

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7680

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO EN LAS ÁREAS PROPUESTAS PARA LA REUBICACIÓN DEL ANEXO MARJANI

Departamento: Tacna
Provincia: Candarave
Distrito: Quilahuani



OCTUBRE
2025

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO EN LAS ÁREAS PROPUESTAS PARA LA REUBICACIÓN DEL ANEXO MARJANI

Distrito Quilahuani, Provincia Candarave, Departamento Tacna.



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

Equipo técnico:

Yhon Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). "Evaluación de peligro geológico en las áreas propuestas para la reubicación del anexo Marjani". Distrito Quilahuani, Provincia Candarave, Departamento Tacna. INGEMMET, Informe Técnico N° A7680, 31P.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.2.1. Ubicación.....	6
1.2.2. Precipitación pluvial	9
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
3.1. Unidades litoestratigráficas	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
4.1. Pendientes del terreno	15
4.2. Unidades Geomorfológicas	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
5.1. Deslizamiento	17
5.2. Caída de rocas	19
5.3. Erosión de ladera en cárcavas	20
5.4. Flujo de detritos (lahares)	21
5.5. Factores condicionantes	22
5.6. Factores desencadenantes	22
6. CONCLUSIONES	23
7. RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXO 1 MAPAS	26

RESUMEN

El presente informe técnico expone la evaluación de peligros geológicos en dos áreas propuestas por la Municipalidad Distrital de Quilahuani, para la reubicación del anexo Marjani, en la provincia de Candarave, departamento de Tacna. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en evaluación de peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

El estudio comprendió gabinete, trabajo de campo (cartografía geodinámica, fotogrametría con dron, toma de evidencias y entrevistas a la población) y procesamiento e interpretación de la información.

En la geología local se identificaron afloramientos de areniscas y lutitas carbonosas de la (Formación Labra), depósitos piroclásticos de pómez y ceniza de la unidad (Calientes II), además de depósitos proluviales, coluviales y aluviales, en su mayoría no consolidados, que constituyen factores condicionantes de inestabilidad.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área presenta pendientes desde moderados hasta muy escarpadas ($>45^\circ$) y unidades como colinas en roca sedimentaria, superficies de flujo piroclástico, terrazas aluviales, vertientes con depósitos de deslizamiento, escarpes rocosos con caída de rocas y vertientes aluvio-torrenciales. Estas geoformas evidencian la recurrencia de procesos de remoción en masa y erosión activa.

En el Área I se identificó un deslizamiento rotacional suspendido reciente, con una longitud aproximada de 2 km, además de tres generaciones de deslizamientos antiguos (relictos, abandonados y latentes). La presencia de estas geoformas evidencia una condición de inestabilidad permanente, que descarta la aptitud de este sector para fines de reubicación. En consecuencia, el Área I se clasifica como de Peligro Alto y constituye una Zona Crítica en términos de peligros geológicos.

En el Área II se identificaron procesos de caída de rocas vinculados a afloramientos piroclásticos fracturados y meteorizados, además de cárcavas activas en erosión y depósitos antiguos de flujos de detritos en quebradas adyacentes. Estas condiciones constituyen amenazas geológicas que limitan la aptitud del sector, motivo por el cual el Área II se clasifica con un nivel de Peligro Medio a Alto frente a los peligros geológicos.

Finalmente, se concluye que el Área I debe descartarse para reubicación debido a su emplazamiento sobre un deslizamiento reciente y antiguos, mientras que el Área II puede considerarse apta de manera condicionada, siempre que se apliquen medidas de prevención y reducción del riesgo de desastres, en coordinación con las autoridades competentes y con participación comunitaria.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT16)”, 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 el oficio N°191-2025-A/WDQ, emitido por la municipalidad distrital de Quilahuani, en el cual solicitan evaluación geológica con fines de reasentamiento poblacional del anexo Marjani. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en las áreas propuestos para el reasentamiento del anexo Marjani, distrito de Quilahuani, en la provincia Candarave y departamento de Tacna.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y del peligro geológico que afecta a las áreas propuestos para la reubicación del anexo Marjani. El trabajo de campo se realizó el 26 de agosto del 2025.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: i) Gabinete I (Pre-campo), recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del Ingemmet; ii) Campo, se realizó la observación de procesos de movimientos en masa, tomando datos y evidencias que contribuyan a su evaluación (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado geodinámico, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y ii) Gabinete II, 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 del distrito de Quilahuani, 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 el peligro geológico en las áreas propuestas para la reubicación del anexo Marjani.
- 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) Informe Técnico A5934 Inspección de los peligros geológicos en el anexo de Marjani, distrito Hualhuani, provincia Candarave (Rivera & Villacorta, 2004). En

este informe se identificaron peligros geológicos como derrumbes, caída de rocas, deslizamientos y erosión de laderas debido al intenso fracturamiento en las rocas, pendiente de las laderas, actividad sísmica (sismo del 23/06/2001), intensa deforestación de ladera, infiltración de las aguas de regadío y lluvias que provocaron la saturación del suelo. De acuerdo con las observaciones de campo fue recomendada la reubicación de viviendas en la zona de Aricota a 5 km de Marjani.

- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2018). “Peligro por deslizamientos en el sector Matarani. Región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani”, INGEMMET, Informe Técnico N° A6833, 27P. El autor indica que la localidad Quilahuani y sus alrededores están asentados sobre un megadeslizamiento antiguo el cual posee 10 km de longitud. Este deslizamiento aparentemente aún sigue inestable, muestra reactivaciones. En su escarpa se presentan procesos de erosiones de ladera y derrumbes. Esta zona se le considera geodinámicamente activa, se considera zona crítica.
- c) Luque, G.; Gómez, H.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2021) - Peligro geológico en la región Tacna. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 82, 251 p., 9 mapas. El autor indica la presencia de deslizamientos en los sectores de Candarave, Huanuara y Quilahuani, el cual afectó un canal de regadío. Asimismo, se verían afectados vía de acceso a Candarave y terrenos de cultivo. El 31/01/2015 se reactivó el deslizamiento de Quilahuani dejando 612 damnificados y 202 viviendas afectadas; el 18/03/2017 la reactivación afectó 100 m de canal de regadío.

1.2.1. Ubicación

Las áreas propuestas para la reubicación del anexo Marjani, están ubicados en el distrito de Quilahuani, que se encuentra al sur del anexo antes mencionado. Dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas de área evaluado.

Área de estudio	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
Área 1	369560	8085630	-17.310948°	-70.227406°
Área 2	369841	8085299	-17.313956°	-70.224782°

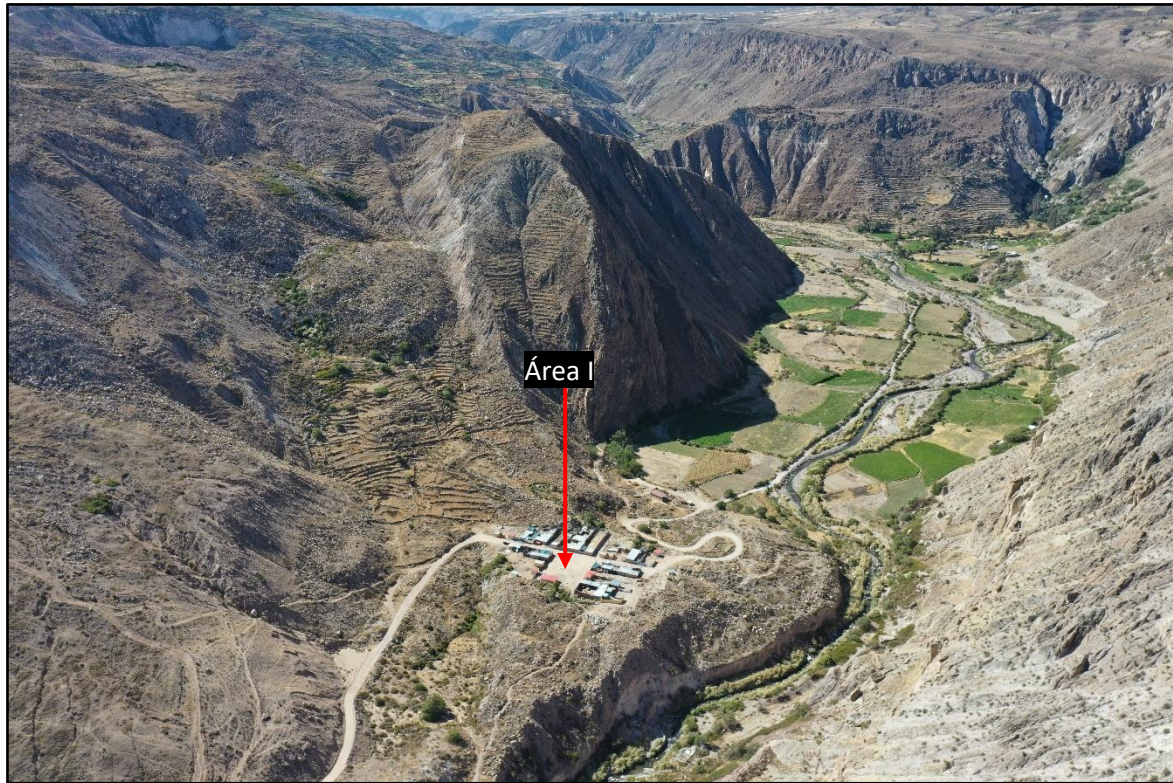


Figura 1. Vista del área I, propuesto para la reubicación del anexo Marjani.

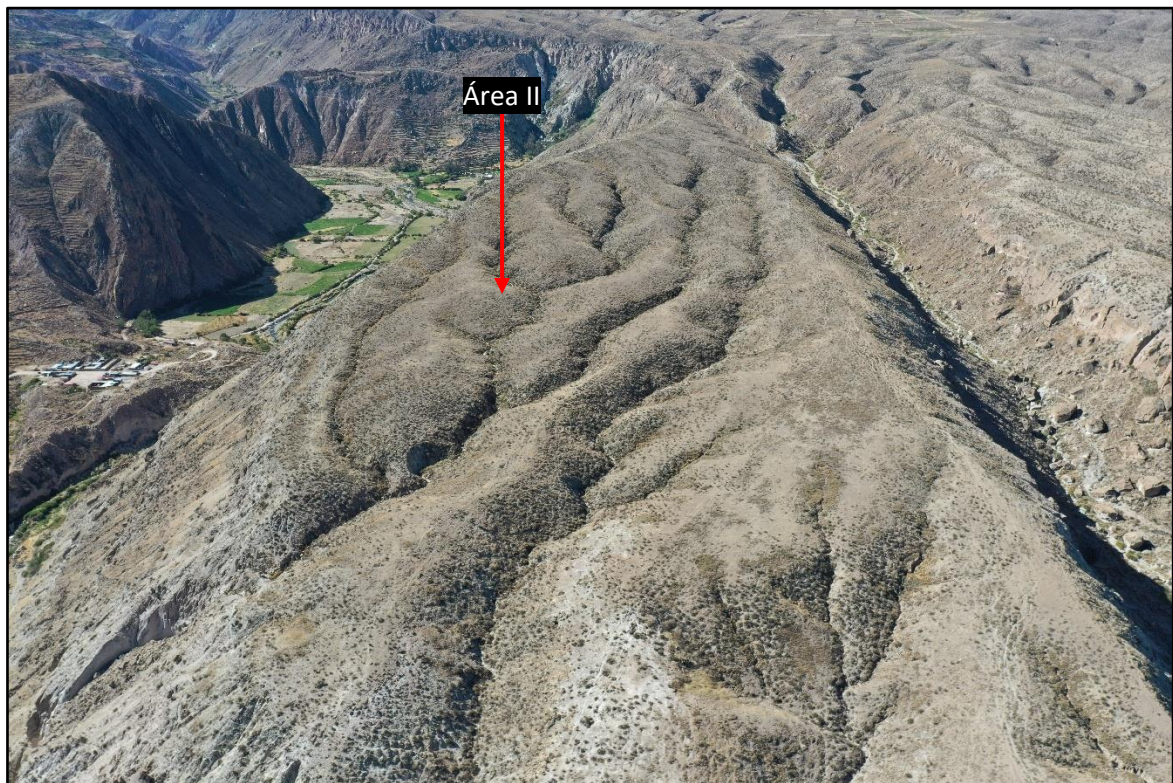


Figura 2. Vista del área II, propuesto para la reubicación del anexo Marjani.

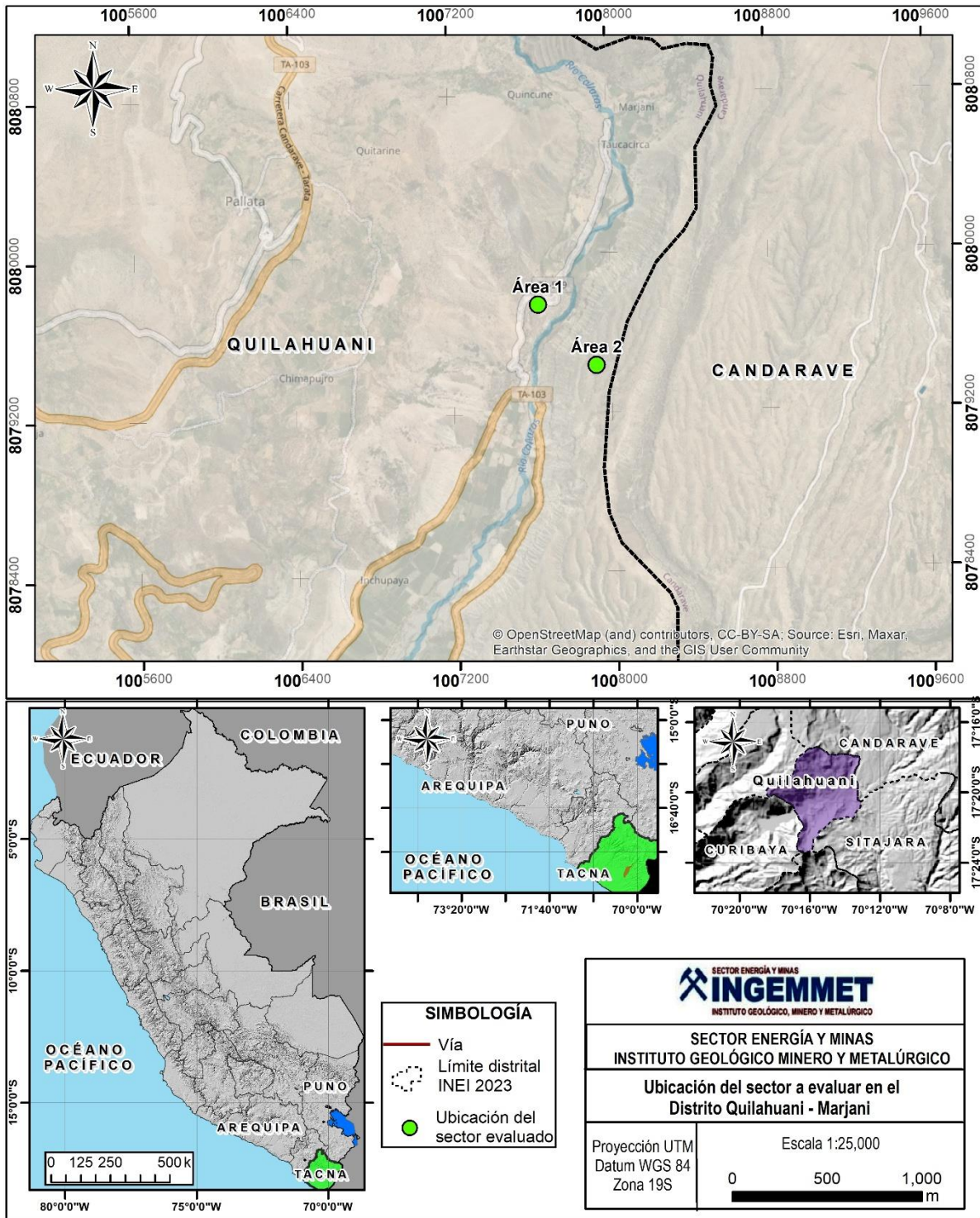


Figura 3. Ubicación del área de estudio en Quilahuani

El acceso se realizó por vía terrestre partiendo desde Arequipa mediante la siguiente ruta:

La zona es accesible desde Arequipa por la carretera asfaltada Arequipa – Tacna – Candarave.

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa - Tacna	Asfaltada	369	5 h 12 min
Tacna - Quilahuani	Asfaltada	171	3 h 17 min

1.2.2. Precipitación pluvial

Para el análisis de precipitación en Marjani se tomó información disponible de la estación meteorológica de la estación Susapaya, (figura 4).

Precipitación Máxima según la estación meteorológica:

- Susapaya– 37 mm/día, aproximadamente.

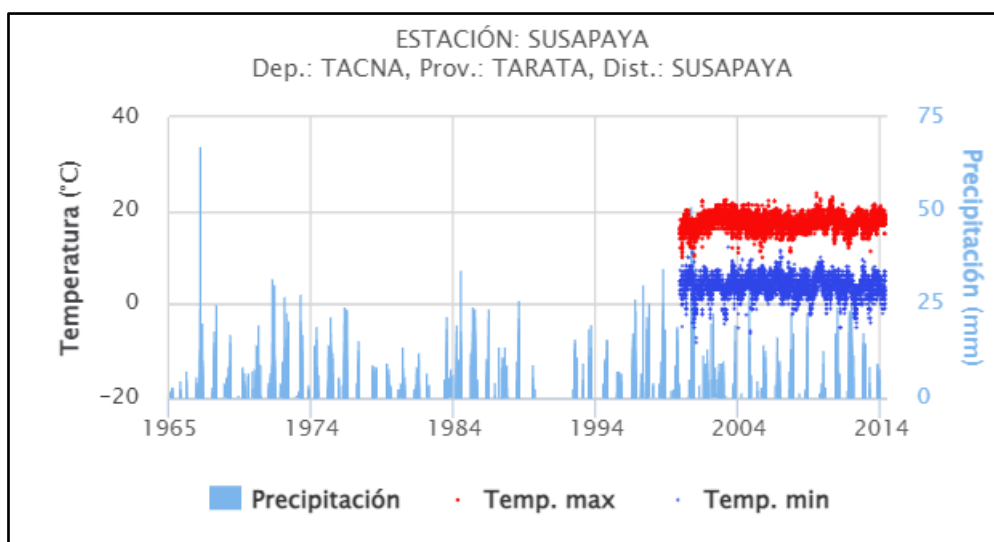


Figura 4. Precipitación según la estación Susapaya. Ubicado en Tarata – Tacna.

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.

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 (Hung et al., 2001).

Avalancha de roca: Movimiento tipo flujo, extremadamente rápido y masivo de roca fragmentada proveniente de un gran deslizamiento de roca, o de una caída de roca (Hung et al., 2001).

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.

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.

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 interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

Deluvial: Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

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 altamente meteorizadas y fracturadas.

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.

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.

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.

Inactivo abandonado: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

Inactivo estabilizado: Movimiento en masa cuyo desplazamiento ha cesado debido a la ejecución de obras correctivas o de control (Cruden y Varnes, 1996).

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.

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, altamente 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.

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

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.

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.

Vuelco: Movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del Complejo Volcánico Yucamane – Calientes. Rivero et al (2018); el mapa geológico del cuadrángulo de Ayapata (hojas 28v2, 28v3, 28v4) INGEMMET, Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 49. Además, de la geología del cuadrángulo de Ayapata, Hojas 28-v, a escala 1:100,000 (Salas, 1997).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Formación Labra: Entre 8 y 12 km al suroeste del volcán Yucamane, en ambas márgenes del río Callazas (inmediaciones del anexo Marjani), se distinguen afloramientos de areniscas cuarzosas blanquecinas y grises, dispuestos en capas gruesas que miden hasta 4 m de espesor, con intercalaciones de areniscas y lutitas carbonosas, de color gris oscuro a negro (figura 1). En la base predominan secuencias de areniscas y lutitas carbonosas gris oscuras. Estas secuencias han sido asignadas a la Fm. Labra del Grupo Yura por De la Cruz & De la Cruz (2000).

En el tope, se observa algunos niveles de calizas de color marrón grisáceo que tienen hasta 3 m de espesor, intercalados con capas de areniscas cuarzosas, con un espesor total mayor a 80 m. Las capas muestran predominantemente fracturas verticales. Estas secuencias en general muestran ligero plegamiento y forman paredes escarpadas.

Esta unidad sedimentaria se encuentra medianamente fracturada y moderadamente meteorizada.



Figura 5. Formación Labra, en inmediaciones del anexo Marjani.

Calientes II: Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza, corresponde a una secuencia de depósitos de flujos de pómez y ceniza que aflora al pie del flanco oeste del volcán Calientes y al sur y sureste del volcán Yucamane, (figuras 6 y 7).

Se extiende a lo largo de los ríos Callazas y Salado hasta cerca de la laguna de Aricota. Estos flujos son poco endurecidos, de color ocre a beige, con un espesor total de 80-100 m (fotografía 1).



Fotografía 1. Vista hacia el sur desde la primera área propuesta para el reasentamiento del anexo Marjani; al fondo destaca una pared conformada por depósitos de flujos piroclásticos de la unidad Calientes II.

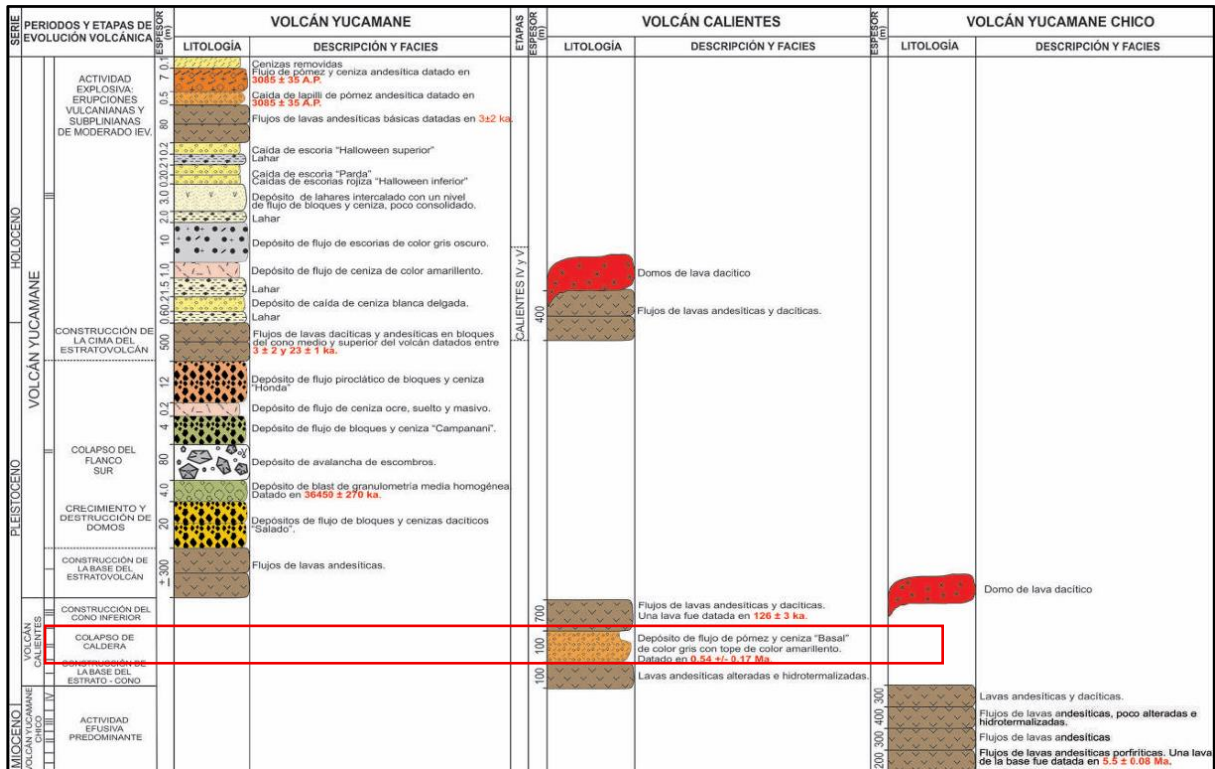


Figura 6. Columna litoestratigráfica generalizada e hipótesis de la evolución del complejo volcánico Yucamane-Calientes



Figura 7. Depósito de flujo de pómez y ceniza emplazado hace 540 ka, que aflora en inmediaciones del anexo Marjani.

Depósitos proluviales: Corresponden a lahares de diversos espesores (1 a 4 m) se hallan intercalados entre los depósitos de flujos piroclásticos, y a

veces yacen en la parte superior de las secuencias volcánicas que aflora al este del área II propuesto para la reubicación del anexo Marjani.

Estos lahares son masivos, en su mayoría algo consolidados y de colores gris a marrón. Otros lahares se hallan canalizados en las quebradas ubicadas al pie de los flancos sur, sureste y suroeste del volcán Yucamane.

Están conformados principalmente por bloques lávicos englobados en una matriz areno-limosa. Se originaron en periodos de lluvias fuertes y por el agua proveniente del deshielo de la nieve y hielo que permanece en la cumbre del volcán. Los afloramientos poseen entre 1 y 3 m de espesor.

Depósitos coluviales: Están conformados por una mezcla de bloques angulosos, heterogéneos y heterométricos, con materiales finos (arenas y limos), que generalmente se presentan muy sueltos y forman escombreras.

Este depósito aflora en ambas márgenes del río Callazas, muy próximo a las áreas propuesta para la reubicación del anexo Marjani. Es un depósito no consolidado, aparentemente proviene de movimientos en masa antiguos.

Depósitos aluviales: Se emplazan en el fondo del valle formado por el río Callazas, en ambas márgenes de lecho del río antes mencionado, cerca de la laguna Aricota. Están conformados por niveles de arenas, limolitas y niveles de bloques de lava y grava, englobados dentro de una matriz areno-limosa. Dichos depósitos son sueltos y están interestratificados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

En inmediaciones de las dos áreas propuestos para la reubicación del anexo Marjani, varía desde llano a fuertemente inclinado ($15^\circ - 35^\circ$), las laderas presentan pendientes fuertes a muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$), también se aprecian sectores muy escarpados con pendientes mayores a 45° .

Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 15 cm, a partir fotogrametría con dron, tomadas en (agosto del 2025). Anexo 1, mapa 2).



Figura 8. Muestra las distintas pendientes en inmediaciones del área de estudio.

Tabla 1. 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 ha 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 (escala 1:200.000); cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el (Anexo 1, mapa 2).

Colina en roca sedimentaria: Es una elevación natural del terreno compuesta por rocas sedimentarias. Estas colinas suelen presentar laderas irregulares con pendientes que varían de moderadas a altas y cimas generalmente semiredondeadas. Se forman por procesos de denudación sobre rocas sedimentarias, a menudo afloramientos de rocas sedimentarias reducidas por la erosión. Esta unidad aflora al norte del área de estudio.

Superficie de flujo piroclástico: Corresponde a una altiplanicie conformada por un depósito de flujos de pómez y ceniza de color gris claro, poco consolidado, bastante voluminoso, que aflora al pie del flanco sur, suroeste y oeste del volcán Yucamane, entre los ríos Callazas y Salado. Se caracteriza por presentar superficies subhorizontales, que varían entre 2° a 6° de inclinación, con dirección sur. Estos flujos son disectados por los ríos Salado y Callazas, así como quebradas angostas, algunas profundas y estacionales.

Terraza aluvial: Son geofomas que resultan de la interacción entre la dinámica fluvial (el río) y los procesos de erosión y sedimentación. Analizar estas terrazas es crucial para entender la evolución del paisaje fluvial, identificar zonas de riesgo potencial de inundaciones y evaluar la estabilidad de los terrenos para diferentes usos, como agricultura o construcción. Esta unidad se presenta en las márgenes del río Callazas.

Escarpes rocosos con caída de rocas: Formas de relieve abruptas desarrolladas en laderas de fuerte pendiente, donde la acción de la gravedad genera desprendimientos recurrentes de bloques y fragmentos. Morfológicamente se caracterizan por paredes casi verticales, acumulaciones de derrubios en la base y superficies irregulares de ruptura asociadas a planos de debilidad estructural (diaclasas, fallas, estratificación). Estos rasgos reflejan una dinámica activa o potencial de inestabilidad, condicionada por la pendiente, la litología y la orientación de la ladera, pudiendo intensificarse con la presencia de agua o la intervención antrópica. Esta unidad se aprecia en la margen izquierda del río Callazas.

Vertiente con depósito de deslizamiento: Es una zona de ladera donde se acumulan materiales provenientes de movimientos en masa antiguos o recientes, como deslizamientos, avalanchas de rocas o movimientos complejos. Estos depósitos suelen ser de materiales no consolidados a ligeramente consolidados, con una morfología convexa y disposición semicircular o alargada en relación con la zona de origen del movimiento. La primera zona propuesta para la reubicación del anexo Marjani, se ubica sobre esta unidad.

Vertiente aluvio torrencial: Es una planicie inclinada, o una zona de piedemonte, formada por la acumulación de material movilizado a manera de flujos (como huaicos o flujos de detritos) que son arrastrados por corrientes de agua y lluvias excepcionales en la zona. Posee un cauce de quebrada estacional, refiriéndose al canal por donde fluye el agua de una quebrada durante la temporada de lluvias o cuando hay activación de quebrada y escorrentía. Esta unidad se ubica al Este del área II propuestas para la reubicación del anexo Marjani.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En inmediaciones de las áreas evaluados, se identificó peligro geológico de tipo deslizamiento y procesos de erosión de ladera en cárcavas. Estos procesos tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial y la cobertura vegetal. Como factores “detonantes” se tiene las lluvias periódicas y extraordinarias que caen en el área; así como, la actividad sísmica.

ÁREA I, PROPUESTA POR LA MUNICIPALIDAD DE QUILAHUANI, PARA LA REUBICACIÓN DEL ANEXO MARJANI.

5.1. Deslizamiento

Deslizamiento reciente: El Área I, propuesta por la Municipalidad para la reubicación del Anexo Marjani, se emplaza sobre un deslizamiento de tipo rotacional. De acuerdo con su actividad, este movimiento en masa se clasifica como suspendido reciente. Morfológicamente presenta una corona irregular bien definida y una extensión longitudinal aproximada de 2 km.

La masa deslizada se movilizó desde una altitud de 3172 m s.n.m. hasta los 2891 m s.n.m., generando un desnivel de aproximadamente 281 m. La dirección principal de desplazamiento fue hacia el sureste, alcanzando finalmente el cauce del río Callazas, el cual también resultó afectado por el evento.

Como consecuencia del empuje de la masa y de la acumulación de material, el cauce del río experimentó un desvío hacia el margen izquierdo, produciendo un encajonamiento parcial o “rinconamiento” de su curso. Esta alteración geomorfológica constituye un factor de riesgo adicional, ya que puede generar procesos de erosión lateral, represamiento temporal y potenciales afectaciones a la dinámica fluvial local.

En síntesis, la ubicación del área I dentro de la huella de un deslizamiento rotacional reciente o remanente, representa una condición geotécnica desfavorable para la reubicación propuesta, debido a la inestabilidad inherente del terreno.



Figura 9. Procesos de deslizamientos en la primera zona de acogida para el anexo Marjani.

Deslizamientos antiguos:

En la margen derecha del río Callazas, dentro de las áreas propuestas para la reubicación del anexo Marjani, se reconocen hasta cuatro etapas de deslizamientos (Mapa N°6). Tres antiguos y uno reciente (descrito líneas arriba). Los deslizamientos antiguos se diferencian según su grado de evolución geomorfológica y estado de inactividad, tal como se detalla a continuación:

Deslizamientos inactivos relictos (1ra etapa, color marrón): Corresponden a los movimientos más antiguos y de mayor extensión. Geomorfológicamente se caracterizan por escarpes atenuados, depósitos suavizados y cubiertos por suelos desarrollados y vegetación madura. Estas formas han quedado fosilizadas en el relieve, evidenciando que ocurrieron en tiempos geológicos remotos. La probabilidad de reactivación es extremadamente baja.

Deslizamientos inactivos abandonados (2da etapa, color beige): Asociados a eventos posteriores, presentan morfologías degradadas, lóbulos suavizados y depósitos parcialmente integrados en el paisaje. Estos movimientos se originaron bajo condiciones que ya no están presentes, lo que reduce significativamente su potencial de reactivación. No obstante, sus formas aún son reconocibles en la topografía, permitiendo reconstruir la dinámica de inestabilidad en la zona.

Deslizamientos inactivos latentes (3ra etapa, color amarillo suave): Son los más recientes dentro de los antiguos. Se distinguen por la presencia de coronas irregulares, escarpes aún visibles y depósitos con morfologías relativamente

frescas. Aunque no presentan actividad actual, mantienen condiciones de inestabilidad que podrían propiciar su reactivación ante precipitaciones intensas, sismos o modificaciones antrópicas en la ladera.

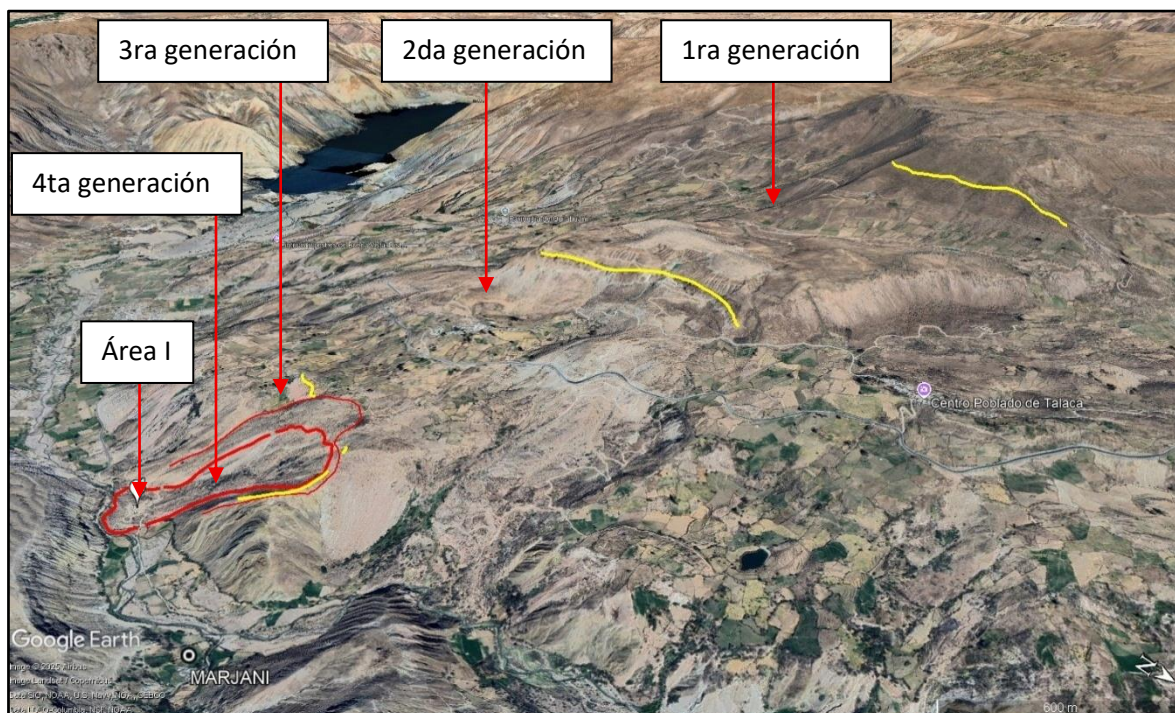


Figura 10. Cuatro generaciones de deslizamientos reconocidas a partir de la interpretación geomorfológica.

ÁREA II, PROPUESTA POR LA MUNICIPALIDAD DE QUILAHUANI, PARA LA REUBICACIÓN DEL ANEXO MARJANI.

5.2. Caída de rocas

En las inmediaciones del área II propuesta para la reubicación del anexo Marjani se desarrollan procesos de caída de rocas, asociados a laderas de fuerte pendiente conformadas por depósitos piroclásticos de pómez y ceniza, correspondientes a la unidad Calientes II, parte del grupo de productos volcánicos que aflora en la zona.

En los tramos superiores de las laderas se observan afloramientos rocosos fracturados y medianamente meteorizados, condición que favorece el desprendimiento de bloques individuales. En la parte baja de estas laderas, a modo de zona de acumulación, se identifican bloques de dimensiones métricas, los cuales se habrían movilizado por desprendimiento desde las zonas más altas. Estos depósitos constituyen evidencia de la ocurrencia recurrente de procesos de caída de rocas en el sector.

Geomorfológicamente, los escarpes rocosos presentan pendientes abruptas y superficies irregulares de ruptura, generadas a partir de planos de debilidad estructural (fracturas y discontinuidades internas del macizo piroclástico). La meteorización y la acción gravitacional actúan como factores desencadenantes principales, mientras que las precipitaciones intensas o la sismicidad local podrían actuar como detonantes de nuevos episodios de caída.



Figura 11. Procesos de caída de rocas en inmediaciones del área II, propuesto por la municipalidad para la reubicación del anexo Marjani.

5.3. Erosión de ladera en cárcavas

Son procesos de erosión causados por escurrimiento superficial concentrado.

La intensidad y la amplitud de la formación de cárcavas guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento y la velocidad de esta. Además, están reguladas por las características del suelo (permeabilidad y cohesión), del relieve (la pendiente), del clima y de la cobertura vegetal protectora. Las cárcavas pueden incrementar sus dimensiones en profundidad, amplitud y longitud, gracias a diversos procesos que pueden ocurrir aislada o simultáneamente. El perfil transversal de las cárcavas es en “V” En la actualidad, su avance se acelera con una serie de pequeños derrumbes.

El área II, propuesta para la reubicación del anexo Marjani, presenta en sus inmediaciones la presencia de cárcavas en proceso activo de profundización. Esta condición geomorfológica indica una dinámica erosiva significativa, que podría comprometer la estabilidad de futuras infraestructuras.

Por ello, antes de cualquier ocupación se requiere implementar un plan integral de construcción y manejo de drenajes pluviales, que permita controlar la escorrentía superficial y minimizar el avance de dichos procesos erosivos.

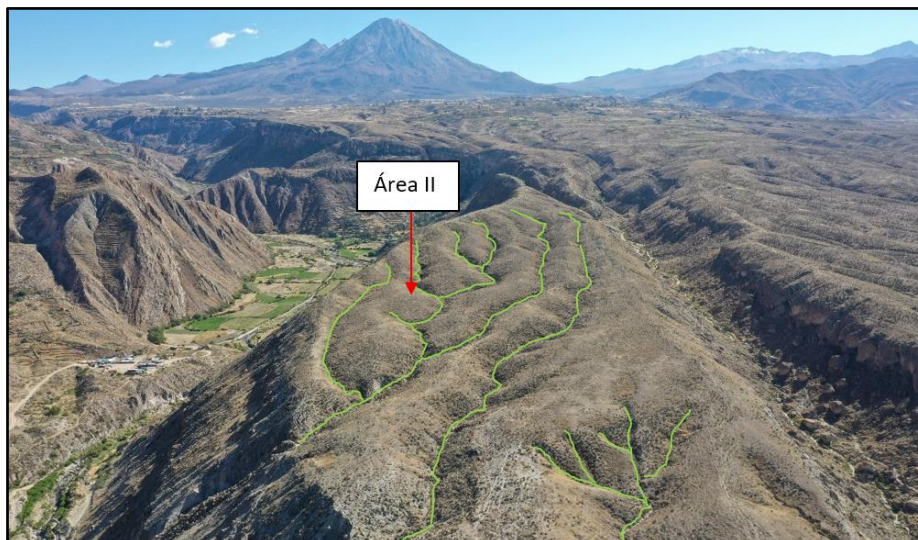


Figura 12. Procesos de erosión de ladera en cárcavas en inmediaciones del área II, propuesto por la municipalidad para la reubicación del anexo Marjani.

5.4. Flujo de detritos (lahares)

Asimismo, a una distancia aproximada de 300 m hacia el este, se identifica una quebrada con depósitos remanentes de lahares, originados en eventos pasados y asociados a la actividad del volcán Yucamane. Este elemento geodinámico constituye un factor de amenaza latente, dado que, en caso de precipitaciones intensas o reactivación volcánica, el cauce podría canalizar nuevamente flujos de detritos (lahares).

En tal sentido, resulta indispensable que la propuesta de reubicación considere la implementación de un sistema de gestión del riesgo específico para esta quebrada, que incluya medidas de monitoreo, obras de encauzamiento, obras de protección y planes de contingencia comunitaria. Solo de esta manera será posible reducir la exposición y vulnerabilidad de la futura población asentada en este sector.

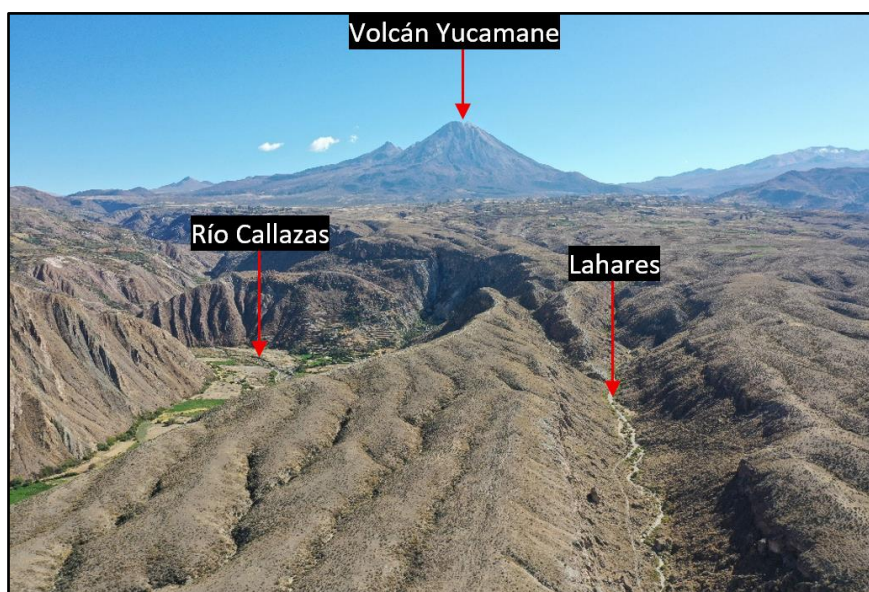


Figura 13. Proceso de flujo de detritos (lahares – huaicos)

5.5. Factores condicionantes

Área I:

- Presencia de depósitos coluviales no consolidados, originados por movimientos en masa antiguos.
- Laderas con pendientes muy fuertes ($\approx 35^\circ$) a escarpadas ($>45^\circ$), que favorecen la inestabilidad.
- Identificación de unidades geomorfológicas de vertiente con deslizamientos.

Área II:

- Presencia de depósitos de flujo piroclástico de pómez y ceniza, moderadamente fracturados y medianamente meteorizados, además de depósitos proluviales y coluviales no consolidados.
- Laderas con pendientes muy fuertes ($\approx 35^\circ$) a escarpadas ($>45^\circ$), similares a las observadas en el Área I.
- Identificación de unidades geomorfológicas de escarpe rocoso con caída de rocas, superficies de flujo piroclástico y vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales, todas asociadas a potenciales procesos de inestabilidad.

5.6. Factores desencadenantes

- Sismos: Los movimientos sísmicos constituyen un factor detonante importante para deslizamientos y caídas de rocas. Según el Mapa de Peligros Sísmicos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), para un período de retorno de 500 años, el departamento de Tacna puede registrar aceleraciones máximas del suelo (PGA) entre 300 y 480 gals. En particular, el área de estudio de este informe se encuentra en una zona donde las aceleraciones esperadas oscilan entre 340 y 360 gals, valores que evidencian un nivel significativo de amenaza sísmica.
- Lluvias intensas: Las precipitaciones extremas constituyen otro de los principales desencadenantes de procesos de remoción en masa, favoreciendo la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos o lahares), deslizamientos y caídas de rocas. Estos eventos se asocian a la saturación de los suelos y a la pérdida de resistencia de los materiales en laderas de fuerte pendiente.

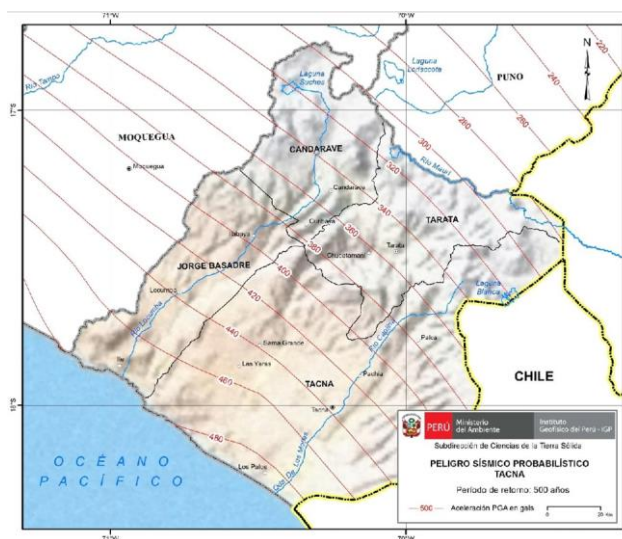


Figura 14. Aceleraciones para periodos de retorno de 500 años para el departamento de Tacna. Unidad de medida gals. Tomado de: Catálogo general de isosistas para sismos del Perú (IGP, 2014).

6. CONCLUSIONES

Del análisis geológico, geomorfológico, trabajos de campo y evaluación de peligros en la zona de estudio, se concluye lo siguiente

1. En el área de estudio afloran principalmente areniscas cuarzosas y lutitas carbonosas de la Formación Labra, moderadamente fracturadas y meteorizadas; depósitos piroclásticos no consolidados de pómez y ceniza correspondientes a la unidad Calientes II; además de depósitos proluviales, coluviales y aluviales. Estas unidades litológicas, en su mayoría no consolidadas, constituyen un factor condicionante de inestabilidad.
2. Se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas: colina en roca sedimentaria, superficies de flujo piroclástico, terrazas aluviales, vertientes con depósitos de deslizamiento, escarpes rocosos con caída de rocas, y vertientes aluvio-torrenciales asociadas a cauces de quebradas estacionales. Las pendientes varían desde llano hasta muy escarpado ($>45^\circ$), lo que incrementa la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.
3. En el área I se identificó un deslizamiento rotacional suspendido reciente, con corona irregular definida y una longitud aproximada de 2 km. La masa se movilizó desde los 3172 hasta los 2891 m s.n.m., desviando el cauce del río Callazas hacia el margen izquierdo. La ubicación del área dentro de la huella del deslizamiento representa una condición geotécnica desfavorable, descartando su aptitud para reubicación.
4. En el área I también se reconocen tres generaciones de deslizamientos antiguos.
 - Relictos (1ra etapa): escarpes atenuados, depósitos suavizados y cubiertos por suelos y vegetación madura; eventos muy antiguos sin posibilidad de reactivación.
 - Abandonados (2da etapa): morfologías degradadas y lóbulos suavizados; procesos ocurridos bajo condiciones pasadas, de baja probabilidad de reactivación.
 - Latentes (3ra etapa): coronas irregulares y escarpes visibles con depósitos frescos; mantienen condiciones de inestabilidad que podrían reactivarse ante precipitaciones intensas, sismos o intervenciones antrópicas.
5. En el área II se reconocieron procesos de caída de rocas asociados a depósitos piroclásticos fracturados y meteorizados, erosión de ladera en cárcavas activas que afectan la estabilidad superficial, y evidencias de flujos de detritos (lahares antiguos) canalizados en quebradas cercanas. Estas condiciones representan amenazas geológicas que deben ser consideradas. por tanto, presenta una aptitud condicionada, siempre que se implementen previamente medidas de prevención y obras de mitigación
6. Los factores condicionantes identificados incluyen: rocas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas, depósitos no consolidados, laderas con pendientes pronunciadas, presencia de unidades geomorfológicas vinculadas a procesos de inestabilidad (escarpes rocosos, vertientes de deslizamientos, vertientes torrenciales).
7. Los factores desencadenantes más relevantes son:
 - Sismicidad, con aceleraciones máximas del suelo (PGA) estimadas entre 340 y 360 gals para el área de estudio, según el IGP (retorno 500 años).
 - Precipitaciones intensas, que favorecen la saturación de materiales no consolidados, desencadenando deslizamientos, caídas de rocas y flujos de detritos.

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de los peligros geológicos. La implementación de estas recomendaciones permitirá mitigar el su efecto.

1. Descartar el área I para fines de reubicación del anexo Marjani, debido a que se emplaza sobre el cuerpo de un deslizamiento rotacional reciente y otras generaciones de movimientos en masa antiguos, lo que constituye una condición de inestabilidad permanente.
2. Considerar el área II como apto condicionado, siempre que previamente se implementen medidas de prevención y mitigación orientadas a:
 - Controlar procesos de caída de rocas, mediante el uso de mallas metálicas de protección o cercos dinámicos.
 - Reducir la erosión en cárcavas, con obras de bioingeniería (reforestación con especies nativas, terrazas de contención) y estructuras de disipación de energía en las quebradas activas.
 - Mejorar el manejo de aguas pluviales, evitando concentraciones de escorrentía que puedan detonar flujos de detritos.
3. Implementar un sistema de monitoreo y vigilancia permanente en el área II, con inspecciones técnicas periódicas durante la temporada de lluvias y tras eventos sísmicos significativos, a fin de identificar signos tempranos de reactivación de procesos de inestabilidad.
4. Desarrollar un plan de gestión del riesgo para el nuevo asentamiento, que incluya: zonificación interna del área, ubicación de infraestructura en zonas de menor susceptibilidad, rutas de evacuación seguras, y señalización de áreas críticas.
5. Promover la capacitación y sensibilización comunitaria en temas de prevención de desastres, manejo de emergencias y mantenimiento de obras de mitigación, garantizando la sostenibilidad de las medidas adoptadas.
6. Coordinar con las autoridades locales y regionales la implementación de proyectos de inversión en reducción del riesgo de desastres, priorizando la ejecución de obras de protección en el área II, antes del inicio de cualquier proceso de reubicación.

BIBLIOGRAFÍA

Chávez, A.; Salas, G.; Gutiérrez, E. & Cuadros, J. (1997) - Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, hojas: 28-u y 28-v. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 90, 128 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/47>

Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, 36-75 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000). Estudio de Riesgo Geológico del Perú, Franja N°1. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 23, 290 p.

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.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas – PMA: GCA (2007). Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas.

Luque, G.; Gómez, H.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2021) - Peligro geológico en la región Tacna. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 82, 251 p., 9 mapas.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2018). "Peligro por deslizamientos en el sector Matarani. Región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani", INGEMMET, Informe Técnico N° A6833, 27P

Rivera, M.; Villacorta, S. & Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2004). Inspección de los peligros geológicos en el Anexo de Marjani. Distrito Hualhuani, provincia Candarave, departamento de Tacna. Distrito Camilaca, provincia Candarave, departamento de Tacna. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A5934, 24 p.

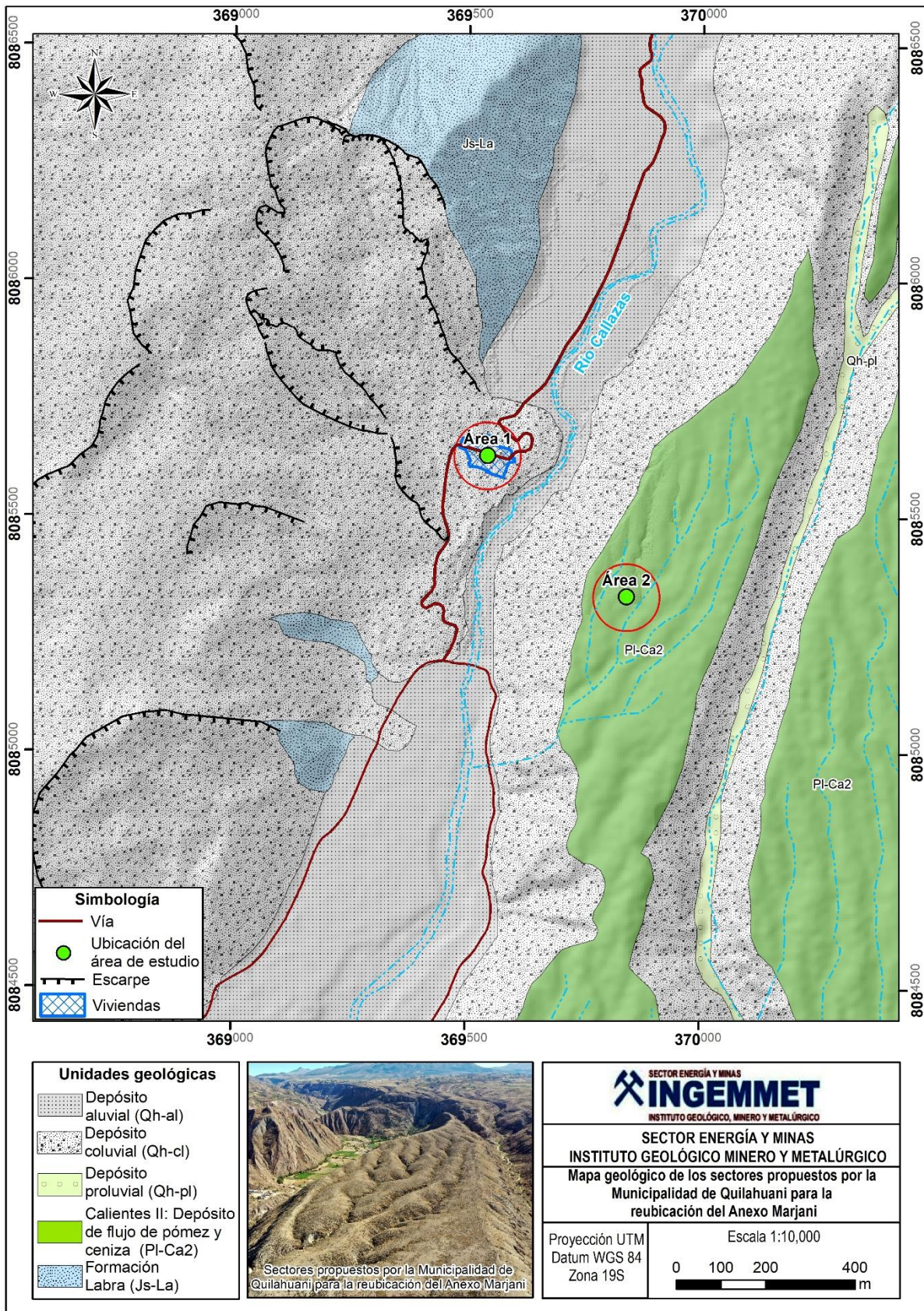
Rivera, M.; Samaniego, P.; Vela, J. & Le Penec, J. L. (2018) - Geología y evaluación de peligros del Complejo Volcánico Yucamane - Calientes (Candarave - Tacna). INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 65, 128 p., 2 mapas.

Sánchez, A.; Zapata, A & Sánchez, J. (2002) - Mapa geológico del cuadrángulo de Ayapata, hoja 28-v, escala 1: 100 000. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Versión revisada y actualizada. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2073>

Soberon, D.; Choquehuanca, S.; Gómez, W.; Rodríguez, R. (2022) - Geología del cuadrángulo de Ayapata (hojas 28v2, 28v3, 28v4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 49, 52 p., 3 mapas

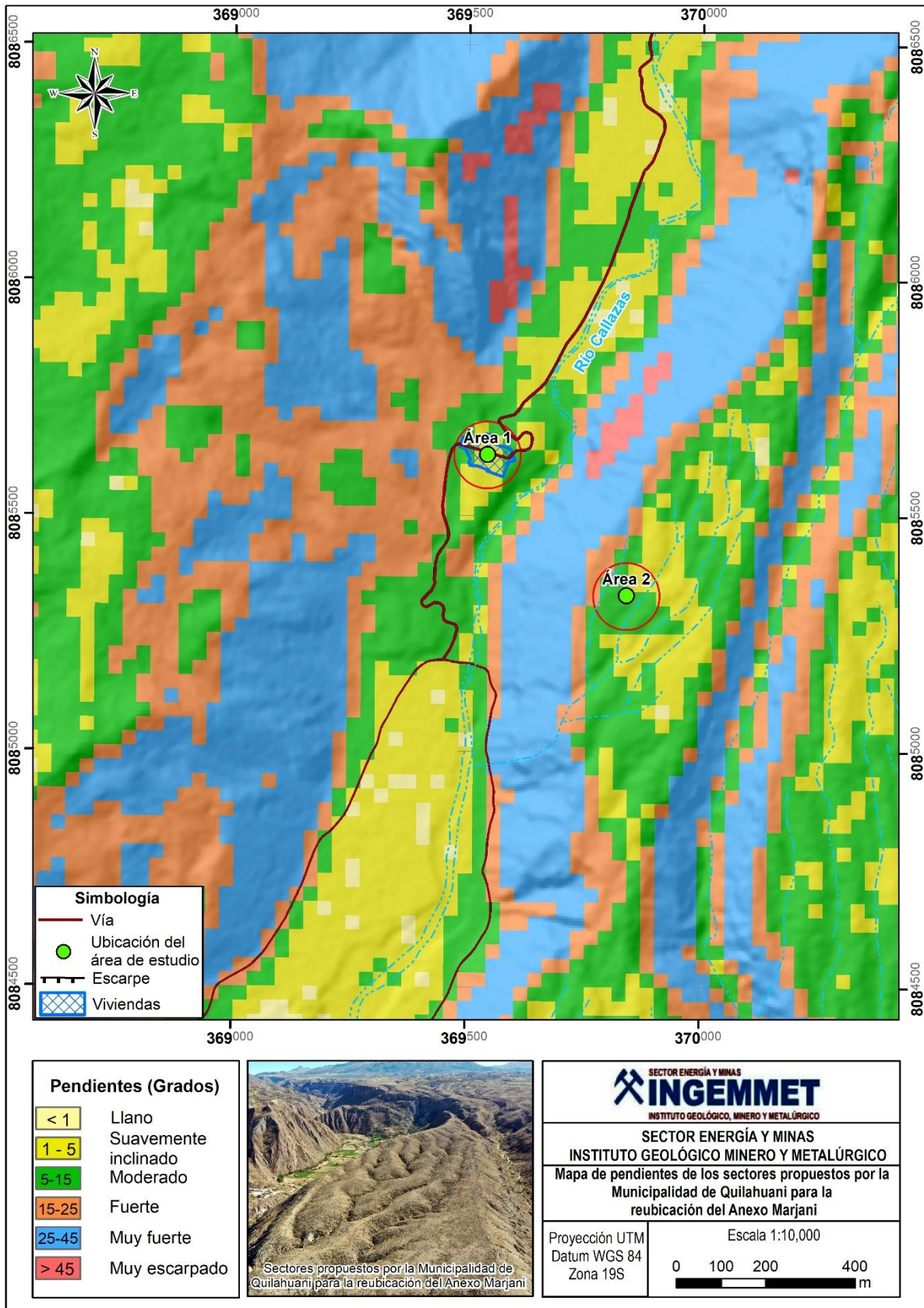
Zavala, B.; Núñez, S. (1998). Estudio Geológico Geotécnico de la región Suroccidental del Perú. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 22 , 259 p

ANEXO 1 MAPAS



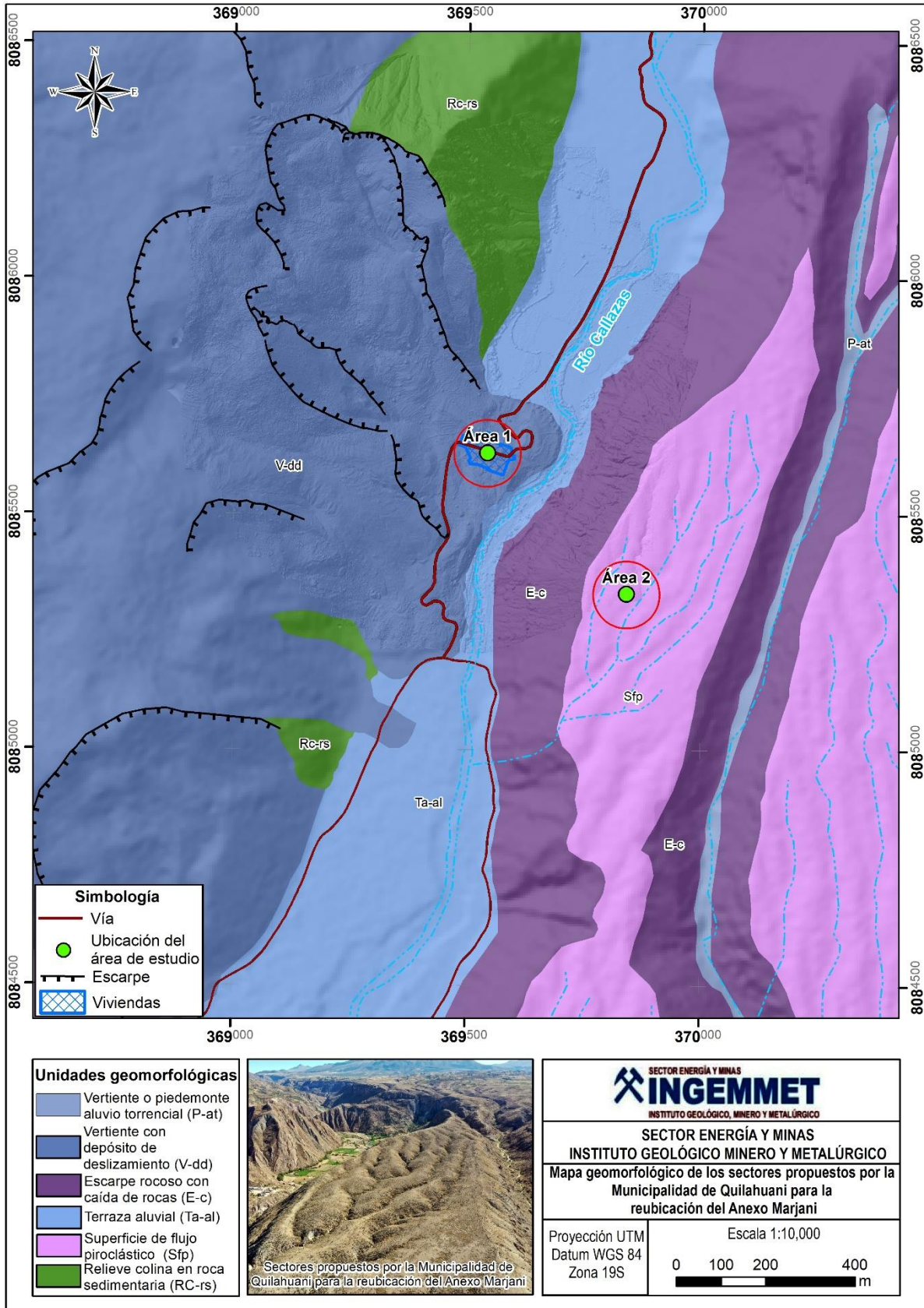
Mapa N°1. Unidades geológicas en el área evaluada. Fuente: modificado de Rivera, M. et al (2018).

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.



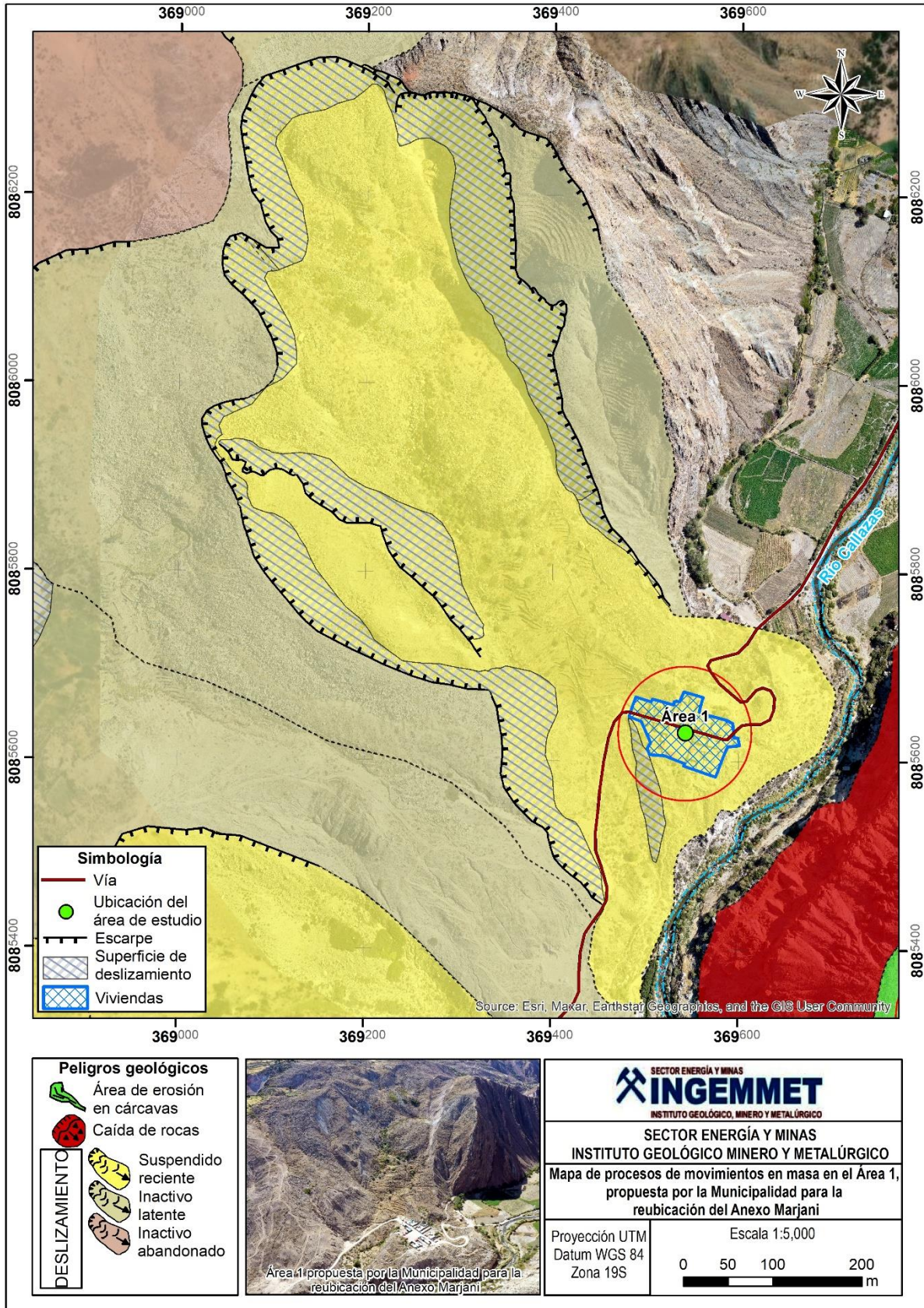
Mapa N°2. Pendientes del área evaluada. Fuente: propia.

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.



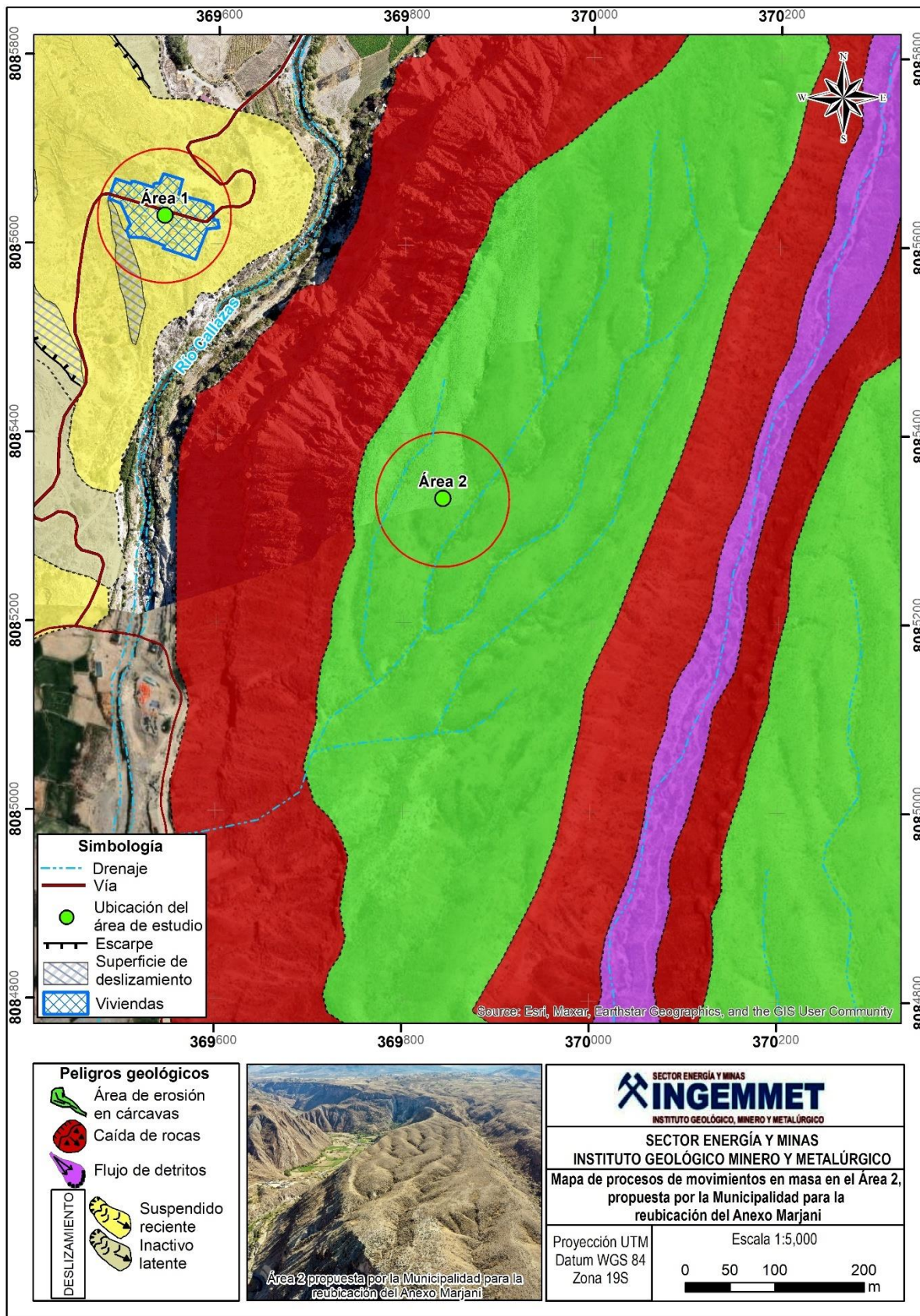
Mapa N° 3. Unidades geomorfológicas en el área evaluada. Fuente: modificado de Rivera, M. et al (2018).

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.



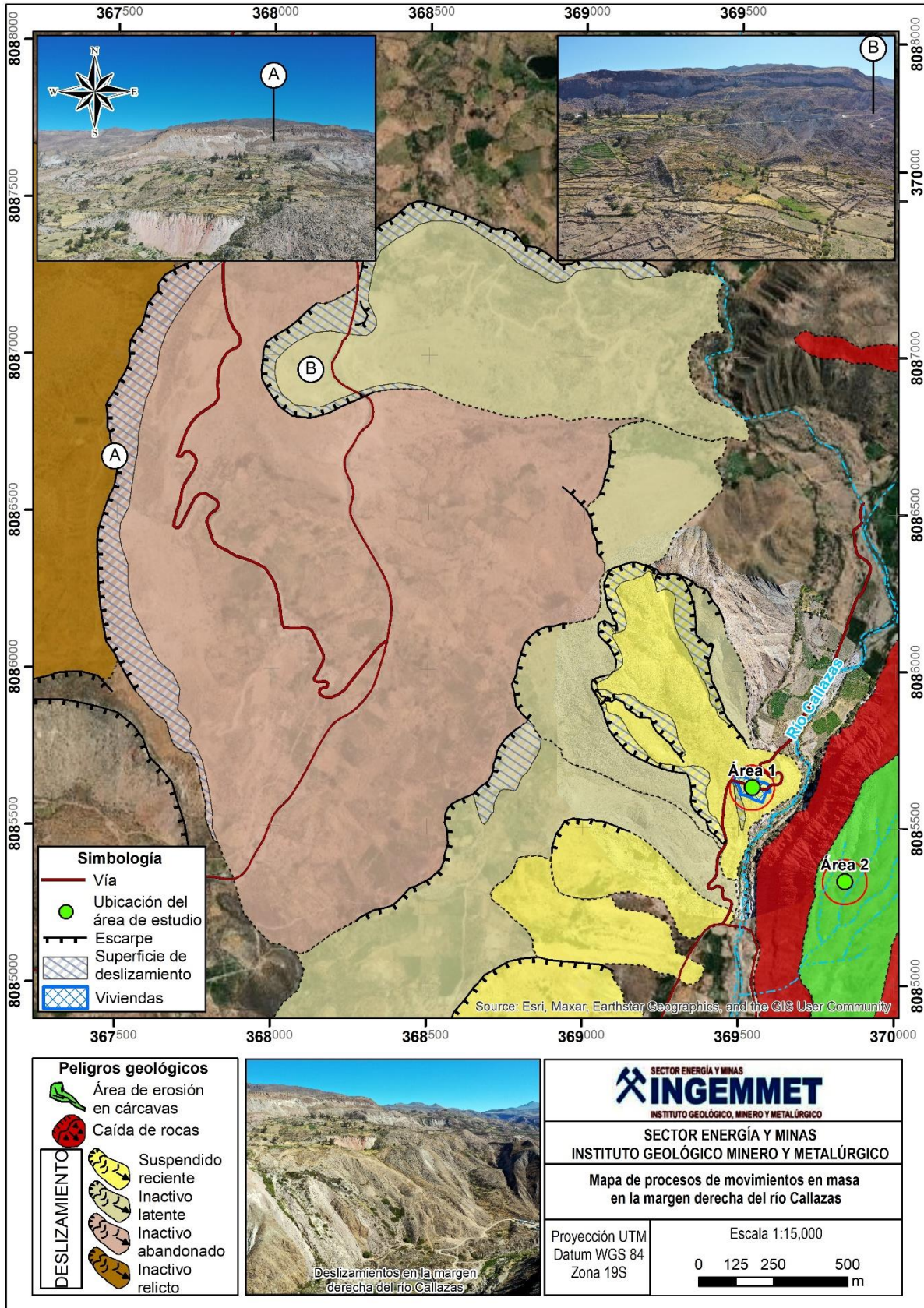
Mapa N° 4. Mapa de procesos de movimientos en masas en el área I, propuesta por la municipalidad de Quilahuani, para la reubicación del anexo Marjani. Elaboración propia.

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.



Mapa N° 5. Mapa de procesos de movimientos en masas en el área II, propuesta por la municipalidad de Quilahuani, para la reubicación del anexo Marjani. Elaboración propia.

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.



Mapa N° 6. Mapa de procesos de movimientos en masas en las áreas I y II, propuesta por la municipalidad de Quilahuani, para la reubicación del anexo Marjani. Elaboración propia.

* El círculo rojo es de carácter referencial y posee un diámetro aproximado de 150 metros.