallas desplazan depósitos cuaternarios.
8. Los sismos están relacionados con la presencia de fallas geológicas activas, que a pesar de generar sismos de magnitudes moderadas a bajas ($M_w < 4$), impactó en las viviendas de los poblados adyacentes. Es importante resaltar, que el sector presenta una topografía abrupta producto de grandes movimientos en masa. Las

construcciones afectadas se encuentran sobre cuerpos de deslizamiento, que amplifican las ondas sísmicas (efecto de sitio) e incrementan la vulnerabilidad en las construcciones.

9. El área que abarca el deslizamiento inactivo latente, donde se encuentra asentada la población San José de Ccachccara, se considera como **Zona Crítica y de Peligro Muy Alto**; en caso de registrarse lluvias prolongadas y sismos fuertes el deslizamiento se podría reactivar. Para el caso de los demás barrios o centros poblados del área evaluada el **Peligro es Alto** ante sismos.

8. RECOMENDACIONES

1. Para evitar la reactivación de los deslizamientos identificados dentro del área de evaluación, se debe realizar el cambio progresivo de las plantaciones de eucaliptos por plantas nativas de la zona. Además, el riego en los cultivos tiene que ser tecnificado. Trabajos que se deben desarrollar bajo el asesoramiento técnico especializado.
2. Prohibir la expansión urbana en los lugares donde se identificaron deslizamientos y derrumbes.
3. Implementar sistema de drenaje para captar las aguas de las precipitaciones pluviales y drenarlas hasta el río Pampa.
4. Elaborar e implementar un plan de contingencia ante sismos para los centros poblados o barrios de Pomabamba, Ccoriacc, Llulucha Chata, San Miguel de Acco, Huascarpamapa y San José de Ccachccara.
5. Para determinar las medidas correctivas estructurales y no estructurales adicionales a desarrollar en la jurisdicción de los centros poblados o barrios de Pomabamba, Ccoriacc, Llulucha Chata, San Miguel de Acco, Huascarpamapa y San José de Ccachccara, y tomando como base el presente informe se debe realizar dos informes de evaluación de riesgo (EVAR); uno por sismo y el otro por deslizamiento.
6. Se recomienda realizar estudios de campo adicionales y sistemáticos enfocados en la caracterización detallada de las fallas geológicas activas presentes en la zona. Estos estudios permitirán obtener datos precisos sobre la geometría y cinemática de las fallas, fundamentales para comprender su comportamiento tectónico y su potencial sísmico.



LUCIO MEDINA ALLCCA
Ingeniero Geólogo
CIP N° 101456



Ing. WILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

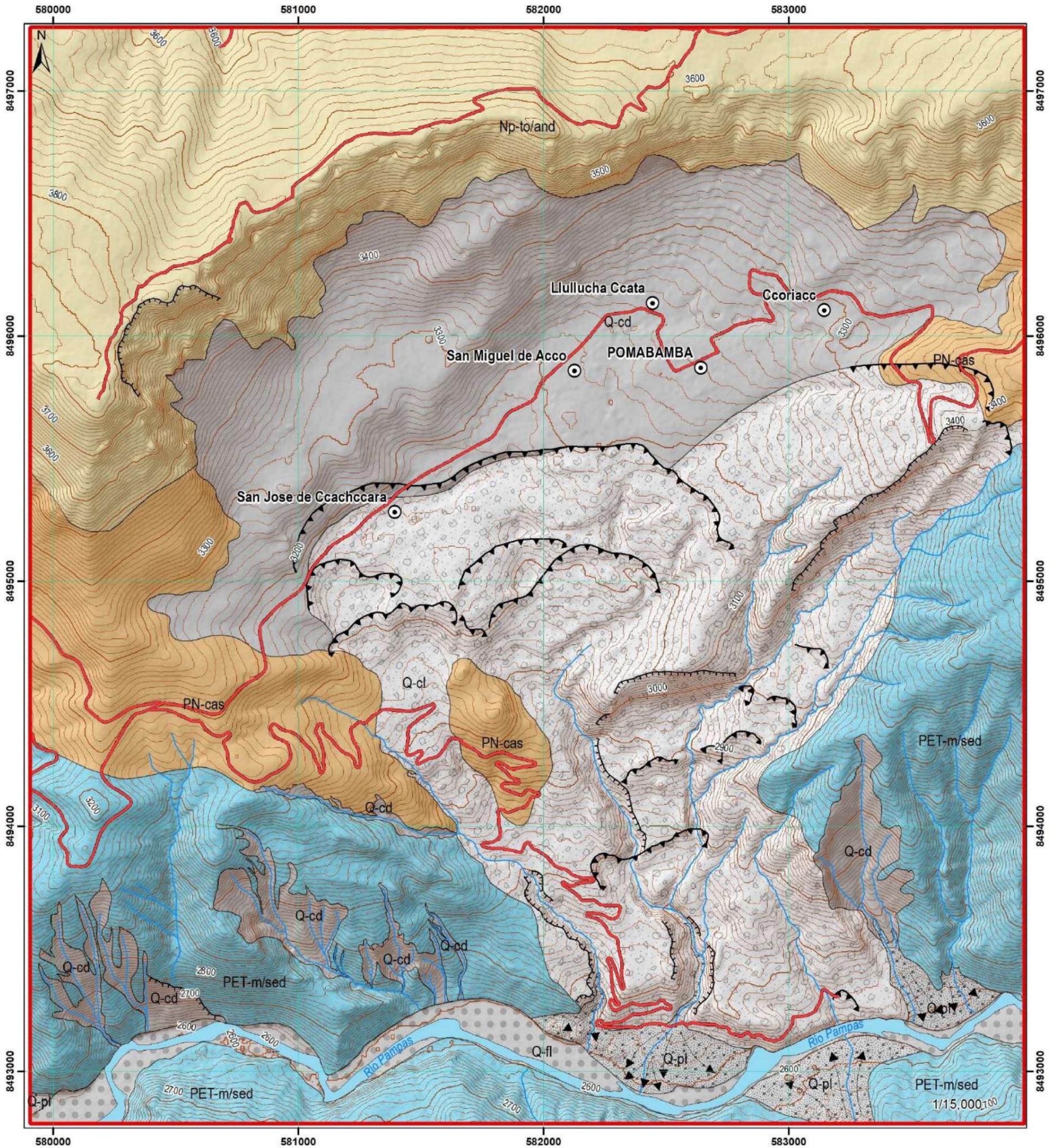
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, M. (2019). GIS analysis of geological surfaces orientations: The qgSurf plugin for QGIS [Preprint]. PeerJ Preprints. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27694v1>
- Asociación LAGESA-CFGS (1996). Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. Hojas: 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 70. 186 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/193>
- Chiba, T., Kaneta, S., & Ohashi, M. (2019). Digital Terrain Representation Methods and Red Relief Image Map, A New Visualization Approach. Proceedings of the ICA, 2, 1-3. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-17-2019>
- COSTA J. E. & SCHUster R. L. (1988) - The formation and failure of natural dams. Geological Society of America Bulletin, 100: 1054-1068.
- Datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del Servicio aWhere, Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7843428>
- Directorio Nacional de Centros Poblados, Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas: https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009) - *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: Naciones Unidas, UNISDR, 38 p. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental (2003). Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 3. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 28. 373 p., 17 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/262>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Rodríguez-Pascua, M. A., Pérez-López, R., Giner-Robles, J. L., Silva, P. G., Garduño-Monroy, V. H., & Reicherter, K. (2011). A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. Quaternary International, S1040618211002643. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.04.044>
- Stewart, IS., & Hancock, PL. (1994). Neotectonics. In PL. Hancock (Ed.), Continental Deformation (pp. 370 - 409). Pergamon Press.
- Valdivia, W.; Andia, J.; Torres, D.; Ayala, L. & Coaquira, F. (2015). Mapa Geológicos del Cuadrángulo de Huancapi (28ñ1), escala 1:50 000, Lima:INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3174>
- Valdivia, W.; Ramos, W.; Andia, J.; Torres, D.; Ayala, L.; Coaquira, F.; Jaimes, F. & Trinidad, I. (2021) - Geología del cuadrángulo de Huancapi (hojas 28ñ1, 28ñ2, 28ñ3, 28ñ4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 31, 69 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3174>

Vilchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019). Peligro geológico en la región Ayacucho. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70, 232 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2480>

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

ANEXO 1: MAPAS



Símbolo

	Vías de acceso
	Dirección de flujo de detritos
	Drenaje
	Escarpa de derrumbe
	Escarpa de deslizamiento
	Cauce de río
	Área de evaluación

Leyenda

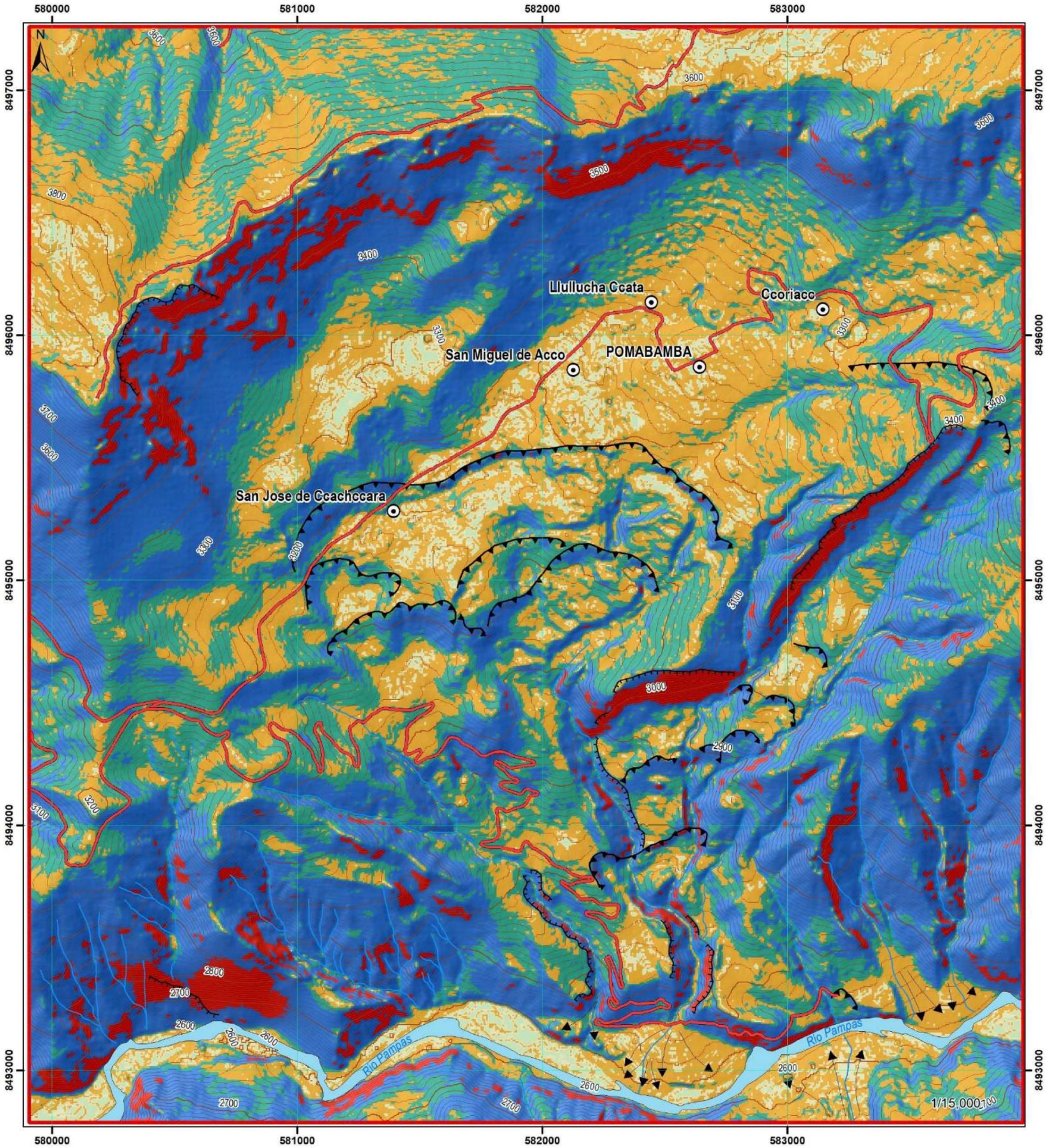
	Q-fl. Depósito fluvial
	Q-pl. Depósito proluvial
	Q-cl. Depósito coluvial
	Q-cd. Depósito coluvideluvial
	Np-to/and. Centro Volcánico Tutayac Orcco
	PN-cas. Formación Castrovirreyna
	PET-m/sed. Grupo Mitu Sedimentario

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO
ASISTENCIA TECNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL

GEOLOGICO
POMABAMBA - DISTRITO DE MARÍA PARADO DE BELLIDO

VERSIÓN DIGITAL Año 2024	 0 125 250 500 m. Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur	MAPA: 1
-----------------------------	--	--------------------------



Símbolo

	Vías de acceso
	Dirección de flujo de detritos
	Drenaje
	Escarpa de derrumbe
	Escarpa de deslizamiento
	Cauce de río
	Área de evaluación

Leyenda

Rango de pendiente	Color	Superficie topográfica
0° - 1°		Terreno llano
1° - 5°		Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°		Pendiente moderada
15° - 25°		Pendiente fuerte
25° - 45°		Pendiente muy fuerte a escarpado
> 45°		Terreno muy escarpado

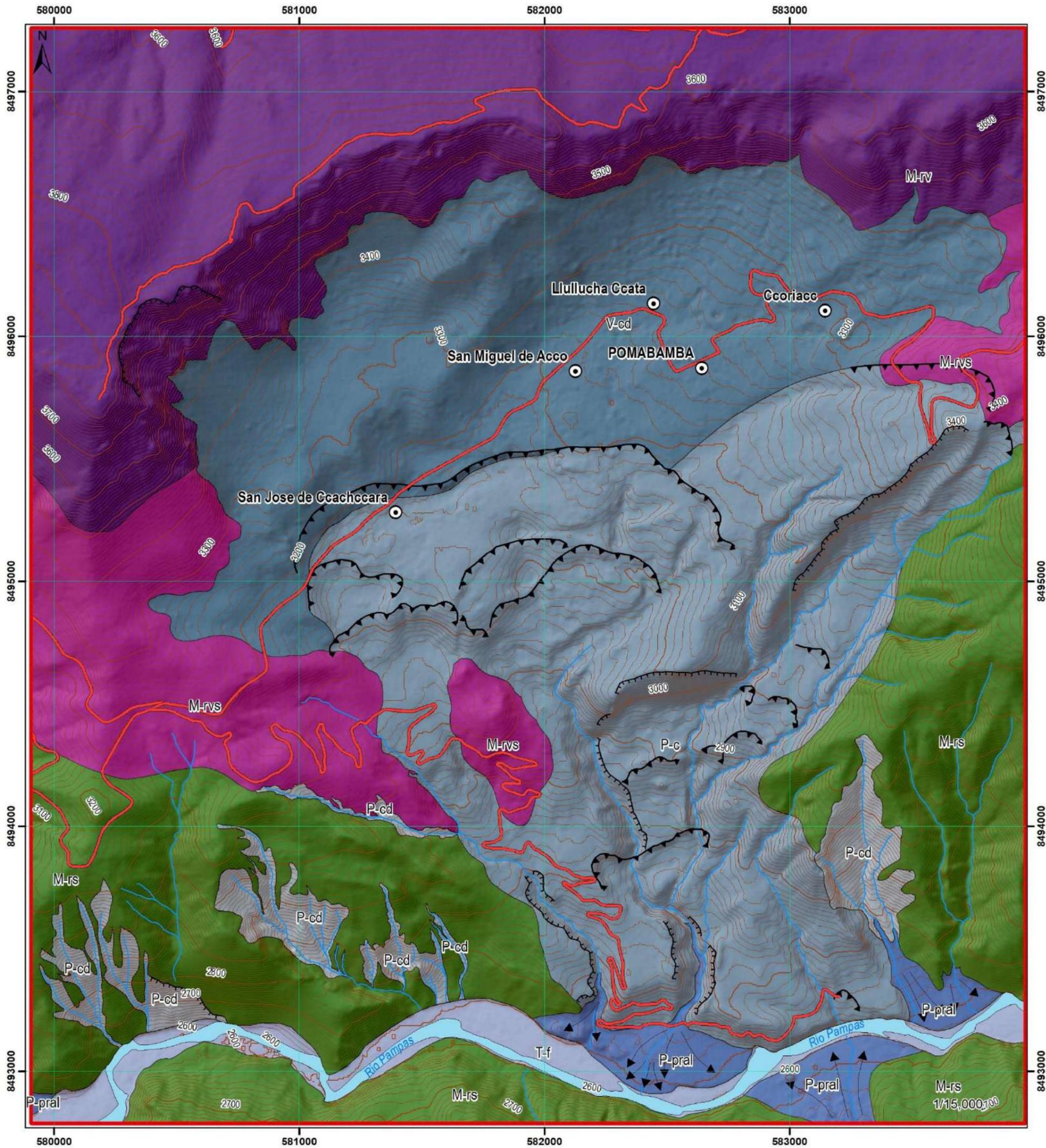


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

PENDIENTE DE LOS TERRENOS
POMABAMBA - DISTRITO DE MARIA PARADO DE BELLIDO

VERSIÓN DIGITAL Año 2024	 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur	MAPA: 2
-----------------------------	---	--------------------------



Símbolo

	Vías de acceso
	Dirección de flujo de detritos
	Drenaje
	Escarpa de derrumbe
	Escarpa de deslizamiento
	Cauce de río
	Área de evaluación

Leyenda

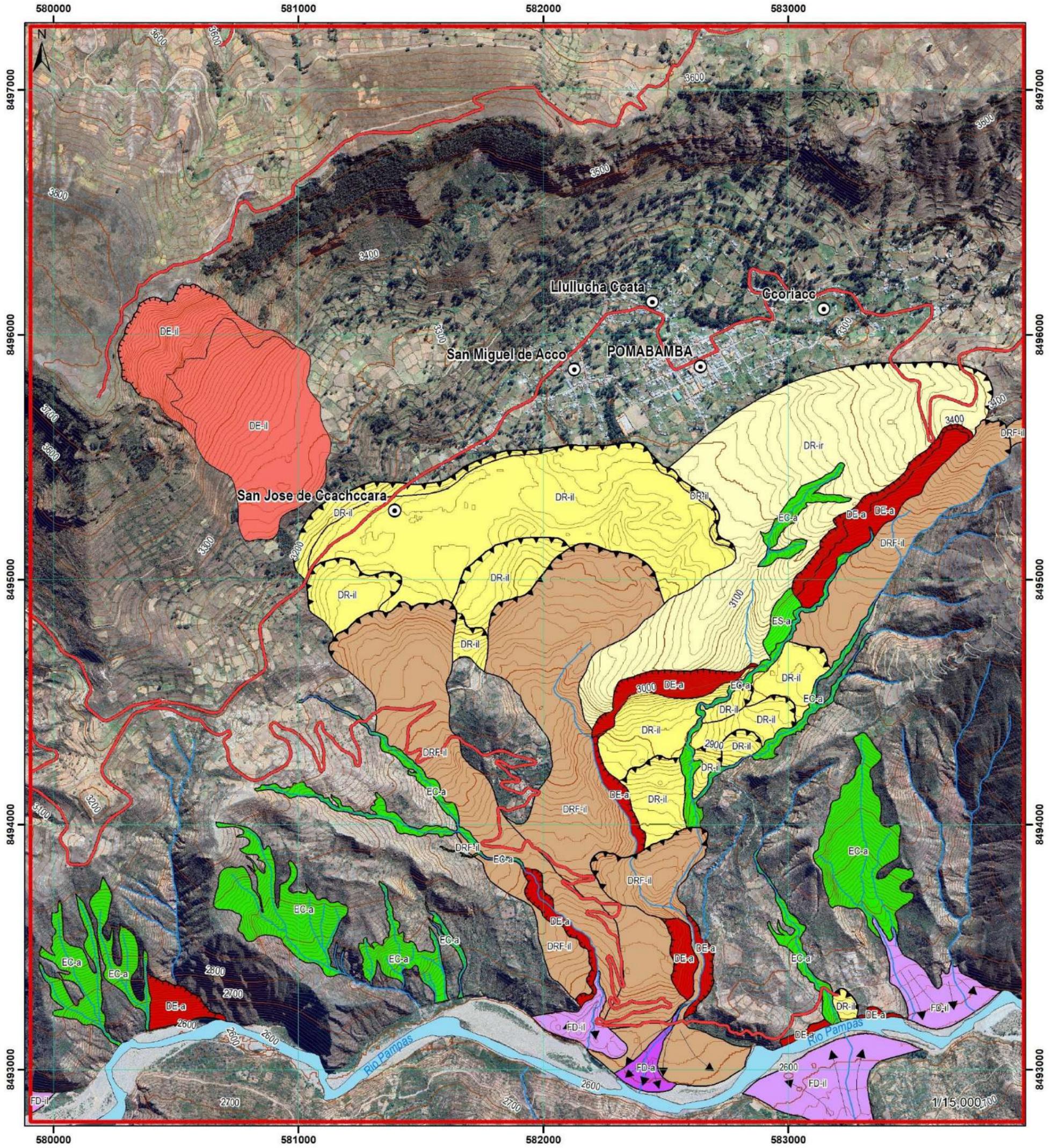
	M-rv. Montaña en roca volcánica
	M-rvs. Montaña en roca volcanosedimentaria
	M-rs. Montaña en roca sedimentaria
	V-cd. Vertiente coluviodeluvial
	P-c. Piedemonte coluvial
	P-cd. Piedemonte coluviodeluvial
	P-pral. Piedemonte proluvial
	T-f. Terraza fluvial

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

GEOMORFOLÓGICO
POMABAMBA - DISTRITO DE MARÍA PARADO DE BELLIDO

VERSIÓN DIGITAL Año 2024	 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur	MAPA: 1
-----------------------------	--	--------------------------



Leyenda

Símbolo

	Vías de acceso
	Dirección de flujo de detritos
	Drenaje
	Escarpa de derrumbe
	Escarpa de deslizamiento
	Cauce de río
	Área de evaluación

	DE-a. Derrumbe activo.
	DE-il. Derrumbe inactivo-latente.
	DR-il. Deslizamiento rotacional inactivo-latente.
	DR-ir. Deslizamiento rotacional inactivo-relicto.
	FD-a. Flujo de detritos activo.
	FD-il. Flujo de detritos inactivo-latente.
	DRF-il. Deslizamiento rotacional - flujo inactivo-latente.
	EC-a. Erosión en carcava activo.
	ES-a. Erosión en surco activo.

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

PELIGROS GEOLÓGICOS
POMABAMBA - DISTRITO DE MARÍA PARADO DE BELLIDO

VERSIÓN DIGITAL Año 2024	 Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur	MAPA: 4
-----------------------------	--	--------------------------