

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7317

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO ISIDORO BERROCAL CORONADO

Departamento Arequipa
Provincia Caravelí
Distrito Caravelí



NOVIEMBRE
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO ISIDORO BERROCAL CORONADO

(Distrito Caravelí, Provincia Caravelí, Departamento Arequipa)

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por flujos en el Asentamiento Humano Isidoro Berrocal Coronado. Distrito Caravelí, Provincia Caravelí, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7317, 32p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos del estudio	1
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	1
1.2.1. Ubicación.....	2
1.2.2. Accesibilidad	3
1.2.3. Precipitación pluvial	3
1.2.4. Población	4
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
3.1 Unidades litoestratigráficas	8
3.1.1 Formación Moquegua (Nm-mo).	8
3.1.2 Formación Sencca (Np-se).....	8
3.1.3 Depósitos aluviales - proluviales (Qh-apl)	8
3.1.4 Depósitos de flujos de detritos (Qh-pl).....	8
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
4.1 Pendientes del terreno	9
4.2 Unidades Geomorfológicas	9
4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	9
4.2.2 Geformas de carácter depositacional o agradacional	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
5.1 Movimientos en masa	10
5.2.1 Flujo de detritos (huaicos)	11
5.2 Factores condicionantes	19
5.3 Factor desencadenante	19
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO 1 MAPAS	23
ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓ	32

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el Asentamiento Humano Isidoro Berrocal Coronado, del distrito y provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El Asentamiento Humano Isidoro Berrocal Coronado, se asienta sobre depósitos aluviales - proluviales, ligeramente consolidados, conformado por bloques, gravas, arenas y limos, los cuales han formado un amplio abanico. Sobre ellos, por sectores, depósitos proluviales (huaicos o flujos de detritos) ligeramente consolidados, provenientes de la quebrada La Yesera, conformado por bloques (60%), gravas (20%), englobados en una matriz arenolimosa (20%). Por otro lado, en inmediaciones del área evaluada, afloran conglomerados no consolidados (Formación Moquegua) y tobas con brechas tobáceas de naturaleza dacítica a riolítica moderadamente meteorizada (Formación Sencca).

Las subunidades geomorfológicas están representadas por: montaña y colina en roca sedimentaria, colina o lomada piroclástica y vertiente piedemonte aluvio torrencial.

El peligro geológico identificado corresponde a movimientos en masa de tipo flujo de detritos (huaicos). Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de flujo son:

- a) Depósitos aluviales y de flujos de detritos (huaicos) sueltos de fácil remoción
- b) Conglomerados de la Formación Moquegua, se aprecia englobado en una matriz arenosa
- c) Tobas y brechas tobáceas, moderadamente meteorizadas inconsolidadas (Formación Sencca)
- d) Terrenos con pendientes variables, desde inclinados suavemente (1°-5°) a moderados (5°-15°) en las colinas ubicadas en los extremos del área de trabajo

Los factores “detonantes”, que provocan los huaicos son las intensas y/o prolongadas precipitaciones pluviales.

En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el A. H. Isidoro Berrocal Coronado se considera de **Peligro Alto** por movimientos en masa tipo flujos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades competentes pongan en práctica, como: la identificación y señalización de rutas de evacuación, además de la limpieza de los cauces.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud de la municipalidad provincial de Caravelí, según el Oficio N° 071-2022- AL-MPC; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos (huaicos) en el A. H. Isidoro Berrocal Coronado, distrito y provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos que afectan a las viviendas del A. H. Isidoro Berrocal Coronado. Los trabajos de campo se realizaron del 15 al 18 de junio del 2022.

La evaluación técnica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de las entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar el peligro geológico por flujo de detritos (huaicos), que se presentan en el A. H. Isidoro Berrocal Coronado, distrito y provincia de Caravelí, departamento de Arequipa; evento que puede comprometer la seguridad física de la población y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- a) Kosaka, R.; et al (2001) - Evaluación de peligros de la ciudad de Caravelí. Los suelos de la zona de Caravelí de acuerdo con los estudios realizados y las propiedades físicas y mecánicas, son de dos tipos:
 - En la parte alta de la ciudad (material proluvial a aluvional), se tiene una mezcla de gravas, arenas gruesas, bloques y gravas.
 - En la parte baja de la ciudad de Caravelí (parte antigua), se tiene limos y materia orgánica, esto se debe por estar cercano al río Caravelí (margen derecha).
- b) Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9

mapas. En Caravelí afloran depósitos de conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas.

- c) Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. Caravelí está sujeta a flujos de detritos. En el cauce de la quebrada Yesera se observa material suelto de fácil remoción, que ante lluvias excepcionales pueden ser removidas y generar flujos de detritos.
- d) Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000, elaboradas por el Ingemmet. En él se detalla una los depósitos aluviales en las proximidades de Caravelí.

1.2.1. Ubicación

El A.H está ubicada en el distrito y provincia de Caravelí, departamento de Arequipa (figuras 1 y 2), dentro de las coordenadas siguientes: Se ubica a 1 k al Suroeste del centro de la ciudad.

Tabla 1. Coordenadas del sector evaluado

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Norte	Este	Latitud	Longitud
1	8255803	673686	-15.770313°	-73.378664°
2	8255801	675218	-15.770224°	-73.364367°
3	8254550	675204	-15.781531°	-73.364407°
4	8254564	673674	-15.781511°	-73.378687°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Caravelí	8255179	674453	-15.775899°	-73.371461°

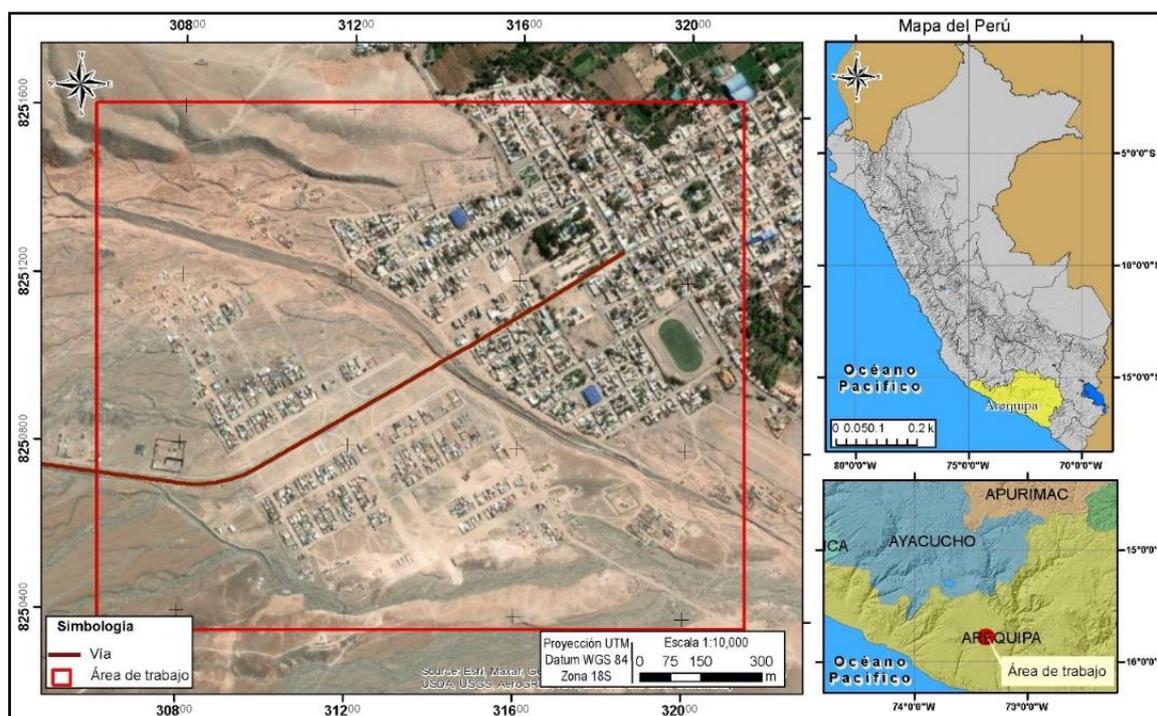


Figura 1. Ubicación del área evaluada

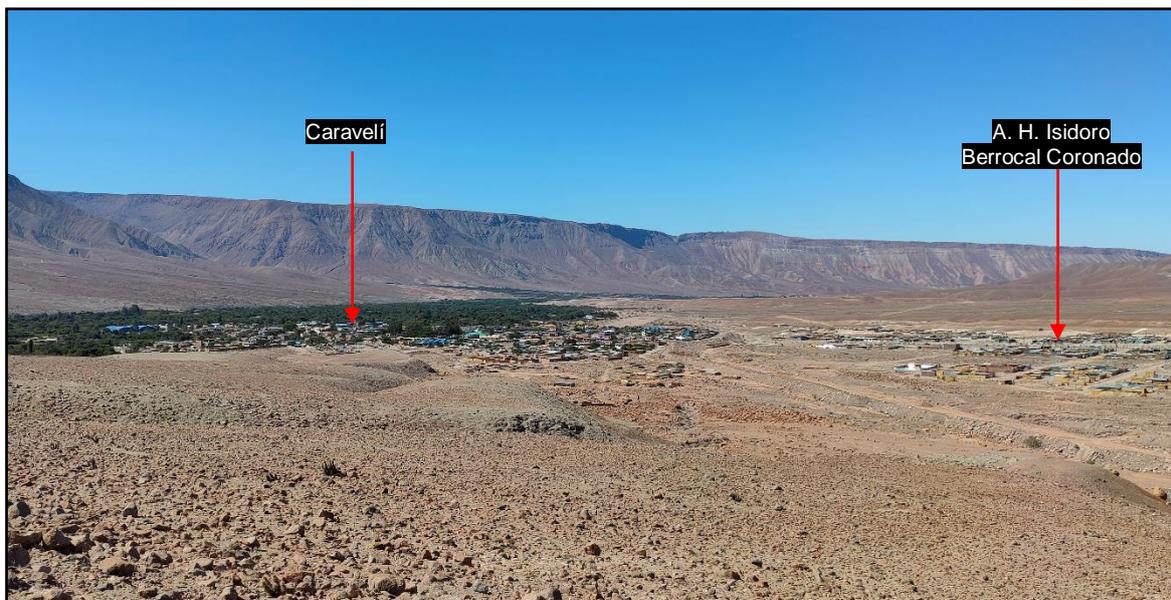


Figura 2. Caravelí y el A. H. Isidoro Berrocal Coronado.

1.2.2. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre, desde el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet OVI-Arequipa, mediante la siguiente ruta:

Tabla 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa – Camana	Asfaltada	172	2 h 50 min
Camana - Atico	Asfaltada	132	2 h 40 min
Atico - Caravelí	Asfaltada	74	1 h 15 min

1.2.3. Precipitación pluvial

En base a la información disponible de la estación meteorológica Caravelí, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). Para un período Donde se tiene una data de una ventana de tiempo desde 1963 al 2013, de precipitación diaria, resalta una precipitación máxima de 30 mm. (grafico 1).

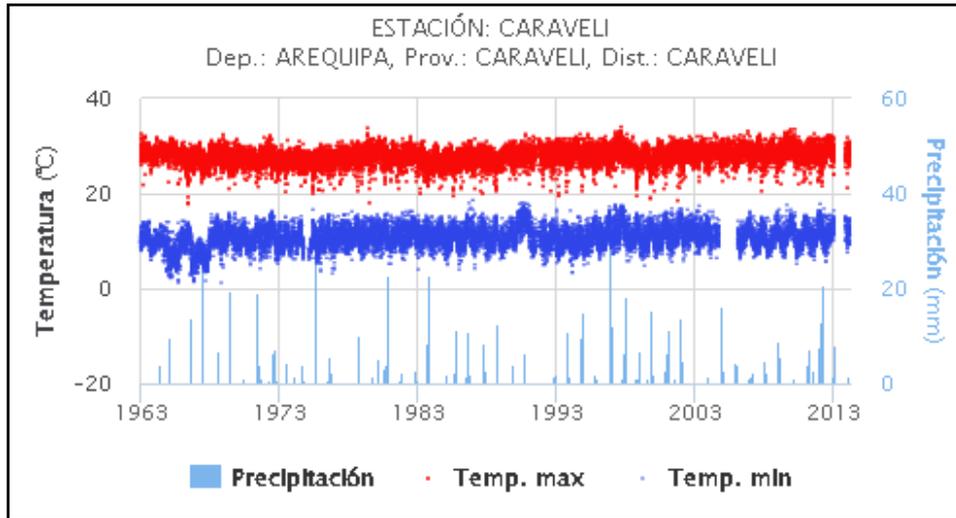


Gráfico 1. Precipitación según la estación Caravelí (Senamhi).

1.2.4. Población

Caravelí es el cuarto distrito más poblado de la provincia de Caravelí, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 4259 personas (gráfico 2).

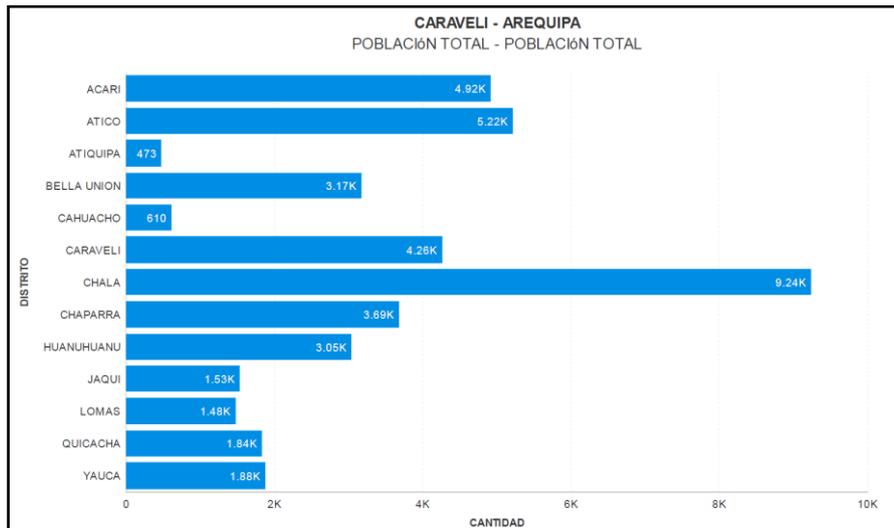


Gráfico 2. Población por distritos de la provincia de Caravelí.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/reporte-estadistico>

Según el Censo Nacional 2017, en el distrito de Caravelí las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 1478 personas; (18-59 años) 2289 personas y (60 años a más) 492 personas, (gráfico 3).

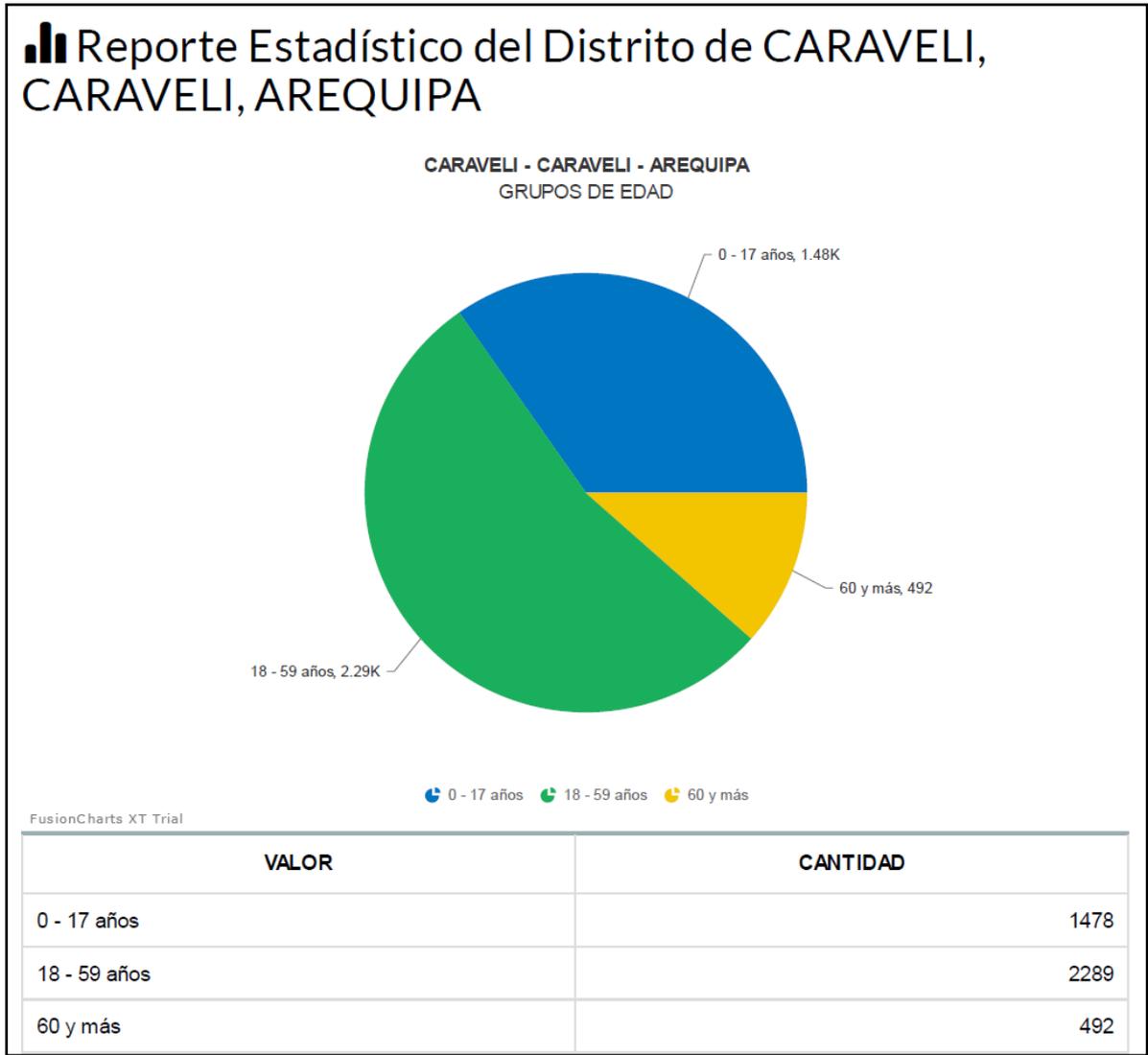


Gráfico 3. Población según grupo etario del distrito de Caravelí "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

2. DEFINICIONES

A continuación, se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

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

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

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos

producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

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

FRACTURA (crack) Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

METEORIZACIÓN (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

CAIDAS. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

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

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

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

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

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

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua. Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

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

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

IGNIMBRITA: En la geología, se usa el término Ignimbrita, para describir un depósito de corriente de densidad piroclástica (flujo piroclástico) que contiene abundantes fragmentos de pómez de distintos tamaños, ceniza, cristales, fragmentos de roca arrancada del conducto y del suelo que son expulsada a altas temperaturas durante erupciones volcánicas muy explosivas.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI): El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico se toma como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000, elaboradas por el Ingemmet.

3.1 Unidades litoestratigráficas

3.1.1 Formación Moquegua (Nm-mo).

Se trata de depósitos torrenciales, que representan acumulaciones de piedemonte. La facies inferior conformada por conglomerados medios, con un 60 por ciento de ellos redondeados a subredondeados, tratándose de cuarcitas y subvolcánicos. Una facies media, constituida por lutitas, areniscas finas, limolitas con textura tobácea; también se ha reconocido horizontes de ceniza volcánica, y capas de conglomerados finos que sometidos a la erosión dejan zonas escarpadas. La facies superior, conformada por conglomerados heterogéneos poco consolidados, hacia su tope se aprecian areniscas y piroclastos. Esta Formación aflora en el extremo superior izquierda del área evaluada. Los depósitos son no consolidados.

3.1.2 Formación Sencca (Np-se)

El nombre original de este volcánico proviene de la región de Maura (Tacna-Puno) y fue introducido por MENDIVIL S. (1965) al describir afloramientos de rocas piroclásticas depositadas, en forma levemente horizontal, en el fondo de la quebrada Sencca.

Litológicamente está constituido por tobas y brechas tobáceas de naturaleza mayormente dacítica a riolítica. Macroscópicamente se observa, a simple vista, feldespatos, cuarzo, laminillas de biotita y vidrio volcánico. Tienen una coloración blanca a blanco rosado, alterado por intemperismos a gris amarillento o rojizo. Aflora formado pequeñas lomas en el extremo sur del área evaluada, se aprecia moderadamente meteorizada.

3.1.3 Depósitos aluviales - proluviales (Qh-alpl)

Originados por la meteorización y erosión actual y que cubren no sólo grandes planicies sino laderas, quebradas y grandes valles que drenan. Su litología y origen es muy variado y se exponen principalmente en la zona central del área evaluado.

Está conformado por bloques (40%), gravas (30%), arenas y limos (20%), se aprecia formando un amplio abanico. Sobre la cual se ubica la zona urbana del distrito Caravelí. El depósito se encuentra no compactado. Por sectores, se aprecia intercalado con depósitos proluviales (huaicos o flujos de detritos)

3.1.4 Depósitos de flujos de detritos (Qh-pl)

En la quebrada Yesera se identificó un depósito de flujo de detritos (huaico), conformado por bloques (60%), gravas (20%), arenas (15%), englobados en una matriz limoarcillosa, los bloques se encuentran subredondeados, el bloque de mayor tamaño posee hasta 1.5 m. El depósito se encuentra ligeramente compactado.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendientes del terreno

Las pendientes en el área evaluada varían desde inclinados suavemente (1° - 5°) a moderados (5° - 15°) en las colinas ubicadas en los extremos del área de trabajo.

En base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m de resolución, se elaboró el mapa de pendientes (mapa 2).

4.2 Unidades Geomorfológicas

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

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

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el mapa geomorfológico (mapa 3); donde se definen las geoformas y subunidades.

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.1.1 Unidad de montaña y colina

Las montañas son geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local.

Se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. (levantamiento, glaciación, etc).

Montaña y colina en roca sedimentaria (RMC-rs): Esta geoforma se presenta en toda el área, está modelado en roca sedimentaria de conglomerados. Se encuentra distribuida en el extremo Noroeste del área evaluada.

4.2.1.2 Unidad volcánica

En esta unidad se agrupan a los paisajes generados por la actividad volcánica y por sus productos, los cuales han sufrido en diversos grados los efectos de la denudación pero que todavía conservan rasgos definidos de sus formas iniciales.

Colina o lomada piroclástica (Cl-p): Es la resultante de la depositación de flujos incandescentes de piroclastos (nubes ardientes, flujos de bloques de pómez, de ceniza) descargados de las calderas masivas. Se extienden sobre grandes distancias y conforman capas de varios metros de espesor. Aflora en el extremo sur del área evaluado.

4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

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

4.2.2.1 Unidad de piedemonte

Está constituido por depósitos convexos de residuos acarreados y depositado en vertiente o laderas bajas y medias. Engloba orígenes variados, asociados a la gravedad, aguas superficiales, etc. Y a la pendiente, como una condición determinante para su movilidad y acumulación de los materiales sueltos.

Vertiente piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Se trata de planicies entre inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas al pie de los sistemas montañosos o estribaciones, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, en la mayoría de los casos activadas usualmente durante el fenómeno El Niño o lluvias excepcionales, y que dejan una expresión de surcos o canales en el trayecto del evento. Esta subunidad aflora en gran parte del área evaluada.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el Asentamiento Humano Isidoro Berrocal Coronado, se han identificado la quebrada La Yesera, el cual presenta procesos de movimientos en masa.

Los procesos, son el resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión de los ríos, quebradas y torrenteras, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

5.1 Movimientos en masa

Reporte histórico de flujos de detritos

El 8 de febrero del 2019, después de una intensa lluvia ocurridas las 16.30 horas de la tarde, descendieron flujos que afectaron los poblados de Caravelí, Chuñuño y Macha, según el reporte del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD), (tabla 3)

Tabla 3. Reporte del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD.
 (sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode)



REPORTE SINPAD

EVALUACIÓN NRO.

CÓDIGO SINPAD

TIPO DE PELIGRO

HECHOS

UBICACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Zona Afectada:

Departamento / Provincia / Distrito / Localidad

1.2 Condiciones climáticas de la zona afectada para la asistencia en el momento del reporte

1.3 Ruta de acceso sugerida para llegar a la zona afectada

Vía de transporte	Tiempo estimado de llegada
<input type="text" value="CARRETERA"/>	<input type="text" value="8 HORAS"/>
Tipo de vehículo	Ruta principal
<input type="text" value="CAMIONETA"/>	<input type="text" value="AREQUIPA-CAMANA-ATICO-CARAVELI"/>
Lugar de partida	Ruta alterna
<input type="text" value="AREQUIPA"/>	<input type="text" value="NO PRESENTA"/>

2.0 DAÑOS A LA VIDA Y A LA SALUD DE LA PERSONA

2.1 Población (damnificada y afectada) con respecto al daño en las viviendas

Localidad	Número de Familias			Número de Personas		
	Afecta.	Damnifica.	Total	Afecta.	Damnifica.	Total
AREQUIPA / CARAVELI / CARAVELI / CARAVELI	16	1	17	0	0	0
AREQUIPA / CARAVELI / CARAVELI / CHUNUNO	11	0	11	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0
Total de daños por vivienda:	27	1	28	0	0	0
Total de daños por Medios de Vida:	0	-	0	0	-	0
Total General:	27	1	28	0	0	0

3.0 DAÑOS MATERIALES

3.1 A las viviendas (En base al tipo de material predominante en las paredes de la vivienda)

Tipo	Destruida	Inhabitable	Afectada
ADOBE O TAPIAL	0	1	9
LADRILLO O BLOQUE DE CEMENTO	0	0	2
PIEDRA CON BARRO (PIRCA)	0	0	16
Total	0	1	27

3.5 A la Infraestructura de Transporte

3.5.1: Daños en carreteras, vías férreas y otros

Tipo de Vías de Comunicación	Daños (condición)		Cant. Tramos	Ubicación	Observaciones
	Destru.	Afecta.			

5.2.1 Flujo de detritos (huaicos)

Desde la parte alta de Caravelí descienden quebradas que en su recorrido cruzan la zona urbana, dejando cortes profundos, que exhiben depósitos potentes de flujos de detritos, como en el punto UTM WGS84: 673553E, 8255575N, donde se aprecia hacia el techo, secuencias de flujos de detritos y material aluvial, con intercalaciones de niveles de arena fina, aparentemente proveniente de un embalsamiento temporal en la quebrada.

Asimismo, se aprecia un nivel de ceniza volcánica acumulada, proveniente del volcán Huaynaputina de la erupción de 1600 d.C. (figuras 3 y 4) y al tope un depósito de flujo de detritos. La secuencia mide 1.5 m.

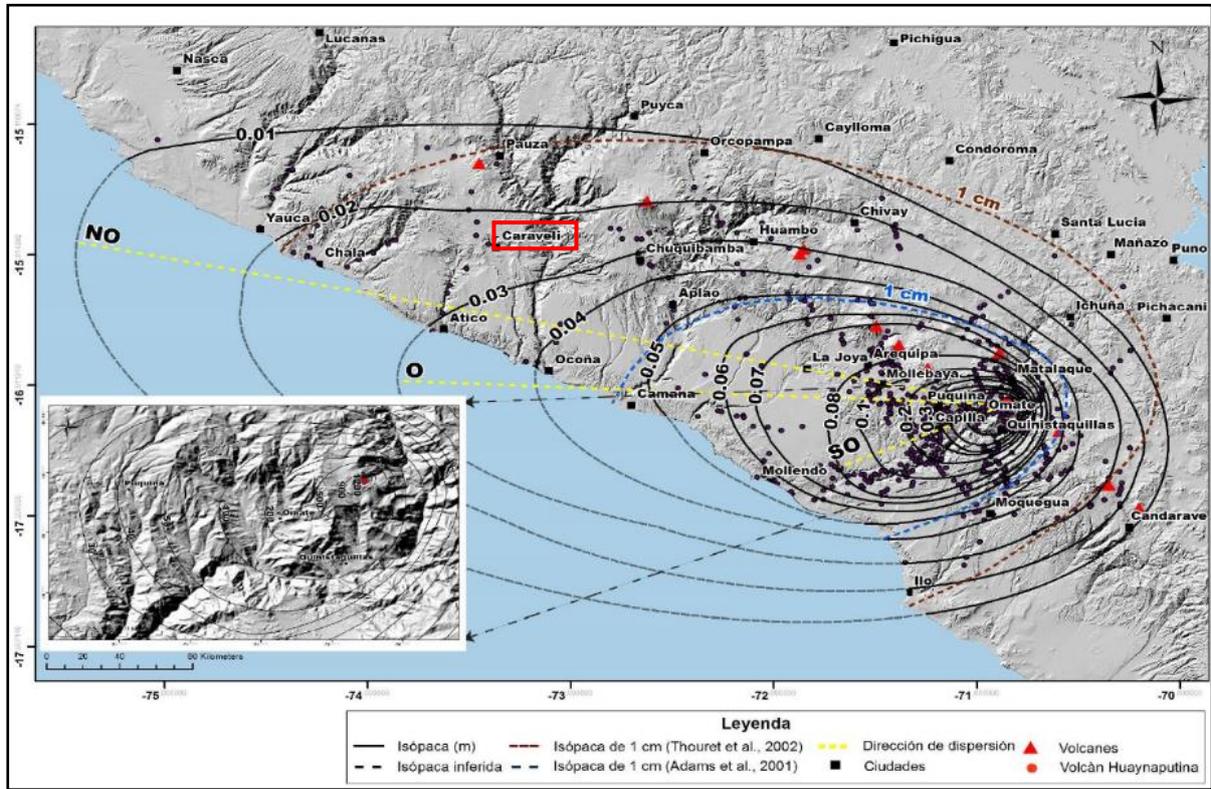


Figura 3. Mapa de isópacas del depósito de caída pliniana, donde se muestra la variación del espesor (cm) con la distancia respecto al cráter del volcán Huaynaputina, S. Japura., (2018).



Figura 4. Depósitos aluviales, lacustrinos, flujos y ceniza volcánica (coordenadas UTM WGS84: 673553E, 8255575N)

El depósito de flujo de detritos (huaico) está conformado por bloques que varían entre (30% - 35%), gravas (40% - 50%), arenas (25% - 30%), cuya litología está conformado por fragmentos volcánicos hidrotermalizados y sedimentarios, el más grandes llegan a medir hasta 1 m. Todo lo mencionado se encuentra englobado en matriz limoarcillosa (10% - 20%); el depósito presenta una potencia que varía de 50 a 60 cm, se encuentra consolidado.

En el punto UTM WGS84: 673452E, 8255542N, se aprecia una secuencia de 3 m, se tienen tres depósitos de flujos de detritos (huaicos), con bloques heterogéneos de fragmentos volcánicos y sedimentarios.

- ✓ Depósito 1: Está conformado por bloques (30 %), gravas (40%), dentro de una matriz areno-limosa (30%).
- ✓ Depósito 2: Presenta bloques (60%), gravas (20%), englobados en una matriz areno limosa (20%)
- ✓ Depósito 3: flujo de lodo reciente, está conformado por bloques (5%), gravas (15%), arenas 50 %, englobados en una matriz limo-arcilla 30% (figura 5)

Los depósitos (1), (2) y (3) poseen bloques de hasta 30 cm, 1.5 m y 25 cm respectivamente, (figuras 5 y 6).

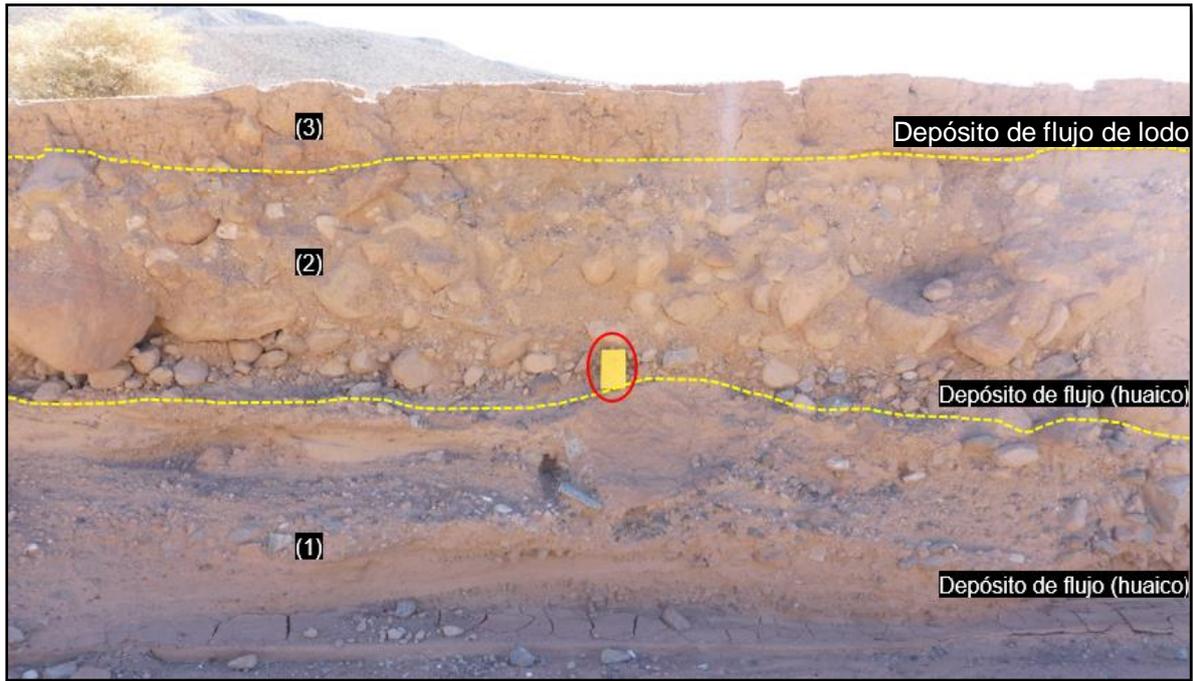


Figura 5. Depósitos de flujos (huaicos) (coordenadas UTM WGS84: 673452E, 8255542N)

El flujo de lodo número (3), persiste únicamente en el borde de los cauces, como parte de (run-up), mientras que en los cauces ha sido limpiado por eventos posteriores. (figura 6)

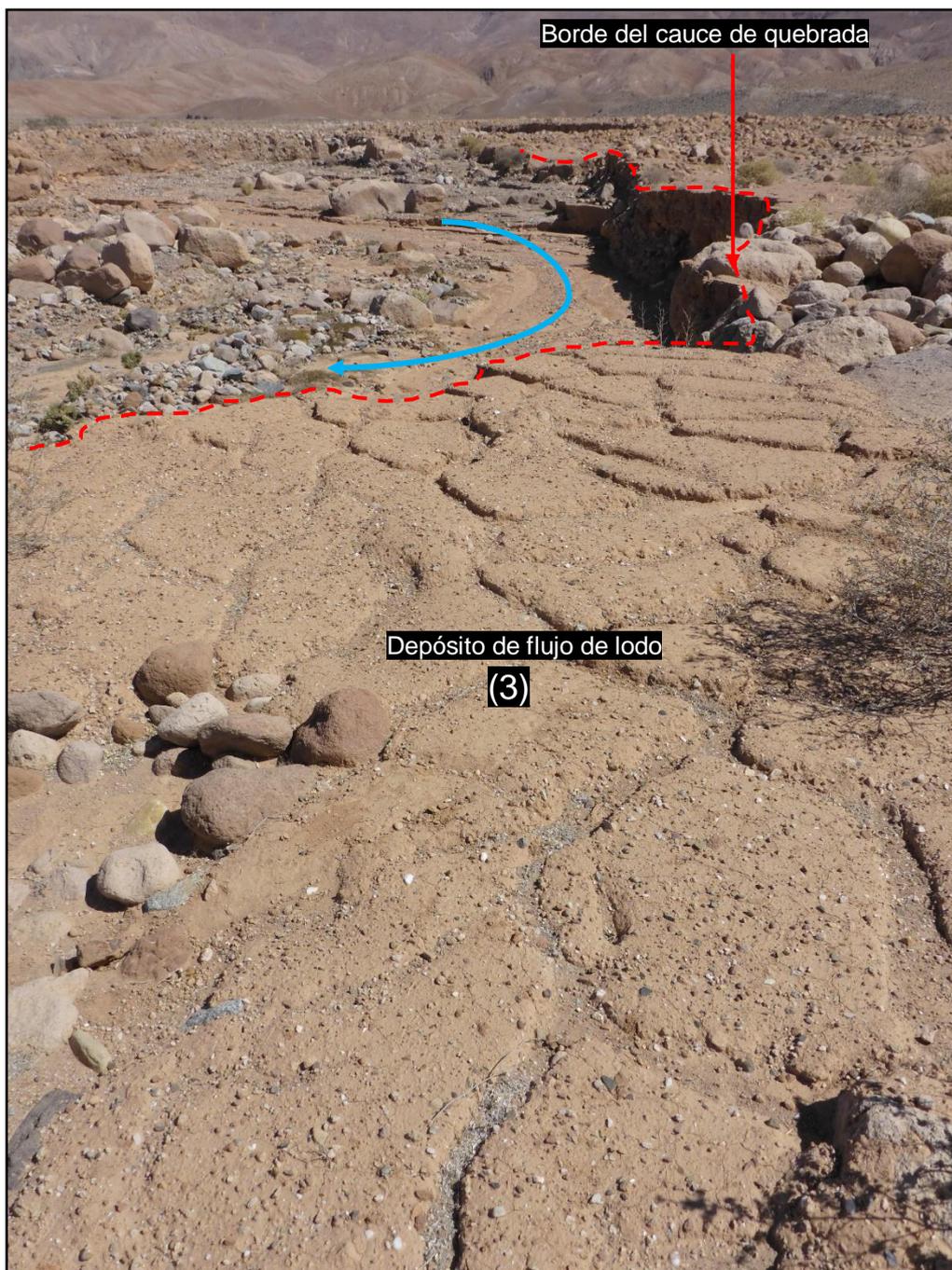


Figura 6. Depósitos de flujo de lodo (huaicos) número (3) ubicado en (coordenadas UTM WGS84: 673452E, 8255542N)

En gran parte del área evaluado, en la superficie aflora el depósito de flujo de detritos (2), con bloques de hasta 1.5 m de diámetro (figura 7). Es evidencia de que la zona en época pasada fue afectada por flujos, que lograron arrastrar bloques de dimensiones considerables.



Figura 7. Bloques redondeados de hasta 1.5 m de diámetro. (coordenadas UTM WGS84: 673502E, 8255539.N)

Cambios del trazado de cauces de quebradas en llanuras aluviales

Los cauces antiguos de la quebrada han sido rellenados y ocupados por viviendas en el A. H. Isidoro Berrocal Coronado (figura 8). En el mapa 4, se muestran los cauces inferidos que fueron rellenados para la construcción de infraestructuras. Asimismo, se identificó lechos de inundación.

Algunos autores indican cómo al menos para periodos relativamente cortos (décadas o siglos), las quebradas transportan en las llanuras aluviales sólo una pequeña fracción del sedimento total depositado a lo largo del valle (Knighton, 1998). En tales casos, la mayor parte de la formación sedimentaria que conforma la llanura aluvial no se halla afectada por los procesos fluviales actuales (Brierly y Fryirs, 2006) y, por tanto, el registro geológico de la llanura permite descifrar la dinámica y los cambios fluviales a escala temporal de varios miles de años. En este sentido, se determina que las llanuras aluviales son sistemas especialmente proclives al registro de los cambios rápidos de variables independientes, como el clima o la actividad humana (Taylor y Lewin, 1997; Kochel y Miller, 1997), incluso a corto plazo (miles de años) (Nanson y Croke, 1992; Brown, 1997; Ollero Ojeda, 2000; Bridge, 2003; Uribealrrea et al., 2003; Schneider et al. 2007; Schriek et al. 2007).



Figura 8. Cauce de quebradas rellenas para la construcción de viviendas.
 (coordenadas UTM WGS84: 674039 E, 8254797 N)

Barreras de tierra

Los cauces de las quebradas al entrar a la zona urbana han sido desviados mediante montículos de tierra. El primero y más grande (a - b) es de dirección noroeste a sureste, el segundo (2a – 2b) es de dirección contrario, de suroeste a noreste, mientras que, el tercero (3a - 3b) es de noroeste a sureste, (figuras 9, 10 y 11).

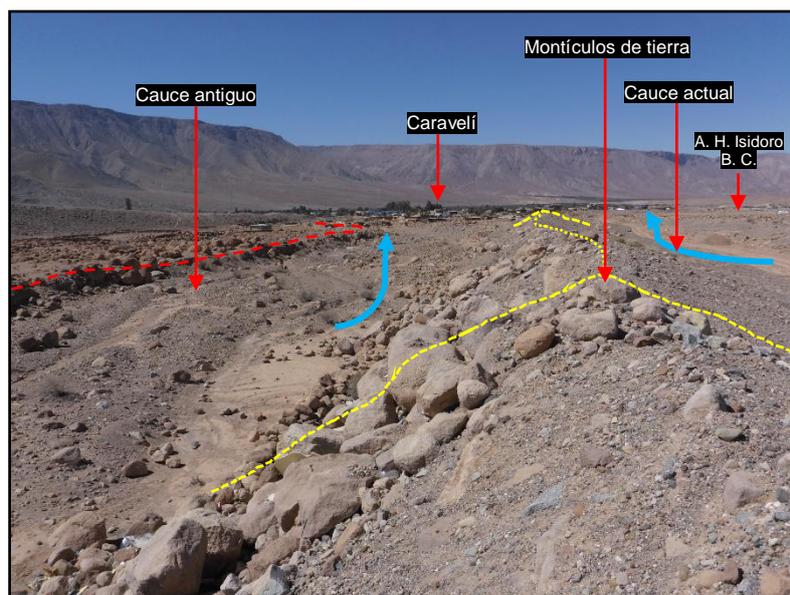


Figura 9. Primer montículo de tierra (a – b) de dirección noroeste a sureste
 (coordenadas UTM WGS84: 673815 E, 8255548 N)



Figura 10. Segundo montículo de tierra (2a – 2b) de dirección suroeste a noreste (coordenadas UTM WGS84: 673369 E, 8255172 N)

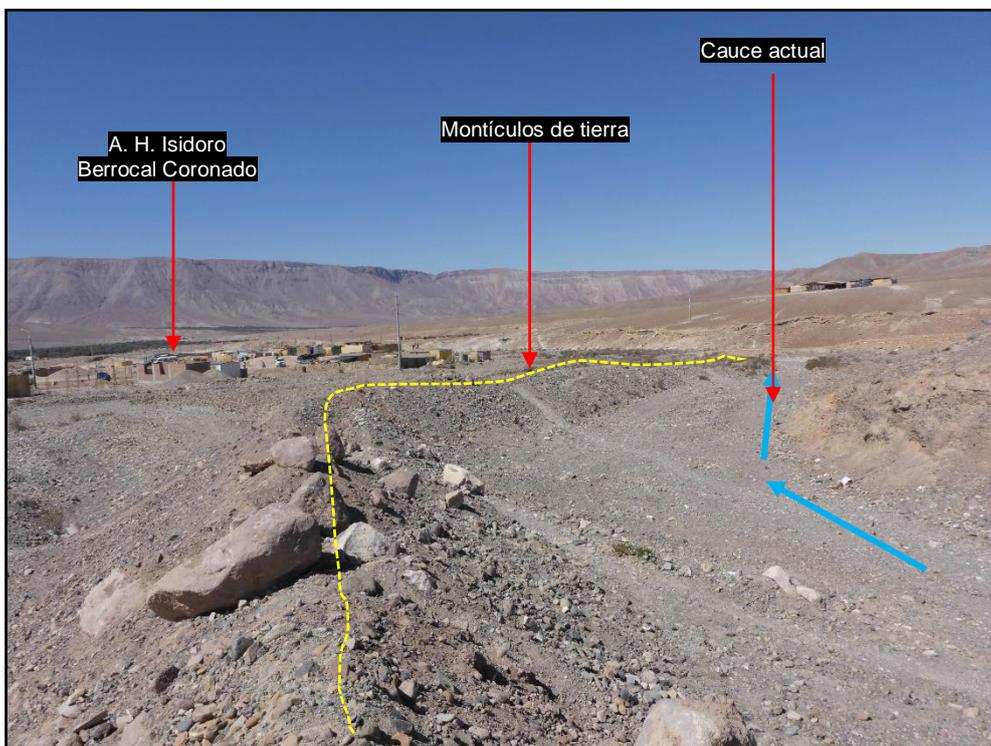


Figura 11. Tercer montículo de tierra (3a – 3b) de dirección noroeste a sureste (coordenadas UTM WGS84: 673861 E, 8254864 N).

5.2 Factores condicionantes

- Alternancia de materiales de diferente competencia como: conglomerados heterogéneos poco consolidados de la Formación Moquegua; tobas y brechas tobáceas de naturaleza mayormente dacítica a riolítica, moderadamente meteorizada de la Formación Sencca, y depósitos aluviales conformados por bloques, gravas, arenas y limos, que conforman un amplio abanico, poco consolidado.
- Pendiente variable desde inclinados suavemente ($1^\circ - 5^\circ$) a moderados ($5^\circ - 15^\circ$), sobre cuyo piroclástico se presentan montaña y colina en roca sedimentaria y vertiente piedemonte aluvio-torrencial.

5.3 Factor desencadenante

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en el Perú se da entre los meses de diciembre a abril), de 30 mm, saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al deslizamiento y los flujos de detritos (huaico) también son generados por lluvias intensas y/o prolongadas.

CONCLUSIONES

1. El A. H. Isidoro Berrocal Coronado se encuentra asentado sobre depósitos aluviales y proluviales poco consolidados, conformado por bloques, gravas, arenas y limos. Además, se aprecian depósitos de flujos de detritos no consolidado, provenientes de la quebrada La Yesera, conformado por bloques (60%), gravas (20%), englobados en una matriz areno-limosa (20%).
2. El peligro geológico identificado corresponde a movimientos en masa de tipo flujo de detritos y lodo. Se identificaron dos flujos de detritos y un flujo de lodo, indicativo de que las quebradas en el área evaluado son geodinámicamente activas. En el punto UTM WGS84: 673452E, 8255542N, se aprecian tres depósitos de flujos.
 - Depósito 1: Está conformado por bloques (30 %), gravas (40%), dentro de una matriz areno-limosa (30%).
 - Depósito 2: Presenta bloques (60%), gravas (20%), englobados en una matriz areno limosa (20%)
 - Depósito 3: flujo de lodo reciente, está conformado por bloques (5%), gravas (15%), arenas 50 %, englobados en una matriz limo-arcilla (30%).
3. Los cauces de las quebradas al entrar a la zona urbana han sido desviados, mediante montículos de tierra, en total se identificaron tres. El primero en el punto 673815 E, 8255548 N, es el más grande (a - b), de dirección noroeste a sureste, el segundo ubicado en 673369 E, 8255172 N, (2a – 2b) en sentido suroeste a noreste, mientras que el tercero, ubicado en 673861 E, 8254864 N, (3a - 3b) es de noroeste a sureste.
4. Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: Alternancia de materiales de diferente competencia, conglomerados heterogéneos no consolidados de la Formación Moquegua; tobas y brechas tobáceas de naturaleza mayormente dacítica a riolítica, moderadamente meteorizada de la Formación Sencca, y depósitos aluviales conformados por bloques, gravas, arenas y limos, que conforman un amplio abanico, poco consolidado. Además, pendiente variable desde inclinados suavemente (1° - 5°) a moderados (5° - 15°), sobre cuyo piroclástico se presentan montaña y colina en roca sedimentaria y vertiente piedemonte aluvio-torrencial.
5. En base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el A. H. Isidoro Berrocal Coronado se considera de **Peligro Alto** por movimientos en masa. En el área podrían ocurrir flujos de detritos (huaicos), desencadenados por precipitaciones pluviales intensas y/o anómalas.

RECOMENDACIONES

1. Canalizar y encausar el cauce de la quebrada La Yesera, a fin de controlar y derivar los flujos de detritos (huaicos) a zonas que no afecten elementos expuestos. Para determinar el ancho y profundidad del canal, se debe realizar una estimación de capacidad máxima, en base al cálculo volumétrico de los flujos de detritos para lluvias extremas. (emplear una base de datos de más de 25 años)
2. Controlar y monitorear los rellenos antrópicos que se realizan en la quebrada que surcan el A. H. Isidoro Berrocal Coronado, no arrojar basura en los cauces de las quebradas para evitar su colmatación.
3. La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas para prohibir:
 - La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa.
 - La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
 - Por ningún motivo debe continuar la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas, con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos. Para evitar construcción de viviendas o infraestructura en áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
5. Implementar programas de forestación, para que el terreno tenga una mayor estabilidad.



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



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2015>

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000, elaboradas por el Ingemmet, en convenio con la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

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

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

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

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.

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

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

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa generado por el Ingemmet (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), demuestra un peligro medio a alto en el anexo Yalagua.

ANEXO 1 MAPAS

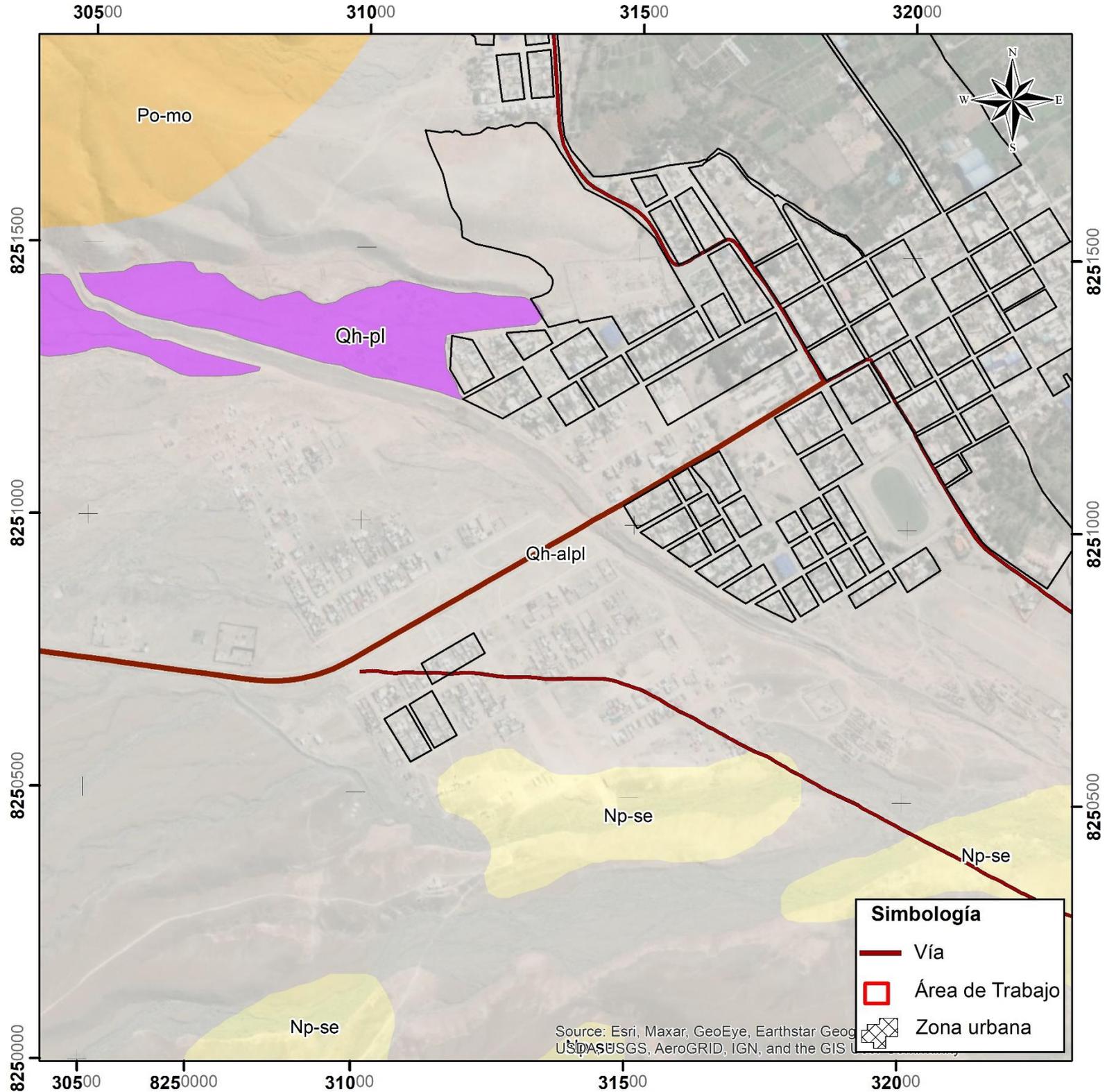
Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Mapa geológico del A. H. Isidoro Berrocal Coronado. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000.

Mapa N°2. Mapa de pendientes, del A. H. Isidoro Berrocal Coronado, elaboración propia.

Mapa N°3. Mapa de unidades geomorfológicas del A. H. Isidoro Berrocal Coronado, elaboración propia

Mapa N°4. Mapa de cartografía del A. H. Isidoro Berrocal Coronado, elaboración propia

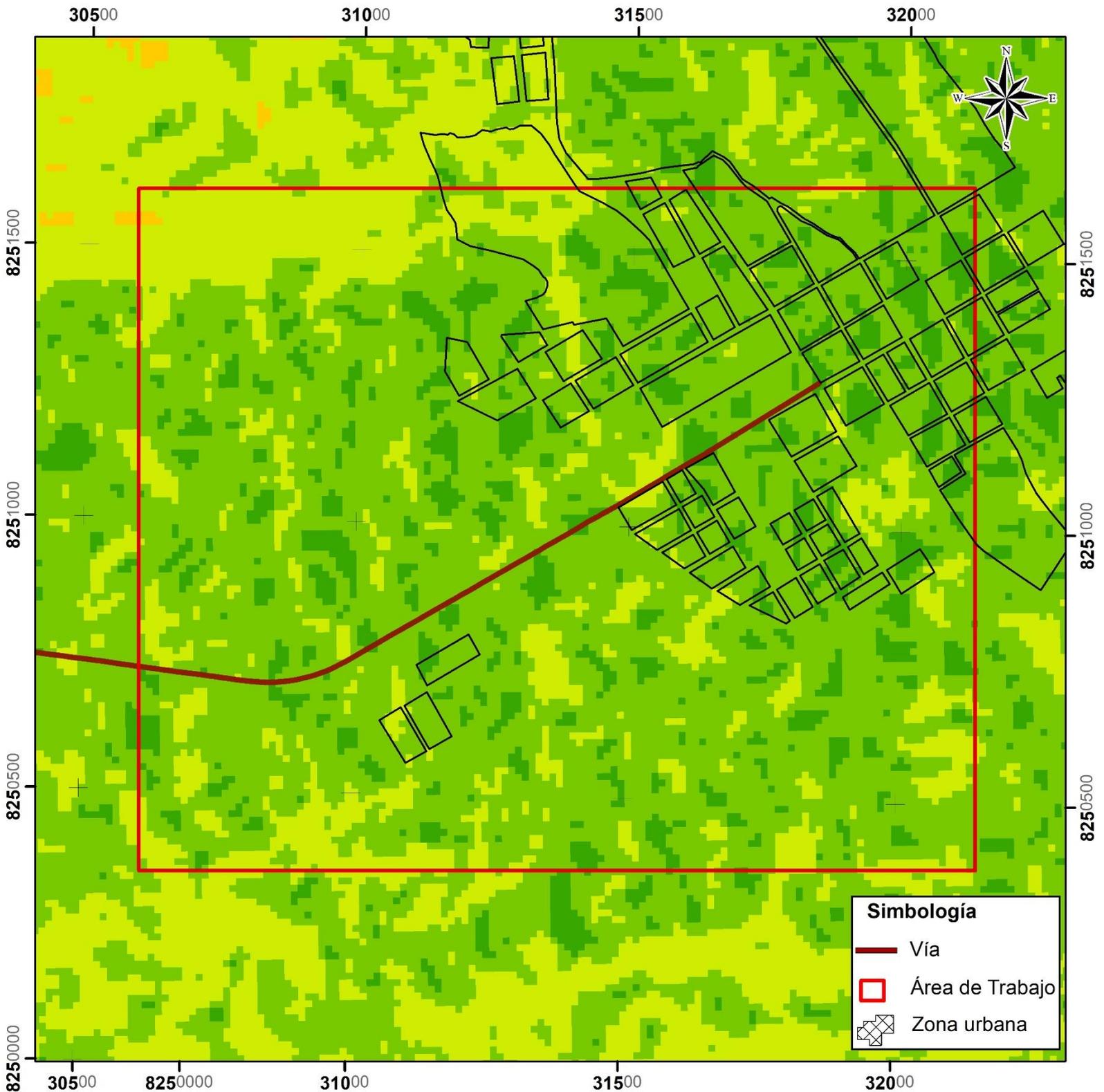


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOLÓGICO
 A. H. Isidoro Berrocal Coronado

Proyección UTM	Escala 1:10,000	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 65 130 260	
Zona 19S	m	

Unidades litoestratigráficas	
Qh-pl	Depósitos de flujo de detritos y lodo
Qh-alpl	Gravas, arenas en matriz arenolimsa
Np-se	Tobas y brechas dacíticas a riolíticas
Po-mo	Intercalación de conclomerados, areniscas tobáceas y tobas retrabajadas.



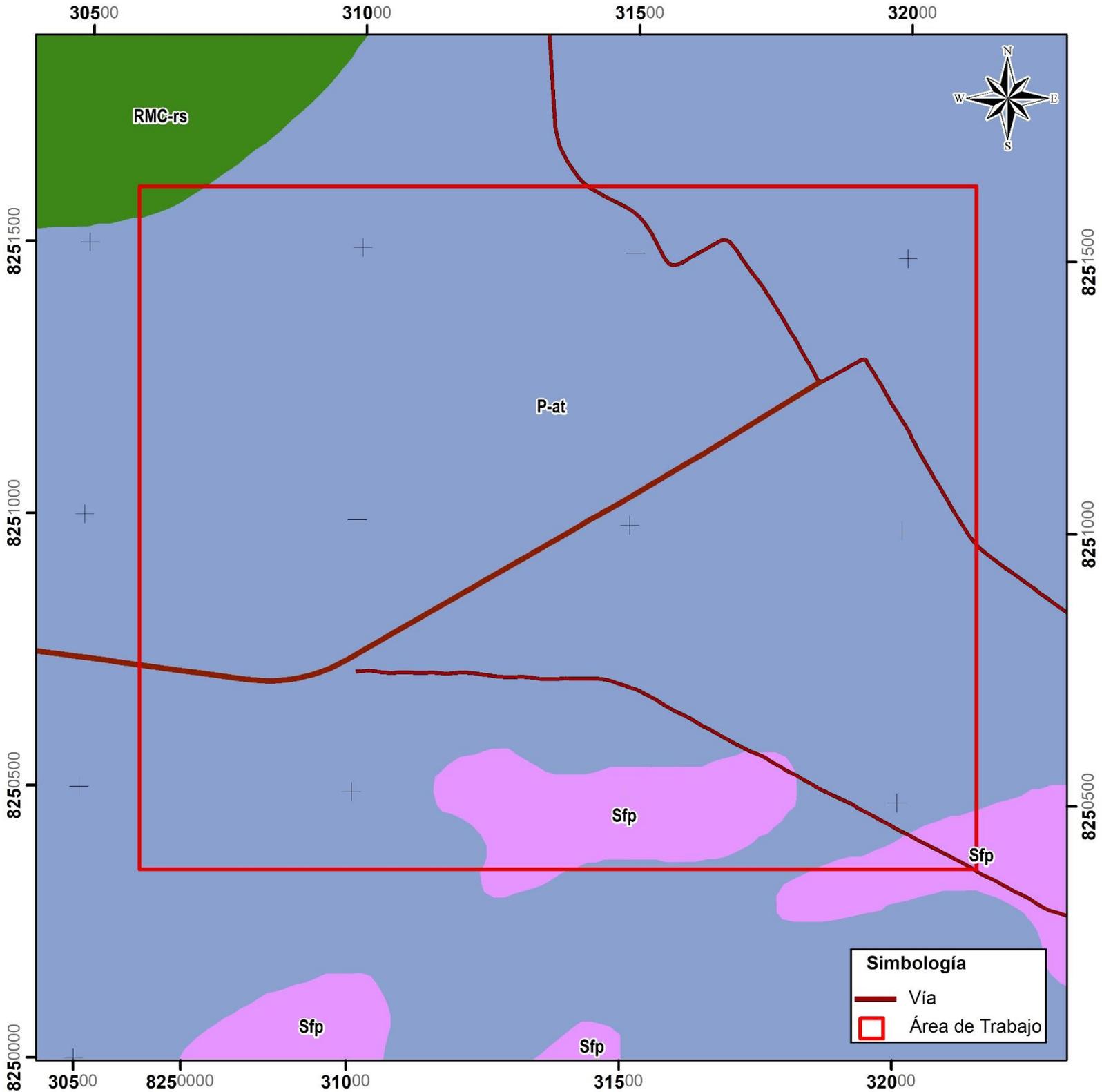
Simbología

-  Vía
-  Área de Trabajo
-  Zona urbana

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
MAPA DE PENDIENTES DEL A. H. ISIDORO BERROCAL CORONADO		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:10,000 0 62.5 125 250  m	Mapa N° 2

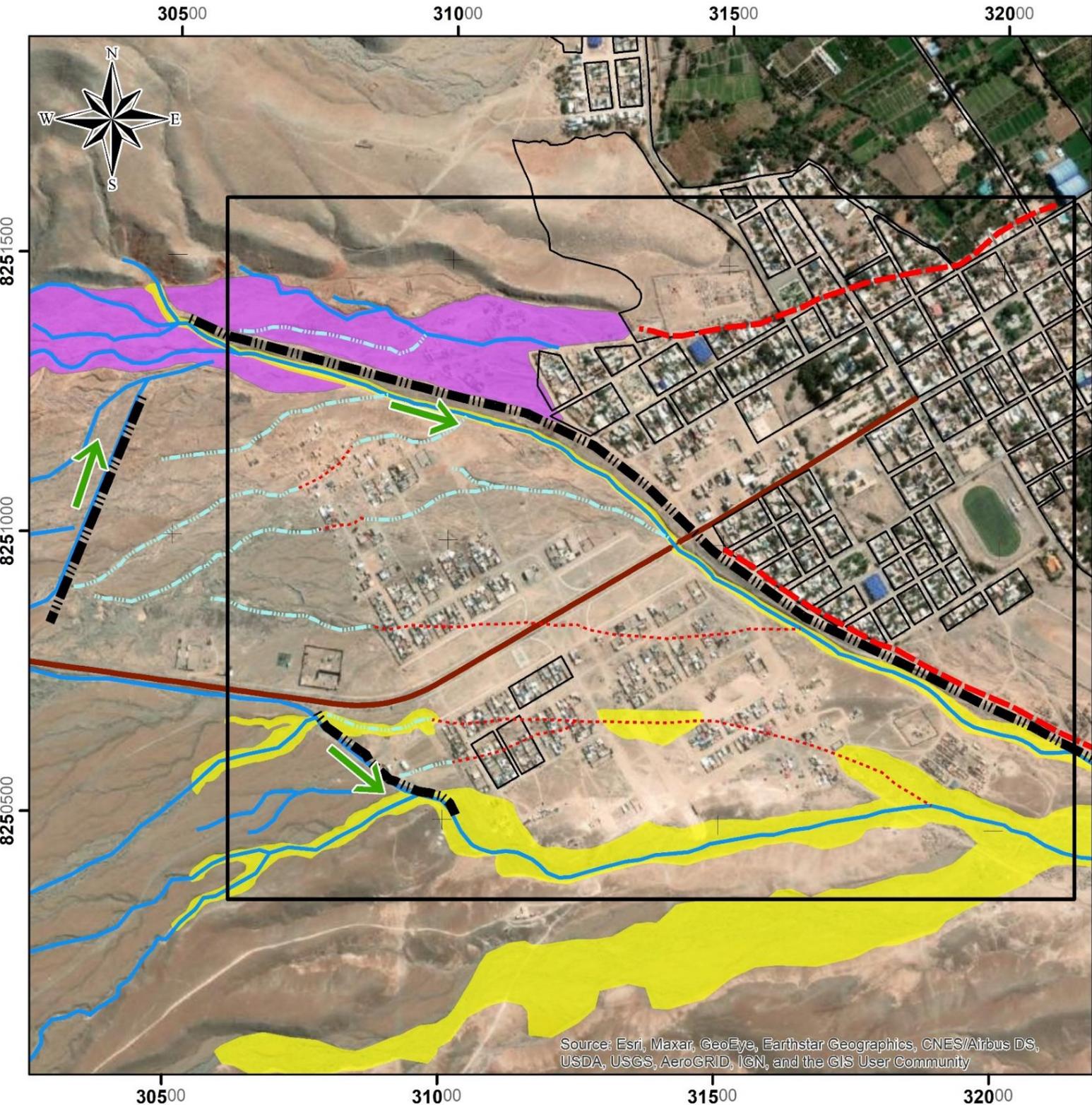
Pendientes (Grados)

	< 1	Llano
	1 - 5	Suavemente inclinado
	5 - 15	Moderado
	15 - 25	Fuerte
	25 - 45	Muy fuerte
	> 45	Muy escarpado



 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
MAPA GEOMORFOLÓGICO A. H. Isidoro Berrocal Coronado		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:10,000 0 65 130 260  m	Mapa N° 3

Unidades geomorfológicas	
 RMC-rs	Montaña y colina en roca sedimentaria
 P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
 Sfp	Superficie de flujos piroclásticos



Simbología

-  Vía
-  Área de Trabajo
-  Barreras de tierra
-  Avanico aluvial
-  Cauce inferido
-  Cauce actual
-  Cauce antiguo
-  Lecho de inundación
-  Desviación de cauce

Peligros geológicos

-  Flujo de detritos

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL
 A. H. ISIDORO BERROCAL CORONADO**

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:10,000	Mapa N° 4
	0 50 100 200	
	 m	

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Mitigación de peligros por flujo de detritos (huaico)

Para disminuir los daños por flujos, es necesario aplicar las siguientes medidas:

- a) Canalizar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos; al reducir los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales, siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- b) Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
- c) Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos; tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico). Ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y las barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido; fosas de decantación; etc. (figura 12).
- d) Muchas de las quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en la región pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros, en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Es preciso mencionar que estas obras de infraestructuras, que atraviesen estos cauces, deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas que provienen de la cuenca media y alta evitándose obstrucciones y represamientos violentos.
- e) Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de canalización y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba; así como obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.

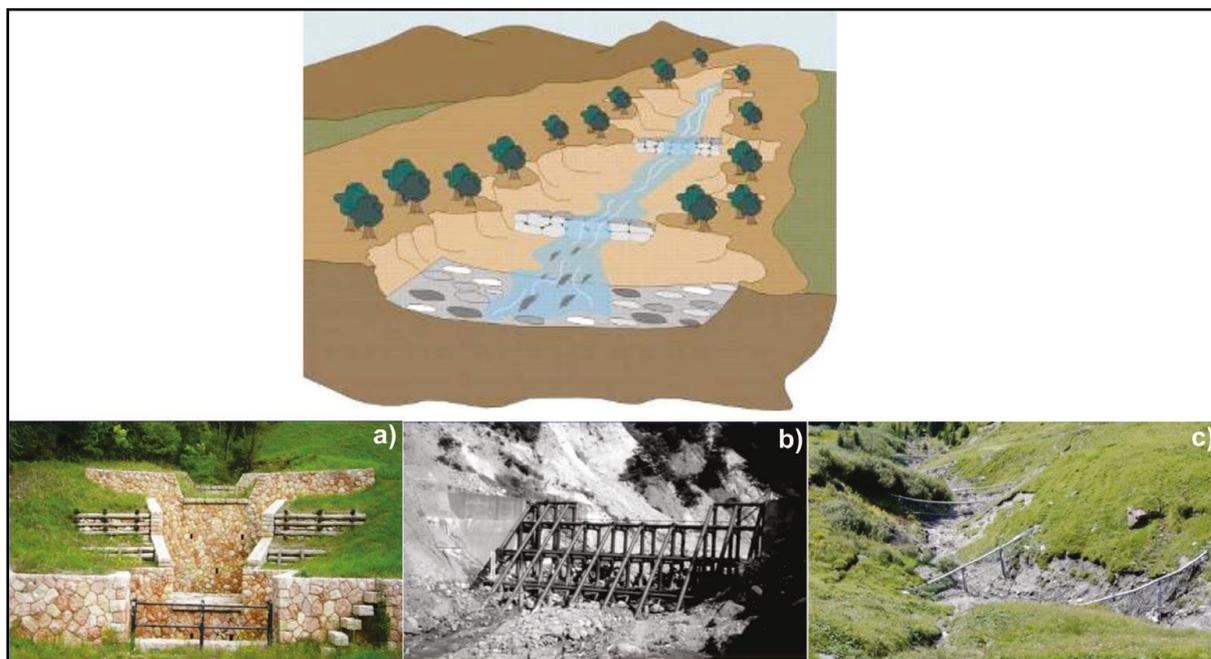


Figura 12. Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos: a) tipo SABO, b) tipo rejilla, c) barras flexibles.